

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE  
DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO  
CRÍTICO ENTRE PUENTE YONÁN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL  
RÍO JEQUETEPEQUE”

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

**INGENIERO CIVIL**

TESISTA:

BACH. ING. CIVIL. CÁCERES LOZANO, HANS ALBERTO

ASESOR:

M. Cs. Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

CAJAMARCA-PERÚ

2019

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios.

Ser maravilloso que me dio fuerza y fe para lograr mis metas de vida.

A la Universidad Nacional De Cajamarca

Por haberme permitido ser parte de ella, a los docentes que me brindaron sus conocimientos y experiencias durante mi vida universitaria.

De manera muy especial a mi asesor: Ing° Luis Vásquez Ramírez

Por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así mismo por el tiempo y la paciencia brindada durante el desarrollo de la tesis.

**GRACIAS.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Silvio y Esther.

Por ser mis principales maestros de vida, enseñándome a valorar los buenos momentos y salir delante de los malos, por su amor cariño y confianza, por su sacrificio y trabajo durante los años de mi vida apoyándome incondicionalmente y depositando toda su confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar de mi capacidad para salir adelante.

A mi hermano, Alex.

Por acompañarme y apoyarme durante todo este esfuerzo para lograr con mis metas.

## CONTENIDO

PORTADA	i
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	xi
ABSTRAC	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	01
1.1.Planteamiento del Problema	01
1.2.Formulación del Problema	02
1.3.Objetivos	02
1.4.Justificación del Problema	02
1.5.Delimitaciones de la investigación	03
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	04
2.1. Topografía e Hidrografía	04
2.2. Hidrología Fluvial	07
2.3. Estructuras Hidráulicas	19
2.4. Modelamiento Hidráulico	26
2.4. Términos Básicos	36
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. Materiales y Equipos	40
3.2. Métodos	40
3.3. Procedimiento de la Investigación	45
3.4. Toma de Muestra	45
3.5. Modelación Matemática	52
3.6. Modelo Físico a Escala Reducida	55
3.7. Ensayos en el modelamiento Físico a Escala	62
CAPÍTULO VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
4.1. Comportamiento del Flujo sin Estructuras	67
4.2. Comportamiento del Flujo con la Estructura Gavión	70
4.3. Comportamiento del Flujo con la Estructura Bolsacreto	73
	iv

4.4. Comportamiento del Flujo con la Combinación de Estructuras Gavión-Espigo	76
4.5. Comportamiento del Flujo con la Combinación de Estructuras Bolsacreto – Espigo	78
4.6. Curvas de Energía / Progresiva. de Modelamiento IBER	80
4.7. Curvas de Energía / Progresiva. de Modelamiento a Escala 1/20	81
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y</b>	
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>82</b>
5.1. Conclusiones	82
5.2. Recomendaciones	83
5.3. Referencias Bibliográficas	84
<b>ANEXOS</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 01: PLANO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA EN ESTUDIO</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO 02: PLANO UBICACIÓN DE CALICATAS Y</b>	
<b>ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 03: PLANOS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 04: DATOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</b>	
<b>DE LA ZONA EN ESTUDIO</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO 05: DIAGRAMA HIDROLÓGICO</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO 06: ESTUDIO DE SUELOS CALICATA 01</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 07: ESTUDIO DE SUELOS CALICATA 02</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO 08: ESTUDIO DE SUELOS CALICATA 03</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 09: PANEL FOTOGRÁFICO</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los ríos para la clasificación según su edad	08
Tabla 2: Valores de coeficientes de rugosidad de Manning.	11
Tabla 3: Valores de rugosidad de Cowan.	13
Tabla 4: Principales limitaciones en los modelos físicos y matemáticos	30
Tabla 5.- Limitaciones prácticas en los modelos físicos y matemáticos	30
Tabla 6: Valores asumidos de las características del cauce – Método de Cowan	50
Tabla 7: Valores de coeficientes de rugosidad utilizados en el modelo	50
Tabla 8: Resultados de ensayos de laboratorio	51
Tabla 9: Escalas de traslación	56
Tabla 10: Escala de relación modelo modelamiento IBER	56
Tabla 11: Número adimensional de Froude para modelamiento IBER y modelo	62
Tabla 12: Cuadro de Ensayos	63
Tabla 13: Resultados obtenidos para el cauce sin estructuras	69
Tabla 14: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Gavión)	72
Tabla 15: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Bolsacreto)	75
Tabla 16: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Gavión + Espigo)	77
Tabla 17: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Bolsacreto + Espigón)	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de ríos, según su geometría (recto, con meandros y trenzado)	09
Figura 2. Energía total en una sección de un canal	15
Figura 3. Energía total en una sección de un canal	15
Figura 4. Energía total en una sección de un canal	16
Figura 5. Energía total en una sección de un canal	17
Figura 6, 7, 8, 9. Espigo	20
Figura 10, 11, 12. Espigo	21
Figura 13. Gavión	23
Figura 14. Gavión	24
Figura 15. Bolsacreto	25
Figura 16. Desborde de Río	35
Figura 17. El modelo digital del terreno MDT	36
Figura 18: Ubicación del proyecto en la región Cajamarca	41
Figura 19: Ubicación del proyecto en las provincias de Cajamarca y Contumazá	42
Figura 20: Flujograma de trabajo seguido por el tesista	43
Figura 21: Vista aérea del río Jequetepeque. Se puede observar la infraestructura vial y el cauce del río compuesto principalmente por gravas, arenas y limos	46
Figura 22: Vista panorámica tomada aguas arriba del río Jequetepeque. Se observa en la margen izquierda una estructura provisional (enrocado)	46
Figura 23: Vista panorámica tomada aguas arriba del río Jequetepeque. Se observa la estación hidrológica Yonán (Lat. 7°15',	

Long. 79°6'), margen derecha del cauce	47
Figura 24: Vista panorámica en donde se puede observar el fenómeno de la erosión	47
Figura 25: Levantamiento topográfico de la zona en estudio con Estación Total Leyca	48
Figura 26: Toma de puntos con prisma	48
Figura 27: Monitoreo hidrológico año 2016 – 2017	49
Figura 28: Mapa de usos de suelo	51
Figura 29: Asignación del coeficiente de rugosidad en el modelo IBER	52
Figura 30. Asignación de condiciones hidrodinámicas en los contornos abiertos del Modelo	53
Figura 31. Tamaño de la malla no estructurada asignado al modelo geométrico	53
Figura 32. Modelo Digital de Elevación, varía de 416msnm -432msnm	54
Figura 33: Modificación de la malla de terreno para incorporar la estructura de Gavión	54
Figura 34. Modificación de la malla de terreno para incorporar la estructura de Espigo	55
Figura 35. Modelo físico de lecho móvil a escala 1/20 construido en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca	57
Figura 36. Replanteo de las cotas topográficas y batimétricas mediante una Estación Total Leyca TS06 con precisión 0.1mm	57
Figura 37. Ubicación de hitos de fierro en cada punto con su respectiva descripción de altura para proceder a obtener las curvas de nivel	58
Figura 38. Unimos cada punto con la misma descripción de altura y unimos utilizando nylon y procedemos a nivelar con un nivel de carpintero de tal manera que queden a la misma altura	58
Figura 39: Instrumentación del Tanque elevado para control y regulación de la carga Hidráulica	59
Figura 40. Poza al inicio del modelo para lograr un ingreso uniforme del agua al modelo	59
Figura 41. Sistema de recirculación (Cisterna, manguera HDPE 4", motobomba)	60
Figura 42. Construcción de gaviones permeables de sección $b*h = 5*5$ cm a escala 1/20 lo que a escala natural equivale a una sección de $b*h= 1*1$ m. elaborados con malla fierro y rellena con piedra chancada de ½"	60



Figura 43: Construcción de espigones angulares impermeables de sección $b \cdot h = 5 \cdot 5$ cm a escala 1:20, la cual a escala natural representa a una sección de $b \cdot h = 1 \cdot 1$ m	61
Figura 44: Construcción de bolsacretos elaborados a base de mezcla de cemento y arena fina envueltos en bolsa plástica con medidas de sección muy aproximadas a $b \cdot h = 5 \cdot 5$ cm a escala 1:20 la cual a escala natural equivale a una sección de $b \cdot h = 1 \cdot 1$ m	61
Figura 45. Reemplazo del material del lecho de fondo móvil con material que presenta la misma similitud geométrica a escala 1:20	64
Figura 46. Socavación de la margen derecha del modelo	64
Figura 47. Incorporación de la estructura de gavión a escala (1:20) en el modelo	65
Figura 48. Incorporación de la estructura bolsacreto a escala (1:20)	65
Figura 49. Combinación de estructuras gavión - espigo a escala (1:20) en el modelo	66
Figura 50. Combinación de estructuras gavión - espigo a escala (1:20) en el modelo	66
Figura 51. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelo físico	67
Figura 52. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelo físico	67
Figura 53. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelamiento IBER, visualización del calado	68
Figura 54. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelamiento IBER, visualización de la velocidad	68
Figura 55: Comportamiento del flujo con estructura de gavión en el modelo físico	70
Figura 56: Comportamiento del flujo con estructuras de gavión en el modelamiento IBER, visualización del calado	70
Figura 57: Comportamiento del flujo con estructuras de gavión en el modelamiento IBER, visualización de la velocidad	71
Figura 58: Comportamiento del flujo con estructura de bolsacreto en el modelo Físico	73
Figura 59: Comportamiento del flujo con estructuras de bolsacreto en el modelamiento IBER, visualización del calado	73
Figura 60: Comportamiento del flujo con estructuras de bolsacreto en el modelamiento IBER	74
Figura 61: Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras gavión-espigo en el modelo	76
Figura 62: Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras	

gavión-espigo en el modelamiento IBER. Visualización de velocidad	76
Figura 63: Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras bolsacreto-espigo en el modelo	78
Figura 64: Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras bolsacreto- espigo en el modelamiento IBER. Visualización de velocidad	78
Figura 65: Vista panorámica de la zona en estudio	111
Figura 66: Vista panorámica de la zona en estudio	111
Figura 67: Vista panorámica de la zona en estudio	112
Figura 68: Toma de medidas de tirante	112
Figura 69: Toma de medidas de tirante de modelo a escala 1/20	113
Figura 70. Toma de medidas de tirante de modelo a escala 1/20	113
Figura 71. Muestra insitu de calicata 01	113
Figura 72. Muestra insitu de calicata 02	113
Figura 73. Muestra insitu de calicata 03	113

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar cuál de las estructuras, gavión, bolsacreto, espigo o en combinación, gavión-espigo o bolsacreto-espigo, es más eficiente para reducir la erosión en el tramo crítico entre puente Yonán y desvío carretera a Trinidad del río Jequetepeque. Para esto se realizaron ensayos en un modelo a escala reducida, con los datos obtenidos en campo, se representó la topografía del río y las estructuras; de la misma manera, se realizó los ensayos en un modelo matemático utilizando software IBER, teniendo en cuenta el caudal de máxima avenida, dato obtenido del hidrograma SENAMHI. Los resultados obtenidos al finalizar el estudio nos permitieron elaborar un cuadro con curvas de energía, cada curva representa la eficiencia de las estructuras hidráulicas ante la energía del flujo, procediendo a su respectivo análisis, se llegó a la conclusión, que la combinación de estructuras gavión-espigo es la más recomendable para dar solución a nuestro problema, ya que mantiene la línea de flujo principal lo suficientemente alejada del talud del río Jequetepeque.

**Palabras Clave:** erosión, caudal, talud, modelamiento matemático, modelamiento a escala reducida, gavión, bolsacreto, espigón, río.

## ABSTRAC

The objective of this research is to determine which of the structures, gabion, bag-shaped, spike or in combination, gabion-spike or sac-spike, is more efficient to reduce erosion in the critical stretch between the Yonán bridge and the river bypass to the river Jequetepeque. For this, tests were carried out in a reduced scale model, with the data obtained in the field, the topography of the river and the structures were represented; In the same way, the tests were carried out in a mathematical model using IBER software, taking into account the maximum avenue flow, data obtained from the SENAMHI hydrograph. The results obtained at the end of the study allowed us to elaborate a table with energy curves, each curve represents the efficiency of the hydraulic structures before the flow energy, proceeding to its respective analysis, it was concluded that the combination of gabion structures -spigo is the most recommended to solve our problem, since it keeps the main flow line far enough from the slope of the Jequetepeque river.

**Key words:** erosion, flow, slope, mathematical modeling, small-scale modeling, gabion, bag-shaped, breakwater, river.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento Del Problema.**

Los ríos en nuestro país se caracterizan por presentar bajas pendientes. Sus aguas discurren en suelos aluviales y su caudal varía dependiendo la época del año. Su dinamismo e inestabilidad dificulta y encarece el aprovechamiento de sus áreas próximas, así como también pone en riesgo poblaciones y estructuras civiles adyacentes (ROCHA, A. 1998).

Ante esto, surge la necesidad de proteger sus riberas e impedir la erosión lateral, existiendo métodos de estabilización de ríos, los que se clasifican bajo el enfoque de fortalecimiento de la ribera y la reducción de las fuerzas hidrodinámicas de cantidad de movimiento (JULIEN, P. 2002).

El proceso de erosión del de la ribera de un río bajo la acción de la fuerza del agua es muy complejo. Whittaker (1984) refiere que socavación resultante depende de la interacción de factores hidráulicos y factores hidrológico morfológicos; para encontrar la respuesta aproximada a esos problemas, se requiere en la mayoría de los casos de la ayuda de un modelo hidráulico de fondo móvil; igualmente los fenómenos hidráulicos como expresión del mundo natural son tan complejos que no es posible analizarlos y describirlos totalmente por lo que sólo podemos hacerlo parcialmente. Y menciona que uno de los instrumentos más poderosos de que se dispone para tratar de conocer y comprender el comportamiento del agua en la naturaleza y su interacción con las estructuras se encuentra en la investigación mediante los modelos matemáticos y los modelos físicos ya que ambos se complementan. (ROCHA, A. 1998)

El inicio del deterioro del tramo en estudio data del año de 1998, año en que se dio el fenómeno “El Niño” en nuestro país, la fuerza del agua ocasionó la erosión de la ribera, el cual afecto directamente a la carretera adyacente, perjudicando a su vez a pobladores y transportistas. La solución más rápida, sin tener en cuenta estudios de ingeniería, fue rellenar el área deteriorada con material compactado de piedra y arena.

El presente estudio, pretende determinar, por medio de un modelo matemático e hidráulico con distorsión (Escala 1/20), cuales estructuras (gaviones, bolsacretos, gaviones - espigos y bolsacretos - espigos), se comportan mejor con las condiciones de geometría y caudal del río Jequetepeque, para evitar el problema de erosión en la ribera.

## **1.2. Formulación Del Problema.**

¿Cuál es la estructura hidráulica más eficiente para reducir los efectos de erosión en el tramo crítico entre el puente Yonán y el desvío de carretera a Trinidad del río Jequetepeque?

## **1.3. Objetivos.**

### **a. Objetivo General**

- Determinar cuál es la estructura más eficiente para reducir la erosión en el tramo crítico entre puente Yonán y desvío carretera a Trinidad del río Jequetepeque.

### **b. Objetivos Específicos**

- Recopilar y procesar información cartográfica, hidrológica e hidráulica.
- Caracterizar el Río Jequetepeque en el tramo de estudios.
- Generar Caudales máximos del Río.
- Modelar hidráulicamente, utilizando modelos a escala reducida y modelo matemático IBER, gaviones, bolsacretos y espigos.
- Elaborar de las curvas de energía con los resultados obtenidos de los modelamientos hidráulicos a escala reducida y modelo matemático IBER.

## **1.4. Justificación del problema.**

El trabajo de investigación está enfocado en solucionar el problema en el tramo ubicado entre el puente Yonán y el desvío de la carretera a Trinidad, donde el cauce del río está erosionando el suelo adyacente a la vía, generando inestabilidad el cual genera el deterioro de la estructura. Este problema representa una muestra de los tantos casos que son reincidentes en nuestro país, ya que, debido a la ausencia de estudios adecuados, que permitan prevenir o minimizar el daño, al estado le cuesta miles en pérdidas materiales, perjudicando a productores, transportadores y consumidores.

Siguiendo la tendencia de implementar los modelos tanto físicos como matemáticos para la solución de problemas específicos, se decidió realizar un modelo a escala reducida, que nos permitió simular las condiciones a las que se ve sometida la estructura debido a la acción del Río Jequetepeque, donde teniendo en cuenta las variables que intervienen en el modelo, se propuso una solución viable.

### **1.5.Delimitaciones de la investigación.**

El departamento de Cajamarca, en la temporada de invierno, tiene lluvias muy intensas. Así, se eleva el cauce de los ríos. El río Jequetepeque, en el tramo aledaño al KM-053 de la carretera Cajamarca-Ciudad de Dios, presenta socavamiento lateral en su ribera, ocasionando daños considerables de transitabilidad de transportistas y comuneros. Es por eso que se necesita encontrar la manera de disminuir este problema, beneficiando a los pobladores de la zona.

Se empleará el uso de tres tipos de estructuras hidráulicas: gaviones, bolsacretos y espigos, resistentes frente a la fuerza que genera las aguas en el cauce del río. Las pruebas realizadas en el modelo a escala reducida y en el modelamiento matemático, se consideró un caudal máximo instantáneo obtenido del hidrograma SENAMHI, considerando un caudal de aguas claras. Durante los meses de setiembre (2016) hasta agosto (2017).

El resultado final se determinará de la evaluación técnica, sin tener en consideración el factor costo de la estructura hidráulica más eficiente.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Topografía e Hidrografía.**

#### **Generalidades**

Los procesos físicos que se dan en la actualidad y las leyes que los rigen son fundamentalmente iguales a los que operan desde los tiempos geológicos, aunque no necesariamente siempre con la misma intensidad que ahora. (ROCHA, A. 1998)

Los procesos geomórficos dejan su sello característico sobre las formas terrestres, y cada proceso geomórfico se desarrolla dentro de las formas terrestres existentes (se "ensambla" a ellas). (ROCHA, A. 1998)

Al actuar los diferentes agentes de erosión sobre la superficie terrestre se produce una secuencia de formas que tienen determinadas características en función del estado del proceso general. (ROCHA, A. 1998)

No es posible una correcta interpretación del paisaje actual sin una apreciación completa de las muchas influencias geológicas y climáticas ocurridas durante el Pleistoceno. (ROCHA, A. 1998)

La geomorfología se ocupa principalmente de las formas actuales de la tierra, pero tiene un importante papel en el análisis histórico del paisaje. (ROCHA, A. 1998)

#### **Procesos y Agentes Geomórficos.**

Los procesos geomórficos son los cambios físicos y químicos que modifican la forma de la superficie terrestre. Un agente geomórfico es un medio natural capaz de remover y transportar los materiales terrestres. Son agentes geomórficos típicos: la escorrentía superficial, las aguas subterráneas, los glaciares, el viento, los movimientos del agua, como olas, mareas, corrientes y tsunamis. Todos estos agentes se originan fuera de la corteza terrestre por lo que se les designa como agentes exógenos. Los agentes geomórficos remueven materiales de una parte de la corteza terrestre y los trasladan a otra. A los agentes geomórficos antes señalados debe añadirse la acción de los seres vivos: los animales en general y el hombre en particular. Hay otro tipo de agentes geomórficos que se origina en el interior de la corteza terrestre: son endógenos. THORNBURY señala que no hay una nomenclatura única para designar los procesos geomórficos. Por ejemplo,



podría preguntarse si el intemperismo es parte de la erosión o no. Los geomorfólogos usan la expresión inglesa "gradation" para designar "todos los procesos que tienden a llevar a un mismo nivel a todos los puntos de la litósfera". "Gradation", que traducimos como gradación, es un fenómeno general que tiene dos categorías: degradación y agradación. La gradación es la tendencia a la igualación de niveles. La degradación (disminución de niveles, erosión, socavación) incluye básicamente tres procesos: intemperismo, pérdidas violentas de suelo y erosión en general. El intemperismo consiste en la descomposición, en la desintegración, de las rocas en el lugar en el que se hallan. Una forma de degradación es la pérdida violenta de suelos como consecuencia de deslizamientos, avalanchas y huaicos. En el Perú la degradación violenta es importante y frecuente. Resulta ser un concepto indispensable para comprender, por ejemplo, la gran variabilidad temporal del transporte sólido fluvial. La agradación es el proceso contrario. Consiste en la sedimentación, en el aumento de niveles, en la deposición de materiales sólidos. Desde el punto de vista del estudio de la Hidráulica Fluvial nos interesan mucho los procesos de erosión de la corteza terrestre, pues en el manejo de un río el transporte sólido es muy importante y éste sólo puede comprenderse y controlarse en función de la erosión de la cuenca. (ROCHA, A. 1998)

### **Erosión.**

El fenómeno de la erosión. En términos generales se denomina erosión, socavación o degradación a la remoción que efectúa el flujo de agua de las partículas que constituyen el cauce, esto genera una profundización o expansión del lecho. (ROCHA, A. 1998)

### **Origen de la erosión de los cauces fluviales.**

Hay varias circunstancias típicas en las que se presenta alguna forma de erosión. Entre ellas señalamos las siguientes:

a). Aumento de caudal: Cuando ocurre una avenida, o simplemente, un aumento de caudal, también aumentan la velocidad media de la corriente, la fuerza tractiva y la capacidad de transporte. Es esta una forma de originarse la erosión y que puede conducir a un acorazamiento del lecho, a una erosión generalizada, a erosiones locales en determinados puntos, etc. Cuando el aumento de caudal se combina con otras circunstancias, los fenómenos de erosión pueden ser muy grandes. (ROCHA, A. 1998)

b) Interrupción del transporte sólido: Un río tiene una tendencia hacia el estado de equilibrio. Si por alguna circunstancia se interrumpe, o se disminuye, el aporte sólido el río conserva su capacidad de transporte, pero como posee menos sólidos obtiene éstos del lecho fluvial. La consecuencia es la erosión generalizada y la consiguiente profundización del cauce. (ROCHA, A. 1998)

c) Estrechamiento del cauce: Muchas veces, por diversas circunstancias, se presenta el estrechamiento del ancho de un tramo fluvial. Esto ocurre cuando se ha ejecutado un encauzamiento del río en el que se ha exagerado la disminución del ancho del río. Otras 4 veces los estrechamientos excesivos tienen que ver con la construcción de puentes. Cualquiera que sea el origen del estrechamiento siempre determina una disminución de la sección transversal, lo que implica aumento de la velocidad y de la capacidad de transporte de la corriente. El resultado es la profundización del cauce. (ROCHA, A. 1998)

d) Flujo en curva: En la margen exterior de una curva fluvial hay tendencia a la erosión. Por el contrario, en la curva interior hay tendencia a la sedimentación. Estos son fenómenos propios de la dinámica fluvial. En algunos casos hay que contrarrestar sus efectos y en otros usarlos. La margen exterior debe ser protegida contra la erosión. Podría recurrirse a defensas continuas o a un sistema de espigones. (ROCHA, A. 1998)

e) Confluencia fluvial: Aguas abajo de la sección en la que un río recibe a un afluente más o menos libre de sedimentos hay tendencia a que se produzca erosión. El mismo fenómeno ocurre aguas abajo de la confluencia de los brazos de un río entrelazado. (Rocha, 1998). j) Pilares y estribos. Cuando en un río hay elementos extraños, como un pilar de puente o un estribo, aparece la tendencia a la erosión local por formación de vórtices. (ROCHA, A. 1998)

### **La Erosión en el Perú.**

En el Perú es notable la destrucción de la cobertura vegetal en muchas cuencas. Esto agudiza los estiajes y avenidas e incrementa las cantidades de sólidos transportadas por los ríos. El río Zaña, por ejemplo, tiene una cuenca con amplia cobertura vegetal. En ella la erosión específica es muy pequeña, del orden de 60 toneladas por año y por kilómetro cuadrado, es decir, menos del 10% de la que se presenta en su cuenca vecina, Jequetepeque. Como ejemplo de mala conservación de cuencas, citamos a continuación

unos párrafos de una publicación ecuatoriana sobre los ríos Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira. (ROCHA, A. 1998)

## **2.2 Hidrología Fluvial.**

### **Ríos.**

Un río es un sistema dinámico donde se producen cambios y modificaciones a mediano y largo plazo como consecuencia de acciones externas debido a que sus contornos no son fijos (cambios en planta y en superficie). (SUAREZ, J. 2001)

Se debe hacer énfasis en la geomorfología del sitio en estudio ya que al interpretar las diversas formas que se presentan en la superficie terrestre se puede llegar a establecer la génesis y características generales de los suelos. Conocimiento fundamental para estimar cual puede ser su más probable comportamiento frente a procesos de erosión y por tanto, determinar hasta donde podrían llegar las orillas de los ríos. De esta manera, se puede definir cuál es la zona de divagación más reciente y hasta donde se extiende la llanura aluvial. (SUAREZ, J. 2001)

### **Morfología de ríos.**

La morfología de ríos estudia la estructura y forma de los ríos, incluyendo la configuración del cauce en planta, la geometría de las secciones transversales, la forma del fondo y las características del perfil. En esencia, las teorías y planteamientos analíticos para ríos se han desarrollado para casos idealizados. Los datos empleados, ya sean de campo o de laboratorio, corresponden a canales rectos con secciones transversales casi invariantes, en los cuales se supone que el gasto es casi constante y se mantiene por grandes periodos. Efectivamente, los ríos reales muestran muchas de las características idealizadas en los canales estables; sin embargo, existen varias diferencias entre ambos, que es necesario conocer para aplicación satisfactoria de dichas teorías. Por ello, en este capítulo se presenta un estudio general de aquellos aspectos que están relacionados con la forma y características de un río a lo largo de su recorrido. (SUAREZ, J. 2001)

### **Clasificación de los ríos.**

Para facilitar el estudio de la morfología de ríos, se ha clasificado a los mismo desde diferentes puntos de vista, esto permite ubicar fácilmente cualquier cauce para determinar

sus principales características. Sin embargo, conviene tener siempre en cuenta que en la naturaleza se puede presentar cualquier condición intermedia entre las definidas en una clasificación. (SUAREZ, J. 2001)

**Según su edad:**

- **Por condición de estabilidad.**

En los ríos se distinguen tres condiciones de estabilidad: estática, dinámica y morfológica.

- Estática.
- Dinámica.
- Inestabilidad dinámica.
- Morfológica.

- **Por tramos.**

Una clasificación por tramos a lo largo del recorrido de un río fue propuesta por Lojtin y es la siguiente:

Fr: número de Froude expresado como:  $Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot d}}$

Tabla 1. Características de los ríos para la clasificación según su edad.

<b>TIPO DE CAUCE</b>	<b>D/S<sub>0</sub></b>	<b>Fr</b>
Alta montaña	> 10	> 1
Montaña	> 7	0.7 a 1
Faldas de montaña	> 6	0.045 a 0.7
Intermedio	> 5	0.2 a 0.45
Planicie (cauce arenoso)		
a. Río caudaloso	> 2	0.14 a 0.44
b. Río poco caudaloso	> 1	0.44 a 0.55

Fuente: SUAREZ, J. 2001

Donde

D: diámetro medio de las partículas del fondo en m.

S<sub>0</sub>: pendiente hidráulica, en m/m.

U: velocidad media.

d: tirante.

### **Según los grados de libertad:**

- Un grado de libertad: cuando al variar el gasto en un cauce o canal sólo varía el tirante, se dice que existe un grado de libertad. Esto ocurre si el fondo, las paredes y la pendiente no cambian al variar el gasto; por ejemplo, un canal revestido. Cuando se tiene un grado de libertad no existe transporte de sedimentos. (VIDE, J. 1997)
- Dos grados de libertad: cuando sólo pueden variar el tirante y la pendiente, se dice que el cauce tiene dos grados de libertad. Esto puede ocurrir cuando las márgenes son muy resistentes, pero en el fondo no. (VIDE, J. 1997)
- Tres grados de libertad: si además del tirante y la pendiente, también pueden alterarse las márgenes y ajustarse al ancho, se dice que el cauce tiene tres grados de libertad. (VIDE, J. 1997)

### **Por el material de las márgenes y el fondo:**

- Cohesivo.
- No cohesivos.
- Acorazados.
- Bien graduados o con granulometría extendida.
- Mal graduados o de granulometría uniforme.

### **Por geometría:**

- Rectos.
- Sinuosos.
- Con meandros.
- Trenzados.

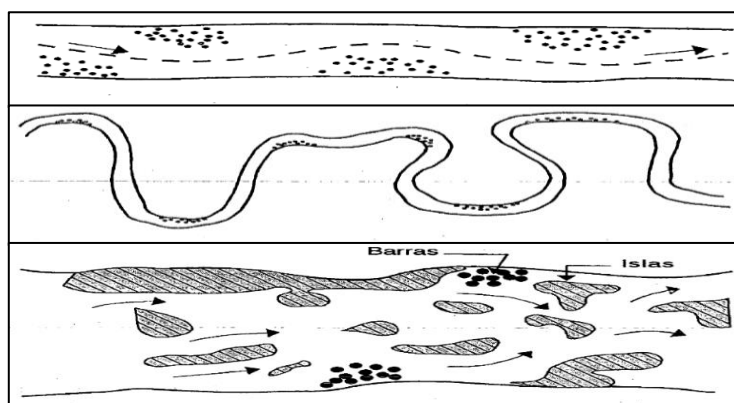


Figura 1. Clasificación de ríos, según su geometría (recto, con meandros y trenzado)

Fuente: VIDE, J. 1997

### **Velocidades en ríos.**

El punto de máxima velocidad en la sección transversal de un río es normalmente de un 25 a un 30% más grande que la velocidad promedio. En cauces arenosos de planicie, la velocidad media máxima corresponde a la velocidad promedio durante una avenida y varía de 2 a 3 m/s. La velocidad media mínima corresponde a la velocidad promedio del gasto base y varía de cero a 0.6 – 1.0 m/s (ROCHA, A. 1998).

### **Pendientes en ríos.**

Las pendientes varían principalmente con el gasto y las características fisiográficas. Disminuye a lo largo del recorrido del río y como esto se asocia con el aumento del gasto, la pendiente disminuirá al aumentar el caudal del río (ROCHA, A. 1998).

### **Transporte De Sedimentos.**

Para entender este concepto tomaremos un ejemplo aplicativo: cuando el fondo de un canal es rígido, de concreto, por ejemplo, la sección transversal está definida. La relación entre las diferentes variables se establece mediante una ecuación como la de MANNING o CHEZY. El gasto es función de la pendiente, rugosidad del contorno y tamaño de la sección transversal. En cambio, en un fondo móvil el lecho está sometido a procesos de erosión y sedimentación. Esto determina no solo una configuración variable del fondo, sino también un cambio en la resistencia al escurrimiento, expresada en términos de rugosidad. A su vez, los cambios morfológicos de la sección transversal determinan variaciones en el transporte sólido, con lo que el problema se complica más (ROCHA, 1998).

### **Coefficiente De Rugosidad De Manning.**

La tabla presenta una lista de valores de  $n$  para canales de diferentes clases. Para cada tipo de canal se muestran los valores mínimo, normal y máximo de " $n$ ". Los valores normales para canales artificiales dados en la tabla se recomiendan sólo para canales con buen mantenimiento. Los números en negrillas son los valores a menudo recomendados para diseño. En el caso de que se espere un mantenimiento pobre en el futuro, los valores mostrados deben incrementarse de acuerdo con la situación esperada. Nótese en la tabla de valores es muy útil para una rápida selección del valor de  $n$  que debe utilizarse en un determinado problema. La tabla de valores se compiló a partir de información recolectada hasta la fecha en diferentes fuentes y datos no publicados (CHOW V. 1994).

Tabla 2. Valores de coeficientes de rugosidad de Manning.

Tipo de descripción	Mínimo	Normal	máximo
<b>A. Metal:</b>			
a) Superficie de acero, lisa:			
1. No pintada.	0.011	0.012	0.014
2. Pintada.	0.012	0.013	0.017
b) Corrugado	0.021	0.025	0.030
<b>B. No metal:</b>			
a) Cemento:			
1. Superficie lisa.	0.010	0.011	0.013
2. En mortero.	0.011	0.013	0.015
b) Madera:			
1. Cepillada, no tratada.	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada.	0.011	0.012	0.015
3. No cepillada	0.011	0.013	0.015
c) Concreto:			
1. Acabado con llana metálica.	0.011	0.013	0.015
2. Acabado con llana de madera.	0.013	0.015	0.016
3. Acabado con grava en el fondo.	0.015	0.017	0.020
4. Sin Acabado.	0.014	0.017	0.020
5. Gunitado, buena sección.	0.016	0.019	0.023
6. Gunitado, sección ondulada.	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada.	0.017	0.020	
8. Sobre roca de excavado irregular.	0.022	0.027	
d) Fondo de concreto acabado con llana, bordos de:			
1. Piedra acomodada sobre mortero.	0.015	0.017	0.020
2. Mampostería de piedra mal acomodada sobre mortero.	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra pequeña, cementada y revocada.	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra pequeña cementada.	0.020	0.025	0.030
5. Mampostería seca de piedra pequeña, o zampeada	0.020	0.030	0.035
e) Fondo de grava con taludes:			
1. Concreto colado en moldes.	0.017	0.020	0.025
2. Piedra mal acomodada en mortero.	0.020	0.023	0.026
3. Mampostería seca de piedra pequeña, o zampeado.	0.023	0.033	0.036
f) Ladrillo:			
1. Vitricota.	0.011	0.013	0.015
2. Con mortero de cemento.	0.012	0.015	0.018

Tipo de descripción	Mínimo	Normal	máximo
<b>g) Mampostería de piedra:</b>			
1. Pequeña, cementada.	0.017	0.025	0.030
2. Pequeña, seca.	0.023	0.032	0.035
<b>h) Piedra labrada.</b>	0.013	0.015	0.017
<b>i) Asfalto:</b>			
1. Liso.	0.013	0.013	
2. Rugoso.	0.016	0.016	
<b>j) Cubierta vegetal.</b>	0.030		0.500
<b>k) Suelo-Cemento.</b>	0.015	0.016	0.017
<b>C. Sin Revestir</b>			
<b>a) Tierra, recto y uniforme:</b>			
1. Limpio, recientemente terminado.	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de intemperizado.	0.018	0.022	0.025
3. Grava, sección unidorme y limpia.	0.022	0.025	0.030
4. Con poco pasto y poca hierba.	0.022	0.027	0.033
<b>b) Tierra, sinuoso, flujo con poca velocidad:</b>			
1. Sin vegetación.	0.023	0.025	0.030
2. Pasto, algo de hierba.	0.025	0.030	0.033
3. Hierba densa o planas acuáticas en canales profundos.	0.030	0.035	0.040
4. Fondo de tierra y mampostería en los bordos.	0.028	0.030	0.035
5. Fondo recoso y hierba en los bordos.	0.025	0.035	0.040
6. Fondo empedrado y bordos limpios.	0.030	0.040	0.050
<b>c) Excavado o dragado en línea recta:</b>			
1. Sin vegetación.	0.025	0.028	0.033
2. Pocos arbustos en los borodos.	0.035	0.050	0.060
<b>d) Cortado en roca:</b>			
1. Liso y uniforme.	0.025	0.035	0.040
2. Con salientes agudas e irregulares.	0.035	0.040	0.050
<b>e) Canales abandonados, hierbas y arbustos sin cortar:</b>			
1. Hierba densa, tan alta como el nivel del agua.	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, arbustos en las orillas.	0.040	0.050	0.080
3. Igual al anterior, con máximo nivel del agua.	0.045	0.070	0.110
4. Arbustos densos, altos niveles del agua.	0.080	0.100	0.014

Fuente: CHOW V. 1994



### Estimación Del Coeficiente De Manning:

El profesor Ven Te Chow en su obra clásica “Hidráulica en Canales Abiertos” estudia tres métodos de evaluar el coeficiente de Manning.

- a) Consultar una tabla de valores típicos de n para varios tipos de canales.
- b) Examinar y comparar el canal en estudio con la apariencia de ciertos canales típicos cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos.
- c) Considerar el valor de n como el resultado de la acción combinada de una serie de factores que lo afectan. Esta forma es llamada como el método de Cowan.

### Método De Cowan:

Reconociendo varios factores primarios que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan desarrollo un procedimiento para la evaluación de n. Según este procedimiento el valor de n puede ser calculado por la ecuación: (CHOW V. 1994)

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5$$

n<sub>0</sub> - Valor básico de n para un canal recto y uniforme de un material dado.

n<sub>1</sub> - Se determina para corregir el efecto por irregularidades de la superficie.

n<sub>2</sub> - Se considera las variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal del canal.

n<sub>3</sub> - Se considera el efecto de obstrucción u obstáculos al flujo.

n<sub>4</sub> - Depende de la vegetación.

n<sub>5</sub> - Depende de la sinuosidad longitudinal del canal.

Tabla 3. Valores de rugosidad de Cowan

Condición del canal		Valores	
Material del lecho	Tierra	n <sub>0</sub>	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava Gruesa		0.038
Grado de irregularidad	Suave	n <sub>1</sub>	0.000
	Menor		0.005

	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0.000
	Ocasionalmente		0.005
	Frecuentemente		0.010 - 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005 - 0.010
	Media		0.010 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.050
	Muy Alta		0.050 - 0.100
Grados de los efectos por meandro	Menor	m5	1.00
	Apreciable		1.15
	Severo		1.30

Fuente: CHOW V. 1994

### **Energía del Flujo en Canales Abiertos Chow:**

Energía del flujo en canales abiertos. En hidráulica elemental se sabe que la energía total del agua en pies-libra por libra de cualquier línea de corriente que pasa a través de una sección de canal puede expresarse como la altura total en pies de agua, que es igual a la suma de la elevación por encima del nivel de referencia, la altura de presión y la altura de velocidad. (CHOW V. 1994)

### **Principio de Energía:**

Energía total = Energía de posición + Energía de presión + Energía de velocidad.

La energía total de cualquier línea de corriente que pasa a través de una sección se define como la suma de las energías de posición, más la de presión y más la de velocidad, es decir:

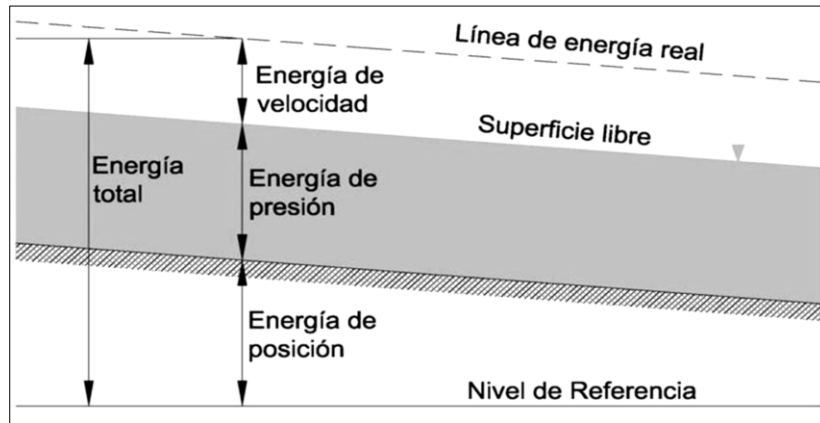


Figura 2. Energía total en una sección de un canal.

Fuente: CHOW V. 1994

Si en un canal que conduce agua con un tirante “d” consideramos una partícula cualquiera “M” animada de la velocidad media “v” y queremos expresar sus tres formas de energía según la ecuación de Bernoulli, haciendo pasar el plano horizontal de referencia por el fondo del canal tenemos (fig. 2). (CHOW V. 1994)

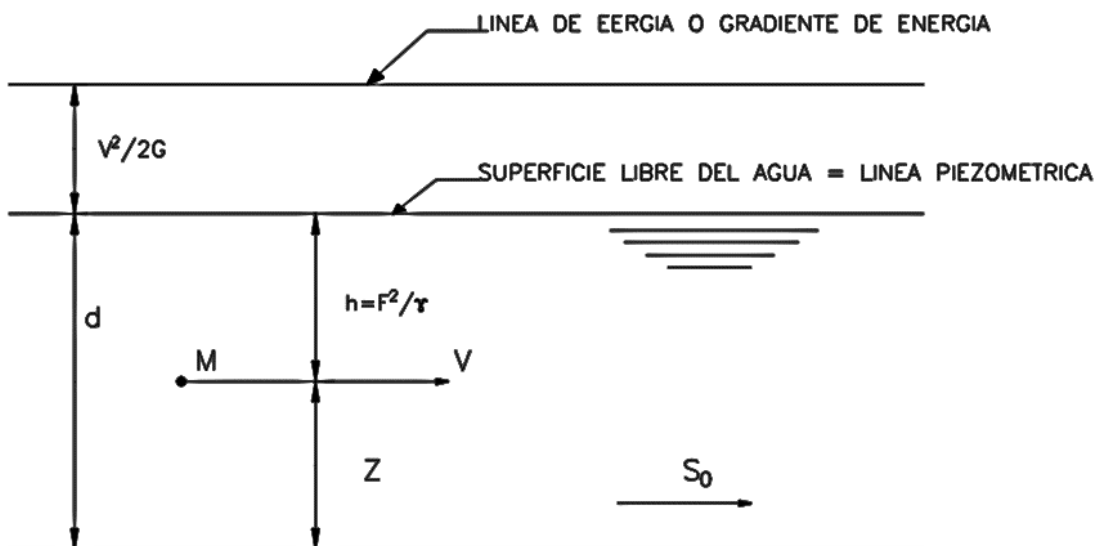


Figura 3. Energía total en una sección de un canal.

Fuente: CHOW V. 1994

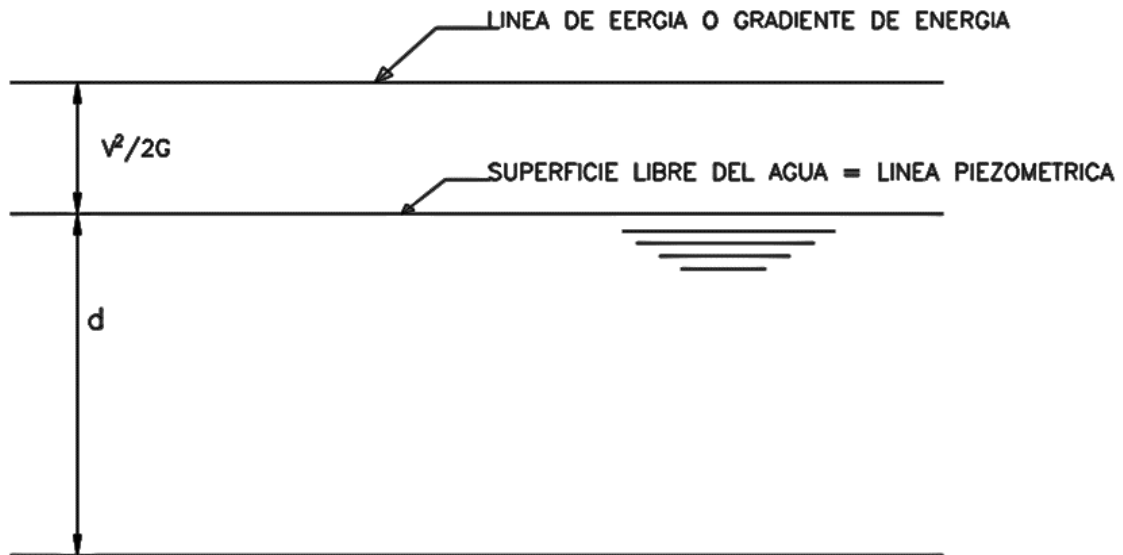


Figura 4. Energía total en una sección de un canal.

Fuente: CHOW V. 1994

Donde:

$$\frac{P}{\gamma} = d = \text{altura o carga de presión, en m.}$$

$$Z_0 = \text{altura o carga de posición, en m.}$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = \text{altura o carga de velocidad, en m.}$$

- La suma de  $Z + \frac{P}{\gamma} = E_p = d$  la Energía potencial llamada también mecánica o de presión se representa con el tirante (d) o profundidad del agua en el canal, en metro.
- La energía cinética (Ec), se representa por la carga de velocidad (hv) en el canal.
- Puede suceder que el agua circule con una velocidad V1, mucho mayor, y con un

tirante menor d1, pero en ambos casos la suma de  $d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$  energía es

la misma, entonces se dice que el contenido de la energía específica es la misma (fig. 4).

En la figura 5 podemos observar otra forma de la presencia de las tres energías existentes en el canal y que la línea piezométrica, lugar geométrico de los extremos de los segmentos

$(z + d)$ , coinciden con la superficie libre del agua y su pendiente se llama gradiente hidráulico o línea de energía. (CHOW, 1994)

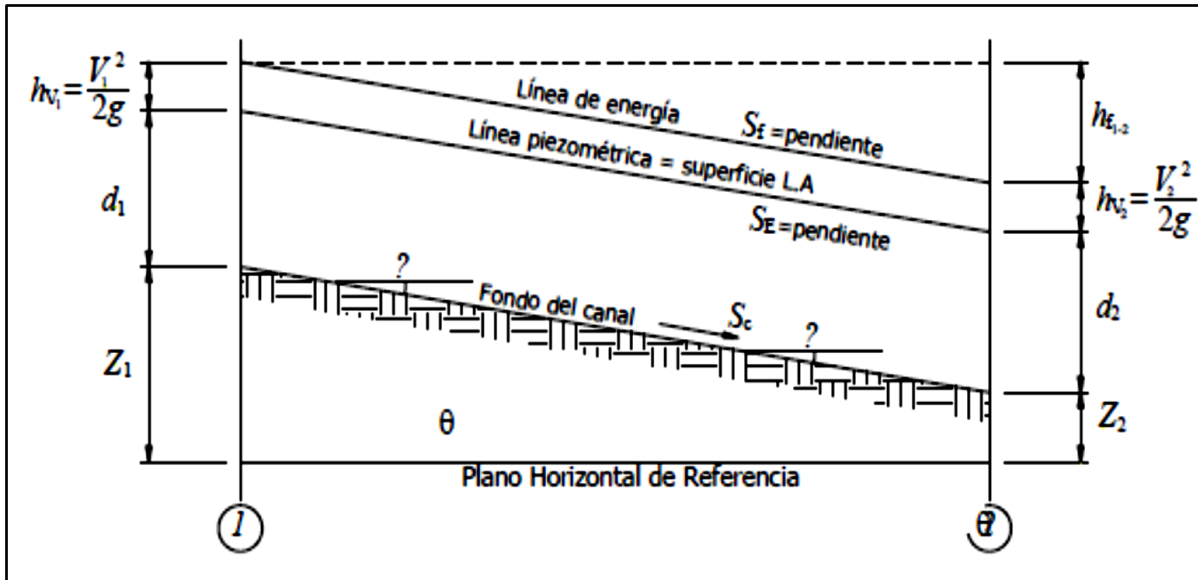


Figura 5. Energía total en una sección de un canal.

Fuente: CHOW V. 1994

En general, cada línea de corriente que pasa a través de una sección de canal tendrá una altura de velocidad diferente, debido a la distribución no uniforme de velocidades en flujos reales. Solo en un flujo paralelo ideal con distribución uniforme de velocidades la altura de velocidad puede ser idéntica para todos los puntos de la sección transversal. En el caso del flujo gradualmente variado, sin embargo, para propósitos prácticos, puede suponerse que las alturas de velocidad para todos los puntos de la sección del canal son iguales y, con el fin de tener en cuenta la distribución no uniforme de velocidades, puede utilizarse el coeficiente de energía para corregir este efecto. Luego la energía total en la sección es: (CHOW, 1994)

$$H_T = Z_1 + d_1 \cos \theta + \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots\dots(1)$$

Para canales con pendientes bajas  $\theta = 0$  luego, la energía total en la sección del canal es:

$$H_T = Z + d + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

- $Z_1$  = carga de posición o de elevación en el punto 1 por encima del plano horizontal de referencia  $d_1$  = altura o profundidad del agua en el punto 1 por debajo de la superficie del agua medida a lo largo de la sección del canal, en metros o pies, en este caso el  $\cos \theta$  es despreciable.
- $\frac{V_1^2}{2g}$  = carga o altura de velocidad del flujo en la línea de corriente que pasa en el punto 1, en metros o pies.
- La pendiente de la superficie libre del agua se representa por  $S_f$  y la pendiente del fondo del canal por  $S_0 = \sin \theta$ . En el flujo uniforme  $S_f = S_w = S_0$

**Energía Específica:**

La energía específica se define como la cantidad de energía por unidad de peso es decir por kilogramo de agua que fluye a través de la sección de canal, medida con respecto al fondo del canal. (CHOW V. 1994)

$$E = d + \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(3)$$

La energía específica es, pues la suma del tirante y la carga de velocidad. Como está referida al fondo del canal va a cambiar cada vez que éste ascienda o descienda, en pocas palabras la energía específica depende del tirante del agua. La ecuación (3) puede también expresarse en función del gasto  $Q$  y el área  $A$  de la sección transversal, que es función del tirante  $d$  ( $V=Q/A$ ), y sustituyendo el valor de la velocidad en la ecuación de la energía específica, se tiene:

$$E = d + \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g} = d + \frac{Q^2}{2gA^2} \dots\dots\dots(4)$$

### **2.3. Estructuras Hidráulicas.**

#### **Espigones:**

Son estructuras interpuestas a la corriente con un cierto ángulo de inclinación en dirección contraria al flujo. El propósito de estas estructuras consiste en alejar las líneas de corriente con alta velocidad de la orilla, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione; Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, área comúnmente denominada como campo de espigones, permitiendo así una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella, o bien, estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen. Estas estructuras se construyen muy a menudo usando diversos materiales, tales como: madera, piedra, grava, roca, acero, etc. (ROCHA, A. 1998).

#### **Funciones:**

Las funciones de los espigones dependen del objetivo que se busque, pero en líneas generales pueden ser las siguientes:

- a) Reducir la velocidad de la corriente cerca de la orilla.
- b) Desviar, es decir, alejar, la corriente de la orilla.
- c) Prevenir la erosión de las márgenes.
- d) Establecer y mantener un ancho previamente fijado para el río.
- e) Fijar las márgenes, es decir, estabilizar el cauce fluvial.
- f) Controlar la migración de meandros.
- g) Crear un efecto de curva en una obra de toma.
- h) Otras, como por ejemplo, las vinculadas a aspectos ecológicos.

#### **Formas de los espigones:**

La planta de los espigones puede tener formas muy diversas. Se presenta a continuación esquemáticamente algunas de ellas, a partir de Jaime Suárez Díaz:

- Rectos con cabeza redondeada: La cabeza o punta del espigón es más robusta y tiene algún sistema de protección contra la socavación que tiende a desarrollarse en sus alrededores. Tienen facilidad constructiva. Son más económicos.

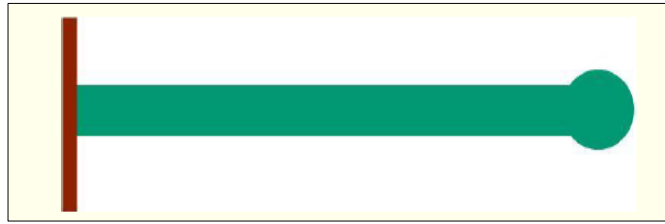


Figura 6. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998

- Rectos, de sección transversal variable con cabeza redondeada.

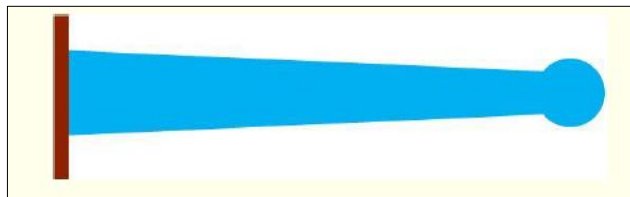


Figura 7. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998

- En forma de L (también llamados de Martillo), la que actúa como protección contra la socavación. Tienen mayor facilidad para el depósito de sólidos entre los espigones. Son más costosos.

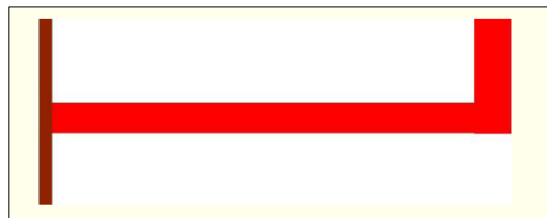


Figura 8. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998

- En forma de T, que generalmente es a 90° con respecto al espigón.

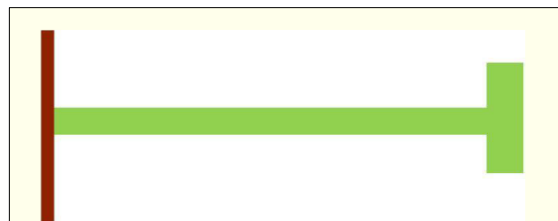


Figura 9. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998



- De forma mixta.

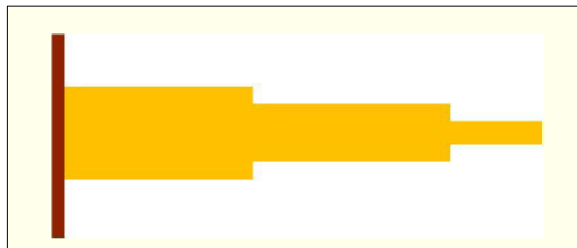


Figura 10. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998

- De doble ángulo.

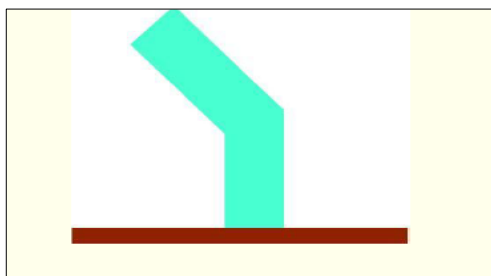


Figura 11. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998

- Curvados, tipo “Hockey”

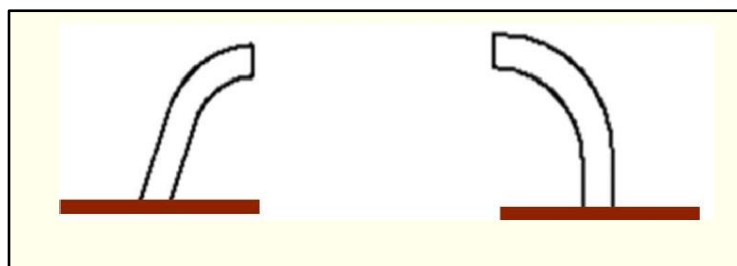


Figura 12. Espigo.

Fuente: ROCHA, A. 1998

### Sus ventajas y desventajas

Entre las ventajas generales que ofrece un sistema de defensas con espigones, comparado con una defensa continua, están las siguientes:

Facilidad de construcción, bajo costo, facilidad de reparación luego de una crecida, posibilidad de usar diversidad de materiales, especialmente los de la zona, posibilidad de

introducir mejoras y perfeccionar el diseño, uso de la experiencia y la mano de obra locales, construcción por etapas, y no requerimiento de mano de obra altamente especializada. Además, el sistema de espigones tiene la ventaja de ser flexible y, en general, es más económico que una defensa continua (SUAREZ, J. 2001).

La ventaja de una defensa continua es que puede considerarse una estructura definitiva, en cuanto algún sistema de defensas fluviales pueda considerarse definitivo. En algunos proyectos un sistema de protección con espigones tiene frente a una defensa continua la desventaja de disminuir el área hidráulica del cauce, lo que, sin embargo, en otros casos es una ventaja. Una desventaja manifiesta de los espigones es que, al igual que los pilares y estribos de puentes, constituyen elementos extraños dentro de la corriente y, por lo tanto, causan diversas deformaciones en el lecho fluvial (erosión y sedimentación). Una de sus desventajas más importantes se refiere a la socavación (erosión local) que se produce en los alrededores de la punta de cada espigón como consecuencia de los vórtices y corrientes secundarias. Todo esto debe ser tenido en cuenta en el diseño (SUAREZ, 2001).

### **Gaviones**

Una estructura de gaviones es una combinación de mallas de cable y rocas de relleno. De este tipo de estructuras existen diversas patentes; es decir, cada fabricante y proveedor puede manejar definiciones y criterios particulares para sus productos. Para la presente monografía se utilizarán recomendaciones y definiciones de fabricantes, las cuales coinciden y son tomadas en cuenta para proyectos de ámbito nacional (NEERMAL, 2012).

### **Características técnicas del muro de contención con gaviones**

La construcción de un muro de gaviones es extremadamente simple, sin embargo, la estructura final tendrá características técnicas muy importantes. De hecho, podemos considerar las contenciones en gaviones como estructuras: Monolíticas: Todos los elementos que forman las estructuras en gaviones son unidos entre sí a través de amarres ejecutados a lo largo de todas las aristas en contacto. El resultado es un bloque homogéneo que tiene las mismas características de resistencia en cualquier punto de la estructura (CIDELSA, 2017).

Resistentes: Es equivocada la impresión de que una estructura formada por redes metálicas no tiene resistencia estructural o larga vida útil. Las redes utilizadas son hechas en malla hexagonal de doble torsión. Este tipo de malla proporciona distribución más uniforme de los esfuerzos a los que son sometidas y tienen resistencia nominal a la tracción. La doble torsión impide el destejido de la red, en caso ocurra la rotura de alguno de los alambres que la componen (CIDELSA, 2017).

**Durables:**

Para garantizar mayor durabilidad, los alambres reciben revestimientos especiales para evitar su corrosión. Estos revestimientos, aplicados a los alambres que forman las mallas de los gaviones, garantizan que el deterioro de la estructura será extremadamente lento y con efectos menos graves de lo que se registra en cualquier otro tipo de solución, aun cuando sean usadas en ambientes agresivos, caracterizándose como obras definitivas (CIDELSA .2017).

**Flexibles:**

Permiten la adaptación de las estructuras a las deformaciones y movimientos del terreno, sin perder su estabilidad y eficiencia. Esa característica también permite, en la mayoría de los casos, que la estructura se deforme mucho antes del colapso permitiendo la detección anticipada del problema y dando oportunidad de realizar intervenciones de recuperación, minimizando gastos y evitando accidentes de proporciones trágicas (CIDELSA .2017).

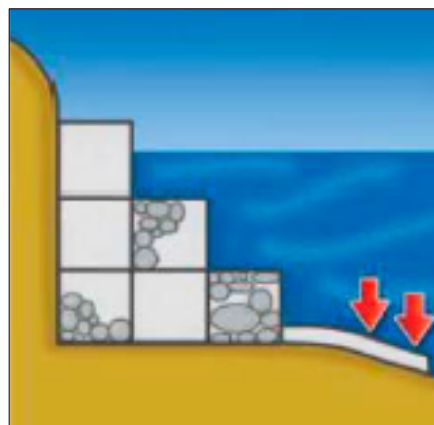


Figura 13. Gavión.

Fuente: CIDELSA .2017

## Permeables

Un eficiente sistema drenante es indispensable para una buena performance y vida útil de las estructuras de contención. Las contenciones en gaviones, por las características intrínsecas de los materiales que las componen, son totalmente permeables y, por lo tanto, autodrenantes, aliviando por completo el empuje hidrostático sobre la estructura. Es necesario comentar que los problemas con drenaje son la causa más común de inestabilidad de estructuras de contención (CIDELSA .2017).

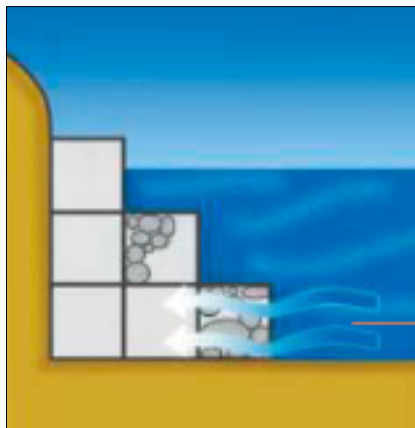


Figura 14. Gavión.

Fuente: CIDELSA .2017

Los muros de gaviones se usan generalmente en las carreteras, ferrocarriles, defensas ribereñas, así como en otras propiedades públicas y privadas con los fines siguientes:

- Resolver problemas de derecho limitado de vía, confinando los taludes en los linderos prácticos.
- Efectuar proyectos de separación de niveles y ampliación de caminos.
- Estabilizar taludes muy inclinados en corte o en terraplén.
- Reparar desperfectos en el lecho del camino.
- Evitar erosión de márgenes.
- Realizar aleros para estribos y muros de cabecera.
- Construir plataformas para carga.
- Conformar áreas de estacionamiento.
- Crear muros de protección y barricadas.

## **Bolsacretos**

Son formaletas flexibles y permeables elaboradas a partir de cintas planas de polipropileno, que forman un textil de excelentes características, los Bolsacretos contienen la masa de mortero o de concreto conformando un enrocado de gran tamaño, adecuado para obras de protección de riberas, estabilización de taludes construcción de estructuras como espolones, rompeolas, diques, presas, taludes, pilares, sillares, muros y realces, los bolsacretos poseen la permeabilidad necesaria, de manera que bajo presión de inyección, el agua en exceso pasa libremente hacia el exterior produciendo un rápido fraguado y mejorando la resistencia y calidad del concreto. Otra ventaja es su facilidad en el transporte y el almacenamiento, ya que los bolsacretos son llevados vacíos hasta el sitio de la obra, donde posteriormente son llenados y colocados. Finalizada la inyección, el bolsacreto adopta la forma del medio circundante y de la superficie sobre la cual se apoya, son resistentes al choque con el agua en estructuras hidráulicas, reemplazando los sistemas tradicionales de protección con gaviones, enrocados naturales y muros de contención en concreto. Son utilizados en: la protección de orillas en riberas de ríos, en el control de erosión en estructuras hidráulicas, en las pilas de los puentes y las vías, en la conformación de diques, espolones y presas, y en el control de erosión en crecientes hidráulicas (SUAREZ, J. 2001).



Figura 15. Bolsacreto.

Fuente: SUAREZ, J. 2001

## **2.4. Modelamiento Hidráulico.**

### **Generalidades.**

Con frecuencia, el ingeniero debe dar soluciones factibles, en base a ciertos requerimientos, a problemas ingenieriles. Debe decidir a priori el enfoque, técnicas o métodos más convenientes para cada caso en particular. Algunas veces, estas soluciones pueden ser sencillas, debido a que están bien definidas tanto la parte técnica como la parte económica, por lo que sólo basta aplicarlas. En otros casos, los problemas son complejos o desconocidos como es el de conocer el comportamiento hidráulico del flujo de agua al pasar por una presa derivadora y al ser captada por una toma. En estos casos, se evaluará que tipo de investigación se va a adoptar. Dicha investigación se iniciará conceptualizando y esquematizando el problema, después se seleccionará la técnica física o matemática para estudiar el problema. A este proceso de abstracción se le conoce como modelación. En definitiva, la modelación implica simular un fenómeno real, conceptualizándolo y simplificándolo en mayor o menor medida, para luego, por último describirlo y cuantificarlo. (ROCHA, A. 1998)

### **Modelación Hidráulica.**

La modelación se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos antiguos, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se llevaba a cabo habitualmente a escala real ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas construidas sobre el terreno. Es durante el último medio siglo, cuando se han desarrollado métodos por los cuales, como resultado de experimentos realizados en modelos a escala reducida, es posible predecir la conducta de una estructura o prototipo. El sistema semejante reducido o simplificado es lo que llamamos modelo, frente a la realidad que llamamos prototipo. Los principios en que se basa este procedimiento incluyen las teorías de similitud hidráulica. El análisis de las relaciones básicas de las diversas cantidades físicas incluidas en el movimiento y la acción dinámica del fluido denominada análisis dimensional. (ROCHA, A. 1998)

En la actualidad, se diseñan y construyen pocas o ninguna estructura hidráulica importante, sin estudios preliminares de modelos, más o menos extensos. (ROCHA, A. 1998)

### **Clasificación General de los Modelos Hidráulicos.**

- **Modelo físico.**

Es la simulación física de un fenómeno hidráulico, que ocurre en relación con una obra de ingeniería, en un sistema semejante simplificado que permite observarlo y controlarlo con facilidad, además confirmar la validez del diseño de la obra, optimizarla o tomar nota de los efectos colaterales, que deberán ser considerados durante la operación de la misma. Según las características propias de los modelos se pueden clasificar en:

- **Clasificación respecto de la semejanza geométrica con el prototipo:**

Modelos geoméricamente semejantes: son aquellos en los que se conserva la semejanza de todas las variables geométricas. Existe un único factor de reducción o amplificación, llamado escala, de todas las magnitudes geométricas y las que se derivan de ellas, además de la igualdad de ángulos correspondientes entre el modelo y el prototipo. Dentro de estos tenemos: modelos de desarenadores, desgravadores, bocatomas, canales. etc. – Modelos geoméricamente distorsionados: se conserva la semejanza con el prototipo, pero los factores a usar de reducción o ampliación son distintos para diferentes dimensiones del mismo. Es frecuente que las dimensiones horizontales tengan una escala o factor y las dimensiones verticales, otras. El uso de distorsiones resulta, muchas veces, necesario cuando el factor único produce una reducción demasiado grande en las dimensiones verticales, lo cual originaría efectos significativos en fuerzas que en el modelo son despreciables o inexistentes en el prototipo. Este tipo de modelos es usual en estructuras marítimas. (ROCHA, A. 1998)

- **Clasificación respecto de la movilidad y deformabilidad del contorno:**

Modelos de contorno fijo: hay casos en que la deformabilidad del contorno no es relevante al fenómeno estricto, por tanto, puede representarse simplificada en el modelo como si fuera fijo o indeformable. Los modelos de este tipo serían, por ejemplo, sistemas de presión, canales revestidos o cursos naturales donde el fondo no experimente muchos cambios. – Modelos de contorno móvil: existen situaciones en que el modelo debe representar el contorno móvil en una forma fiel y confiable, ya que los fenómenos que ocurren, caso del escurrimiento vienen determinados por la movilidad y deformabilidad de la sección. Estos casos son frecuentes sobretodo en obras hidráulicas y de mecánica fluvial. El modelo puede tener sólo lecho móvil y las riberas o bordes fijos, o bien tener el perímetro móvil o lecho móvil por zonas.

### **Modelos Analógicos.**

Es la reproducción de un fenómeno en estudio de un prototipo en un sistema físico diferente al original (modelo), pero que aprovecha la similitud de las leyes matemáticas que gobiernan el fenómeno en ambos sistemas. Su uso no es muy frecuente en la actualidad. Es común que uno de los dos fenómenos sea de menor dificultad, por lo que éste se emplea para resolver el otro. Lo anterior ofrece una posibilidad de resolver problemas hidráulicos basándose en mediciones hechas sobre un fenómeno análogo, siendo los más comunes: Analogía entre un flujo a través de medios permeables y flujo laminar en capas delgadas. Analogía entre flujo laminar y flujo turbulento. Analogía entre un flujo a través de medios permeables y la deformación de una placa elástica bajo carga. Analogía eléctrica y otros fenómenos físicos (como hidráulicos, mecánicos, etc).

### **Modelos matemáticos.**

Son aquellos en la que se hace uso de las ecuaciones o expresiones matemáticas que definen de una manera simplificada el fenómeno en estudio que ocurre en el prototipo.

Son tres los modelos matemáticos:

- Modelos determinísticos: Los procesos físicos involucrados se expresan a través de relaciones funcionales determinísticas en los que no se considera la probabilidad de ocurrencia del fenómeno.



- Modelos estocásticos: Los procesos físicos se representan haciendo uso de variables aleatorias, probabilísticas que involucran el fenómeno en estudio.
- Modelos de simulación numérica: son modelos en los que se emplea, principalmente, ecuaciones diferenciales y condiciones iniciales de borde, que son resueltos utilizando técnicas de análisis numérico, tales como métodos de diferencias finitas y elementos finitos. (ROCHA, A. 1998)

Los métodos de diferencias finitas son capaces de simular algunos procesos que son imposibles de resolver con el simple cálculo. Ambos métodos resuelven las ecuaciones que tienen dominio continuo mediante la solución en un número finito de puntos discretos en dicho dominio, llamados nodos. Cuando los valores buscados (tirante, velocidad, etc.) en dichos puntos discretos son encontrados, la solución en cualquier otro punto puede ser aproximada mediante métodos de interpolación. Estos modelos numéricos proporcionan mucho más detalle y precisión que los métodos analíticos convencionales, siendo capaces de manejar condiciones de borde e iniciales complejas, para los cuales no existen en la mayoría de los casos soluciones analíticas. El método de elementos finitos discretiza el área de estudio mediante una malla conformada por pequeños elementos que tienen formas triangulares o cuadrangulares. Los vértices de estos elementos representan los nodos de la malla en los cuales se busca encontrar el valor de la variable incógnita, ya sea el nivel de agua o velocidad. Estos elementos locales son ensamblados mediante los procedimientos de álgebra lineal en matrices globales, en los cuales el vector solución representa las soluciones nodales. Este método es esencialmente útil y versátil para acomodar geometrías complejas, permitiendo acomodar el tamaño y forma de los elementos a las necesidades de modelación. (ROCHA, A. 1998)

Algunas diferencias entre los modelos físicos y los modelos matemáticos vienen dadas principalmente por las limitaciones a la que se ven sometidas durante su ejecución, en las tablas siguientes se comparan las limitaciones existentes entre uno y otro tipo de modelo. (ROCHA, A. 1998)

Tabla 4.- Principales limitaciones en los modelos físicos y matemáticos.

Modelos físicos	Modelos matemáticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tamaño del modelo (espacio en el laboratorio).</li> <li>- Caudal de bombeo.</li> <li>- Carga hidráulica (capacidad de bombeo).</li> <li>- Leyes de similitud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de almacenamiento en la memoria del computador.</li> <li>- Velocidad de cálculo.</li> <li>- Conjunto incompleto de ecuaciones.</li> <li>- Hipótesis de turbulencias.</li> </ul>

Fuente: ROCHA, A. 1998.

Tabla 5.- Limitaciones prácticas en los modelos físicos y matemáticos

Modelos físicos	Modelos matemáticos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escala mínima del modelo (tensión superficial, viscosidad, rugosidad).</li> <li>- Tamaño del modelo (límite superior)</li> <li>Método de medida y recolección de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En ecuación de simplificación:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exactitud de relaciones supuestas.</li> <li>- Disponibilidad de coeficientes.</li> </ul> </li> <li>- Resolución espacio-tiempo (límite inferior)</li> <li>- Estabilidad numérica,</li> </ul>

Fuente: ROCHA, A. 1998.

Cabe destacar que en ingeniería fluvial el avance de los modelos numéricos es muy considerable resultan ser sofisticados y baratos, de vida útil ilimitada, modificaciones fáciles y muchísimas variantes, son muy rápidos; pero su contraste y calibración exigen medidas de campo y laboratorio, que lo hace menos ventajoso respecto a los modelos físicos. Por lo general, los modelos físicos son deseables para investigar configuraciones locales del flujo; mientras que por lo general, los modelos numéricos son deseables para simular procesos de flujo a gran escala. (ROCHA, A. 1998)

### **Importancia y uso de modelos físicos en una investigación.**

Los modelos físicos se utilizan normalmente como una herramienta técnica de apoyo al diseño de estructuras hidráulicas y en general a la ingeniería hidráulica, cuando éstos involucran fenómenos complejos o desconocidos para los cuales no hay una teoría y solución aceptadas, como son los fenómenos de turbulencia y la dificultad que imponen los contornos reales tridimensionales caprichosos, tal es el caso de un río.

En estos modelos interesa observar y estudiar los fenómenos, principalmente, en relación con su incidencia en el diseño pudiendo a veces reunir suficiente información como

para formular criterios más generales de diseño, que pueden ser aplicables a sistemas similares, sin necesidad de recurrir, luego, a estudios en modelos. Pero es más común que los resultados del estudio en modelos físicos sean empleados en la práctica sólo para el sistema particular modelado. (ROCHA, A. 1998)

Existen diversas situaciones en las cuales es posible recurrir a modelos físicos como una forma de investigar, bajo condiciones relativamente simples, seguras y controlados ciertos tipos de fenómenos más básicos que sería muy difícil o costoso investigar directamente en el prototipo. Tales situaciones como problemas concretos de proyectos de obras e intervenciones fluviales, aunque puede ser algo costoso y necesita un tiempo de construcción y ensayo, suponen un ahorro mucho mayor gracias a las mejoras introducidas, a la corrección de defectos que hubieran obligado a obras futuras de reparación, al mejor conocimiento y a la mayor seguridad que se consigue. (ROCHA, A. 1998)

### **Análisis dimensional.**

El requisito de la homogeneidad dimensional impone condiciones sobre las cantidades implicadas en un fenómeno físico, y así provee valiosos indicios acerca de las relaciones que conectan entre sí sus magnitudes. La búsqueda correcta de estas relaciones se llama análisis dimensional.

Los resultados obtenidos en el análisis dependen de qué cantidades se consideran al principio que afectan al fenómeno que se está estudiando.

El análisis dimensional no proveerá por sí mismo una solución completa a un problema, pero la solución parcial que proporciona, indicará que cualquiera que sea la forma de una relación desconocida que conecta las magnitudes implicadas, ciertas características de ésta son ineludibles. Además la técnica puede guiar al experimentador de modo que pueda obtener la cantidad máxima de información a partir del menor número de experimentos. (ROCHA, A. 1998)

### **Modelación física reducida**

Básicamente este tipo de modelos debe de cumplir con condiciones de similitud geométrica, cinemática y dinámica, entre ambos sistemas (modelamiento IBER que es el objeto real y modelo físico a escala reducida que es la representación del modelamiento

IBER), las cuales se deben cumplir simultáneamente para garantizar la eficiencia del modelo y la correcta caracterización del modelamiento IBER. (ROCHA, A. 1998)

### Modelo con distorsión

Existen por lo menos dos escalas de líneas diferentes, una para longitudes horizontales (Ex) y otra para longitudes verticales (Ey) en esta la distorsión geométrica  $\Delta = Ex/Ey$  será siempre mayor que 1, esta distorsión implica otras distorsiones por ejemplo en las aceleraciones horizontales y verticales, esta distorsión se origina por la rugosidad, el flujo, razones de espacio y equipo de medida. (ROCHA, A. 1998)

### Similitud Geométrica

Por lo que la relación de todos homóloga (geoméricamente equivalentes) dimensiones de longitud son iguales y donde sólo similitud en forma está involucrada. (ROCHA, A. 1998)

El parámetro principal de semejanza geométrica es la relación de longitud

$$Lr = \frac{Lp}{Lm} \dots\dots\dots(5)$$

Donde: Lr: Relación de longitudes, que debe ser constante para todas las partes del modelo y modelamiento IBER.

Como consecuencia de semejanza geométrica, debe cumplirse:

$$Ar = Lr^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$Vr = Lr^3 \dots\dots\dots(7)$$

Donde: Ar: Relación de áreas.

Vr: Relación de volúmenes.

### Similitud Cinemática

Con lo cual, en los puntos geoméricamente homólogos en el modelo y el modelamiento IBER, velocidades y aceleraciones están en una constante proporción.

Para semejanza cinemática, la relación de velocidad,  $v_r$ , y la relación de aceleraciones,  $a_r$  debe ser constante en todos los puntos homólogos del modelo y del modelamiento IBER:

$$v_r = \frac{Lr}{Tr} \dots\dots\dots(8)$$

$$a_r = \frac{vr}{Tr} = \frac{Lr}{Tr^2} \dots\dots\dots(9)$$

En el que la relación de tiempo,  $Tr$ , es:

$$Tr = \frac{Tp}{Tm} = Lr^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(10)$$

### Semejanza Dinámica

Con lo cual, además de la similitud cinemática, los polígonos de fuerza son similares en los puntos geoméricamente equivalentes para modelo y modelamiento IBER.

La similitud dinámica consiste en la relación de fuerzas  $Fr$  que surgen en el modelado debido a una variedad de fenómenos físicos:

La segunda ley de Newton relaciona la fuerza de inercia de masa,  $M$ , y la aceleración,  $a$ , expresado en forma de relación: (ROCHA, A. 1998)

$$Fr = Mr.ar \dots\dots\dots(11)$$

La relación se puede escribir de la siguiente forma:

$$Fr = \rho r.Lr^2.vr^2 \dots\dots\dots(12)$$

### Modelamiento IBER

Cuando hablamos de simular el movimiento del agua, rápidamente acuden a nuestra mente pensamientos acerca de conocidos programas informáticos, algunos en una dimensión, otros más modernos en dos dimensiones. Unos de alto coste económico, otros gratuitos. Unos de alto coste computacional, otros de bajo coste computacional. (CEDEX, G. 2010)

A mayor precisión de resultados, con modelos en dos dimensiones, mayor tiempo de cálculo, mejores ordenadores, y habitualmente costes elevados que cada vez se hacen más difíciles de soportar para las empresas y organismos que han de llevar a cabo dichas simulaciones. La otra opción venía siendo en esos casos la simulación en una dimensión, perdiendo gran calidad en muchas ocasiones y distorsionando resultados. (CEDEX, G. 2010)

Conjugar un modelo en dos dimensiones con un escaso coste económico viene de la mano de IBER.

### **¿Qué es IBER?**

IBER es un modelo matemático bidimensional desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE)

### **¿Para qué sirve IBER?**

Con IBER se pueden realizar gran cantidad de modelos numéricos con aplicación a la hidráulica y morfología fluvial. El cálculo de flujo en ríos, definición de zonas inundables, evaluación de zonas de riesgo, y delimitación de vías de intenso desagüe, supuestos donde el flujo es bidireccional, son algunas de sus aplicaciones fundamentales. Se incluye entre sus posibilidades el transporte de sedimentos y transporte de fondo junto con el flujo de marea en estuarios. La simulación de paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos, se puede realizar también incluyendo el efecto del viento, y siendo posible modelizar la rotura de balsas y presas; problema en dos dimensiones que presenta habitualmente grandes dificultades de estabilidad. (CEDEX, G. 2010)



Figura 16. Desborde de Río.

Fuente: CEDEX, G. 2010

### **¿Qué ventajas tiene un modelo en dos dimensiones frente a un modelo en una dimensión?**

Un modelo bidimensional ofrece grandes ventajas respecto a los cálculos con modelos unidimensionales, ya sean en régimen variable o en régimen permanente, dando una mayor estabilidad y convergencia que los anteriores. Además de esto, los modelos bidimensionales son capaces de simular con mayor ajuste a la realidad todas aquellas situaciones en que el flujo no es exclusivamente unidireccional, ampliándose por tanto enormemente su campo de utilización. (CEDEX, G. 2010)

### **¿Cómo realiza IBER sus cálculos?**

IBER en su módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones del flujo en lámina libre para aguas poco profundas. Además de esto, tanto en el módulo hidrodinámico como en el de turbulencia y el de sedimentos, se resuelven las ecuaciones en forma integral por el método de volúmenes finitos en una malla no-estructurada, con todas las ventajas que ello conlleva. (CEDEX, G. 2010)

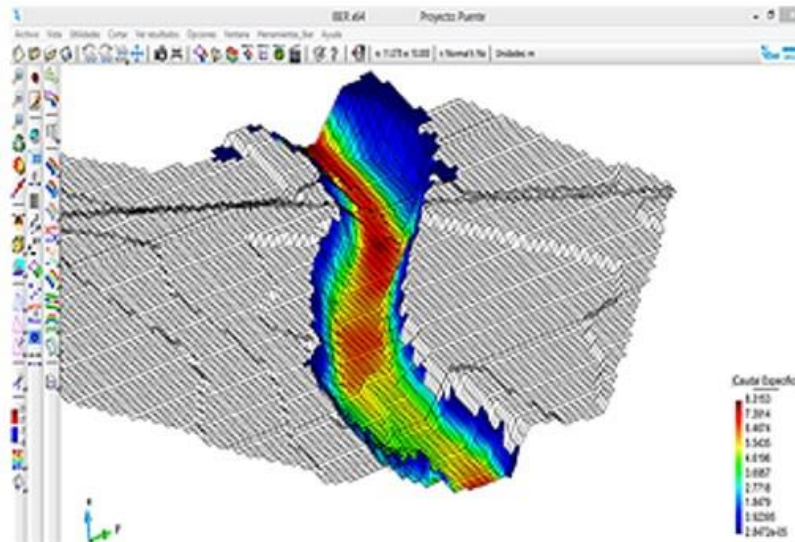


Figura 17. El modelo digital del terreno MDT.

Fuente: CEDEX, G. 2010

Con todas estas características IBER se convierte hoy en día en un potente software libre de modelización hidráulica, siendo además continuamente mejorado y actualizado, permitiendo realizar todos aquellos cálculos que en una dimensión no se realizan correctamente, y dando estabilidad numérica al régimen variable. Dada su continua actualización y adaptación a las necesidades actuales, promete ser la herramienta básica que utilizarán constantemente los profesionales del sector de la ingeniería hidráulica. (CEDEX, G. 2010)

## 2.4. Términos Básicos.

### Erosión

Proceso en el cual la acción de la fuerza del agua en movimiento que circula por el cauce de una corriente genera desprendimiento, transporte y depósitos de materiales del suelo o de la roca que conforman su perímetro mojado, esta erosión es generada tanto por el agua como por el viento.

### Socavación

La socavación comprende el aumento de la capacidad de arrastre y levantamiento de material del lecho del río, en virtud de su mayor velocidad. Está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la forma y localización de los elementos que la inducen.



### **Socavación en curvas**

cuando un río describe una curva existe una tendencia en las franjas líquidas situados más lejos del centro de curvatura a recorrer más aprisa que los situados más hacia el interior; como consecuencia, la capacidad de arrastre de sólidos de los primeros es mayor que la de los segundos y la profundidad de erosión es mayor en la parte del cauce exterior a la curva que en la interior.

### **Socavación local**

Se debe a una perturbación del lecho causada por vórtices originados por alguna singularidad del escurrimiento, tal como la presencia de un obstáculo, el cambio de dirección del flujo, la implantación de obras en un cauce aluvial y cambios bruscos de lecho fijo a lecho móvil.

### **Disipación de energía**

El agua en su recorrido acumula una gran fuerza energética, la cual es aprovechada para la realización de determinado trabajo útil, otras veces ésta energía debe ser atenuada o disminuida para evitar la erosión de sus medios de conducción o descarga final. A esos medios destinados a reducir la energía cinética del agua, se llama disipadores de energía.

### **Lecho mayor**

Unidad morfológica e hidrológica, que contiene al lecho menor y por la cual circulan las aguas altas del río de manera esporádica en desbordes sobre la unidad o vega de divagación.

### **Lecho menor**

Éste se conoce como el río propiamente dicho, por el cual circulan las aguas bajas y probablemente medias, ya que, en aguas altas después de desbordado, circulan por parte del lecho mayor. Se encuentran limitado en las orillas generalmente por taludes verticales que sufren procesos de socavación lateral.

## **Llanura aluvial**

Parte orográfica que contiene un cauce y que puede ser inundada ante una eventual crecida de las aguas de éste. Muchas veces la topografía de las llanuras costaneras de los ríos está en forma de conos, llamado cono de deyección, lo que significa que el lecho del río podría desplazarse con bastante facilidad, inundando zonas alejadas del lecho principal actual.

## **Frontera de fondo fijo**

Variación de niveles y las velocidades del flujo son parámetros determinantes, es el caso de proyectos de control de crecientes, de navegación y de irrigación.

## **Frontera de fondo móvil**

Se emplean para estudiar los problemas relacionados con la estabilización de cauces de ríos o canales. Se reducen las variables del flujo combinadas con las de sedimentación y la mecánica de transporte.

## **Rugosidad**

Cuando hay necesidad de establecer en el modelo la condición de similitud de fricción entre el fluido en movimiento y las fronteras sólidas de flujo, esta cantidad depende del tamaño, de la forma y la distribución de la propia rugosidad.

## **Thalweg**

Línea central de la corriente en la cual el cauce es más profundo y el flujo posee una mayor velocidad. Todas las corrientes naturales poseen un thalweg. El thalweg generalmente tiene una tendencia a divagar de un lado al otro del cauce y tratar de tomar la línea exterior del cauce en las curvas.

## **Gaviones**

Recipiente por lo general paralelepípedo, de malla de alambre galvanizado lleno de cantos de roca. En ríos de caudal y pendiente estables se depositan sedimentos del río dentro de los poros del gavión y en algunos casos se forman plantas de crecimiento espontáneo que

originan la formación de un bloque sólido que aumenta en forma importante la vida útil de los gaviones.

### **Bolsacretos**

Generalmente se fabrica utilizando bolsas de geotextil, las cuales se rellenan de concreto. Al colocar las bolsas, una sobre otra se acomodan a la superficie formando un conjunto muy resistente.

### **Espigos**

Estructuras alargadas relativamente sólidas que se colocan para desviar la corriente de agua o controlar el arrastre de materiales del fondo; para su construcción pueden ser utilizados diferentes materiales, siendo comunes los espigones de enrocados de sección trapezoidal.

### **Modelos hidráulicos**

Es una representación simplificada de un aspecto de la Naturaleza y, en muchos casos, de las obras construidas en ella, se utilizan normalmente como una herramienta técnica de apoyo, cuando éstos involucran fenómenos complejos o desconocidos para los cuales no hay una teoría y solución aceptadas.

### **Modelación matemática**

La efectividad de este método está relacionada con los costos de exploración, donde intervienen factores como exactitud de los datos iniciales, tipo de fenómeno a estudiar, exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno, forma de aproximar las ecuaciones y evolución del modelo.

### **Modelación análoga**

Se refiere a la comparación de dos fenómenos, que aunque diferentes, las ecuaciones que los describen son idénticas, lo que permite buscar en un problema de menor dificultad la solución para un problema más complejo, siendo los más utilizados: Analogía entre un flujo a través de medios permeables y flujo laminar en capas delgadas (modelos de Hele-Shaw), analogía entre flujo laminar y flujo turbulento, analogía entre un flujo a través de medios permeables y la deformación de una placa elástica bajo carga, analogía eléctrica y otros fenómenos físicos ( como hidráulicos, mecánicos, etc.).

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Materiales Y Equipos**

#### **Materiales**

- Piedra chancada de río de ½ pulgada.
- Arena fina de río.
- Wincha 50m.
- Materiales de escritorio (hojas bond, lapiceros, reglas, etc.)
- Plano del tramo de la carretera a estudiar.

#### **Equipos**

- Cámara fotográfica digital.
- Computadora para el procesamiento de la información.
- Gps Garmin Etrex 30.
- Estación Total Leyca TS.06.
- Primas de lectura.
- Bastones para prismas.
- Motobomba 3 pulgadas.
- Manguera.
- Impresora.

### **3.2. Métodos.**

#### **Metodología de la Investigación:**

Con la finalidad de llevar a cabo un adecuado trabajo, ordenado y eficiente, el trabajo de investigación se desarrollará en tres etapas, gabinete inicial, trabajo de campo y gabinete final.

#### **a) Localización de la Investigación.**

- Departamento de Cajamarca, Provincia de Contumazá, Distrito de Yonán con una altitud promedio de 420 m.s.n.m.
- Punto inicial del tramo crítico ubicado en el km 53+075, de la Carretera que une Cajamarca – Ciudad de Dios, sobre las cordenas UTM (Norte: 9 197 539.20, Este: 709 965.80 y Cota: 428.50 m.s.n.m.)

- Punto final del tramo crítico ubicado en el km 52+925, de la Carretera que une Cajamarca – Ciudad de Dios, sobre las cordenas UTM (Norte: 9 197 539.20, Este: 709 815.80 y Cota: 423.00 m.s.n.m )



Figura 17: Ubicación del proyecto en el Perú



Figura 18: Ubicación del proyecto en la región Cajamarca.

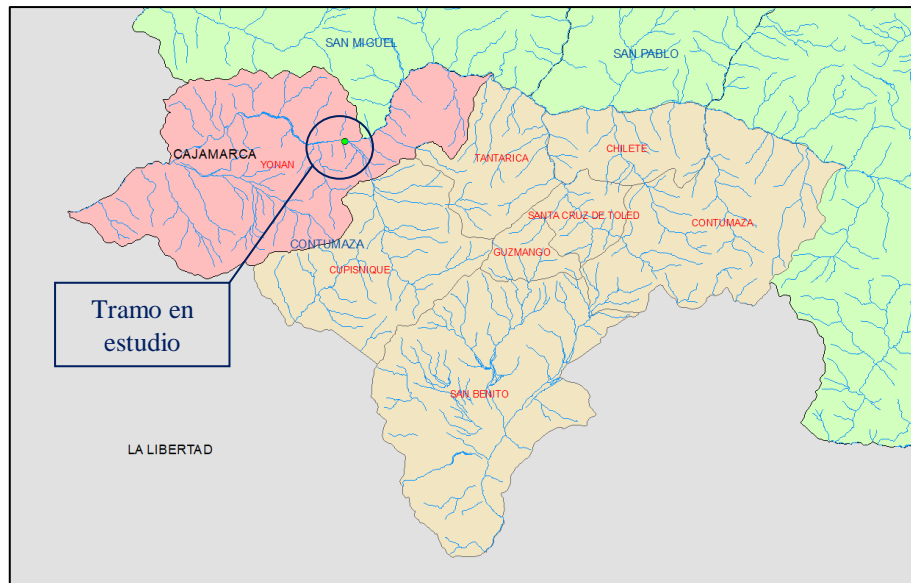


Figura 19: Ubicación del proyecto en las provincias de Cajamarca y Contumazá.

**b) Periodo de la Investigación.**

La investigación se realizó durante los meses de junio 2016 – agosto 2016, luego se continuó en los meses de enero 2017 – marzo 2017, haciendo un total de seis meses no consecutivos.

c) **Flujograma del proceso de investigación.**

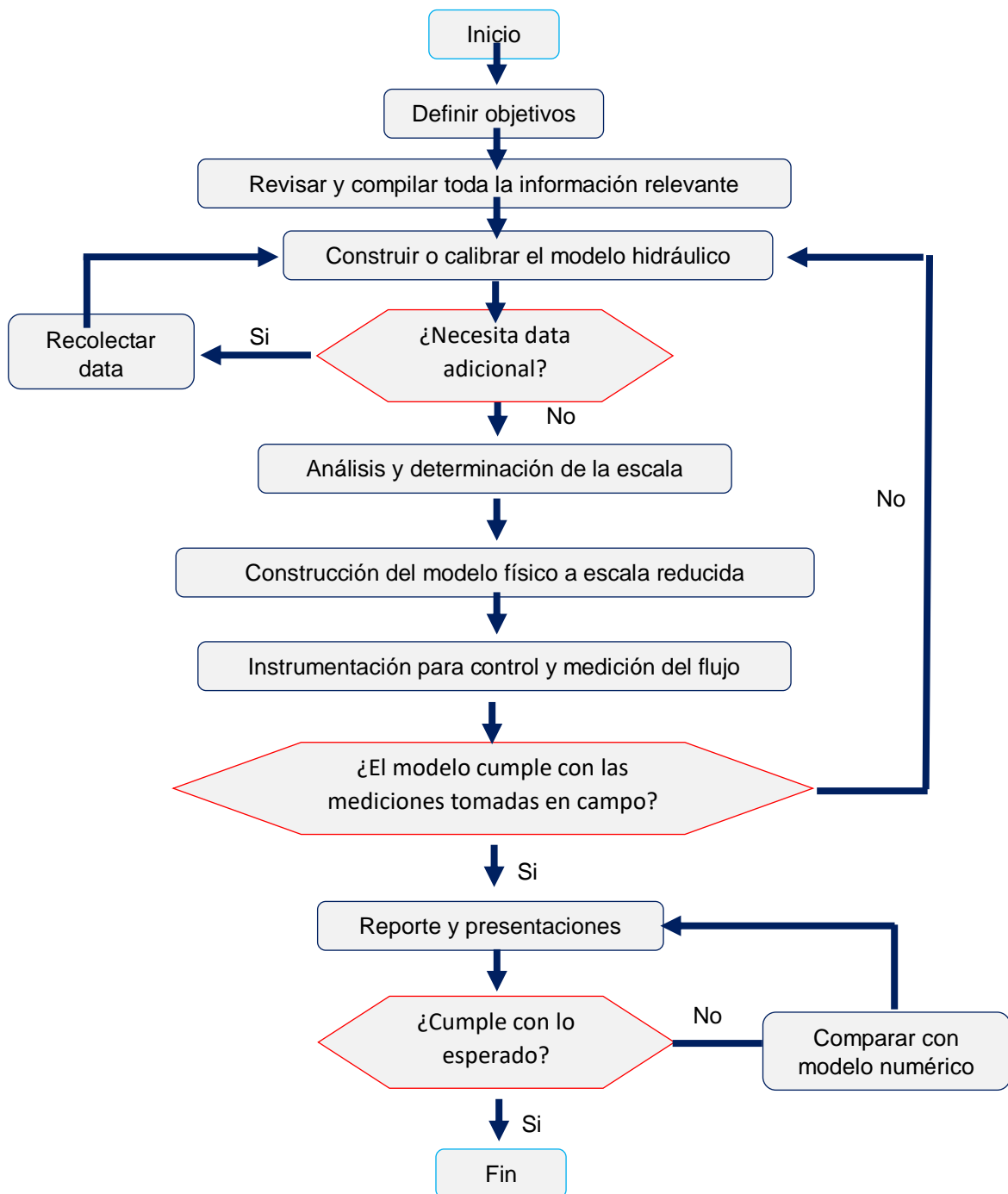


Figura 20. Flujograma de trabajo seguido por el tesista.

d) **Descripción De Etapas De Flujograma**

• **Definir objetivos:**

Los objetivos definen el resultado que ha de alcanzarse, los objetivos pueden entrar en detalles sobre los resultados y desarrollar las posibles soluciones a los impedimentos

descritos en la base de referencia. Todos los objetivos deben específicos, medibles, alcanzables, pertinentes.

- **Revisar Y Compilar Toda La Información Relevante**

Recopilación de antecedentes, investigaciones previas y consideraciones teóricas por donde se sustenta un proyecto de investigación, análisis, hipótesis o experimento, permitiendo la interpretación de los resultados y la formulación de conclusiones.

La importancia radica en que permite, de forma ordenada y coherente, justificar, demostrar, apoyar e interpretar las hipótesis y los resultados de una investigación.

- **Elaboración De Modelo Hidráulico En Gabinete**

Refiere a un modelo matemático, hecho en gabinete, el cual comprende elaboración de planos, que exhibe los fenómenos naturales de la geología de un terreno y permite comprender su composición.

- **Análisis Y Determinación De La Escala**

Significa básicamente la selección inicial de una escala por sobre las demás. Esto, a su vez, sugiere la consideración de dos cuestiones: cómo se define una escala y cuál es la "adecuada" para el estudio de la realidad, ya que lo que parece significativo o tiene sentido en una escala no tiene porqué registrarse en otra con la misma intensidad o importancia.

- **Construcción Del Modelo Físico A Escala Reducida**

Es la simulación física de un fenómeno hidráulico, que ocurre en relación con una obra de ingeniería, en un sistema semejante simplificado que permite observarlo y controlarlo con facilidad, además confirmar la validez del diseño de la obra, optimizarla o tomar nota de los efectos colaterales, que deberán ser considerados durante la operación de la misma.

- **Instrumentación Para Control Y Medición Del Flujo**

Conocida la geometría de la sección y conocido el nivel de lámina de agua, se obtiene el valor de caudal simplemente multiplicando el área de la sección por la velocidad media del fluido en la misma. Al ser la magnitud final (caudal) una magnitud siempre calculada, la precisión o indeterminación con la que se obtiene variará en cada caso (incluso en cada particular sección de medida), dependiendo de las imprecisiones que se cometan en cada una de las mediciones en las que se fundamenta su cálculo.



- **Reporte y Presentaciones**

Evidentemente, los resultados solo son posibles de obtener luego de aplicado un método de recolección y análisis. De esta manera, se corrobora que la tesis no solo es un trabajo de investigación, es la representación del proceso evolutivo coherente de la investigación.

### **3.3.Procedimiento De La Investigación.**

- a) Etapa inicial:** En esta etapa se llevó a cabo todas las actividades preliminares referente a la identificación de la problemática, seguido la recopilación, análisis y procesamiento de información existente, además de incluye la localización del tramo de la carretera en estudio.
- b) Trabajo de campo:** Se efectuó la visita a la zona de estudio y se identificó in situ las características geográficas, hidrológicas y geológicas, se realizó un exhaustivo recorrido por el tramo de vía afectada Con el fin de realizar el modelamiento físico se realizó un levantamiento topográfico a detalle para luego continuar con las construcciones del modelo físico de escala reducida.
- c) Gabinete final:** En esta fase, se procesó, analizó y evaluó la información obtenida en campo y se procedió la elaboración final de la tesis como resultado de la integración multidisciplinaria.

### **3.4. Toma De Muestra.**

#### **a) Reconocimiento preliminar de campo.**

La vía que une Cajamarca y Ciudad de Dios forma parte de la ruta nacional PE-8B teniendo una clasificación de tercera categoría porque su IMD < 400 vehículos/día, su ancho de calzada es de 6.00 metros, las bermas de 0.75 metros en cada lado. Dicha carretera presenta un tramo crítico susceptible a sufrir erosión fluvial, desde el Puente Yonán (Km 52+925) hasta el desvío de la carretera hacia el distrito de Trinidad (Km 53+075).

Las riberas del río Jequetepeque está constituido principalmente de sedimentos limo arcillosos, arenas y parcialmente de gravas, considerando la composición litológica de las márgenes del río y antes avenidas extraordinarias como las que se presentan asociadas al fenómeno de El Niño son altamente susceptibles a sufrir erosión fluvial, generando inestabilidad del talud de la infraestructura vial por lo que es necesario la construcción de obras de defensa ribereña.

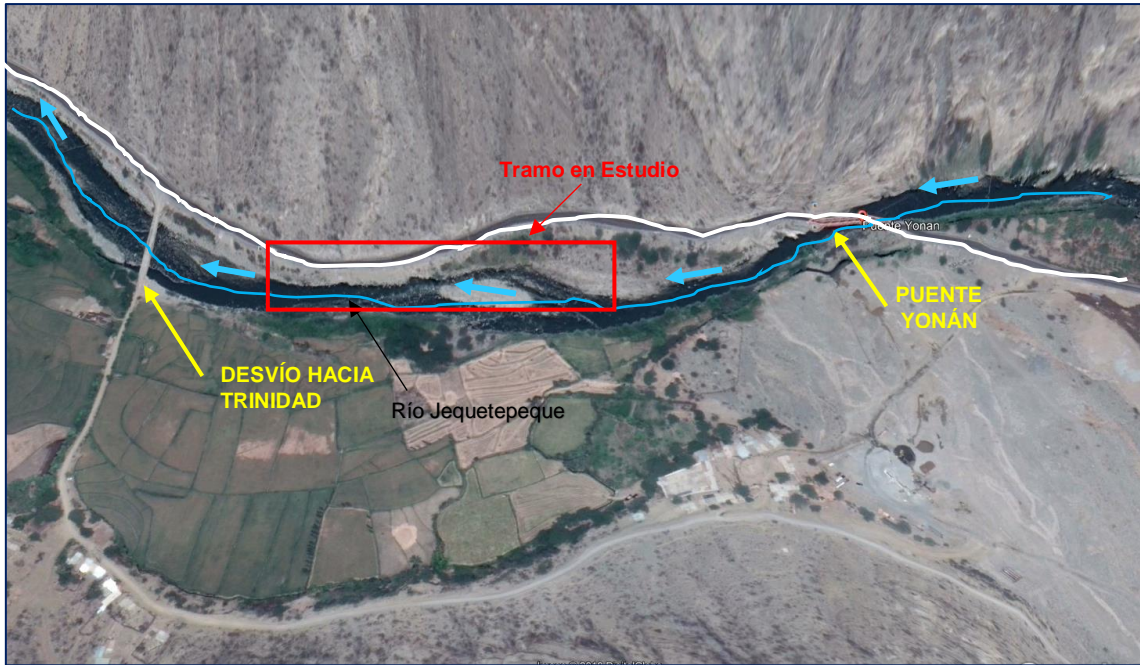


Figura 21. Vista aérea del río Jequetepeque. Se puede observar la infraestructura vial y el cauce del río compuesto principalmente por gravas, arenas y limos.

(Fuente: Google Earth).

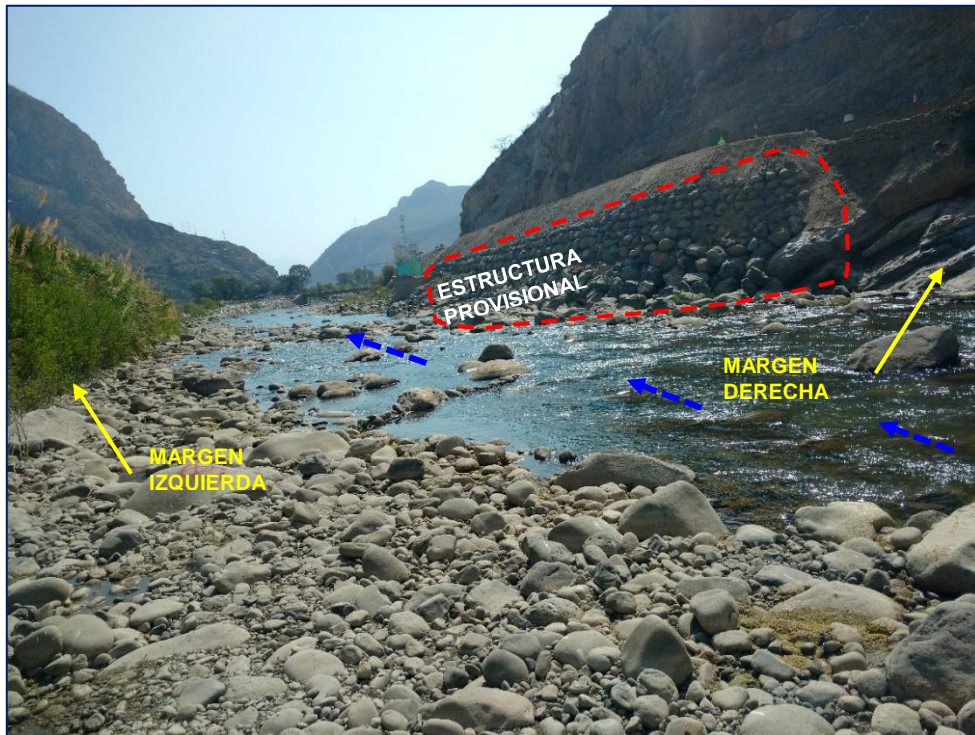


Figura 22. Vista panorámica tomada aguas arriba del río Jequetepeque. Se observa en la margen izquierda una estructura provisional (enrocado)



CASETA DE LA  
ESTACIÓN  
HIDROLÓGICA YONAN

Figura 23. Vista panorámica tomada aguas arriba del río Jequetepeque. Se observa la estación hidrológica Yonán (Lat. 7°15', Long. 79°6'), margen derecha del cauce.



Figura24. Vista panorámica en donde se puede observar el fenómeno de la erosión.

### **b) Levantamiento Topográfico de la zona**

Durante el trabajo topográfico se levantaron puntos de importancia que permite determinar la batimetría de la zona en general, llanuras de inundación, detalles importantes de la geometría vial (bordes de vía, curvas, etc.), caseta de la estación hidrológica (Estación Yonán). (Planos en Anexo 01)



Figura 25. Levantamiento topográfico de la zona en estudio con Estación Total Leyca.



Figura 26. Toma de puntos con prisma.

### c) Información hídrica.

En el río Jequetepeque se dispone de la información hidrológica proveniente de la estación hidrológica de Yonán proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAHMI), cuya información consiste en el hidrograma de caudales del Río del periodo de 2016 -2017. Del cual se obtuvo el caudal máximo para proceder con el trabajo de investigación, siendo este  $Q=205\text{m}^3/\text{s}$ . (Ver anexo 4)

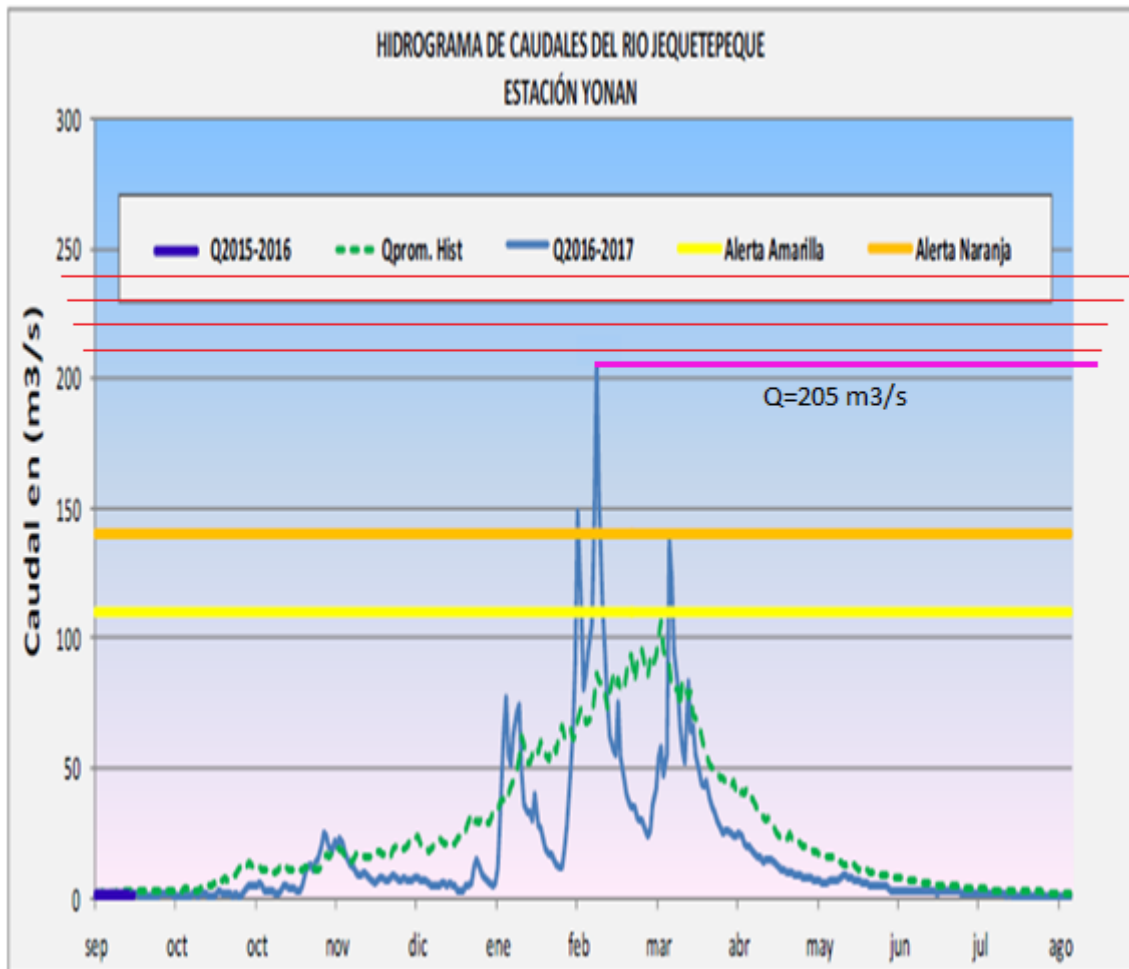


Figura 27. Monitoreo hidrológico año 2016 - 2017.

Fuente: SENAHMI.

### d) Cálculo del Coeficiente de Rugosidad (Manning)

El coeficiente de rugosidad de Manning del cauce principal se ha determinado mediante el Método de Cowan, los valores se obtienen de la siguiente tabla obtenida del libro de Chow “Hidráulica de Canales Abiertos”

Expresión de Cowan:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Tabla 6: Valores asumidos de las características del cauce – Método de Cowan.

<b>Variable</b>	<b>Cauce Principal</b>
n0	0.038
n1	0.005
n2	0.005
n3	0.010
n4	0.005
m5	1.00
<b>n</b>	<b>0.063</b>

#### e) Mapa de Usos del suelo.

Los valores de los coeficientes de rugosidad (n) de las unidades de uso de suelo se asignaron de acuerdo a los valores propuestos por Chow (1994), así como los descritos en el manual de usuario de IBER. A partir de ambas bibliografías se escogieron los coeficientes de rugosidad según las condiciones del área de estudio que se observa en campo (Ver **Figura 28**)

Tabla 7: Valores de coeficientes de rugosidad utilizados en el modelo.

<b>Uso de suelo</b>	<b>Características del suelo</b>	<b>n</b>
Río	Grava gruesa, con poca vegetación	0.063
Arbusto y maleza	Arbustos y maleza	0.05
Suelo desnudo	Suelo sin cobertura vegetal	0.03
Arena	Arena	0.023
Carretera	Sin cobertura vegetal, Asfalto	0.025

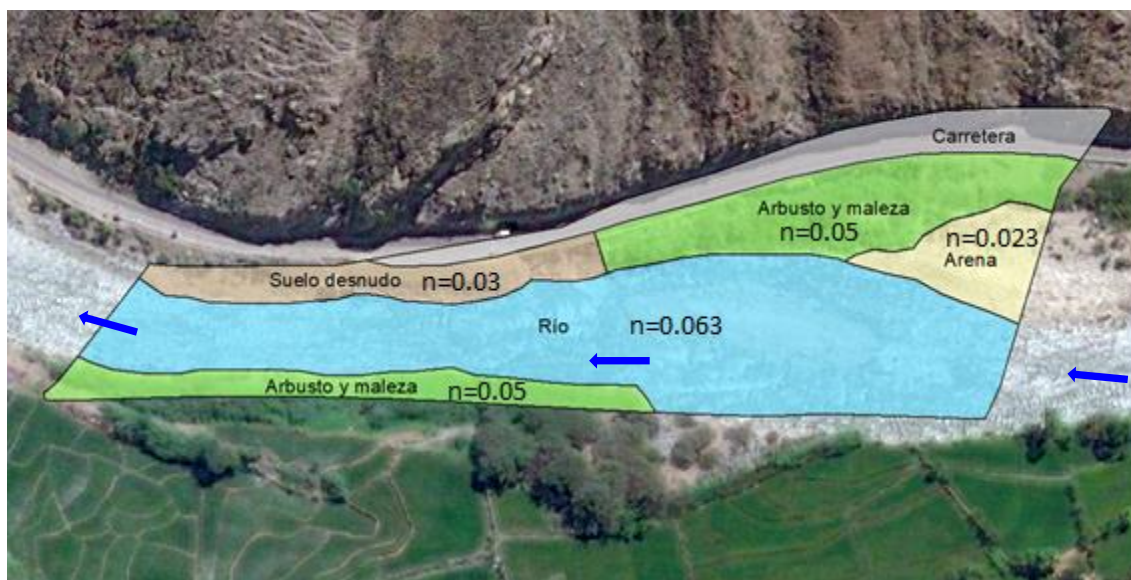


Figura 28. Mapa de usos de suelo.

#### f) Información de Suelo.

##### Calicatas.

Con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área de estudio fueron extraídas muestras de la calicata para la evaluación visual y por ensayos de laboratorio de las muestras, y de esta manera determinar y estimar a priori las características físicas y mecánicas de los suelos encontrados. Se han realizado dos (03) calicatas a cielo abierto. (Ver ubicación es anexo 02, resultados de estudios granulométricos en los anexos 5, 6 y 7).

Tabla 8: Resultados de ensayos de laboratorio.

CALICATA	Muestra	Clasificación SUCS	Angulo de Fricción (grados)	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )
C-1	M - 1	GP - GM	34.7°	0.00
C-2	M - 1	GM	34.1°	0.00
C-3	M - 1	GM	33.6°	0.00

### 3.5. Modelación Matemática

#### a) Construcción de la geometría y asignación del coeficiente de rugosidad.

Para importar una geometría es necesario en primer lugar guardar el proyecto con un nombre. Por otro lado, desde el menú “Archivo > Importar” se pueden importar distintos formatos estándar (dux, shapefile, entre otros).

Luego se procede a asignar los coeficientes de rugosidad a cada el polígono de uso de suelo.

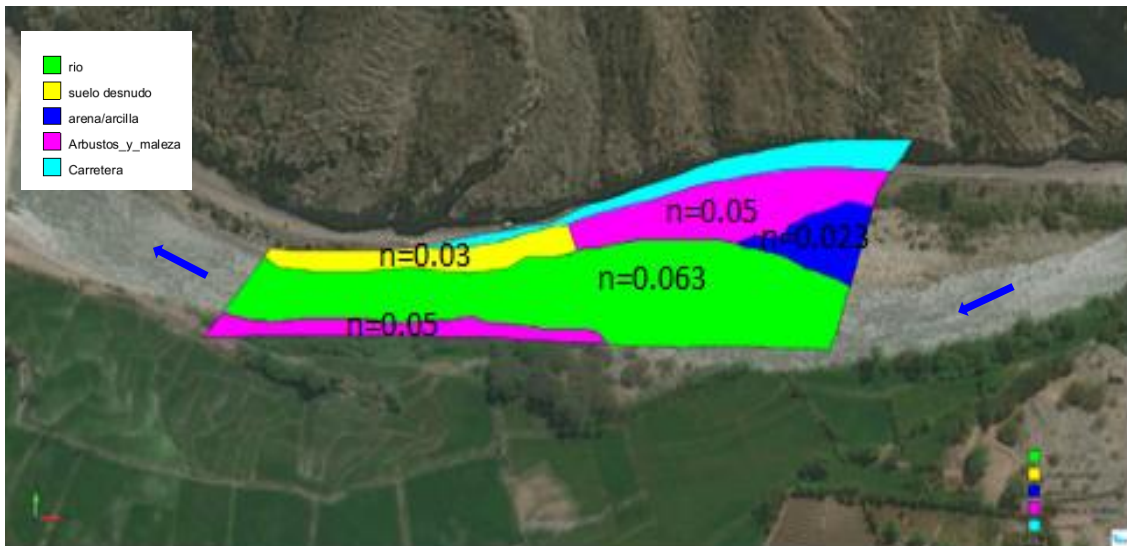


Figura 29. Asignación del coeficiente de rugosidad en el modelo IBER.

#### b) Asignación de condiciones de contorno y datos del flujo.

Para las condiciones de ingreso, se debe definir seleccionando el contorno por donde ingresa el flujo de agua dentro del cauce del río, luego se asigna las condiciones hidrodinámicas tanto de entrada ( $Q_{cte}=205m^3/s$ , obtenido de hidrograma SENAMHI en pág.49) como de salida, en régimen de flujo subcrítico, ya que el número de FROUDE es 0.6 (valor menor a 1).



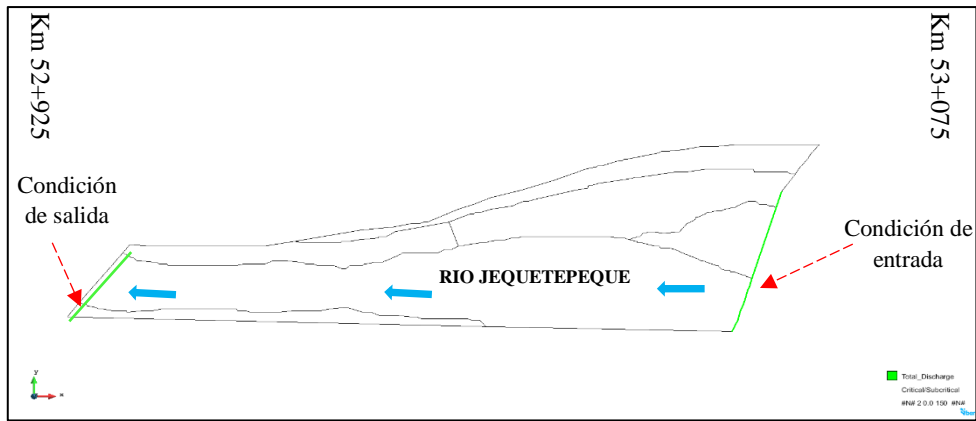


Figura 30. Asignación de condiciones hidrodinámicas en los contornos abiertos del modelo.

### c) Generación de la malla 2D.

En este procedimiento se definió el tipo y tamaño de malla. Se asignó una malla no estructurada con un menor tamaño en el cauce del río.

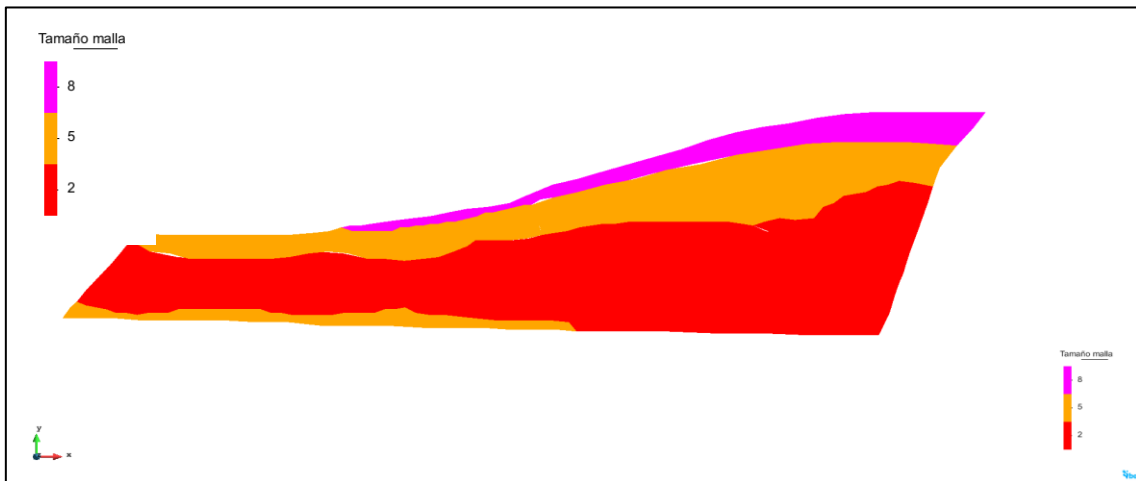


Figura 31. Tamaño de la malla no estructurada asignado al modelo geométrico.

### d) Elaboración del Modelo Digital del Terreno.

El modelo digital del terreno (MDT) se generó a partir de las curvas de nivel levantadas en campo para un área de 2.30 ha. El sistema de referencia mundial empleado es el WGS 1984 UTM zona 17S.

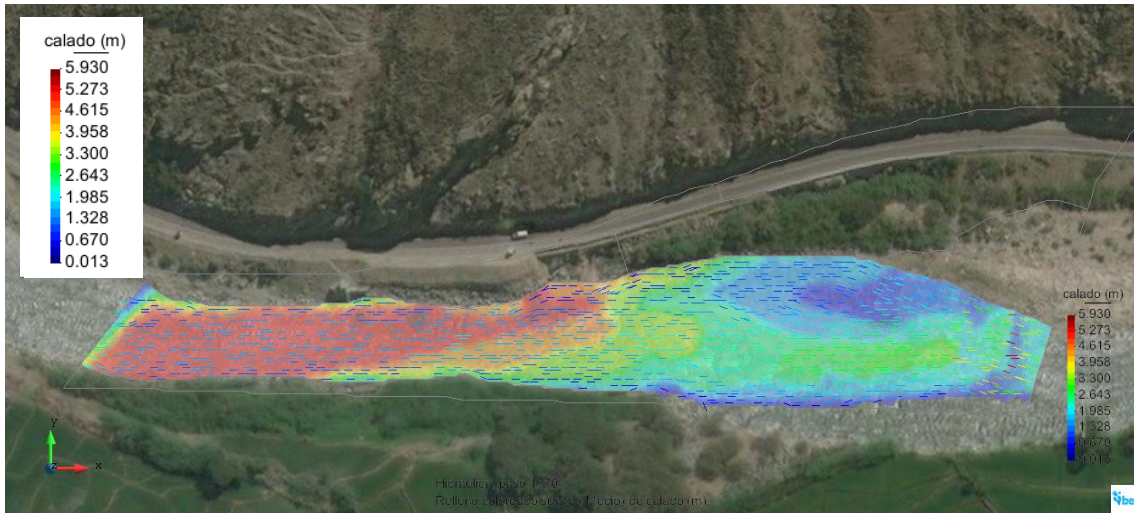


Figura 32. Modelo Digital de Elevación, varía de 416msnm -432msnm.

**e) Incorporación de las estructuras al modelo.**

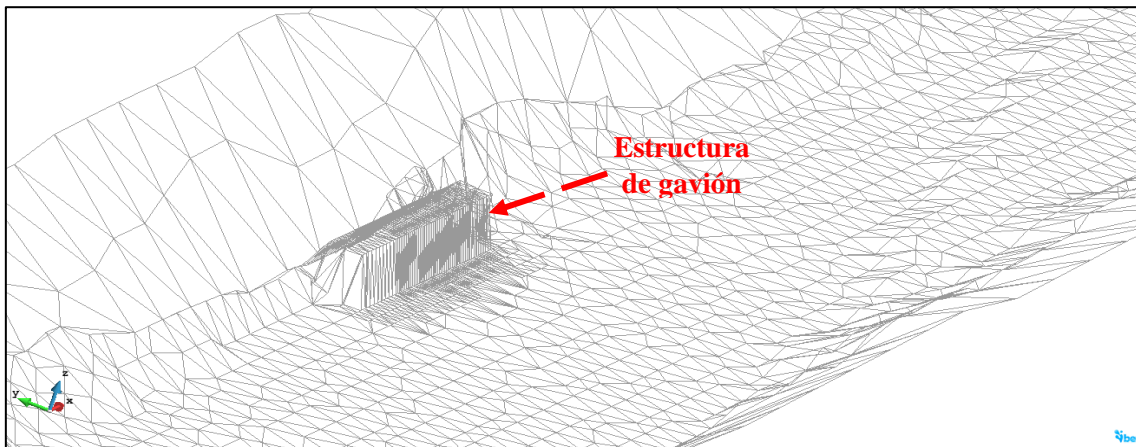


Figura 33. Modificación de la malla de terreno para incorporar la estructura de gavión.

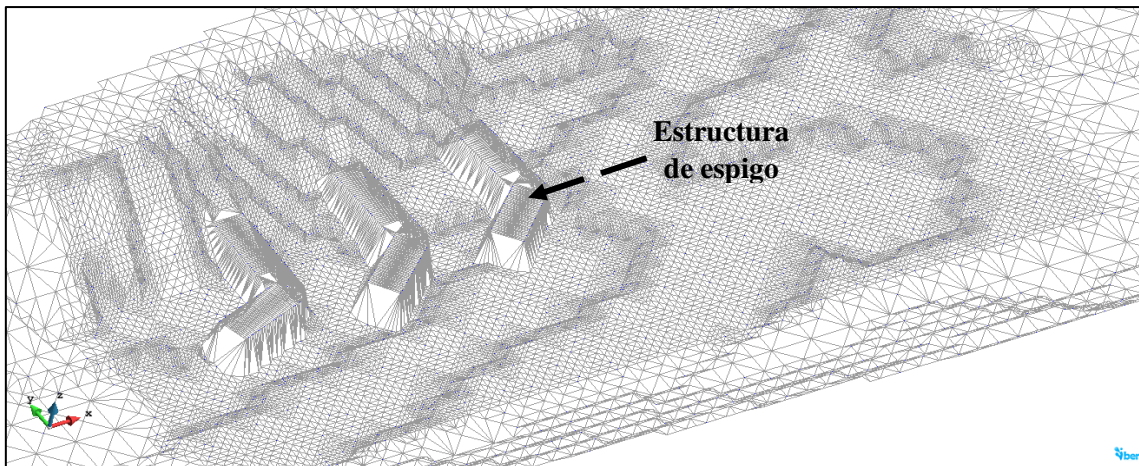


Figura 34. Modificación de la malla de terreno para incorporar la estructura de espigo.

### 3.6. Modelo Físico A Escala Reducida.

#### a) Selección del modelo y escala de traslación

La relación modelo modelamiento IBER determinada como más factible para reproducir la topografía y batimetría del modelamiento IBER fue de 1:20, de manera que 1.00 metro de modelo indica 20 metros de modelamiento IBER. La escala 1:20 asegura la representación de las condiciones del flujo; relación que se basó en los siguientes factores:

- La ley de semejanza dinámica por ser aplicada.
- Alcances de la zona modelada y principales propósitos de la investigación.
- Las mayores y menores dimensiones por ser reproducidas.
- La necesidad de efectuar algunos estudios con lecho móvil.
- El caudal requerido en el modelo.
- Economía de la investigación.

El uso de un modelo no distorsionado, con lecho móvil permite estudiar el proceso de erosión. Si la identidad del número de Froude es la que satisface estas condiciones esto impide la identidad de los números de Reynolds en el modelo y en el modelamiento IBER. Para garantizar la independencia de los ensayos con respecto al número de Reynolds se ha satisfecho la identidad de regímenes de flujo en modelo y modelamiento IBER.

Según la ley de semejanza de Froude, las escalas de traslación de los valores del modelo a los valores del modelamiento IBER se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 9: Escalas de traslación.

Parámetro	Símbolo	Escala
Longitud, ancho, altura	L, B, H	$L_r = 20$
Área	A	$L_r^2 = 400$
Volumen	V	$L_r^3 = 8000$
Tiempo	T	$L_r^{1/2} = 4.472$
Velocidad	V	$L_r^{1/2} = 4.472$
Caudal	Q	$L_r^{5/2} = 1788.854$
Coefficiente de rugosidad	N	$L_r^{1/6} = 1.648$
Número de Reynolds	Re	$L_r^{3/2} = 89.44$

Es decir, según se deduce de esta tabla, un valor del coeficiente de rugosidad de Manning en el modelo  $n_{\text{modelo}} = 0,038$ , corresponde a un equivalente en modelamiento IBER de  $n_{\text{modelamiento IBER}} = 0,063$ , tal como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 10: Escala de relación modelo modelamiento IBER.

Parámetro	Relación escala		Magnitudes	
	Escala	Relación numérica	Modelamiento IBER	Modelo
Longitud	$L_r$	20 m	20 m	1 m
Área	$L_r^2$	1000 m <sup>2</sup>	1000 m <sup>2</sup>	2.5 m <sup>2</sup>
Tiempo	$L_r^{1/2}$	4.47	1 min	13.416 s
Velocidad	$L_r^{1/2}$	4.47	1 m/s	0.224 m/s
Caudal	$L_r^{5/2}$	1788.85	205 m <sup>3</sup> /s	83 l/s
Coefficiente de rugosidad	$L_r^{1/6}$	1.65	0.063	0.038

### b) Descripción del modelo.

El modelo a escala 1:20 de un tramo del río Jequetepeque comprendido entre el Puente Yonán (Km 53+075) hasta el desvío de la carretera hacia el distrito de Trinidad (Km 52+925) fue construido en las instalaciones de la Universidad Nacional de Cajamarca como se muestra en la figura siguiente:



Figura 35. Modelo físico de lecho móvil a escala 1/20 construido en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca.

### c) Construcción del modelo.

- Para reproducir con una buena precisión la topografía, se instalaron hitos de fierro en cada punto con su respectiva descripción de altura para proceder a obtener las curvas de nivel.



Figura 36. Replanteo de las cotas topográficas y batimétricas mediante una Estación Total Leyca TS06 con precisión 0.1 mm.



Figura 37. Ubicación de hitos de fierro en cada punto con su respectiva descripción de altura para proceder a obtener las curvas de nivel.



Figura 38. Unimos cada punto con la misma descripción de altura y unimos utilizando nylon y procedemos a nivelar con un nivel de carpintero de tal manera que queden a la misma altura.

- Se instrumentó un tanque elevado de capacidad total de  $2.20 \text{ m}^3$  con 3 válvulas de 4" (114.3mm) para regular la carga hidráulica.

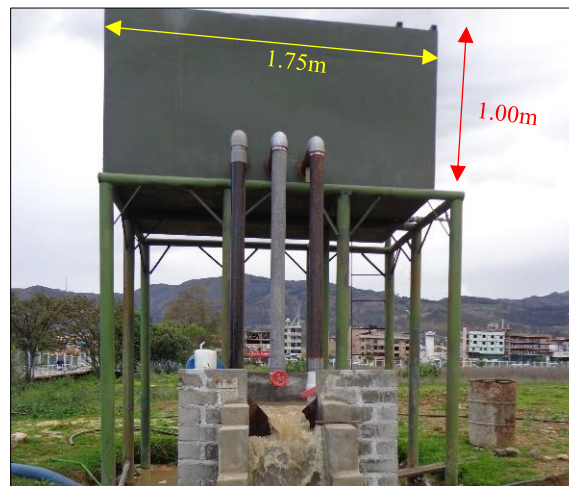


Figura 39. Instrumentación del Tanque elevado para control y regulación de la carga hidráulica.

- Se construyó una poza al inicio del modelo para lograr una distribución uniforme del ingreso de agua al modelo, en la misma se instaló un vertedero triangular de pared delgada para la medición de los caudales.



Figura 40. Poza al inicio del modelo para lograr un ingreso uniforme del agua al modelo.

- Al final del modelo se construyó una cisterna de capacidad  $2\text{m}^3$  para la recirculación.



Figura 41. Sistema de recirculación (Cisterna, manguera HDPE 4", motobomba)

- La construcción de las estructuras ensayadas en el modelo, se realizó teniendo en cuenta los criterios básicos de diseño de gaviones permeables, espigos angulares impermeables y bolsacreto. Cada grupo de estructuras con sus dimensiones escaladas fueron ubicadas en su momento, dentro del modelo (Ver Figuras 42 al 44 y planos en el anexo 03).



Figura 42. Construcción de gaviones permeables de sección  $b \cdot h = 5 \cdot 5$  cm a escala  $1/20$  lo que a escala natural equivale a una sección de  $b \cdot h = 1 \cdot 1$  m. elaborados con malla fierro y rellena con piedra chancada de  $1/2$ ".





Figura 43. Construcción de espigones angulares impermeables de sección  $b \cdot h = 5 \cdot 5$  cm a escala 1:20, la cual a escala natural representa a una sección de  $b \cdot h = 1 \cdot 1$  m.



Figura 44. Construcción de bolsacretos elaborados a base de mezcla de cemento y arena fina envueltos en bolsa plástica con medidas de sección muy aproximadas a  $b \cdot h = 5 \cdot 5$  cm a escala 1:20 la cual a escala natural equivale a una sección de  $b \cdot h = 1 \cdot 1$  m.

#### d) Confiabilidad y verificación del modelo

Una vez terminada la construcción del modelo y antes de dar inicio a los ensayos se tiene que verificar varios aspectos:

- Que haya sido reproducido fielmente según se indica en los planos, respetando geometría, cotas y rugosidad.
- Que el rango de caudales por ensayar pueda ser medido con facilidad al inicio, al final y en los puntos en que se requiera del modelo.

Tabla 11: Número adimensional de Froude para modelamiento IBER y modelo.

PROGR.	TIRANTE		VELOCIDAD		FROUDE	
	Modelo	Modelamiento	Modelo	Modelamiento	Modelo	Modelamiento
	(cm)	IBER (m)	(cm/s)	IBER (m/s)		IBER
0.00	9.90	1.98	81.31	3.63	0.83	0.83
20.00	10.20	2.04	44.58	1.99	0.45	0.45
40.00	14.10	2.82	62.05	2.77	0.53	0.51
60.00	12.55	2.51	73.47	3.28	0.66	0.63
80.00	10.65	2.13	58.46	2.61	0.57	0.57
100.00	8.85	1.77	71.46	3.19	0.77	0.76
120.00	11.50	2.30	48.83	2.18	0.46	0.46
140.00	15.75	3.15	53.31	2.38	0.43	0.43
160.00	19.70	3.94	58.91	2.63	0.42	0.39
180.00	18.45	3.69	71.68	3.20	0.53	0.55
200.00	17.25	3.45	81.31	3.63	0.63	0.60
220.00	16.50	3.30	84.67	3.78	0.67	0.65
240.00	15.60	3.12	76.16	3.40	0.62	0.56
260.00	14.85	2.97	67.87	3.03	0.56	0.56
280.00	13.65	2.73	71.46	3.19	0.62	0.62
300.00	11.00	2.20	85.34	3.81	0.82	0.82
320.00	9.95	1.99	70.11	3.13	0.71	0.71
PROMEDIO =					<b>0.6</b>	<b>0.6</b>

### 3.7. Ensayos en el Modelamiento Físico a Escala

Las mediciones con cada una de las estructuras hechas a escala y ubicadas en el modelo físico a escala en la zona crítica de estudio, con el caudal máximo para proceder a realizar la comparación de los resultados obtenidos. La metodología para obtener la información fue la siguiente:

- Calibración del caudal según corresponda a la prueba, se aforo para determinar y asegurar la continuidad del flujo.

- Se realizó la toma de medidas del tirante y velocidad del flujo en el modelo físico a escala para cada caudal de prueba con la ribera del río libre de estructuras hidráulicas.
- Se realiza la toma de datos del tirante y velocidad del flujo con los diferentes tipos de estructuras a escala (gavión, bolsacreto, gavión-espigo, bolsacreto-espigo).
- Procesamiento de datos obtenidos para graficar la línea de energía a lo largo del eje del modelamiento físico a escala con cada estructura, con el caudal máximo.

**Ensayos en el modelo físico a escala:**

Tabla 12: Cuadro de Ensayos

ENSAYOS	
CAUDAL	MÁXIMO
ESTRUCTURA	
BORDE LIBRE CON	
<b>a</b> MATERIAL DE REEMPLAZO	1a
<b>b</b> GAVIÓN	1b
<b>c</b> BOLSACRETO	1c
<b>d</b> GAVIÓN-ESPIGO	1d
<b>e</b> BOLSACRETO-ESPIGO	1e

**a) Ensayo 1a:**

Se realiza la prueba con el caudal máximo para un borde lateral de la zona crítica del río libre del cual observaremos el comportamiento de la zona ante la presencia de un flujo de agua y tomar datos de tirante y velocidad.



Figura 45. Reemplazo del material del lecho de fondo móvil con material que presenta la misma similitud geométrica a escala 1:20.

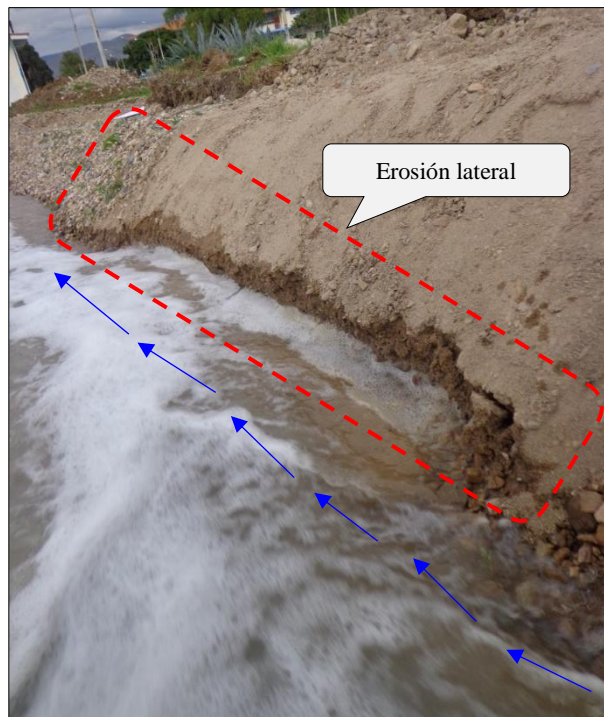


Figura 46. Erosión de la margen derecha del modelo.

**b) Ensayo 1b.**

Se realiza la prueba con el caudal máximo, reemplazando el material del cauce del modelo a escala reducida con la estructura gavión. Se toma datos de tirante y velocidad.



Figura 47: Incorporación de la estructura de gavión a escala (1:20) en el modelo.

**c) Ensayo 1c**

Se realiza la prueba con el caudal máximo con la estructura bolsacreto para observar el comportamiento del flujo y tomar datos de tirante y velocidad.

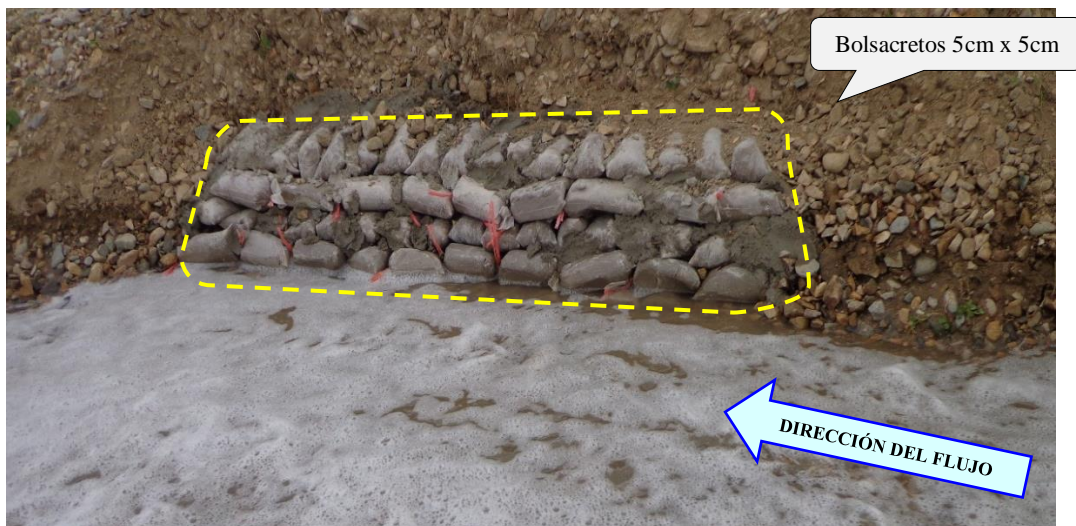


Figura 48. Incorporación de la estructura bolsacreto a escala (1:20).

**d) Ensayo 1d.**

Se realiza la prueba con el caudal máximo con la combinación de estructuras gavión-espigo para observar el comportamiento del flujo y tomar datos de tirante y velocidad.

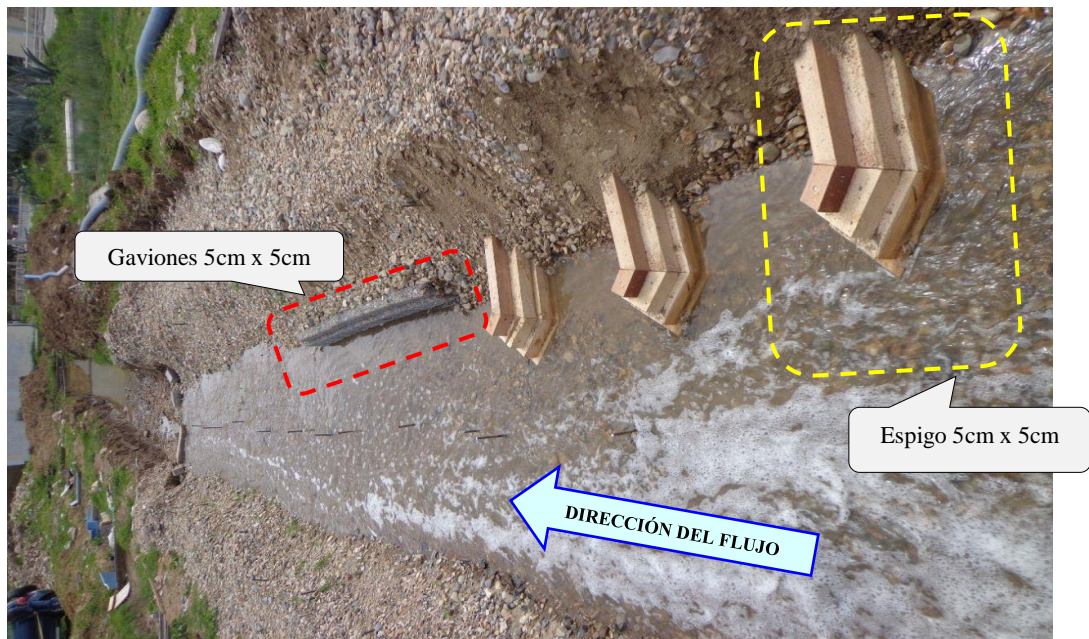


Figura 49. Combinación de estructuras gavión - espigo a escala (1:20) en el modelo.

**e) Ensayo 1e:**

Se realiza la prueba con el caudal máximo con la combinación de estructuras bolsacreto-espigo para observar el comportamiento del flujo y tomar datos de tirante y velocidad.

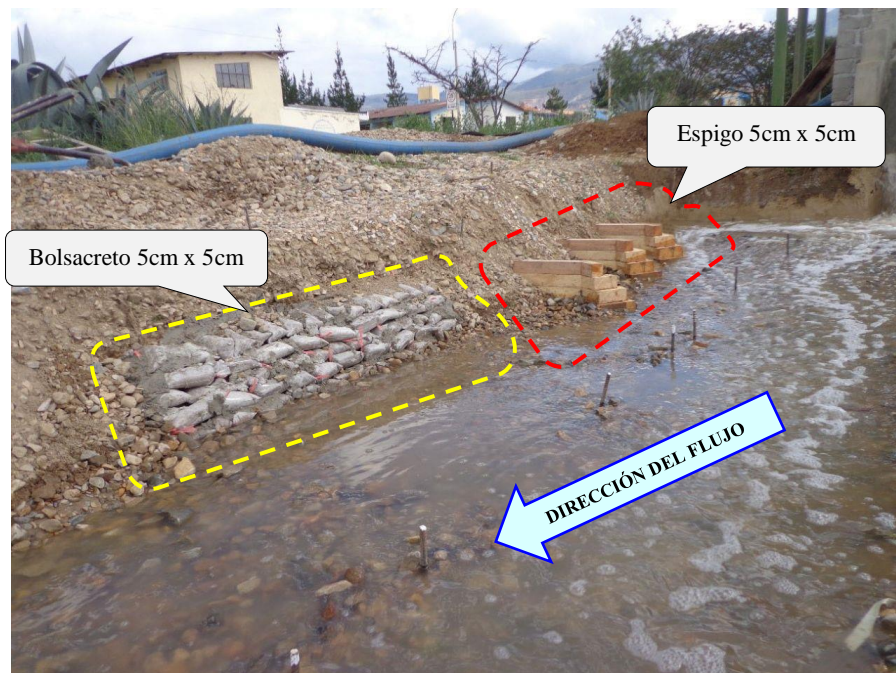


Figura 50. Combinación de estructuras gavión - espigo a escala (1:20) en el modelo.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1. Comportamiento Del Flujo Sin Estructuras

Se observa claramente un trazo definido del flujo.

Después de realizados los ensayos, se obtuvieron los resultados de velocidad media en la sección y energía sobre el eje, para el flujo sin estructuras con caudal máximo.



Figura 51. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelo físico.

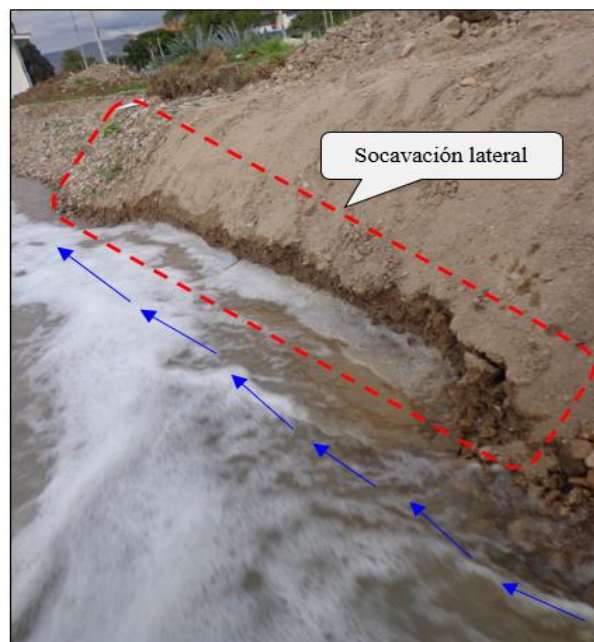


Figura 52. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelo físico.

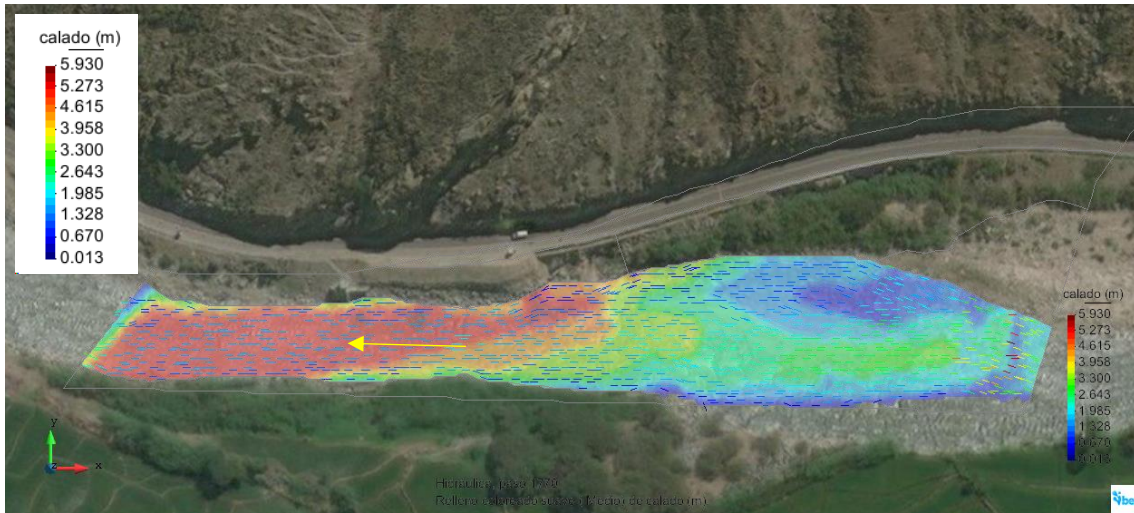


Figura 53. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelamiento IBER, visualización del calado.

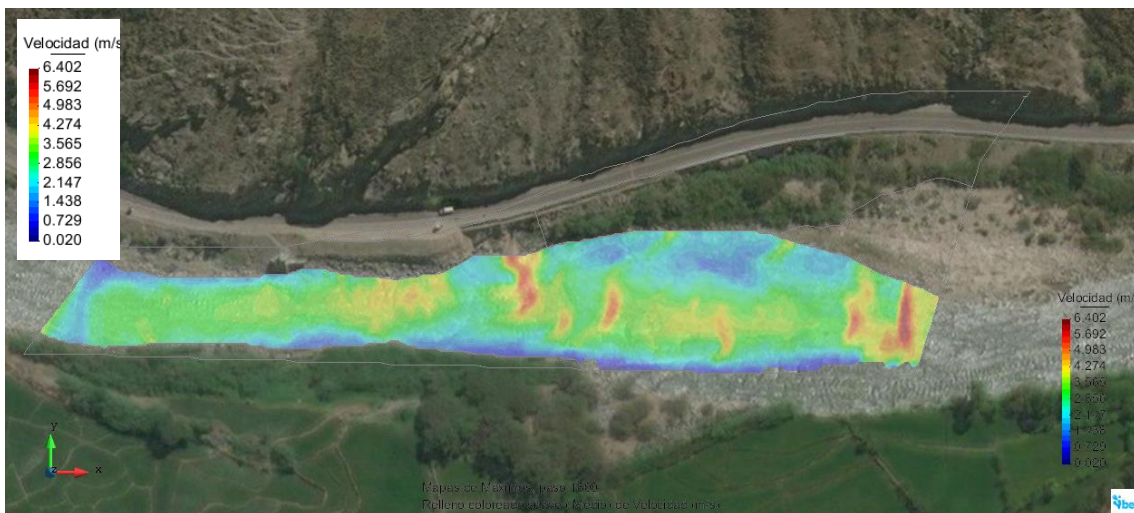


Figura 54. Comportamiento del flujo sin estructuras en el modelamiento IBER, visualización de la velocidad.



Tabla 13: Resultados obtenidos para el cauce sin estructuras.

<b>SIN ESTRUCTURAS</b>						
<b>PROGR</b>	<b>TIRANTE</b>		<b>VELOCIDAD</b>		<b>ENERGÍA</b>	
	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)	Model o (cm/s)	Modelamient o IBER (m/s)	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)
0.00	9.90	1.98	81.31	3.63	13.27	2.65
20.00	10.20	2.04	44.58	1.99	11.21	2.24
40.00	14.10	2.82	62.05	2.77	16.06	3.21
60.00	12.55	2.51	73.47	3.28	15.30	3.06
80.00	10.65	2.13	58.46	2.61	12.39	2.48
100.00	8.85	1.77	71.46	3.19	11.45	2.29
120.00	11.50	2.30	48.83	2.18	12.72	2.54
140.00	15.75	3.15	53.31	2.38	17.20	3.44
160.00	19.70	3.94	58.91	2.63	21.47	4.29
180.00	18.45	3.69	71.68	3.20	21.07	4.21
200.00	17.25	3.45	81.31	3.63	20.62	4.12
220.00	16.50	3.30	84.67	3.78	20.15	4.03
240.00	15.60	3.12	76.16	3.40	18.56	3.71
260.00	14.85	2.97	67.87	3.03	17.20	3.44
280.00	13.65	2.73	71.46	3.19	16.25	3.25
300.00	11.00	2.20	85.34	3.81	14.71	2.94
320.00	9.95	1.99	70.11	3.13	12.46	2.49

#### 4.2. Comportamiento del Flujo con la Estructura Gavión.

Se observa claramente un trazo definido del flujo.

Después de realizados los ensayos, se obtuvieron los resultados de velocidad media en la sección y energía sobre el eje, para el flujo con la estructura de gavión para caudal máximo.



Figura 55. Comportamiento del flujo con estructura de gavión en el modelo físico.

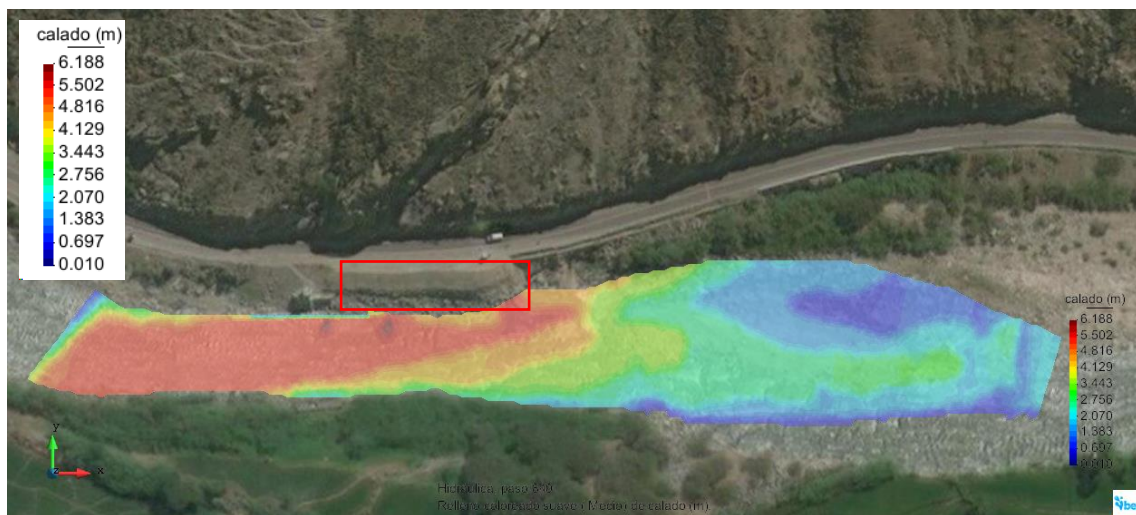


Figura 56. Comportamiento del flujo con estructuras de gavión en el modelamiento IBER, visualización del calado.



Figura 57. Comportamiento del flujo con estructuras de gavión en el modelamiento IBER, visualización de la velocidad.

Tabla 14: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Gavión)

<b>GAVIÓN</b>						
	<b>TIRANTE</b>		<b>VELOCIDAD</b>		<b>ENERGÍA</b>	
<b>PROGR</b>	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)	Model o (cm/s)	Modelamient o IBER (m/s)	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)
0.00	5.2	1.81	88.032	3.93	9.121	2.6
20.00	5.8	2.04	28.224	1.26	6.235	2.12
40.00	7.9	2.78	59.808	2.67	9.766	3.14
60.00	7.3	2.56	55.328	2.47	8.875	2.87
80.00	5.8	2.03	36.512	1.63	6.479	2.17
100.00	5.1	1.77	70.560	3.15	7.595	2.28
120.00	6.8	2.37	45.024	2.01	7.805	2.58
140.00	9.3	3.25	42.112	1.88	10.190	3.43
160.00	11.7	4.08	45.248	2.02	12.701	4.29
180.00	11.1	3.87	57.120	2.55	12.720	4.2
200.00	10.6	3.7	62.048	2.77	12.534	4.09
220.00	9.7	3.39	74.592	3.33	12.522	3.96
240.00	8.7	3.05	80.864	3.61	12.047	3.71
260.00	8.2	2.86	77.728	3.47	11.251	3.47
280.00	7.7	2.71	74.144	3.31	10.545	3.27
300.00	6.3	2.22	84.448	3.77	9.978	2.94
320.00	5.7	1.99	69.664	3.11	8.159	2.48

### 4.3. Comportamiento del Flujo con la Estructura Bolsacreto

Las estructuras de bolsacretos son formaletas flexibles de polipropileno cuya rugosidad es 0.010 generando mayor velocidad a diferencia de los gaviones.

Después de realizados los ensayos, se obtuvieron los resultados de velocidad media en la sección y energía sobre el eje, para el flujo con la estructura de gavión para caudal máximo.



Figura 58. Comportamiento del flujo con estructura de bolsacreto en el modelo físico.

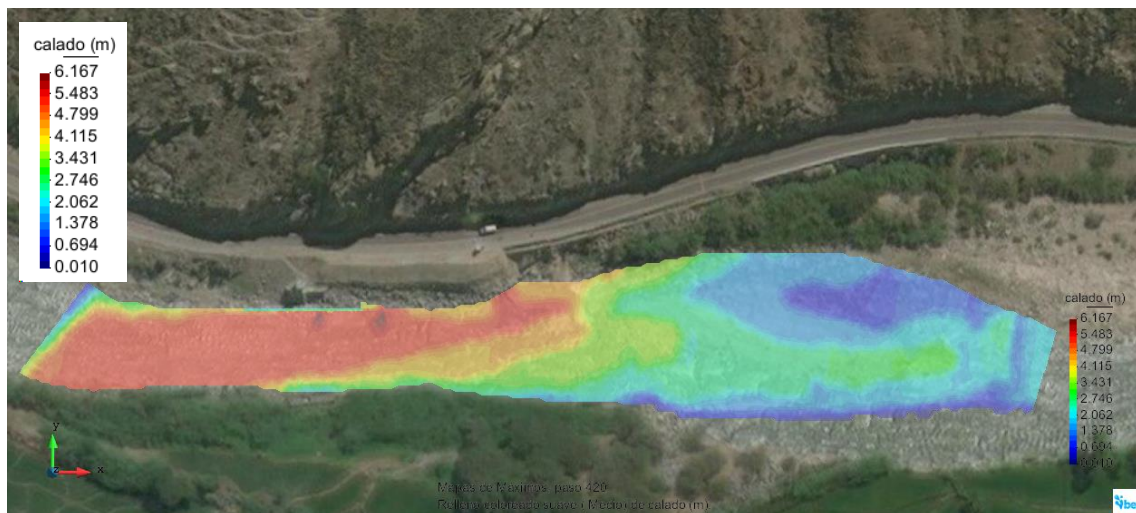


Figura 59. Comportamiento del flujo con estructuras de bolsacreto en el modelamiento IBER, visualización del calado.

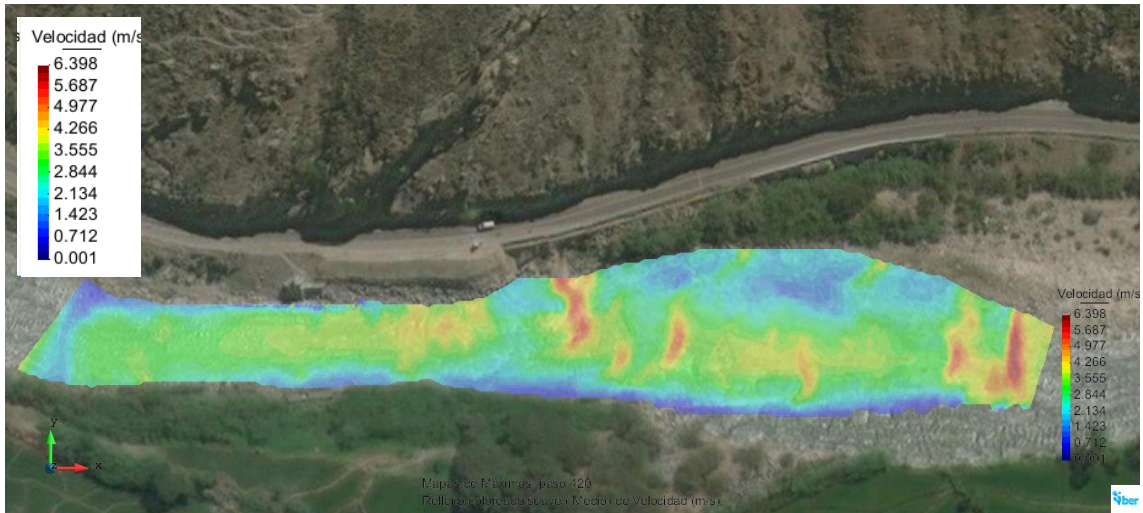


Figura 60. Comportamiento del flujo con estructuras de bolsacrete en el modelamiento IBER.

Tabla 15: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Bolsacreto)

<b>BOLSACRETO</b>						
<b>PROGR</b>	<b>TIRANTE</b>		<b>VELOCIDAD</b>		<b>ENERGÍA</b>	
	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)	Model o (cm/s)	Modelamient o IBER (m/s)	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)
0.00	5.2	1.81	88.032	3.93	9.121	2.6
20.00	5.7	2.01	28.224	1.26	6.149	2.09
40.00	8.0	2.8	62.048	2.77	9.962	3.19
60.00	7.2	2.51	66.752	2.98	9.442	2.96
80.00	5.9	2.05	33.376	1.49	6.425	2.16
100.00	5.1	1.77	70.560	3.15	7.595	2.28
120.00	6.8	2.37	50.176	2.24	8.055	2.63
140.00	9.3	3.24	42.336	1.89	10.171	3.42
160.00	11.6	4.07	45.472	2.03	12.682	4.28
180.00	11.0	3.85	57.344	2.56	12.676	4.18
200.00	9.9	3.47	59.136	2.64	11.697	3.83
220.00	9.6	3.36	75.040	3.35	12.470	3.93
240.00	8.8	3.07	79.296	3.54	11.976	3.71
260.00	8.2	2.87	77.280	3.45	11.244	3.48
280.00	7.7	2.71	73.920	3.3	10.528	3.27
300.00	6.3	2.2	85.792	3.83	10.037	2.95
320.00	5.7	1.99	69.664	3.11	8.159	2.48

#### 4.4. Comportamiento del Flujo con la Combinación de Estructuras Gavión-Espigo.



Figura 61. Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras gavión-espigo en el modelo.

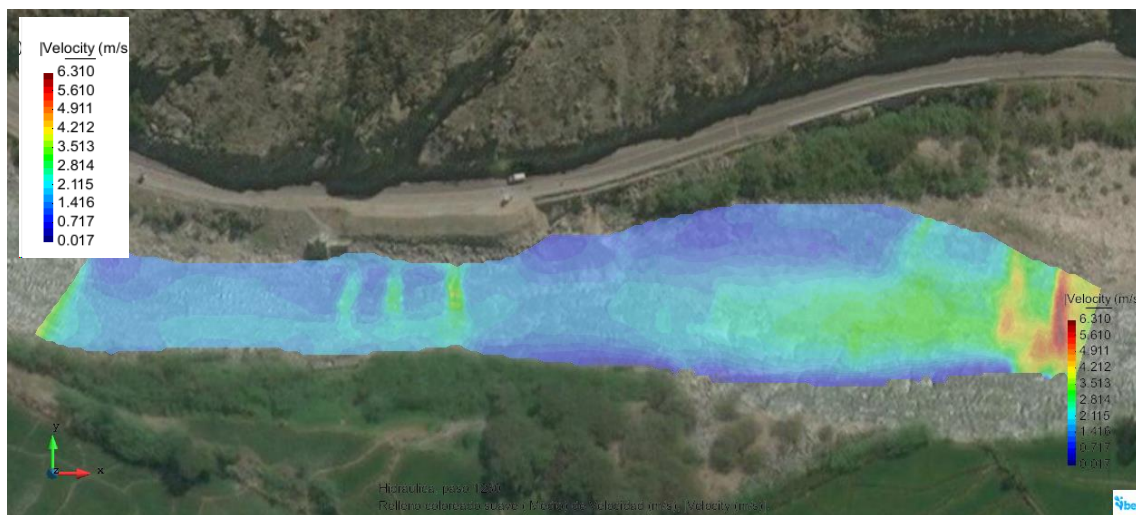


Figura 62. Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras gavión-espigo en el modelamiento IBER. Visualización de velocidad.



Tabla 16: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Gavión + Espigo)

<b>GAVIÓN + ESPIGO</b>						
<b>PROGR</b>	<b>TIRANTE</b>		<b>VELOCIDAD</b>		<b>ENERGÍA</b>	
	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)	Model o (cm/s)	Modelamient o IBER (m/s)	Model o (cm)	Modelamient o IBER (m)
0.00	5.7	1.98	81.312	3.63	9.027	2.65
20.00	5.9	2.05	28.224	1.26	6.263	2.13
40.00	8.0	2.8	60.480	2.7	9.864	3.17
60.00	7.1	2.49	67.424	3.01	9.431	2.95
80.00	6.4	2.23	30.464	1.36	6.844	2.32
100.00	6.0	2.09	59.584	2.66	7.781	2.45
120.00	8.7	3.05	29.344	1.31	9.153	3.14
140.00	11.5	4.03	26.656	1.19	11.876	4.1
160.00	13.8	4.84	18.144	0.81	13.996	4.87
180.00	11.7	4.08	62.048	2.77	13.619	4.47
200.00	9.7	3.41	69.664	3.11	12.216	3.9
220.00	9.3	3.25	88.928	3.97	13.316	4.05
240.00	8.7	3.03	84.448	3.77	12.292	3.75
260.00	8.1	2.84	80.416	3.59	11.410	3.5
280.00	7.7	2.71	74.592	3.33	10.579	3.28
300.00	6.3	2.2	86.240	3.85	10.076	2.96
320.00	5.7	1.98	69.440	3.1	8.115	2.47

#### 4.5. Comportamiento del Flujo con la Combinación de Estructuras Bolsacreto – Espigo.



Figura 63. Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras bolsacreto - espigo en el modelo.

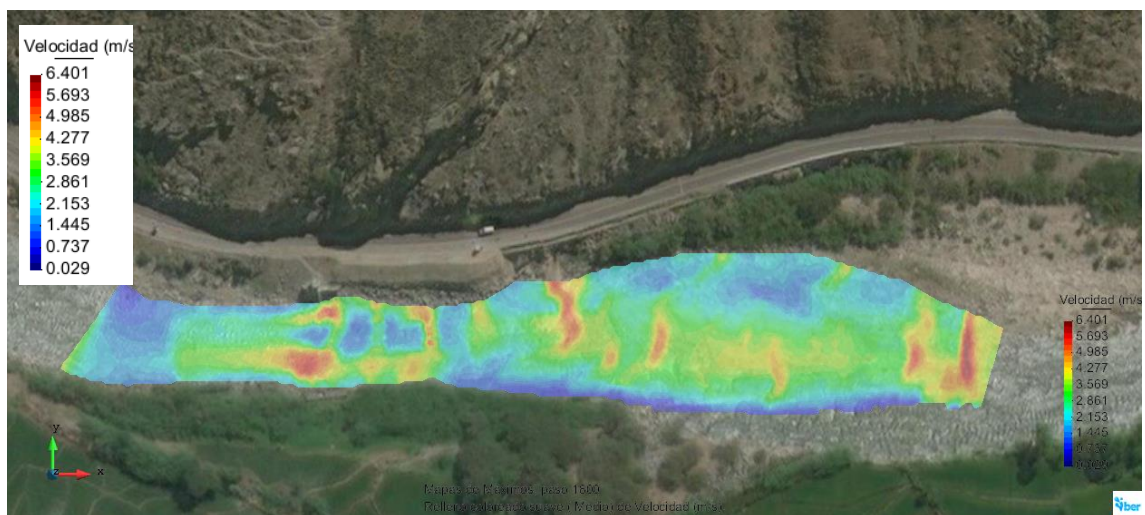
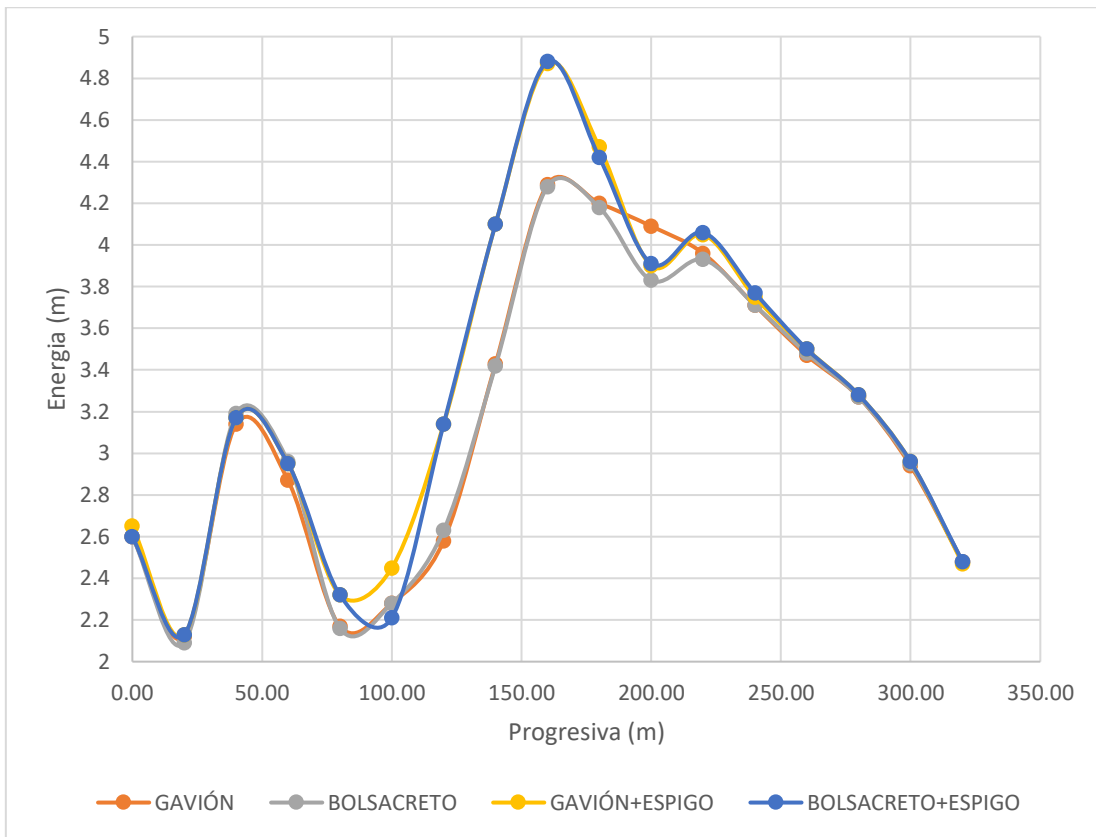


Figura 64. Comportamiento del flujo con la combinación de estructuras bolsacreto-espigo en el modelamiento IBER. Visualización de velocidad.

Tabla 17: Resultados obtenidos para el cauce con estructura (Bolsacreto + Espigón)

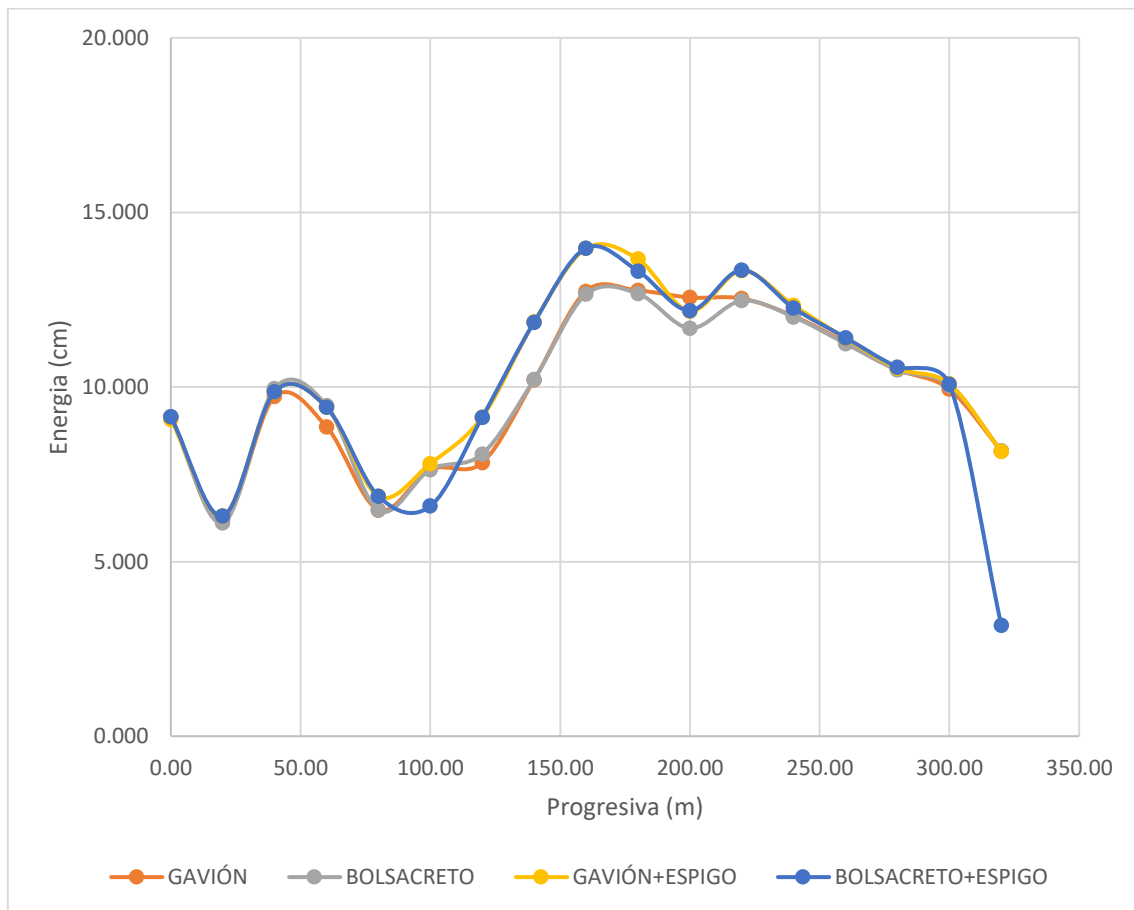
<b>BOLSACRETO + ESPIGO</b>						
<b>PROGR.</b>	<b>TIRANTE</b>		<b>VELOCIDAD</b>		<b>ENERGÍA</b>	
	Modelo	Modelamiento	Modelo	Modelamiento	Modelo	Modelamiento
	(cm)	IBER (m)	(cm/s)	IBER (m/s)	(cm)	IBER (m)
0.00	5.2	1.81	88.032	3.93	9.121	2.6
20.00	5.9	2.05	28.224	1.26	6.263	2.13
40.00	8.0	2.8	60.480	2.7	9.864	3.17
60.00	7.1	2.49	67.424	3.01	9.431	2.95
80.00	6.4	2.23	30.464	1.36	6.844	2.32
100.00	6.0	2.09	34.048	1.52	6.562	2.21
120.00	8.7	3.05	29.344	1.31	9.153	3.14
140.00	11.5	4.03	26.432	1.18	11.870	4.1
160.00	13.8	4.84	18.816	0.84	14.009	4.88
180.00	11.7	4.1	56.448	2.52	13.338	4.42
200.00	9.7	3.41	69.888	3.12	12.232	3.91
220.00	9.3	3.25	89.152	3.98	13.337	4.06
240.00	8.7	3.06	83.552	3.73	12.301	3.77
260.00	8.1	2.84	80.640	3.6	11.429	3.5
280.00	7.7	2.71	75.040	3.35	10.613	3.28
300.00	6.4	2.23	84.896	3.79	10.045	2.96
320.00	5.7	1.99	69.664	3.11	8.159	2.48

#### 4.6. Curvas de energía / progresiva. De modelamiento IBER



- El gráfico representa las curvas de energía en el eje del Río Jequetepeque para cada estructura, los resultados obtenidos permitieron la mejor alternativa de solución ante la erosión del talud.
- En el análisis de resultados, la curva de energía de las estructuras Gavión-Espigo, en el modelamiento matemático, resulta ser la más conveniente, para condiciones extremas (Caudal Máximo), manteniendo la línea principal de flujo, lo suficientemente alejada del talud de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios en el sector estudiado, incrementando la energía de flujo sobre el eje.

#### 4.7. Curvas de Energía / Progresiva. de Modelo a Escala 1/20



- El gráfico representa las curvas de energía en el eje del Río Jequetepeque para cada estructura, los resultados obtenidos permitieron la mejor alternativa de solución ante el erosión del talud.
- En el análisis de resultados, la curva de energía de las estructuras Gavión-Espigo, en el modelo a escala reducida, resulta ser la más conveniente, para condiciones extremas (Caudal Máximo), manteniendo la línea principal de flujo, lo suficientemente alejada del talud de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios en el sector estudiado, incrementando la energía de flujo sobre el eje

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

### **5.1. Conclusiones**

- Al comparar los resultados obtenidos, para las diferentes estructuras, se observó que la combinación de gavión y espigos, resulta ser la más conveniente, para condiciones extremas (Caudal Máximo), manteniendo la línea principal de flujo, lo suficientemente alejada del talud de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios en el sector estudiado, incrementando la energía de flujo sobre el eje.
- La información cartográfica de la zona, permitió elaborar el modelamiento a escala reducida y el modelamiento matemático, utilizando para ello los datos de levantamiento topográfico.
- El hidrograma de la base de datos de SENAMHI, permitió obtener el caudal máximo instantáneo, con el cual se realizaron los ensayos en los modelamientos a escala reducida y matemático.
- La estructura Gavión, obtuvo resultados desfavorables para condiciones extremas (Caudal Máximo), manteniendo una línea principal de flujo adyacente al talud, lo que ocasionará su deterioro.
- Las estructuras en conjunto Espigo-Gavión, fue la que obtuvo el resultado más favorable para condiciones extremas (Caudal Máximo), manteniendo una línea principal de flujo alejada del talud, lo que reducirá su deterioro.
- Las estructuras en conjunto Espigo-Bolsacreto, obtuvo un resultado desfavorable para condiciones extremas (Caudal Máximo), manteniendo una línea principal de flujo cercana del talud, lo que ocasionará su deterioro.
- Si se decide implementar un sistema combinado con espigos, ya sea para gaviones o bolsacretos, se debe prestar especial atención al espigo ubicado al inicio del tramo, pues es este el que recibe el mayor impacto de energía.

## 5.2. Recomendaciones

- A partir del estudio realizado, se recomienda la intervención de especialistas en modelación física y numérica en los grupos disciplinarios que se forman para el diseño de estructuras hidráulicas, con el fin de obtener información relevante para la construcción del modelo. Los especialistas pueden hacer un plan de extracción y análisis de muestras enfocados a la representación del fondo móvil de las estructuras involucradas. Esto beneficia en la toma de decisiones posteriores y en el tiempo de desarrollo de los modelos.
- La modelación física a una escala adecuada es una representación de las principales fuerzas involucradas en los fenómenos hidráulicos. El diseñador o investigador llega a estudiar los fenómenos tridimensionales que no pueden ser representados en un modelo numérico ni por fórmulas matemáticas. Sin embargo, en el modelo físico pueden existir limitaciones al momento de tomar datos o en todo caso existir fenómenos que presentan efectos de escala debido a la viscosidad o tensión capilar. Por lo tanto, el modelador debe tener especial cuidado al momento de correlacionar los parámetros hidráulicos y sedimentológicos medidos en el modelamiento IBER y en el modelo a escala 1/20 para las mismas condiciones de ensayo.

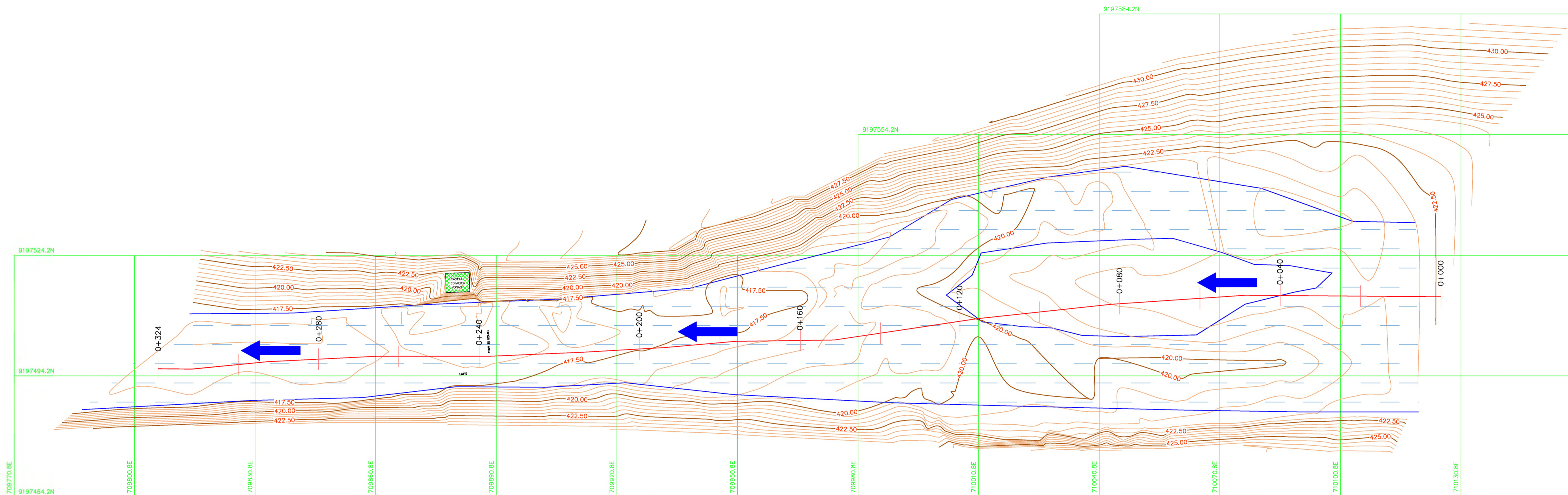
### 5.3. Referencias Bibliográficas:

- ✓ AHMED, K. (2008). Aplicaciones del Modelo HEC-RAS para el Análisis del Flujo No Permanente con Superficie Libre. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- ✓ CEDEX, GEAMA, FLUMEN y CIMNE 2010: IBER. Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual básico de usuario.
- ✓ HORANGE WILLIAMS, King. Manual de Hidráulica. 1ed. México: Editorial Hispano América; 1997.
- ✓ LUQUE, R. (2013). Control de Erosión y Sedimentos con Sistemas Veitiver en Margen de Rio, Taludes, Cárcavas y Minería en Venezuela. Medellín: Preside Vetiver Antierosión, CA.
- ✓ MARTIN VIDE, Juan Pedro. Ingeniería Fluvial. 1ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería; 1997.
- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Manual de carreteras. Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima
- ✓ ROCHA, A. (1998). Introducción a la hidráulica fluvial. Lima: Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.
- ✓ SUÁREZ, J. (2001). Control de Erosión en Zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. 2003.
- ✓ TORRES HERRERA, Francisco. Obras Hidráulicas. México: Editorial limusa; 1983.
- ✓ US ARMY CORPS OF ENGINEERS 2010: HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Versión 4.1.



**ANEXOS:**







**ANEXO 01: PLANO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA EN ESTUDIO**



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

### LEYENDA

- SENTIDO DEL RIO 
- CALICATA O1, O2, O3 
- ESPEJO DE AGUA 
- CURVA DE NIVEL MAYOR 
- CURVA DE NIVEL MENOR 
- EJE DE RIO 

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD:	INGENIERIA
ESCUELA:	INGENIERIA CIVIL
DISTRITO:	YONAN
PROVINCIA:	CONTUMAZA
DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA



Universidad Nacional de Cajamarca

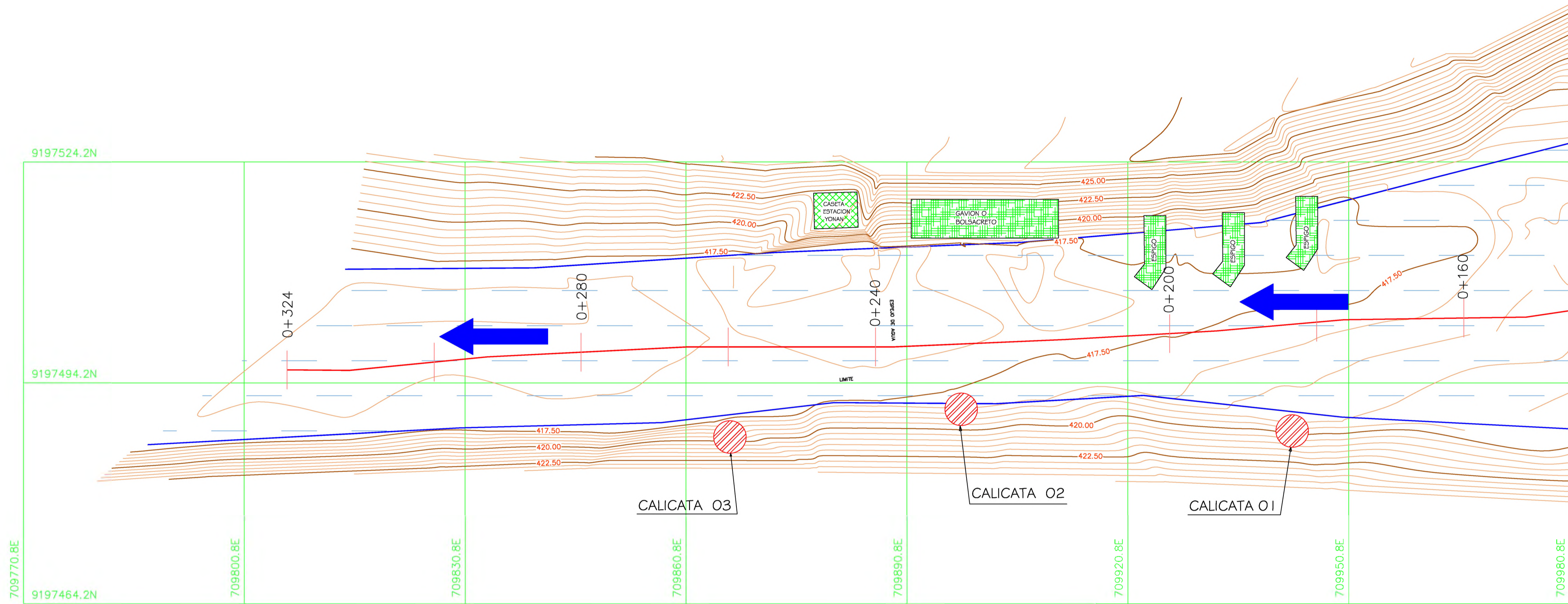
PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO CRÍTICO ENTRE PUENTE YONÁN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL RÍO JEQUETEPEQUE"

ESCALA: 1/750  
FECHA: AGOSTO - 2019

PLANO: TOPOGRAFIA DEL RIO JEQUETEPEQUE

N° PLANO: TR-01

**ANEXO 02: PLANO UBICACIÓN DE CALICATAS Y ESTRUCTURAS  
HIDRÁULICAS**



COORDENADAS DE UBICACION DE CALICATAS

CALICATA	ESTE (X)	NORTE (Y)
01	709939.4334	9197456.4343
02	709896.9319	9197458.8747
03	709865.6061	9197456.4615

**LEYENDA**

- SENTIDO DEL RIO
- CALICATA 01, 02, 03
- ESPEJO DE AGUA
- CURVA DE NIVEL MAYOR
- CURVA DE NIVEL MENOR
- EJE DE RIO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

FACULTAD:	INGENIERIA
ESCUELA:	INGENIERIA CIVIL
DISTRITO:	YONAN
PROVINCIA:	CONTUMAZA
DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA



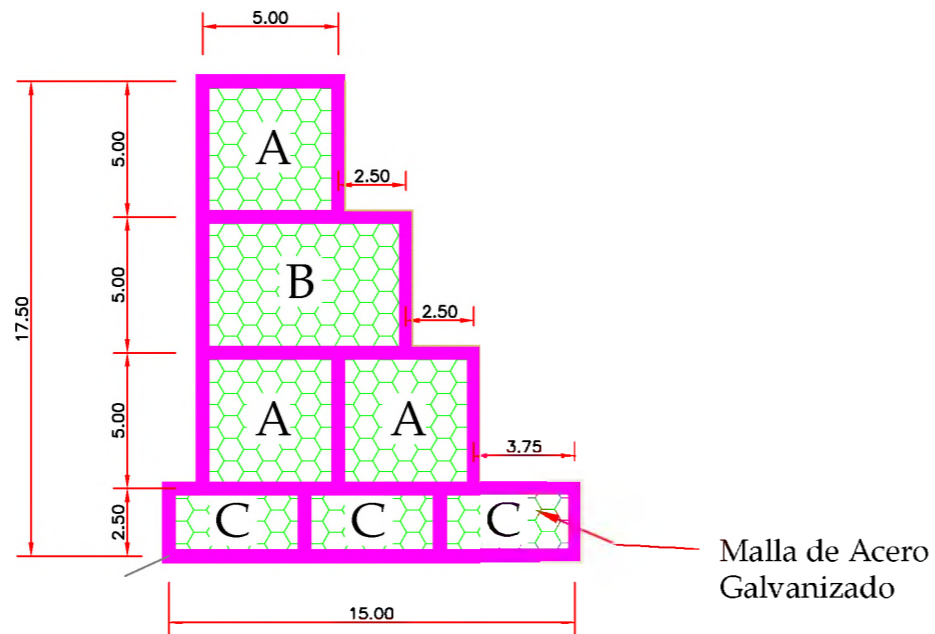
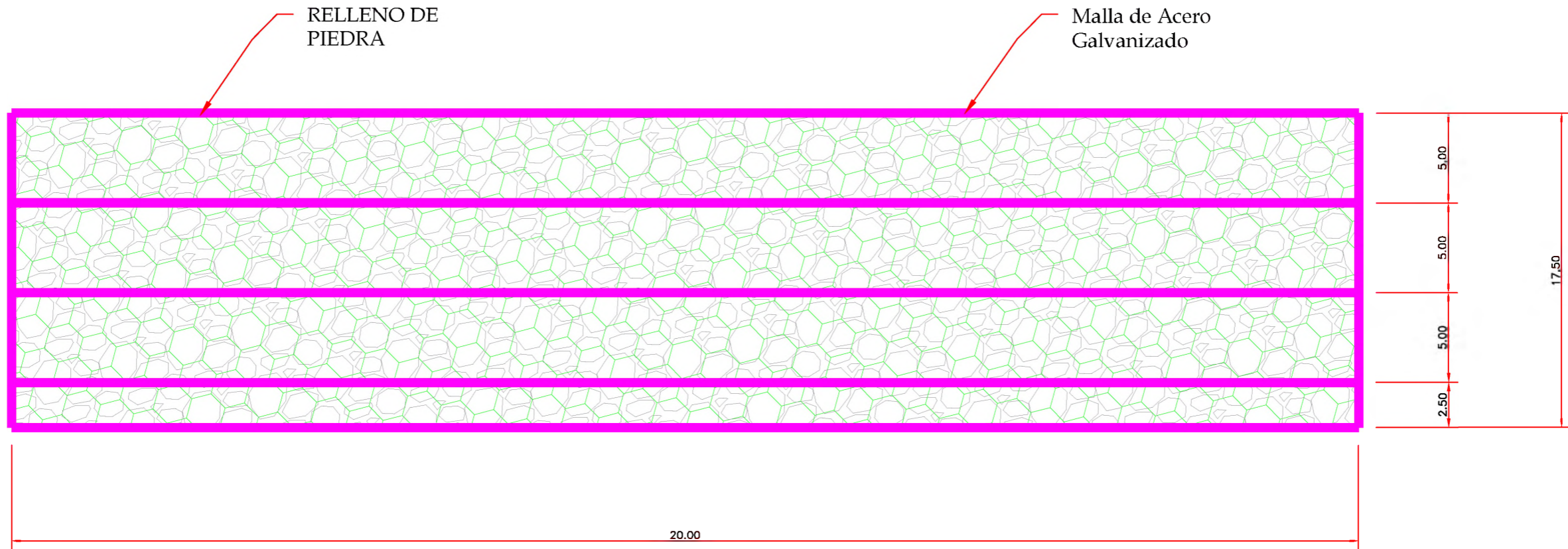
Universidad Nacional de Cajamarca

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO CRÍTICO ENTRE PUENTE YONÁN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL RÍO JEQUETEPEQUE"

ESCALA: 1/500  
FECHA: AGOSTO - 2019

PLANO: **UBICACION DE ESTRUCTURAS Y CALICATAS**  
N° PLANO: UEC-01

## **ANEXO 03: PLANOS DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS**



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
FACULTAD:	INGENIERIA
ESCUELA:	INGENIERIA CIVIL
DISTRITO:	YONAN
PROVINCIA:	CONTUMAZA
DEPARTAMENTO:	CAJAMARCA



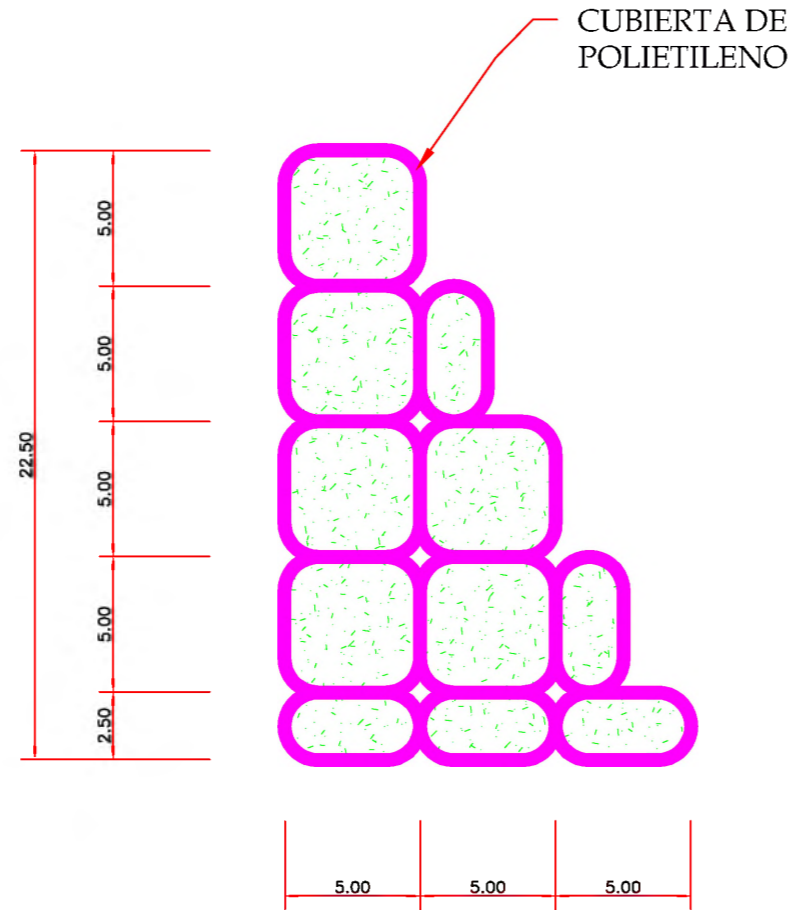
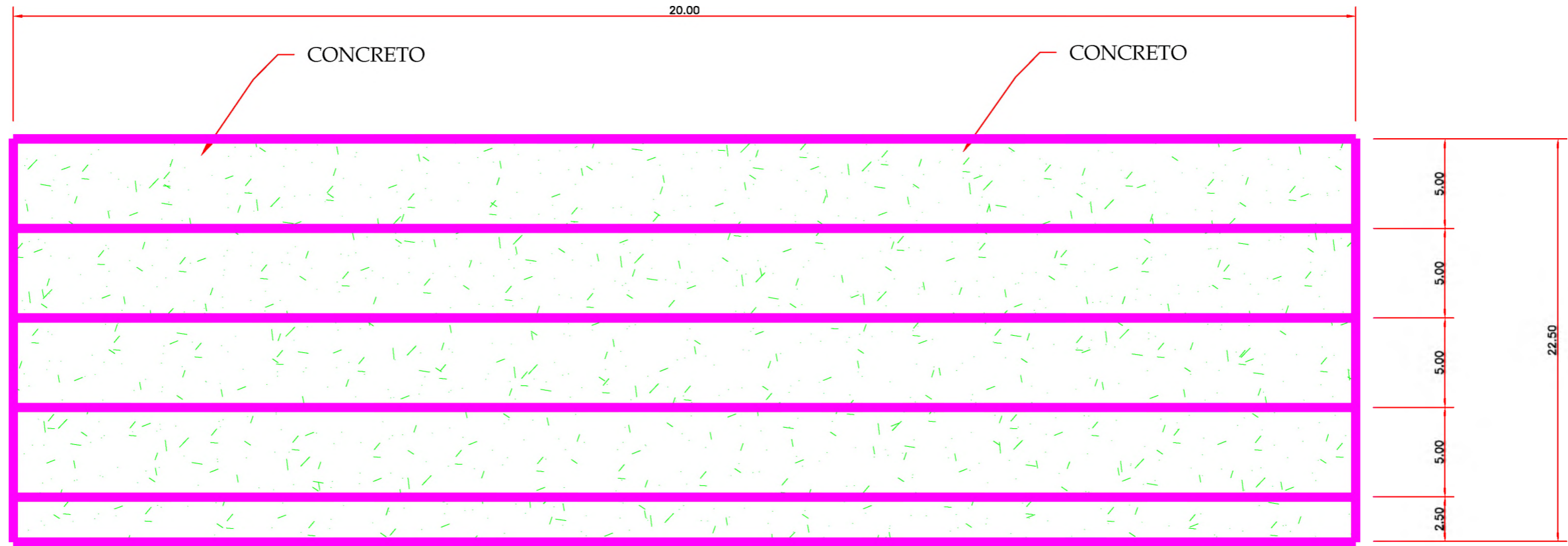

Universidad Nacional de Cajamarca

PROYECTO: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO CRÍTICO ENTRE PUENTE YONAN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL RÍO JEQUETEPEQUE"

ESCALA: 1/500  
FECHA: JULIO - 2017

PLANO: PLANO ESTRUCTURA GAVION

Nº PLANO: EG-01



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
FACULTAD: INGENIERIA	
ESCUELA: INGENIERIA CIVIL	
DISTRITO: YONAN	
PROVINCIA: CONTUMAZA	



**Universidad Nacional de Cajamarca**

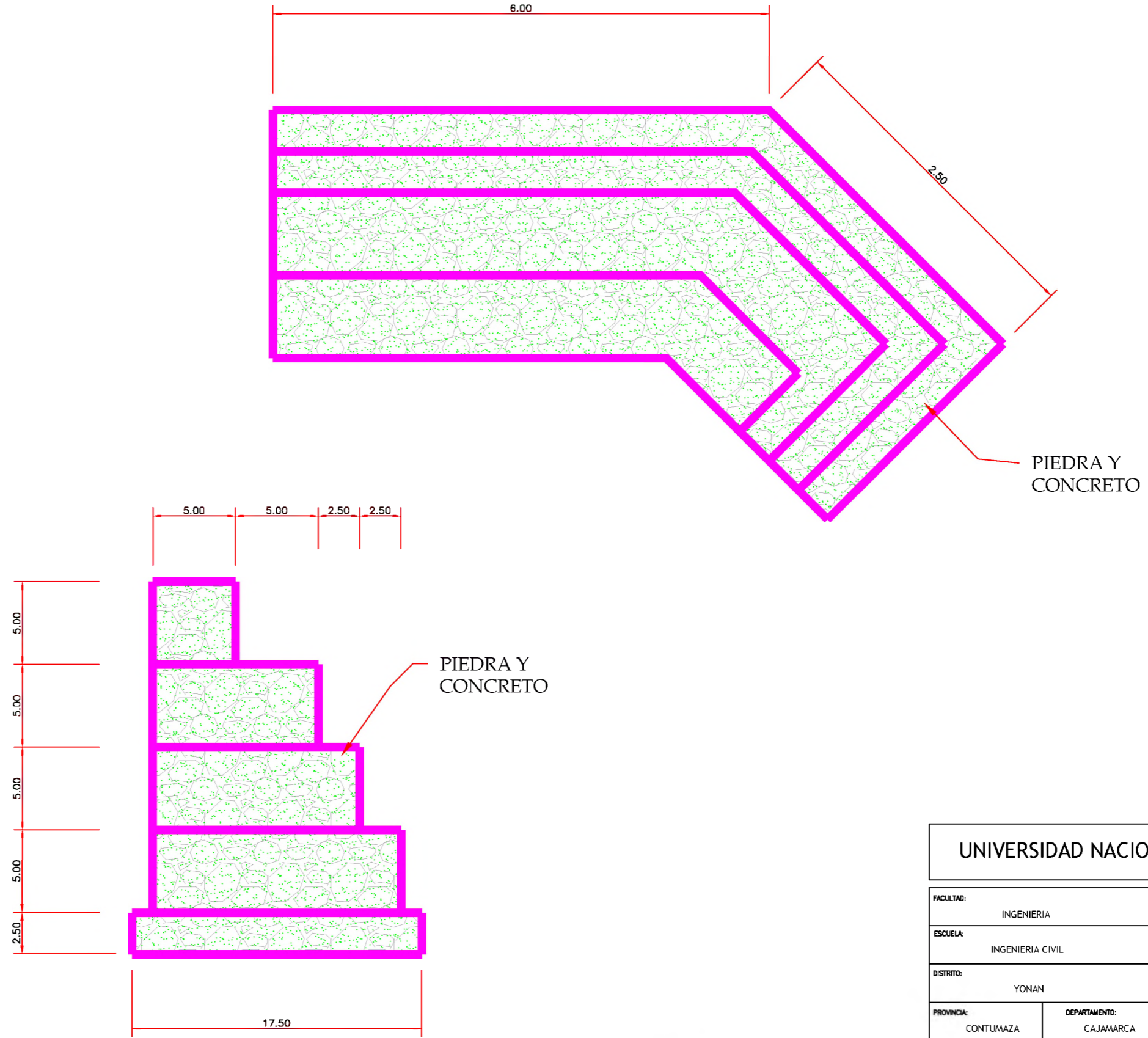
PROYECTO: "ANALISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACION DE ENERGIA PARA REDUCIR LA EROSION EN EL TRAMO CRITICO ENTRE PUENTE YONAN Y DESVIO CARRETERA A TRINIDAD DEL RIO JEQUETEPEQUE"

ESCALA:  
1/500  
FECHA:  
JULIO - 2017

PLANO:  
**PLANO ESTRUCTURA BOLSACRETO**

Nº PLANO:  
EB-01





<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>	
FACULTAD: INGENIERIA	
ESCUELA: INGENIERIA CIVIL	
DISTRITO: YONAN	
PROVINCIA: CONTUMAZA	
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA	

PROYECTO: "ANALISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACION DE ENERGIA PARA REDUCIR LA EROSION EN EL TRAMO CRITICO ENTRE PUENTE YONAN Y DESVIO CARRETERA A TRINIDAD DEL RIO JEQUETEPEQUE"	ESCALA: 1/500	PLANO: <b>PLANO ESTRUCTURA ESPIGO</b>	Nº PLANO: EE-01
	FECHA: JULIO - 2017		



Universidad Nacional de Cajamarca

**ANEXO 04: DATOS DE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA  
EN ESTUDIO**

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	709986.8567	9197494.0628	419.6238	BM
2	709990.1240	9197492.6682	419.6540	
3	709990.1633	9197488.9742	419.9599	
4	709995.8922	9197493.1596	419.6435	
5	709996.2890	9197491.0180	420.0240	
6	709996.7538	9197486.4885	420.3818	
7	709998.0724	9197481.4578	422.1589	
8	710002.4830	9197480.6130	422.3534	
9	709996.9469	9197480.8068	423.5716	
10	709999.5580	9197480.3941	423.4839	
11	710001.2769	9197480.0514	423.5800	
12	710004.0791	9197477.3175	425.4469	
13	710007.6556	9197476.1086	425.9243	
14	710023.8546	9197476.5083	426.2417	
15	710027.2817	9197476.3308	426.2568	
16	710036.2984	9197475.3891	426.9395	
17	710042.5376	9197476.7637	425.6952	
18	710046.8851	9197476.2144	425.8710	
19	710049.1509	9197476.2928	425.7708	
20	709996.7649	9197494.5190	419.5956	
21	709996.3239	9197488.7210	420.0698	
22	710000.9454	9197489.3021	419.6617	
23	710000.9236	9197484.6430	420.3975	
24	710005.4948	9197489.3420	420.0904	
25	710008.5333	9197483.5287	420.5541	
26	710004.7385	9197480.7625	421.3736	
27	710004.7385	9197480.7623	421.3736	
28	710008.6099	9197480.6653	421.5737	
29	710018.3403	9197482.9890	420.7108	

30	710018.4658	9197478.6159	422.1191
31	710028.3237	9197480.9035	421.1786
32	710025.9367	9197478.1544	422.3587
33	710034.8233	9197483.0461	420.8984
34	710037.0002	9197478.3874	422.5542
35	710042.5800	9197482.0445	421.0341
36	710046.6974	9197478.1404	423.0613
37	710052.2220	9197481.7421	421.1257
38	710056.4624	9197479.1330	422.6305
39	710058.9430	9197481.8649	421.2371
40	710067.4929	9197482.5974	421.2835
41	710074.2334	9197482.4621	421.4665
42	710087.5933	9197479.5792	424.7170
43	710084.4127	9197483.5784	421.5229
44	709785.6413	9197485.0829	417.2008
45	709798.8006	9197486.1534	417.2847
46	709814.1336	9197486.8096	417.0951
47	709834.3655	9197487.8639	417.2752
48	709815.2997	9197512.0987	417.3368
49	709851.1248	9197487.4831	417.3916
50	709826.7910	9197510.3505	417.3380
51	709875.7387	9197489.9502	417.4441
52	709879.4498	9197491.7728	417.3943
53	709887.6324	9197491.8099	417.5079
54	709899.9143	9197491.2304	417.7554
55	709870.1337	9197511.7098	417.4567
56	709909.3808	9197492.0412	417.9020
57	709916.6148	9197493.7271	417.9939
58	709936.5541	9197490.2452	418.6655
59	709942.5441	9197489.3555	418.7034
60	709950.2526	9197488.9491	419.0220
61	709905.7748	9197512.9859	417.5496
62	709960.8483	9197489.1310	419.2545

63	709916.0870	9197514.2883	417.7521
64	709974.6014	9197491.6191	419.3821
65	709923.1652	9197514.6505	417.8657
66	709931.4157	9197515.9843	418.2732
67	709938.7828	9197516.6694	418.1019
68	709981.3537	9197510.7398	419.4722
69	709989.8121	9197509.0574	419.2133
70	709999.4723	9197508.4059	419.3610
71	710011.7478	9197507.6204	419.9771
72	710021.5831	9197506.4712	420.2697
73	710028.9567	9197506.1186	420.4852
74	710036.4095	9197504.2903	420.7969
75	710046.1841	9197503.9692	420.9439
76	710064.9162	9197504.3928	421.3746
77	710077.0593	9197512.0406	421.8535
78	710089.2933	9197515.0281	421.9001
79	710094.7707	9197516.0608	421.8373
80	710098.6560	9197519.7858	421.8884
81	710088.0725	9197521.6226	421.7887
82	710079.2645	9197521.9217	421.5832
83	710071.1320	9197524.9330	421.5264
84	710059.0055	9197528.4028	421.2310
85	710052.5295	9197531.5682	421.0316
86	710046.9714	9197535.9944	420.7053
87	710040.1404	9197540.6547	420.2130
88	710025.2713	9197541.3030	420.0243
89	710017.5636	9197538.9820	419.9140
90	710003.9438	9197535.7319	419.0329
91	709976.3428	9197514.8812	419.2163
92	709993.9915	9197532.0802	418.7456
93	709977.3465	9197519.1863	418.6863
94	709986.9962	9197529.2138	418.4211
95	709981.6072	9197522.1184	418.4552

96	709981.8268	9197526.2346	418.1873
97	709993.8353	9197525.7584	418.7629
98	709972.0722	9197525.5864	418.2479
99	710007.0220	9197528.4973	419.2936
100	709973.5447	9197530.7717	419.4149
101	710016.6277	9197532.0438	419.6873
102	709978.4691	9197534.2217	420.0584
103	710034.9023	9197532.5322	420.2220
104	709985.6714	9197533.9026	419.8988
105	710050.6444	9197528.1855	420.8506
106	709991.5782	9197536.5874	420.6052
107	710056.2430	9197523.9481	421.0901
108	709995.9699	9197539.1041	420.9297
109	710072.8881	9197520.1962	421.5670
110	710001.3514	9197539.8425	420.8758
111	710094.6682	9197515.7622	421.8669
112	710097.2160	9197513.9512	421.7510
113	710094.9376	9197512.7704	421.7032
114	710074.5855	9197512.7153	421.9899
115	710035.0708	9197543.9410	420.9748
116	710060.6451	9197515.0859	421.9299
117	710048.9209	9197522.7224	421.4130
118	710047.1867	9197546.3005	421.3898
119	710046.8647	9197515.6313	421.8318
120	710044.9448	9197510.6978	421.4263
121	710066.4272	9197548.9008	421.5522
122	710033.1280	9197511.5998	421.1378
123	710074.5062	9197548.4674	421.6233
124	710031.1062	9197518.4300	421.4002
125	710027.7928	9197527.2232	420.7850
126	710093.0292	9197553.9475	422.7385
127	710011.3886	9197524.7674	420.2450
128	710009.1535	9197519.2494	420.7037

129	710107.0637	9197556.5757	423.4244	
130	710002.6901	9197514.2918	420.4538	
131	709995.1635	9197515.6052	419.9869	
132	709986.7654	9197515.4796	419.8827	
133	709846.1238	9197524.8349	424.9459	
134	709855.0452	9197525.0278	425.1517	
135	709855.0607	9197525.0231	425.1514	
136	709855.0344	9197525.0300	425.1520	
137	709861.2263	9197524.4601	425.3464	
138	709871.7037	9197524.0777	425.7194	
139	709877.9693	9197514.9822	422.1900	CACETA
140	709877.8163	9197519.8413	422.1895	CACETA
141	709884.8974	9197515.0976	421.7440	CACETA
142	709883.8210	9197519.9233	422.0844	CACETA
143	709881.7590	9197525.0704	426.0330	
144	709887.1386	9197522.6937	426.2707	
145	709887.1231	9197522.6984	426.2721	
146	709909.6409	9197523.4149	427.1071	
147	709926.3256	9197524.9297	427.6813	
148	709935.2057	9197525.9527	428.0598	
149	709939.8727	9197528.5936	428.0449	
150	709941.0549	9197530.9310	427.9787	
151	709953.9516	9197534.6728	428.3337	
152	709953.9445	9197534.6644	428.3349	
153	709963.7900	9197538.9991	428.6329	
154	709967.3415	9197539.0127	428.6334	
155	710004.0010	9197553.8405	429.6928	
156	710019.1962	9197559.0719	430.1845	MC
157	710047.7498	9197569.3649	430.8568	MC
158	710060.8911	9197573.3650	431.0710	MC
159	710060.8866	9197573.3606	431.0700	MC
160	710080.0581	9197577.5437	431.4028	MC
161	710099.6895	9197580.7619	431.6181	MC

162	710118.5813	9197581.8809	431.7862	MC
163	710157.7721	9197581.7240	432.3711	MC
164	710157.7613	9197581.7095	432.3684	MC
165	710000.9034	9197476.4739	425.0000	A1
166	709990.5493	9197477.0042	424.9000	A2
167	709780.7536	9197480.8386	422.0400	A3
168	709795.9011	9197481.2785	422.7500	A4
169	709827.5975	9197482.1728	423.1500	A5
170	709846.8607	9197482.3630	423.7500	A6
171	709878.6985	9197482.0930	424.0000	A7
172	709902.9727	9197481.6018	424.1500	A8
173	709926.0049	9197480.5060	424.6500	A9
174	709947.7374	9197479.2545	424.8500	A10
175	710095.5409	9197484.2972	421.5800	A20
176	710105.3178	9197484.6494	421.6500	A21
177	710117.5268	9197483.8177	421.7200	A22
178	710124.1029	9197557.0420	423.7500	A23
179	710139.2353	9197555.8262	424.1500	A25
180	710097.1332	9197479.1895	424.8500	A26
181	710112.6315	9197479.1168	425.0000	A27
182	709831.0699	9197524.8077	424.1000	A80
183	709817.4887	9197526.0138	423.8000	A81
184	709885.5983	9197513.3845	417.5000	BAJA CACETA
185	709878.2272	9197512.7278	417.4800	BAJA CACETA 2
186	709987.2264	9197549.4283	429.0000	A100
187	709858.4048	9197511.3070	417.4000	A200
188	709864.3223	9197489.0106	417.4000	A201
189	709967.3073	9197490.3899	419.3000	S1
190	709957.4672	9197521.8766	418.1800	
191	709967.1514	9197524.3267	418.2200	
192	709967.2513	9197519.2817	418.0000	S1
193	709967.3163	9197513.5431	417.3000	S1
194	709967.2091	9197508.4017	418.0000	S1

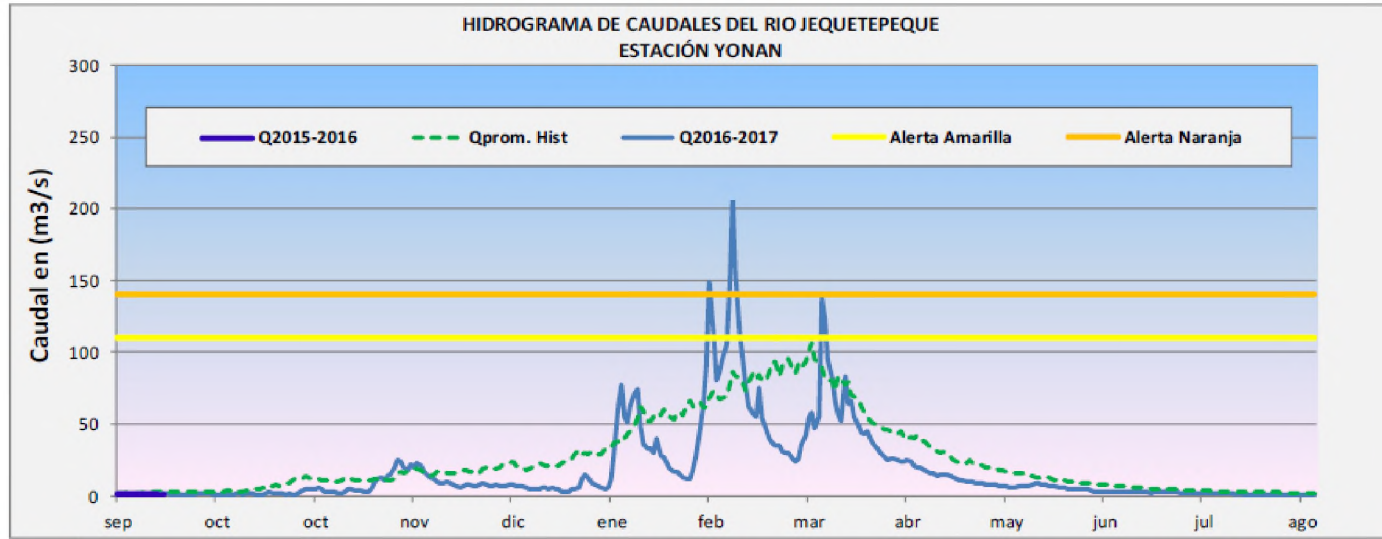
195	709967.2091	9197502.6176	418.3000	S1
196	709967.2091	9197496.0837	419.0000	S1
197	709947.3019	9197519.7038	418.1400	S2
198	709947.2392	9197489.2353	418.8500	S2
199	709947.2796	9197518.3328	417.2000	S2
200	709947.2529	9197515.4546	416.9000	S2
201	709947.2166	9197510.3926	416.9000	S2
202	709947.2305	9197506.4676	417.2000	S2
203	709947.2305	9197502.3002	417.8000	S2
204	709947.2305	9197497.9961	418.3000	S2
205	709947.2794	9197493.5139	418.6000	S2
206	709927.2650	9197492.1501	418.0000	S3
207	709927.2502	9197515.9581	418.0000	S3
208	709927.2327	9197495.5352	417.8000	S3
209	709927.2125	9197498.9531	417.6000	S3
210	709927.2125	9197501.8667	417.4000	S3
211	709927.2819	9197505.4046	417.2000	S3
212	709927.2125	9197509.4685	417.4000	S3
213	709927.2583	9197513.9490	417.6000	S3
214	709898.2659	9197513.2459	417.5200	
215	709907.2312	9197513.4764	417.6000	S4
216	709907.2247	9197492.1806	417.8000	S4
217	709907.2732	9197511.4058	416.3000	S4
218	709907.2421	9197508.4152	416.1000	S4
219	709907.3361	9197505.0395	416.5000	S4
220	709907.1941	9197501.7067	417.1000	S4
221	709907.1941	9197497.3102	417.5000	S4
222	709887.2426	9197491.7826	417.5000	S5
223	709887.2557	9197512.7043	417.5000	S5
224	709887.2337	9197511.8912	416.2000	S5
225	709887.2520	9197508.9680	416.3000	S5
226	709887.2401	9197505.3883	416.6000	S5
227	709887.2401	9197496.2812	417.0000	S5



228	709887.3520	9197498.8714	416.8000	S5
229	709887.2070	9197501.9129	416.5000	S5
230	709867.1953	9197511.9702	417.4000	S6
231	709867.2438	9197489.6378	417.4200	S6
232	709867.2140	9197510.0777	416.5000	S6
233	709867.1903	9197507.0968	416.5000	S6
234	709867.2595	9197503.0315	416.9000	S6
235	709867.3001	9197499.8475	417.1000	S6
236	709867.2073	9197496.8801	417.2000	S6
237	709867.1609	9197493.2636	417.3500	S6
238	709842.8359	9197510.7059	417.3800	
239	709847.2403	9197511.1994	417.4000	S7
240	709847.2409	9197487.6688	417.3500	S7
241	709847.2593	9197492.3447	417.0000	S7
242	709847.2102	9197508.1796	417.0000	S7
243	709847.2582	9197505.2976	416.5000	S7
244	709847.2582	9197502.4156	416.5000	S7
245	709847.2582	9197495.1626	416.8000	S7
246	709847.3063	9197499.2935	416.6000	S7
247	709827.8877	9197506.9038	417.0000	
248	709828.5764	9197502.5789	416.5000	
249	709826.8777	9197488.0827	417.2000	
250	709827.9610	9197495.2650	417.0000	
251	709815.3629	9197507.6048	417.0000	
252	709815.6145	9197501.9745	416.5000	
253	709814.5255	9197490.9309	416.9500	
254	709807.5427	9197496.9192	416.7000	
255	709802.7159	9197491.6496	417.0000	
256	709980.7042	9197505.8144	418.8000	
257	709979.8060	9197497.7242	419.0000	
258	709997.9718	9197501.4977	419.0000	
259	710018.8057	9197491.5140	420.0000	
260	710020.5742	9197501.4199	419.8000	

261	710038.8942	9197488.3901	420.0000	
262	710040.6030	9197498.5425	420.0000	
263	710061.4351	9197497.1007	419.7000	
264	710061.3910	9197488.8789	420.4000	
265	710085.2766	9197489.2039	421.0000	
266	710085.6163	9197497.5010	419.9000	
267	710087.6296	9197506.5524	421.0000	
268	710080.5588	9197529.4458	421.0000	
269	710081.0955	9197540.8210	421.0000	
270	710105.4168	9197549.0366	422.0000	
271	710103.7907	9197532.6192	421.0000	
272	710108.7583	9197515.0517	421.6000	
273	710108.3713	9197506.1024	421.3000	
274	710107.5936	9197497.6423	421.2500	
275	710122.4151	9197548.8554	423.0000	
276	710119.4584	9197532.2842	422.0000	
277	710064.0912	9197476.7668	426.0000	
278	710076.6472	9197476.9859	426.5000	
279	710087.5319	9197476.0849	426.6000	
280	710097.2585	9197474.8678	426.8000	
281	710113.2500	9197474.1918	427.0000	
282	710012.3133	9197541.8434	420.9200	
283	710021.8711	9197543.0659	420.9400	
284	710057.6590	9197476.1926	426.0000	
285	709978.0000	9197485.0000	420.0000	BMREFERENCIAL

## **ANEXO 05: DIAGRAMA HIDROLÓGICO**



CUENCA	ESTACION	CAUDALES DEL DIA ANTERIOR (m³/seg.)					CAUDALES DE HOY (m³/seg.)				
		Promedio 24:00 hrs.	Normal Diario	Anomalia (%)	Min.	Max.	Promedio hasta: 07.00 hrs.	Normal Diario	Anomalia (%)	Min.	Max.
JEQUETEPEQUE	YONAN	0.58	2.24	-74	0.58	0.64	0.58	2.24	-74	0.58	0.64

Fuente: SENAMHI-PEJEZA.

**CONCLUSIONES Y PREVISIONES**

El caudal del río Jequetepeque en la estación hidrológica Yonan, se encuentra por debajo de su promedio histórico. El caudal promedio desde las 00:00 hrs hasta las 07:00 hrs es 0.58m³/s, siendo menor al normal diario de 2.24m³/s lo que representa una anomalía de -74%. Por otra parte su comportamiento hidrológico a esta hora es estable respecto al promedio del día anterior.

Río	TENDENCIA DE CAUDAL PARA HOY
Jequetepeque	se prevé que el caudal promedio diario se incremente ligeramente

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ**

Pasaje. Jaén N° 121 - Urb. Ramón Castilla – Cajamarca  
 Tel: 076-365701 Cel. 976-789869, RPM #536908, Cel. 945116655 RPM \*614598, RPC 982569926  
 Email: dr03-cajamarca@senamhi.gob.pe

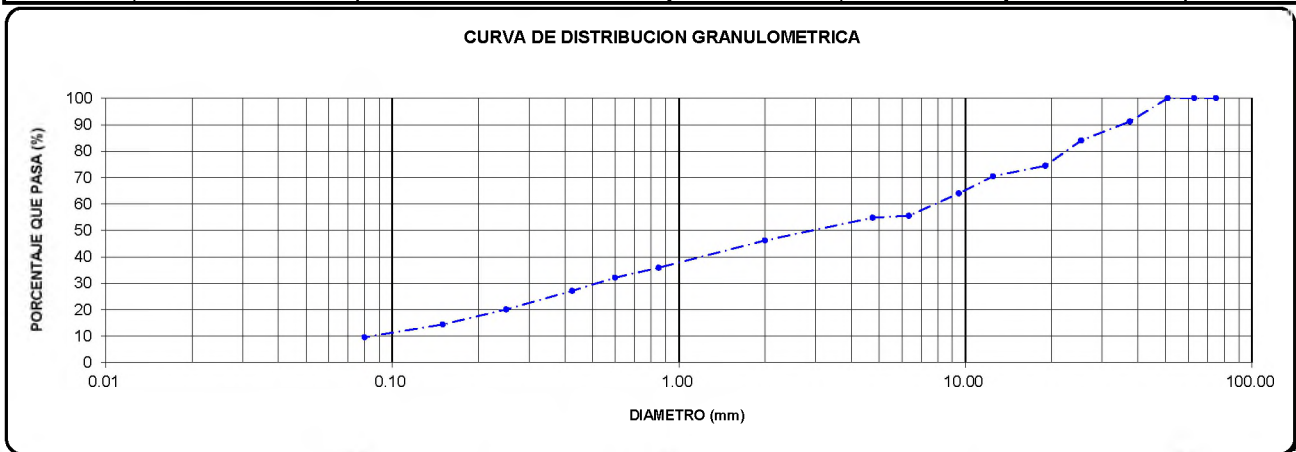
**ANEXO 06: ESTUDIO DE SUELOS CALICATA 01**

## ANALISIS GRANULOMETRICO A.S.T.M. D 422

**PROYECTO :** ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO CRÍTICO ENTRE PUENTE YONÁN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL RÍO JEQUETEPEQUE  
**RESPONSABLE :**  
**UBICACIÓN :** RÍO JEQUETEPEQUE  
**OPERADOR :** LEINER GUERRERO GONZALES  
**CALICATA :** 1.00  
**FECHA :**  
**MUESTRA :** 1.00  
**PROFUNDIDAD :** DE 0.30 m. A 2.50 m.  
**SOLICITANTE :** HANS ALBERTO CACERES LOZANO  
**COORDENADAS UTM :**

ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL				
N°	TAMIZ	P.RET PARCIAL	PORCENTAJE RET. PARCIAL	PORCENTAJE RET. ACUM	% QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C	
	ABERTURA (mm)									
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		13040.90		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		7553.20		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		5487.70		
1 1/2"	38.10	1036.00	8.82	8.82	91.18	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		6427.00		
1"	25.40	834.00	7.10	15.93	84.07	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		5315.00		
3/4"	19.05	1126.00	9.59	25.52	74.48	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)		11742.00		
1/2"	12.70	476.00	4.05	29.57	70.43					
3/8"	9.52	763.00	6.50	36.07	63.93					
1/4"	6.35	985.00	8.39	44.46	55.54					
N°4	4.75	95.00	0.81	45.26	54.74					
TOTAL	WG =	5315.00								
ANALISIS FRACCION FINA						CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216		LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318		
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :					0.109470					
PESO ENSAYO PORCION SECA :					500.00					
N 10	2.00	79.00	8.65	53.91	46.09	TARA N°	1	LIMITE LIQUIDO :	25.00%	
N 20	0.85	94.00	10.29	64.20	35.80	PESO HUMEDO + TARA (gr)	1443.00	LIMITE PLASTICO :	N.P.	
N 30	0.60	34.00	3.72	67.93	32.07	PESO SECO + TARA (gr)	1311.00	INDICE PLASTICO :	N.P.	
N 40	0.43	45.00	4.93	72.85	27.15	PESO TARA (gr)	143.00			
N 60	0.25	65.00	7.12	79.97	20.03	PESO DEL AGUA (gr)	132.00			
N 100	0.15	52.00	5.69	85.66	14.34	PESO SECO (gr)	1168.00			
N 200	0.08	44.00	4.82	90.48	9.52	c. HUMEDAD (%)		11.30	CLASIFICACION S.U.C.S. :	GP - GM
CAZOLETA										
TOTAL										

**CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA**



D60 =	7.80	D30 =	0.52	D10 =	0.08
Cu =	97.50	Cc =	0.43		

**OBSERVACIONES:** LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO S.U.C.S. Y CORRESPONDE A UNA GRAVA ARENO LIMOSA POBREMENTE GRADADA DE TAMAÑO MAXIMO DE 2", MEZCLADA CON 45.22% DE ARENA GRUESA A FINA Y 9.52% DE PARTICULAS FINAS MENORES QUE 0.075 mm, EXENTAS DE PLASTICIDAD.

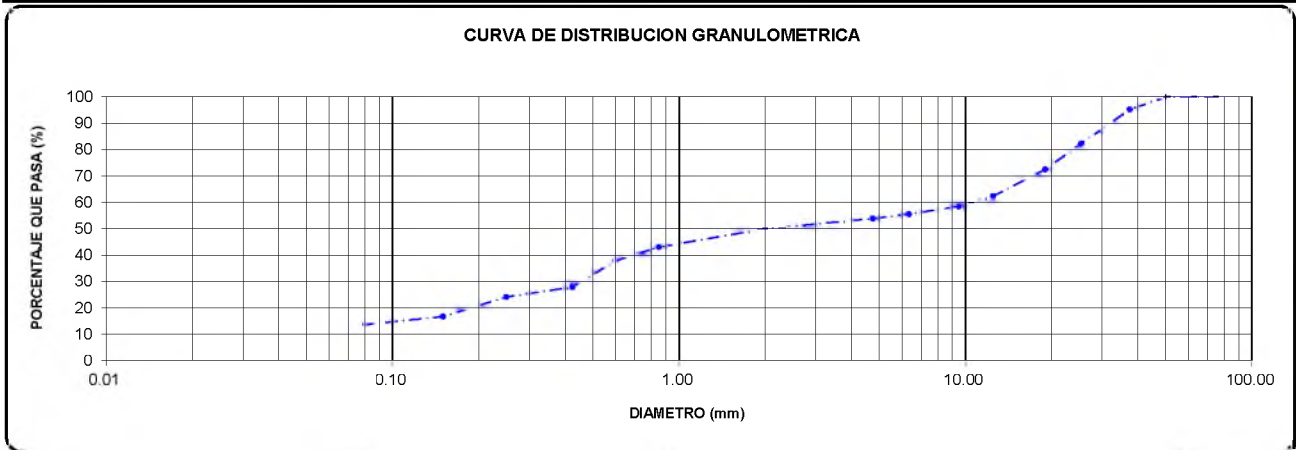
**ANEXO 07: ESTUDIO DE SUELOS CALICATA 02**

## ANALISIS GRANULOMETRICO A.S.T.M. D 422

**PROYECTO :** ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO CRÍTICO ENTRE PUENTE YONÁN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL RÍO JEQUETEPEQUE  
**RESPONSABLE :** LEINER GUERRERO GONZALES  
**OPERADOR :**  
**UBICACIÓN :** RÍO JEQUETEPEQUE  
**FECHA :**  
**CALICATA :** 2.00  
**PROFUNDIDAD :** DE 0.00 m. A 2.50 m.  
**MUESTRA :** 1.00  
**COORDENADAS UTM :**  
**SOLICITANTE :** HANS ALBERTO CACERES LOZANO

ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL				
TAMIZ		P.RET	PORCENTAJE	PORCENTAJE	% QUE	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C	
N°	ABERTURA (mm)	PARCIAL	RET. PARCIAL	RET. ACUM	PASA					
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)		13198.70		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		7358.60		
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		5840.10		
1 1/2"	38.10	602.00	4.85	4.85	95.15	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)		6686.00		
1"	25.40	1608.00	12.95	17.79	82.21	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		5734.00		
3/4"	19.05	1204.00	9.69	27.49	72.51	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)		12420.00		
1/2"	12.70	1265.00	10.19	37.67	62.33	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)				
3/8"	9.52	490.00	3.95	41.62	58.38	PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)				
1/4"	6.35	362.00	2.91	44.53	55.47	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)				
N°4	4.75	203.00	1.63	46.17	<b>53.83</b>	PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)				
TOTAL	W G =	5734.00								
ANALISIS FRACCION FINA						CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216		LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318		
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA :					0.107665					
PESO ENSAYO PORCION SECA :					500.00					
N 10	2.00	36.00	3.88	50.04	49.96	TARA N°	1	LIMITE LIQUIDO :	22.00%	
N 20	0.85	65.00	7.00	57.04	42.96	PESO HUMEDO + TARA (gr)	1615.00	LIMITE PLASTICO :	N.P.	
N 30	0.60	48.00	5.17	62.21	37.79	PESO SECO + TARA (gr)	1525.00	INDICE PLASTICO :	N.P.	
N 40	0.43	93.00	10.01	72.22	27.78	PESO TARA (gr)	90.00			
N 60	0.25	34.00	3.66	75.88	24.12	PESO DEL AGUA (gr)	90.00			
N 100	0.15	69.00	7.43	83.31	16.69	PESO SECO (gr)	1435.00			
N 200	0.08	29.00	3.12	86.43	<b>13.57</b>	c. HUMEDAD (%)		6.27	CLASIFICACION S.U.C.S. :	GM
CAZOLETA										
TOTAL										

**CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA**



D60 =	11.00	D30 =	0.48	D10 =	
Cu =		Cc =			

**OBSERVACIONES:** LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO S.U.C.S. Y CORRESPONDE A UNA GRAVA LIMOSA POBREM GRADADA DE TAMAÑO MAXIMO DE 2", MEZCLADA CON 40.26% DE ARENA GRUESA A FINA Y 13.57% DE PARTICULAS FINAS MENORES 0.075 mm, EXENTAS DE PLASTICIDAD.



**ANEXO 08: ESTUDIO DE SUELOS CALICATA 03**

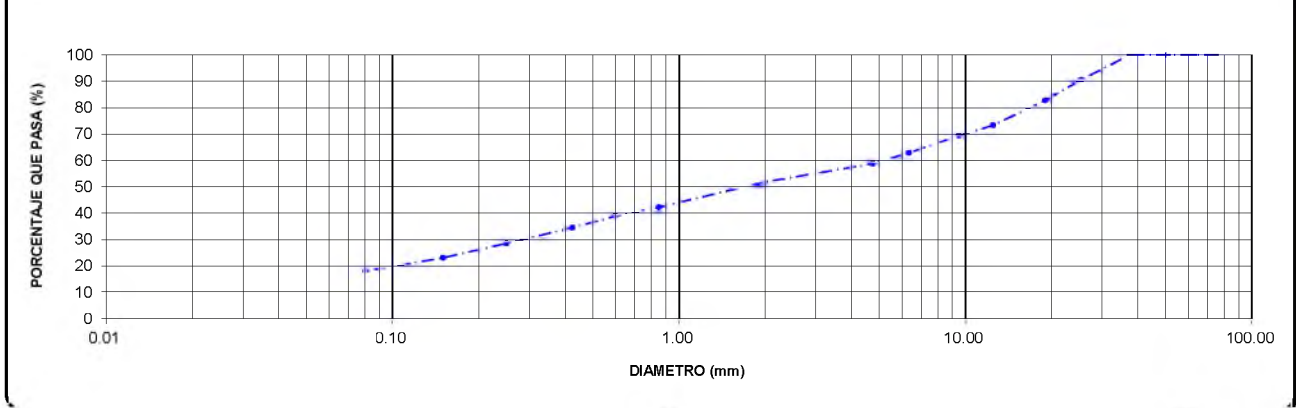
## ANALISIS GRANULOMETRICO A.S.T.M. D 422

**PROYECTO :** ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA REDUCIR LA EROSIÓN EN EL TRAMO CRÍTICO ENTRE PUENTE YONÁN Y DESVÍO CARRETERA A TRINIDAD DEL RÍO JEQUETEPEQUE  
**UBICACIÓN :** RIO JEQUETEPEQUE  
**CALICATA :** 3.00  
**MUESTRA :** 1.00  
**SOLICITANTE :** HANS ALBERTO CACERES LOZANO

**RESPONSABLE :** LEINER GUERRERO GONZALES  
**OPERADOR :**  
**FECHA :**  
**PROFUNDIDAD :** DE 0.30 m. A 2.50 m.  
**COORDENADAS UTM :**

ANALISIS FRACCION GRUESA						MUESTRA TOTAL			
TAMIZ		P.RET PARCIAL	PORCENTAJE		% QUE PASA	TEMPERATURA DE SECADO	AMBIENTE	60° C	110° C
N°	ABERTURA (mm)		RET. PARCIAL	RET. ACUM					
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)	14207.30		
2 1/2"	63.50	0.00	0.00	0.00	100.00		PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA < N° 4 (gr)	8673.20	
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA > N° 4 (gr)		5534.10	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00		PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (gr)	7659.00	
1"	25.40	1240.00	9.51	9.51	90.49	PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (gr)		5386.00	
3/4"	19.05	1015.00	7.78	17.29	82.71		PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)	13045.00	
1/2"	12.70	1236.00	9.47	26.76	73.24	CORRECCION MUESTRA CUARTEADA : 0.117424		CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M. D 2216	
3/8"	9.52	517.00	3.96	30.72	69.28				
1/4"	6.35	842.00	6.45	37.18	62.82	PESO ENSAYO PORCION SECA : 500.00	LIMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318		
N°4	4.75	536.00	4.11	41.29	58.71				
TOTAL	W G =	5386.00				TARA N°		1	
ANALISIS FRACCION FINA						PESO HUMEDO + TARA (gr)		1862.00	
CORRECCION MUESTRA CUARTEADA : 0.117424						PESO SECO + TARA (gr)		1720.00	
PESO ENSAYO PORCION SECA : 500.00						PESO TARA (gr)		127.00	
N 10	2.00	59.00	6.93	48.22	51.78	PESO DEL AGUA (gr)		142.00	
N 20	0.85	81.00	9.51	57.73	42.27	PESO SECO (gr)		1593.00	
N 30	0.60	29.00	3.41	61.13	38.87	C. HUMEDAD (%)		8.91	
N 40	0.43	38.00	4.46	65.59	34.41	CLASIFICACION S.U.C.S. :		GM	
N 60	0.25	50.00	5.87	71.47	28.53	LIMITE LIQUIDO :		26.00%	
N 100	0.15	47.00	5.52	76.98	23.02	LIMITE PLASTICO :		N.P.	
N 200	0.08	43.00	5.05	82.03	17.97	INDICE PLASTICO :		N.P.	
CAZOLETA	--	--	--	--	--				
TOTAL									

**CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA**



D60 =	5.10	D30 =	0.30	D10 =	
Cu =		Cc =			

**OBSERVACIONES:**

LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO S.U.C.S. Y CORRESPONDE A UNA GRAVA LIMOSA POBREMI GRADADA DE TAMAÑO MAXIMO DE 1 1/2", MEZCLADA CON 40.74% DE ARENA GRUESA A FINA Y 17.97% DE PARTICULAS FINAS MENOR 0.075 mm, EXENTAS DE PLASTICIDAD.

## ANEXO 09: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 65. Vista panorámica de la zona en estudio.



Figura 66. Vista panorámica de la zona en estudio.



Figura 67. Vista panorámica de la zona en estudio.



Figura 68. Toma de medidas de tirante.



Figura 69. Toma de medidas de tirante de modelo a escala 1/20.



Figura 70. Toma de medidas de tirante de modelo a escala 1/20.



Figura 71. Muestra insitu de calicata 01.



Figura 72. Muestra insitu de calicata 02.



Figura 73. Muestra insitu de calicata 03.