



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL  
DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN SOBRE EL RÍO  
CHILLICO, DISTRITO DE AYACUCHO –  
HUAMANGA – AYACUCHO, 2021**

**PRESENTADO POR  
EGRESADO ANGEL YIMMY URBANO MARTINEZ  
EGRESADO ALVARO LAURA NINA**

**ASESOR:  
DR. ALBERTO CRISTOBAL FLORES QUISPE**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2022**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PAGINA DE JURADOS .....	ii
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
CONTENIDO .....	iv
CONTENIDO DE TABLAS .....	viii
CONTENIDO DE FIGURAS:.....	ix
CONTENIDO DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema.....	1
1.2 Definición del problema.....	1
1.2.1 Problema General .....	3
1.2.3 Problema Especifico .....	3
1.3 Objetivos de la investigación .....	3
1.3.1 Objetivos General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	4

1.4	Justificación.....	4
1.5	Alcances y limitaciones.....	4
1.6	Variables .....	5
1.6.1	Identificación de variables .....	5
1.7	Hipótesis.....	6
1.7.1	Hipótesis General .....	6
1.7.2	Hipótesis Especifico .....	7

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1	Ámbito Internacional.....	8
2.1.2	Ámbito Nacional .....	9
2.1.3	Ámbito Local.....	9
2.2	Bases teóricas .....	10
2.2.1	Hidrología de la cuenca .....	10
2.2.1.1	Parámetros geomorfológicos de cuenca.....	10
2.2.1.2	La precipitación y análisis estadístico .....	11
2.2.1.3	Determinación del caudal de diseño.....	15
2.2.2	El badén.....	23
2.2.2.1	Elementos que conforman un badén .....	24
2.2.2.2	Tipos de badenes .....	25

2.2.2.3 Consideraciones de diseño .....	27
2.2.3 Diseño hidráulico .....	30
2.2.3.1 Flujo uniforme.....	30
2.2.3.2 Cálculo del ancho estable.....	31
2.2.3.3 Dimensionamiento del badén.....	33
2.3 Definición de términos.....	39
2.3.1 Esquema metodológico del proyecto .....	39
2.3.2 Zona de estudio .....	40

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODOS**

3.1 Tipo de investigación .....	41
3.2 Diseño de investigación .....	42
3.3 Población y muestra .....	42
3.3.1 Población .....	42
3.3.2 Muestra.....	43
3.3.3 Tamaño de Muestra .....	43
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos. ....	45

## **CAPÍTULO IV**

### **PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

4.1 Presentación de resultados por variable .....	48
---	----

4.1.1	Análisis de las características hidrológicas .....	48
4.1.1.1	Determinación de parámetros geomorfológico de cuenca .....	48
4.1.1.2	Obtención, análisis y tratamiento de la información pluviométrico. ....	51
4.1.1.3	Determinación de la precipitación de diseño. ....	54
4.1.1.4	Determinación del caudal de diseño. ....	61
4.1.2	Dimensionamiento hidráulico del badén. ....	67
4.1.2.1	Cálculo del ancho estable .....	67
4.1.2.2	Altura hidráulica.....	68
4.1.2.3	Pendiente hidráulica de la Sección.....	68
4.1.2.4	Cálculo final del dimensionamiento. ....	68
4.2	Contrastación de hipótesis .....	76
4.3	Discusión de resultados.....	76

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	77
5.2	Recomendaciones.....	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

## CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Operacionalización de variables .....	6
Tabla 2 Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	13
Tabla 3 Condición hidrológica.....	18
Tabla 4 NC para complejos hidrológicos de suelos cobertura.....	19
Tabla 5 Clasificación hidrológica de Suelos .....	20
Tabla 6 Valores de CR.....	21
Tabla 7 Valores de CF .....	22
Tabla 8 Coeficientes y exponentes de las regiones hidráulicas del Perú .....	23
Tabla 9 Valores de rugosidad de Manning (n) para canales revestidos.....	34
Tabla 10 Caracterización de parámetros geomorfológicos de la microcuenca .....	50
Tabla 11 Estaciones Meteorológicas al área del Proyecto .....	51
Tabla 12 Registros mensuales totales de precipitación.....	53
Tabla 13 Precipitación máxima en 24 horas .....	55
Tabla 14 Precipitación máxima en 24 horas corregido .....	58
Tabla 15 Prueba de bondad de ajuste seleccionada .....	60
Tabla 16 Precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno.....	60
Tabla 17 CN de la microcuenca del rio Chillico.....	61
Tabla 18 Determinación de los coeficientes para el Sistema Dipeo .....	64
Tabla 19 Resultados de caudales máximos por el Sistema Dipeo .....	64
Tabla 20 Resumen de Caudales máximos de diseño para Tr de 50 años.....	66
Tabla 21 Caudal de diseño seleccionado para Tr de 50 años para el diseño.....	66
Tabla 22 Resumen de paramétricos hidráulicos de base “b” de 10m hasta 100m .....	74

## CONTENIDO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Cauce del rio Chillico con estructura colapsada.....	2
Figura 2. Medición del cauce del rio Chillico.....	3
Figura 3. Badén Estándar .....	26
Figura 4. Badén trapezoidal .....	27
Figura 5. Características geométricas del vado triangular .....	35
Figura 6. Características geométricas del vado rectangular.....	35
Figura 7. Características geométricas del badén semicircular .....	37
Figura 8. Esquema metodológico del proyecto.....	39
Figura 9. Ubicación de la Zona de Estudio .....	42
Figura 10. Zona de intervención en los distritos de Ticllas y Ayacucho .....	43
Figura 11. Red vial nacional PE-26B, en el km 181+500 como zona del estudio	44
Figura 12. Microcuenca del rio Chillico .....	49
Figura 13 . Ubicación de estaciones meteorológicas .....	52
Figura 14. Gráfico de la variación temporal .....	53
Figura 15. Gráfico del análisis de doble masa de las precipitaciones anuales.....	54
Figura 16. Gráfico del test de datos dudosos de registros de Pmax en 24hr.....	56
Figura 17. Gráfico del test de datos dudosos de Pmax en 24hr corregido .....	57
Figura 18. Prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov.....	59
Figura 19. Resultado del caudal máximo por el Método SCS .....	62
Figura 20. Gráfico del hidrograma del rio Chillico.....	63
Figura 21. Resultado de Qmax por el Método Empírico para Tr=50años .....	65
Figura 22. Resultado del caudal máximo por el Método Creager.....	65

Figura 23. Parámetros geométricos del badén trapezoidal.....	69
Figura 24. Resultado del Cálculo del badén para iteración $b=10m$ .....	71
Figura 25. Resultado del Cálculo del badén para iteración $b=20m$ .....	72
Figura 26. Resultado del Cálculo del badén para iteración $b=30m$ .....	73
Figura 27. Dimensionamiento adecuado del badén. ....	75



## CONTENIDO DE ECUACIONES

	<b>Pág.</b>
Ecuación 1. Ecuación para cálculo del umbral dudoso alto.....	13
Ecuación 2. Ecuación para cálculo del el umbral dudoso bajo .....	13
Ecuación 3. Ecuación para determina Kn de distribución normal .....	14
Ecuación 4. Ecuación para determina desviación estándar.....	14
Ecuación 5. Ecuación de promedio de análisis de datos .....	14
Ecuación 6. Ecuación para cálculo del umbral máximo .....	15
Ecuación 7. Ecuación para cálculo del umbral mínimo.....	15
Ecuación 8. Ecuación de antilogaritmo del umbral máximo .....	15
Ecuación 9. Ecuación de antilogaritmo del umbral mínimo .....	15
Ecuación 10. Ecuación de Método SCS para esorrentía .....	16
Ecuación 11. Ecuación de Método SCS para volumen escurrimiento.....	17
Ecuación 12. Ecuación de Método SCS para caudal máximo .....	17
Ecuación 13. Ecuación de Método Dipeo para caudal máximo.....	21
Ecuación 14. Ecuación de Método Creager para caudal máximo.....	22
Ecuación 15. Ecuación de Altunin .....	31
Ecuación 16. Ecuación de Blench.....	32
Ecuación 17. Ecuación de Manning.....	33
Ecuación 18. Ecuación para cálculo del gasto .....	33
Ecuación 19. Ecuación para cálculo del perímetro mojado .....	33
Ecuación 20. Ecuación hidráulica del badén semicircular - altura .....	33
Ecuación 21. Ecuación del vertedero .....	36
Ecuación 22. Tirante del vertedero .....	37

Ecuación 23. Ecuación hidráulica del badén semicircular – radio.....	37
Ecuación 24. Ecuación de área hidráulica del badén semicircular .....	38
Ecuación 25. Ecuación para altura de muro cabezal badén .....	38
Ecuación 26. Ecuación de estadístico teórico > 35 datos .....	59

## RESUMEN

El presente trabajo de Investigación Aplicada denominado: “ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADÉN SOBRE EL RIO CHILICO, DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO, 2021” ubicado en los distritos de San José de Ticllas y Ayacucho, perteneciente a la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, y el tramo ubicado en el km 181+500 de ruta nacional PE-26B (Huancavelica – Ayacucho) que intersecta con la cuenca del río Chillico y con ubicación geográfica UTM: (ESTE: 0578545.0m, NORTE: 8553201.0m, ALTITUD: 2468.0msnm). El río Chillico pertenece a la demarcación de la Autoridad Administrativa de Mantaro, El ámbito territorial de la AAA está conformado por las unidades hidrográficas mayores de la cuenca Mantaro. El río Chillico en los meses lluviosos genera grandes crecidas teniendo un caudal de máximas avenidas de  $124.15\text{m}^3/\text{s}$  para un periodo de 50 años en punto de intersección del km 181+500 de la carretera PE-26B, para el diseño hidráulico del badén. El objetivo es determinar las condiciones hidrológicas e hidráulicas para el dimensionamiento del badén sobre el río Chillico en el Km 181+500 de la ruta Nacional PE-26B. Con el caudal de máxima avenida de la cuenca y aplicando la Ecuación de Manning se ha dimensionado el badén se sección trapezoidal según las características hidrológicas, hidráulicas y topográficas en la sección del río, teniendo las dimensiones de: longitud total de 80.0m, altura máxima 0.30m pendiente longitudinal y transversal de 5% y 3% respectivamente y un borde libre de 0.50m.

*Palabra clave:* Diseño de badenes, hidrología, hidráulica

## ABSTRACT

The present Applied Research work called: "HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC STUDY FOR THE DIMENSIONING OF THE BADEN ON THE CHILLICO RIVER, AYACUCHO DISTRICT - HUAMANGA - AYACUCHO, 2021" located in the districts of San José de Ticllas and Ayacucho, province of Huamanga, department from Ayacucho, and the section located at km 181 + 500 of national route PE-26B (Huancavelica - Ayacucho) that intersects with the Chillico river basin and with UTM geographic location: (EAST: 0578545.0m, NORTH: 8553201.0m, ALTITUDE: 2468.0msnm). The Chillico river belongs to the demarcation of the Mantaro Administrative Authority. The territorial scope of this AAA. The Chillico River generates large floods in the rainy months, having a flow of maximum floods calculated according to morphometric parameters and rainfall records of 124.15m<sup>3</sup> / s for a period of 50 years at the intersection point of km 181 + 500 of the PE-26B highway, for the hydraulic design of the speed bump. The objective is to determine the hydrological and hydraulic conditions for the dimensioning of the speed bump over the Chillico River at Km 181+500 of the National Route PE-26B. With the maximum flood flow of the basin and applying the Manning Equation, the trapezoidal cross-section ditch has been dimensioned according to the hydrological, hydraulic and topographical characteristics in the river section, having the dimensions of: total length of 80.0m, maximum height 0.30m longitudinal and transversal slope of 5% and 3% respectively and a free edge of 0.50m.

*Keyword:* Speed bumps design, hydrology, hydraulics.

## INTRODUCCIÓN

La población de Ayacucho y Huancavelica y los distritos cercanos como Santiago de Pischa con 1,900 habitantes, Julcamarca con 1,700 habitantes y los caseríos, anexos, y centros poblados de los distritos se trasladan vialmente hacia la ciudad de Ayacucho para el intercambio comercial y negocios. Esta vía importante se viene interrumpiendo por la crecida del río Chillico.

Las características hidrológicas, hidráulicas, topográficas y geotécnicas de la zona dan a problemas de drenaje superficial en el tramo de la carretera con caudales máximos y sedimentaciones, para ello se recurre a la construcción del badén en el río Chillico. En el año del 2010 ha colapsado el badén existente en el tramo de la zona y estaba construida de mampostería, que tenía una longitud de  $L=60\text{m}$ .

El tipo de estructura planteada es un badén de sección trapezoidal por presentar una topografía plana, que mediante un diagnóstico de campo y topografía de la zona se ha determinado que el nivel de fondo del río tiene una coincidencia con el ras de la rasante de la carretera de una altura de 1m, y ancho de encausamiento aproximado de 75m, también presenta una excesiva acumulación de sedimentos en el tramo del trabajo de investigación.

Con el presente trabajo de investigación denominado: “ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADÉN SOBRE EL RÍO CHILLICO DEL DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO, 2021” se tendrá el objetivo de conocer las condiciones y características hidráulicas e hidrológicas para obtener las dimensiones adecuadas del badén sobre el río Chillico ubicada en el Km 181+500 de la ruta Nacional PE-

26B. Las avenidas extraordinarias de diseño serán para un tiempo de retorno de 50 años de acuerdo a ello el diseño adecuado de un badén sobre el río con el estudio hidráulico.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Descripción de la realidad del problema**

En ámbito de la zona del proyecto se presenta precipitaciones de alta intensidad principalmente en los meses de enero al mes de marzo y causa el aumento del caudal de río Chillico. El badén que antes existía ha colapsado totalmente por problemas de socavación del río restringiendo el normal tránsito vehicular y peatonal a falta de una estructura hidráulica sobre el río en mención. Con el presente Proyecto de Investigación Aplicada a base de los resultados de la evaluación hidrológico e hidráulico se pretende obtener el diseño de badén óptimo sobre el río Chillico, ubicado sobre la carretera Compañía (Ayacucho) – Julcamarca (Huancavelica) km 0+000 perteneciente a los distritos de San José de Ticllas y distrito de Ayacucho, de la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

#### **1.2 Definición del problema**

La carretera del tramo Ayacucho – Julcamarca es una de las rutas de acceso importantes de integración nacional, socioeconómico, comercial, y turístico que

vincula con los principales distritos de la provincia de Huamanga y Angaraes como: Santiago de Pischa, San José de Ticllas, Ayacucho y Julcamarca que forma parte de la ruta Nacional PE -26B (La carretera PE-26B, perteneciente a la red vial nacional, se localiza en la jurisdicción del departamento de Huancavelica iniciando del 0+000 y Ayacucho con el empalmen PE-S en el km 188+370), que actualmente se encuentra asfaltada con pavimento flexible. En el km 181+500 se encuentra el río Chillico que anualmente en épocas de lluvias sobre todo en los meses de enero hasta el mes de marzo, las altas precipitaciones producen la avenida máxima del río Chillico, ocasionando la inundación de la zona y a su vez la incomunicación y la restricción del flujo vehicular por la única vía que conecta del tramo mencionado Ayacucho y Julcamarca dejando sin transporte y comunicación entre las demarcaciones que atraviesa el tramo de la carretera.



*Figura 1.* Cauce del río Chillico con estructura colapsada





*Figura 2.* Medición del cauce del rio Chillico

### **1.2.1 Problema General.**

¿Cómo son las condiciones hidráulicas e hidrológicas del rio Chillico ubicada en la en el Km 181+500 de la ruta Nacional PE-26B de la carretera Huancavelica con Ayacucho para el dimensionamiento del badén?

### **1.2.3 Problema Específico.**

- ¿Cómo son las características hidrológicas que influyen en la estimación del caudal máximo del rio?
- ¿Cómo son las características hidráulicas del cauce del rio?
- ¿Cuáles son los parámetros geométricos del badén?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivos General.**

Determinar las condiciones hidrológicas e hidráulicas para el dimensionamiento del badén sobre el rio Chillico en el Km 181+500 de la ruta Nacional PE-26B.

### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

Los objetivos específicos se plantearon:

- Análisis estadístico de las características hidrológica y estimación de caudales máximos de diseño en el río Chillico.
- Análisis hidráulico del cauce del río Chillico en el tramo del trabajo de investigación de intersección de la carretera planteada.
- Determinación de parámetros geométricos del badén.

### **1.4 Justificación**

Con el presente trabajo de investigación se trata de realizar el Estudio Hidrológico e Hidráulico para el dimensionamiento óptimo del badén sobre el Río Chillico, ubicado en los distritos mencionados de la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho en el km 181+500, que busca dar una alternativa técnica de diseño del badén sobre el terreno plano, y optar una alternativa de planteamiento técnico a la transitabilidad vial y peatonal adecuada en periodos de lluvia de tal manera la población que se transportan mediante transporte público y privado tendrán acceso de manera rápida y oportuna a los servicios básicos de comercio, educación, salud, comunicación y otros. Así mismo se facilitará el traslado de los productos agrícolas y pecuarios que conectan Ayacucho – Huancavelica por la ruta Nacional PE-26B y demás distritos del ámbito local hacia a los mercados regionales y provinciales para ser comercializados.

### **1.5 Alcances y limitaciones**

Este trabajo de investigación es una aplicación de la metodología de diseño geométrico del badén en el río Chillico en el km 181+500, que toma criterios

técnicos, económicos y sociales dentro del análisis y la presentación del proyecto de investigación a la UJCM. Por esta razón se describe que el alcance de este proyecto de investigación es el diseño geométrico del badén adecuado de acuerdo a las tipología o características hidrológicas e hidráulicas del cauce del río en la sección planteada.

Las restricciones del presente proyecto que se realiza están limitado al transcurso de la búsqueda de información de la zona del proyecto, contemplando los aspectos hidráulicos, geotécnicos y estructurales.

## **1.6 Variables**

### **1.6.1 Identificación de variables.**

#### ***1.6.1.1 Variable independiente.***

- *Características geomorfológicas de la cuenca*
- *Registros pluviométricos.*
- *Ensayos de mecánica de suelos.*

#### ***1.6.1.2 Variable dependiente.***

- *Dimensionamiento de badén.*

#### ***1.6.1.3 Indicador.***

- *Caudal de diseño*
- *Longitud del badén*
- *Altura máxima del badén*

### **1.6.2 Operacionalización de variables.**

Se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Instrumento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parámetros geomorfológicos de la cuenca.</li> <li>▪ Registros pluviométricos.</li> </ul>	<p>Los parámetros geomorfométricos de la cuenca con la delimitación, y los registros pluviométricos intervienen para determinar características hidráulicas del río</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caudal de avenida máxima</li> <li>▪ Altura de socavación</li> <li>▪ Ancho de encauzamiento</li> </ul>	m <sup>3</sup> /s, m	Fichas de observación de campo
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ensayo de mecánica de suelos.</li> </ul>	<p>Los ensayos de mecánica de suelos, la determinación del perfil estratigráfico, la granulometría es importante en la caracterización geotécnica del río</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Porcentaje de finos y agregados, diámetro medio.</li> </ul>	%, mm	Fichas de observación de campo y laboratorio.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dimensionamiento óptimo.</li> </ul>	<p>Determinar las dimensiones del badén sobre el río</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Longitud total del badén</li> <li>▪ Altura máxima del badén.</li> </ul>	m	Registro de cálculos

## 1.7 Hipótesis

### 1.7.1 Hipótesis General.

Los parámetros hidráulicos e hidrológicos determinan las condiciones del diseño del badén sobre el río Chillico en el Km 181.500 de la ruta Nacional PE-26B.

### **1.7.2 Hipótesis Especifico.**

- ✓ Se considera factible la característica hidrológica para la estimación de caudal máximos de diseño.
- ✓ Se considera factible el análisis hidráulico del rio para la estimación de dimensionamiento del badén.
- ✓ Es adecuado el diseño del badén por las características hidrológicas e hidráulicas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Ámbito Internacional.**

El estudio del badén se realiza a nivel internacional y cada país tiene sus reglamentación, normas, guía o manuales relacionados al diseño de obras de subdrenajes superficiales o subterráneo de vías urbanas, obras de drenaje de carreteras, por ejemplo, se tiene el “Manual de Carreteras – Procedimiento de Estudios Viales, 2008” de la Dirección de Vialidad de la República de Chile. También el “Manual de Estructuras y Carreteras del Ministerio de Transporte e Infraestructura – MTI” del Estado de Nicaragua de Centroamérica, se tiene el Sistema de Modelamiento Hidrológico “HEC” del cuerpo de ingenieros de la armada de los EUA.

### **2.1.2 Ámbito Nacional.**

En el ámbito Nacional se tiene el “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje” del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial del MTC “Ministerio de Transportes y Comunicaciones” del Perú.

Este documento que se tiene es un manual metodológico y práctico para la aplicación del estudio de la hidrología y para el dimensionamiento hidráulico dando comprender de la manera más resumida los alcances, estudio de campo, análisis estadístico, caudales de diseño, y la hidráulica de cada una de las obras de drenaje subterránea y superficial destinados para ingenieros proyectista que planteen el buen funcionamiento de los servicios viales adecuados al lugar de ubicación de los proyectos de infraestructura vial.

### **2.1.3 Ámbito Local.**

La Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de la región de Ayacucho encamina los planes, proyectos y obras viales con las obras de drenaje de las carreteras adecuada con la misión de ser un organismo gubernamental al alcance actual y moderna que ofrece servicios de calidad y oportunos a la población de Ayacucho; como una región debidamente integrada, con transporte terrestre eficaz y seguro, y un sistema de comunicaciones conforme con la dinámica del crecimiento y progreso social, económico y cultural de la población.

Además, el Provias Descentralizado es una Unidad Ejecutora del MTC adscrito a la correspondencia Viceministerial de Transportes, encargada de las actividades de elaboración, proyección, gestión, administración y dirección, ejecución de programas y proyectos de infraestructura del transporte en el ámbito

departamental y rural en sus diferentes modalidades; así como el progreso y fortalecimiento de capacidades institucionales para la administración descentralizada del transporte departamental y rural.

En el año 2013 se ha realizado el asfaltado tipo económico el tramo ruta Nacional PE-26B, mejorando la transitabilidad, sin mejorar el badén antiguo, generando la interrupción de la vía en las estaciones húmedas.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Hidrología de la cuenca.**

Para plantear diversas obras hidráulicas es necesario la comprensión y entendimiento de la dimensión y frecuencia de los caudales medios o máximos de los ríos o pequeñas quebradas que la estructura hidráulica debe contener; todo proyecto hidráulico incluye el dimensionamiento y localización de estructuras hidráulicas. El caudal de máximas avenidas que toda estructura hidráulica puede soportar con seguridad se denomina caudal del proyecto (Vásquez, 2000).

#### ***2.2.1.1 Parámetros geomorfológicos de cuenca.***

Los parámetros geomorfométricos de una cuenca está determinada por su forma representativa, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros, que, a través de los modelos matemáticos, sirven de referencia para clasificar el tipo de cuencas (Cahuana, 2009). Para un mejor entendimiento del estudio de cuencas, el autor determina los parámetros en 03 clases como se



menciona: Parámetros de forma, parámetros de relieve y parámetros de la red hidrográfica.

*a. Parámetros de forma.*

Por su importancia de una mejor descripción de todas las cuencas, se trata de medir parámetros por intermedio de coeficientes o índices, y está relacionado al flujo del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento como por ejemplo las hidrogramas (Cahuana, 2009).

*b. Parámetros de Relieve.*

Para describir este parámetro de una cuenca existen diversos parámetros que han sido estudiados por varios autores; dentro de este parámetro los que se mas usan son: pendiente media de la cuenca, curvas Hipsométricas, índice de pendiente, relación del relieve, histograma de frecuencias, pendiente media del rio.

*c. Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca.*

Este parámetro concierte al estudio del cauce natural temporal o permanente, por el que fluyen las corrientes aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos de la cuenca.

***2.2.1.2 La precipitación y análisis estadístico.***

La precipitación es una variable hidrológica de carácter aleatorio, teniendo la variación en el tiempo como la variación temporal, y en el espacio como la variación espacial (Vásquez, 2000).

*a. Análisis estadístico de los datos de lluvia*

Los datos de las precipitaciones sean anuales, mensuales o diarios son presentados en registros históricos para su interpretación, estudio y análisis, recurriendo a la estadística como herramienta auxiliar en el estudio.

*b. Análisis de Doble Masa.*

Es una técnica que se utiliza para la ubicación de datos inconsistentes de una serie de registros históricos de la precipitación entre dos a más. Al aplicar este método podemos determinar la consistencia de una serie de precipitaciones dadas con datos promedios de estaciones y la acumulación.

La doble masa, según Aliaga, cuyo análisis consiste en reconocer los quiebres de pendientes del gráfico de diagramas de los registros pluviométricos analizados. Un quiebre de la recta o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que, si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobarán mediante el análisis estadístico. (Aliaga, 1985). Para el proyecto se ha presentado este análisis con las precipitaciones mensuales encontrados en el área del proyecto

*c. Análisis de datos dudosos*

Cuando se analiza los datos de registros pluviométricos podemos encontrar datos de dispersión fuera o dentro de la media de frecuencia, por ello el método del U.S. Water Resources Council (1981) ha recomendado la elaboración de ajustes de estos datos dudosos.

Los datos dudosos llamado también “Outliers” son puntos de la información analizada que se desvían elocuentemente de la tendencia de la información restante. Estos pueden darse debido a errores en los procesamientos de los registros o en la recolección de datos causan dificultad al momento de ajustar una distribución a los datos. Se pueden utilizar las ecuaciones para la detección de datos dudosos de umbral alto o bajo, y son: (Leiva, 2016)

$$yH = \bar{y} + K_n * Sy \dots \dots \dots [Ecuación 1]$$

$$yL = \bar{y} - K_n * Sy \dots \dots \dots [Ecuación 2]$$

Donde:

$yH$  es el umbral de dato dudoso alto,  $yL$  es el umbral de dato dudoso bajo y  $Kn$  es tal como se muestra en la Tabla 2 para un tamaño de muestra  $n$ .

**Tabla 2**

*Valores de  $Kn$  para la prueba de datos dudosos*

Tamaño muestra	kn	Tamaño muestra	kn	Tamaño muestra	kn	Tamaño muestra	kn
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.190	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U.S. Water Resources Council, 1981

Este ajuste se resume en la ecuación que estima el valor de  $K_n$  para muestras con un número de datos superior a 140 (Méndez, 2008), siendo  $N$  el número total de datos.

$$K_n = 1.5512 * \ln[\ln(N)] + 0.6488 \dots \dots \dots [Ecuación 3]$$

Y el valor de la desviación estándar  $S_y$  se obtiene a partir de:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} * \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 \dots \dots \dots [Ecuación 4]}$$

Con:  $\bar{y}$  = Promedio de los logaritmos en base 10 de los datos (en el caso del presente estudio, el promedio de los logaritmos es a base de las precipitaciones máximas con registros anuales).

La metodología se desarrolla para los datos máximos de la precipitación seleccionada. Para el análisis de una serie de datos establecidos, primeramente, se organiza los datos de manera ascendente de acuerdo con el año de registro. Luego se calcula el logaritmo de cada uno de los registros del dato analizado pertenecientes a la precipitación de la estación “seleccionada”.

Seguidamente se calcula el promedio de los datos de análisis de acuerdo con la cantidad total de registros, y se hace usando la siguiente ecuación:

$$(y - \bar{y})^2 \quad \wedge \quad (y - \bar{y})^3 \dots \dots \dots [Ecuación 5]$$

Una vez analizados los datos anteriores, se procede a calcular los valores umbrales tanto máximo como mínimo del dato analizado de la estación “seleccionada” de los registros de la precipitación de máxima de 24 horas para el

área del proyecto. Para eso, se realiza usar las ecuaciones mencionadas que se detallan a continuación:

Estos son:

$$yH = \bar{y} + K_n * Sy \dots \dots \dots [Ecuación 6]$$

$$yL = \bar{y} - K_n * Sy \dots \dots \dots [Ecuación 7]$$

Luego, que anteriormente se han calculado en base a logaritmos, por que corresponde calcular el antilogaritmo, devolviendo el valor utilizando la potenciación en base 10 o antilogaritmos para cada uno de los resultados, según la ecuación:

$$PH = 10^{yH} \dots \dots \dots [Ecuación 8]$$

$$PL = 10^{yL} \dots \dots \dots [Ecuación 9]$$

Dónde: *PH* y *PL* representa al umbral máximo y mínimo antilogarítmica respectivamente y para el registro de precipitaciones máximas en 24 horas de registro base de estación seleccionada en estudio (Leiva, 2016).

### **2.2.1.3 Determinación del caudal de diseño.**

Teniendo la información analizada y el uso de los parámetros geomorfométricos mencionados como el factor de forma, factor de relieve y la red hidrográfica de la cuenca en estudio se puede determinan el caudal de diseño o de máxima avenida ubicado en la cuenca para diferentes periodos de retorno utilizando diferentes métodos, como se detalla a continuación:

*a. Método de SCS.*

Este Método ha sido desarrollada por el US Soil Conservation Service - SCS, que permite determinar los caudales máximos o picos en función de la precipitación máxima de diseño del área de estudio. Para su cálculo se considera los valores de las precipitaciones máximas diarias analizada y corregida estadísticamente.

El método consiste en determinar un hidrograma triangular unitario o sintético, a partir de las características geomorfométricas de la cuenca, precipitación de diseño, tiempo de concentración, precipitación efectiva, de los cuales no permitirá desarrollar el hidrograma compuesto de la avenida.

La definición de la curva número es un parámetro que incluye el método de la variación de los resultados. Este valor es calculado a partir de una serie de calibraciones, partiendo de una precipitación de diseño y la efectiva para un determinado período de retorno y comparando el resultado con el valor de la avenida, calculado por el análisis de frecuencias para el mismo período de retorno (Villón, 2002).

- *Escurrimiento*

El escurrimiento es otro elemento de la precipitación y se define como el agua de las lluvias, que transcurre superficial y subterráneamente hasta llegar a un flujo continuo para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

$$Q = \frac{[NC(P + 50.8) - 5080]^2}{NC[NC(P - 203.2) + 20320]} \dots \dots \dots [Ecuación 10]$$

La ecuación del volumen de escurrimiento se calcula por:

$$V_e = (1000)QA_c \dots \dots \dots [Ecuación 11]$$

Y el caudal pico o máximo es calculado por:

$$Q_{max} = \frac{0.192 * QA_c}{T_c} \dots \dots \dots [Ecuación 12]$$

Donde:

Q = Escurrimiento directo acumulada en (mm)

NC = Número de curva (Tabla 4)

P = Precipitación de diseño analizada (mm)

Ac = Superficie de cuenca en estudio (km<sup>2</sup>)

Tc = Tiempo de concentración calculada (horas)

- *Número de Curva.*

Se aplica en los cálculos de las cantidades de escurrimiento tanto en la determinación de caudales máximos, como también en los cálculos de aportaciones de escurrimiento. El nombre de este método procede de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el nombre NC, que varía de 1 a 100. Un número NC de 1, nos indica que toda la lluvia caída sobre el suelo se infiltra; por lo tanto, el número de curva representan coeficientes de escorrentía (Villón, 2002).

- *Condición hidrológica.*

Se describe a la capacidad del área de la unidad geográfica o cuenca para beneficiar o dificultar el escurrimiento directo, y todo esto está en función de la cobertura vegetal, puede aproximarse como en la tabla descrito (Villón, 2002).

**Tabla 3**

*Condición hidrológica*

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Condición hidrológica</b>
> 75 % del área	Buena
Entre 50 % y 75 % del área	regular
< 50 % del área	pobre

Fuente: Villon, 2002

- *Curva número: Grupo hidrológico del suelo.*

Está definido a los grupos de suelo para representar las tasas de infiltración, los cuales pueden ser en bajo, moderado y alto según grupo (Villón, 2002):

Bajo potencial de escorrentía representado por Grupo A

Moderado bajo potencial de escorrentía representado por Grupo B

Moderado alto potencial de escorrentía representado Grupo C

Alto potencial de escorrentía representado por el Grupo D



**Tabla 4***NC para complejos hidrológicos de suelos cobertura*

Uso de la tierra	Cobertura		Numero de Curva			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso sin cultivos	Surcos rectos	....	77	86	91	94
	Surcos rectos	Pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	89
Cultivos	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	62	71	78	81
	Surcos rectos	Pobre	65	76	84	88
Pequeños granos	Surcos rectos	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, Legumbres o Sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	63	73	80	83
Pastizales o similares	Curvas de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80
		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Pobre	47	67	81	88
Pradera	Curvas de nivel	regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	buena	6	35	70	79
		buena	30	58	71	78
Bosques		Pobre	45	66	77	83
		regular	36	60	73	79
Pacios		buena	25	55	70	77
	....	....	59	74	82	86
Camino incluyendo derecho de vía	Cieno	....	72	82	87	89
	Superficie firme	....	74	84	90	92

Fuente: Villon, 2002

**Tabla 5**

*Clasificación hidrológica de Suelos*

<b>GRUPO DE SUELOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>A</b>	Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua. Representa suelos con alta tasa de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas.
<b>B</b>	Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua. Representa suelos con tasa de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente finas a moderadamente gruesas.
<b>C</b>	Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua. Representa suelos con bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impiden el movimiento del agua hacia abajo o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina.
<b>D</b>	Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión de agua. Representa suelos de tasa de infiltración muy bajas (de alto potencial de escurrimiento) cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capas de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable.

Fuente: Villon, 2002

*b. Método del sistema DIPEO.*

Este método ha sido desarrollado por el Instituto ORSTOM (Francia), y la aplicación en el territorio nacional sido extraído y propuesto por el Convenio GTZ-Electro-Perú en el Sistema DIPEO para la Electrificación Rural del Perú, Libro P, Vol. 3, Tomo I, año 1990. Este método se puede aplicar para caudales de avenidas extraordinarias en cuencas hidrográficas comprendidas entre de 1.0 km<sup>2</sup> a 200 km<sup>2</sup> y puede obtenerse con la siguiente ecuación (García-Naranjo, 2012):

$$Q_{max} = \frac{P_{24h} * A_C * C_R * C_{P/R} * C_F}{T_c} \dots \dots \dots [Ecuación 13]$$

Dónde:

$P_{24h}$  = Precipitación de diseño máximo en (mm), en un determinado periodo de retorno.

$A_C$  = Superficie de drenaje de cuenca, en km<sup>2</sup>.

$C_R$  = Es el Coeficiente de reducción, está en función del área de la cuenca.

$C_{P/R}$  = Es el Coeficiente de reducción, está en función de la permeabilidad y pendiente longitudinal y transversal de la cuenca (adimensional).

$C_F$  = Coeficiente que considera la forma de la curva del caudal (adimensional).

$T_c$  = Tiempo de concentración, en (segundos).

Los resultados que se tienen con este método es mayor confiabilidad para cuencas pequeñas o medianas, en área no mayores a 200 km<sup>2</sup>. Para el presente estudio, si se trata para aplicación de pequeñas cuencas, la utilización del Sistema DIPEO para determinar los caudales de diseño en el río en diferentes periodos de retorno puede efectuarse con mayor confiabilidad (nuestro proyecto presenta es a < 200 km<sup>2</sup>). Los valores de  $C_R$  y  $C_F$  se presentan en las siguientes tablas 6 y 7 (García-Naranjo, 2012).

**Tabla 6**

Valores de  $C_R$

Área de la cuenca en Km <sup>2</sup>	Coeficiente $C_R$
$0 < A_c \leq 25$	1.00
$25 < A_c \leq 50$	0.95
$50 < A_c \leq 100$	0.90
$100 < A_c \leq 150$	0.85
$150 < A_c \leq 200$	0.80

Fuente: Rodríguez, 2009

**Tabla 7***Valores de CF*

<b>PARA REGIONES CON ISOYETAS ANUALES DE 150mm A 800mm</b>	
<b>Área de la cuenca en Km<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente C<sub>F</sub></b>
De 1 a 25	2.60
De 25 a 50	2.60 – 2.50
De 50 a 100	2.50 – 3.00
De 100 a 200	3.10
<b>PARA REGIONES CON ISOYETAS ANUALES MAYORES A 800mm</b>	
<b>Área de la cuenca en Km<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente C<sub>F</sub></b>
De 1 a 25	3.00
De 25 a 50	3.00 – 4.50
De 50 a 100	4.50 – 4.00
De 100 a 200	4.00

Fuente: García-Naranjo, 2012

El coeficiente  $C_{PR}$  se calcula usando gráficos establecidos del sistema Dipeo que dependen de las condiciones climatológicas, permeabilidad de la cuenca y pendiente de la cuenca (García-Naranjo, 2012).

*c. Método CREAGER*

El método, originalmente ha sido desarrollado por Creager, y fue adaptado para el territorio peruano por los estudiosos Wolfgang Trau y Raul Gutierrez Yrigoyen. Con este método nos permite la estimación de caudales máximos diarios en cuencas donde no se tiene información de registros pluviométricos, solo se determina solamente teniendo el área de la cuenca en estudio que es un parámetro primordial en la determinación de caudales máximos. La ecuación utilizada es (García-Naranjo, 2012):

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) \text{Log}(\text{Tr}) A^{mA^{-n}} \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 14]}$$

Donde:

$Q_{\max}$  = Caudal máximo para un tiempo de retorno “Tr” en estudio en (m<sup>3</sup>/s)

A = Superficie de cuenca (Km<sup>2</sup>).

T = Tiempo de retorno en (años)

$C_1, C_2$  = Coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas.

m, n = Exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas.

**Tabla 8**

*Coeficientes y exponentes de las regiones hidráulicas del Perú*

<b>Región</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>m</b>	<b>n</b>
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: García-Naranjo, 2012

### **2.2.2 El badén.**

Los badenes son obras hidráulicas de drenaje de concreto o mampostería cuya función es reducir la velocidad de vehículos y la estructura deja fluir el sobre la carretera y al mismo nivel de la rasante, con una pequeña inflexión, ha sido empleado cuando se ubica la rasante en el perfil longitudinal de la estructura. (MTC, 2012).

Condiciones del criterio hidráulico a cumplir:

- ✓ La superficie de rodadura no debe desgastarse al paso del agua.
- ✓ Debe evitarse la erosión y socavación de estructura aguas arriba y aguas abajo.

- ✓ Debe facilitar el escurrimiento para evitar regímenes turbulentos.
- ✓ Debe tener visibilidad de los tirantes de agua que indiquen, cuándo no debe transitar por la estructura debido al tirante de agua que sea demasiado alto y peligroso.

### ***2.2.2.1 Elementos que conforman un badén.***

El badén es una obra de drenaje que se acomoda a las tipologías geométricas del cauce del río y tiene por objetivo facilitar el tránsito estable de los vehículos y tiene los siguientes elementos: Capa de rodadura o plataforma, muro de pies el segmento de una circunferencia, muros de cabezal y muro de confinamiento. Los elementos son (MTC, 2012).

#### ***a. Capa de rodadura o plataforma.***

Es la parte principal del badén. Longitudinalmente es la losa y transversalmente tiene una pendiente inclinada de 2 a 3% hacia aguas abajo.

#### ***b. Muro de pie.***

Es el muro que se encuentra localizadas aguas debajo de la plataforma y constituye la fundación del badén construido a lo largo de la estructura del badén.

#### ***c. Muros de cabezal.***

Son la prolongación de muro de pie construido en ambos extremos de la estructura como vertedero y da mayor capacidad de descarga máxima de caudal sobre el badén, de la misma manera protege contra las socavaciones de laderas y conexiones viales.

*d. Muro de confinamiento.*

Es un muro localizado en el borde aguas arriba de la estructura de la plataforma, y tiene su fin principal la protección de la socavación del badén.

**2.2.2.2 Tipos de badenes.**

Los tipos de badenes son (MTC, 2012):

*a. Tipo de badén según su composición.*

- *Baden simples.*

Este tipo de badén constituye de dos elementos como se puede citar; capa de rodadura, muro de pie, muros de cabezal y muro de confinamiento, y no presenta estructura adicional.

- *Baden mixto.*

Es el badén simple incluido una plataforma adicional como alcantarilla o paso de agua por debajo de la plataforma. Su diseño es para cursos de agua permanente, dándose dos aspectos de funcionabilidad que los caudales normales se evacuen tuberías de alcantarillas o canales, mientras que los caudales máximos con un tiempo de retorno mayor pasan por el badén propiamente dicho.

- *Baden macizo.*

Es un badén con la plataforma de gran espesor. Estos badenes son diseñados para quebradas o ríos de gran magnitud de caudal y de mayor arrastre de sedimentos grueso.

- *Baden combinado.*

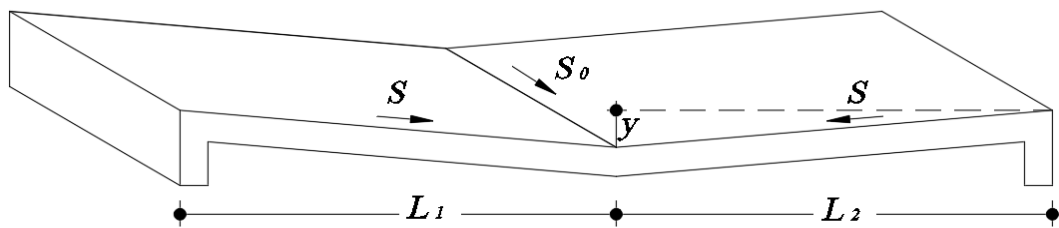
Son badenes que se construyen junto a otra estructura, un caso ejemplar la conducción de agua de riego paralelo a la plataforma del badén.

*b. Tipo de badén según su composición*

- *Baden estándar*

Estos badenes su diseño esta implementado para pequeñas quebradas con descargas mínimas que protegen de la erosión sedimentaria y ubicado en zonas planas.

El modelo de la estructura de badén se muestra en la *figura 3*, puede ser de concreto o mampostería.



*Figura 3.* Baden Estándar  
Fuente: MTC, 2012

El caudal de diseño es calculado para un tiempo de retorno de 50 años, utilizando el Método Racional. El tirante máximo no debe exceder de los 30 cm según manual de hidrología para cualquier caudal de diseño. El badén tiene un comportamiento similar a un canal abierto y para determinar su capacidad es utilizando la fórmula de Manning (MTC, 2012).

- *Baden trapezoidal.*

El modelo de la estructura presentada en el “*Guía Hidráulica para Diseño de Obras de Drenaje en Caminos Rurales, 2004*” mostrado en la figura, puede ser planteado



de mampostería o concreto. Su función es similar que el del estándar y se diseña cuando sobrepasa el caudal de diseño en el badén estándar para transportar el caudal de magnitud de cuenca.

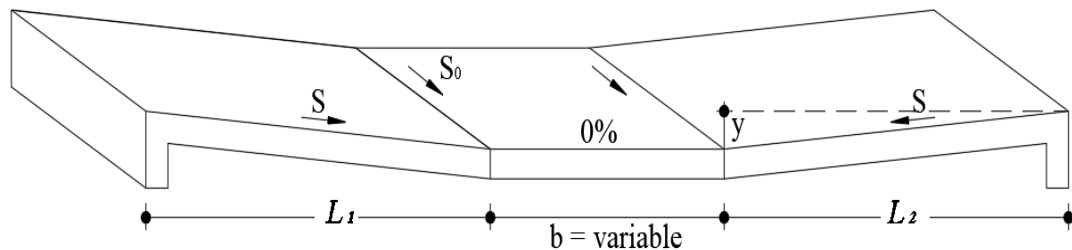


Figura 4. Badén trapezoidal  
Fuente: MTC, 2012

Al igual que el badén triangular, este badén también se analiza como un canal abierto, el cálculo del caudal máximo se realiza utilizando la ecuación de Manning y los parámetros para un trapecio tipo canal.

### 2.2.2.3 Consideraciones de diseño.

Según descrito se tiene las descripciones del diseño como la topografía, geotécnica, caudal de diseño como se menciona (MTC, 2012):

#### a. Topografía.

Mediante la topografía se puede definir la pendiente, la sección transversal y longitudinal, niveles de rasante, cuyo levantamiento debe estar comprendido entre 100m aguas arriba y 100m aguas abajo del eje de camino y un ancho, a partir de ambos márgenes; que permita un conocimiento detallado del sector (MTC, 2012).

#### b. Geotecnia.

El estudio geotécnico debe estar centrado en la determinación de las características del terreno de fundación y características de granulometría del río o quebrada, diámetro medio.

*c. Caudal de diseño.*

Para calcular las dimensiones de los elementos del badén, se deberá determinar primeramente el caudal de diseño. (recomendando un caudal de diseño para un tiempo de retorno de 50 años según el Manual)

Con el caudal del proyecto se define las dimensiones, por ejemplo, para badén semicircular la longitud de la cuerda y la altura del cabezal, para lo cual se elabora una curva  $h=f(L)$  usando la fórmula del vertedero de pared gruesa (MTC, 2012).

Al tener calculado el caudal de diseño se iteran las variaciones de diseño a partir de planos geométricos y topográficos y la comparación de requisitos técnicos, y permitirá plantear un mejor diseño de manera técnica y económica y funcional (MTC, 2012).

*d. Otras consideraciones.*

- *Material sólido de arrastre.*

Todo quebrada o río transporta material de arrastre por lo cual se han recomendado no sobrepasar el perímetro mojado de la estructura y no afecte los lados adyacentes de conexión de carretera y estructura de badén. Para este estudio se debe recurrir a especialistas en transporte de sedimentos para su análisis, recopilación de antecedentes y al estudio integral de la cuenca, así lograr un diseño adecuado y eficaz (UNPRG, 2015).

- *Protección contra la socavación.*

La estructura de badén proyectado debe contar con obras de protección contra la socavación y erosión, a fin de evitar su colapso. La protección se debe realizar en aguas arriba y en aguas abajo de la estructura, con el empleo de técnicas de control de erosión y socavación como los enrocados, gaviones, pantallas de concreto, y otros tipos de protección contra la socavación, en función al tipo de material que transporta el cauce natural (UNPRG, 2015).

Asimismo, si es necesario en el estudio, los disipadores de energía permitirán reducir la energía hidráulica del flujo a la entrada y salida del badén, según recomendaciones de no constituyan riesgos de represamientos u obstrucciones.

También que la estructura debe tener diseño de uñas de cimentación tanto a la entrada como a la salida de la estructura, dichas uñas deben estar acoplados a plataformas del badén sobre suelos de buena capacidad portante a fin de resistir procesos de erosión y socavación (Alvarado, 2004).

- *Pendiente longitudinal del badén.*

La pendiente longitudinal debe adecuarse al paso adecuado de los vehículos y el diseño de acuerdo las normas viales o manual de hidrología del MTC. El diseño hidráulico del badén debe adoptar pendientes longitudinales de ingreso y salida en la estructura. Las pendientes adoptan de acuerdo a las normas del MTC y la topografía de la zona (UNPRG, 2015).

- *Pendiente transversal del badén.*

Según el manual está recomendado pendientes transversales para el badén entre 2 y 3%, esto con la finalidad de reducir el riesgo de obstrucción de la estructura del badén con el material de arrastre que transporta el río, se recomienda dotar al badén de una pendiente transversal que permita una adecuada evacuación del flujo (UNPRG, 2015).

- *Borde libre.*

Se debe considerar un borde libre mínimo con el fin de evitar desbordes de caudales máximos y afecten la estructura adyacente de la carretera con la conexión de la plataforma del badén (UNPRG, 2015).

Se recomienda adoptar valores entre 0.30 y 0.50m de borde libre, y condiciones prácticas su cálculo es establecido al asumir de acuerdo al tirante máximo y el nivel de la línea de energía.

### **2.2.3 Diseño hidráulico.**

Al aplicar el diseño hidráulico, se recomienda optar el badén como un canal con régimen uniforme y abierto. Cita tomada de Alvarado (2004) que aporta cálculos hidráulicos de tipos de badenes.

#### **2.2.3.1 Flujo uniforme.**

El flujo uniforme tiene las siguientes propiedades:

*a. La profundidad.*

En la sección de canal el área de la sección transversal, velocidad media y gasto son constantes (MTC, 2012).

*b. La línea de energía,*

El eje hidráulico y el fondo del canal son paralelos, es decir, las pendientes de la línea de energía, de fondo y de la superficie del agua son iguales.

**2.2.3.2 Cálculo del ancho estable.**

El ancho estable para ríos que involucra en el presente proyecto para su cálculo se han considerado los métodos de Método de Petits, Método de Simons y Henderson, Método de Blench y Altunin y Método de Manning y Strickler. (Terán, 1998).

*a. Método de Altunin para lechos granulares.*

$$B = A \frac{\sqrt{Q_{max}}}{0.2\sqrt{S}}, \quad A = (nK^{5/3})^{\frac{3}{(3+5m)}} \dots \dots \dots [Ecuación 15]$$

Donde:

B = Ancho de la superficie libre de agua (m)

A = Coeficiente adimensional.

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s); S = Pendiente

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

K= Coeficiente que depende de la resistencia de las orillas

*03 a 04 Material de cauce muy resistente*

*16 a 20 Material de cauce fácilmente erosionable*

*08 a 12 Material aluvial*

*10 En los problemas de cálculo de ingeniería*

m = Exponente

*0.5 Para ríos de montaña*

*0.7 Para cauces arenosos*

*1.0 Para cauces aluviales*

Es recomendado aplicar el Método de Altunin para materiales granulares y no es apto para ríos con material cohesivo, se obtienen valores proporcionados para cauces con arena (Terán, 1998).

Está basado de las observaciones de la Unión Soviética y ajustada para ríos de material gravoso y grueso.

*b. Método de Blench en lechos arenosos.*

$$B = 1.81 \sqrt{\frac{Q * Fb}{Fs}} \dots\dots\dots [Ecuación 16]$$

Donde:

Q = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)

Fb = Factor de fondo:

*0,8 valor para material fino*

*1,2 valor para material grueso*

Fs = Factor de orilla:

*0,1 Valor para cauces de materiales sueltos*

*0,2 Valor para cauces de materiales ligeramente cohesivos*

*0,3 Valor para cauces de materiales cohesivos.*

El método de Blench basada en teoría del régimen está recomendado para cauces con material cohesivo o cauce estable formado en arena fina para valores de diámetro medio ( $D_{50} < 1\text{mm}$ ).

Y los valores de diámetro medios mayores a 1mm ( $D_{50} > 1\text{mm}$ ), se obtienen resultados ilógicos (Terán, 1998).

### 2.2.3.3 Dimensionamiento del badén.

El vado o badén su comportamiento es como un canal abierto. Para calcular su capacidad de flujo se utiliza la Ecuación de Continuidad y Ecuación de Manning. La velocidad media del flujo se describe con la ecuación 17 de Manning y es de la siguiente manera (UNPRG, 2015):

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \dots \dots \dots [Ecuación 17]$$

El caudal viene dado por la siguiente relación:

$$Q = VA \dots \dots \dots [Ecuación 18]$$

Los parámetros hidráulicos se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$P = 2y(1 + S^2)^{1/2} \dots \dots \dots [Ecuación 19]$$

$$R = \frac{A}{P} \dots \dots \dots [Ecuación 20]$$

Donde:

Q = Caudal máximo en (m<sup>3</sup>/s)

V = Velocidad media del flujo (m/s)

A = Área hidráulica de la sección (m<sup>2</sup>)

y = profundidad máxima (m)

P = Perímetro mojado en (m)

R = Radio hidráulico P/A en (m)

S = Sección longitudinal del fondo (%)

n = Coeficiente rugosidad de Manning que depende del material que se construirá, concreto o mampostería como se describe en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Valores de rugosidad de Manning (n) para canales revestidos*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>NORMAL</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>a. MADERA</b>			
Sin tratamiento	0.010	0.012	0.014
Tratada	0.011	0.012	0.015
Planchas	0.012	0.015	0.018
<b>b. CONCRETO</b>			
Afinado con plana	0.011	0.013	0.015
Afinado con fondo de grava	0.015	0.017	0.020
Sin afinar	0.014	0.017	0.020
Excavado en roca de buena calidad	0.017	0.020	
Excavado en roca descompuesta	0.022	0.027	
<b>c. ALBAÑILERIA</b>			
Piedra con mortero	0.017	0.025	0.030
Piedra sola	0.023	0.032	0.035

Fuente: MTC, 2012

*a. Cálculo del badén estándar.*

En el caso de un badén triangular o estándar mostrado en (Figura 3) el diseño hidráulico se realiza del siguiente procedimiento (SEGARPA, 2015):

- ✓ Pendiente longitudinal (S) en decimales.
- ✓ Área de sección:  $A = S * y^2$  donde “y” es el tirante máximo.
- ✓ Perímetro mojado:  $P = 2y(1 + S^2)^{1/2}$
- ✓ Radio hidráulico: (A/P)
- ✓ Reemplazar los valores de área, pendiente y radio hidráulico en el Manning, y el coeficiente de rugosidad calculada que depende del tipo de material.



- ✓ Se comparan los resultados, si el caudal de la cuenca ( $Q_c$ ) calculada con diferentes métodos es menor aproximado al caudal diseñado con Manning, *SE ACEPTA* el diseño del badén estándar, caso contrario será necesario un badén trapezoidal u otro tipo.

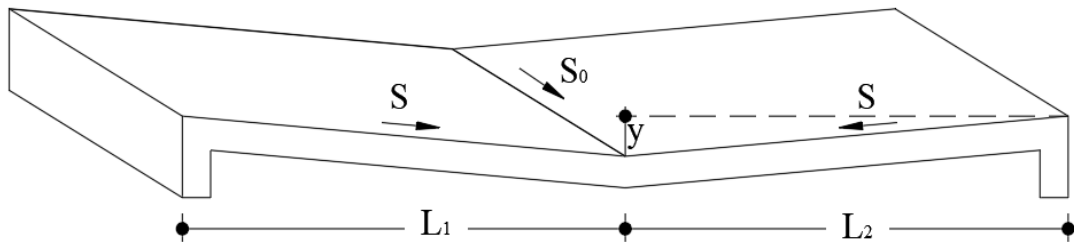


Figura 5. Características geométricas del vado triangular  
Fuente: MTC, 2012

b. Cálculo del badén trapezoidal.

Para un badén trapezoidal según mostrado en (Figura 4) el diseño hidráulico se realiza con el siguiente procedimiento (SEGARPA, 2015):

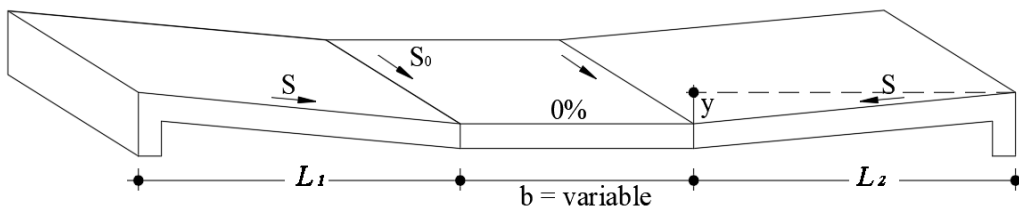


Figura 6. Características geométricas del vado rectangular  
Fuente: MTC, 2012

Donde:

$S$  = pendiente longitudinal de los lados

$S_0$  = pendiente transversal de estructura

$y$  = profundidad máxima

$L_1$  y  $L_2$  = Longitud del ancho del badén

*Características hidráulicas*

- ✓ Pendiente de los lados o longitudinal de la estructura ( $z$ ) en decimales.
- ✓ Área:  $A = (b + z * y) * y$  donde el ancho del fondo “ $b$ ” y el tirante máximo “ $y$ ” en unidades de metros.
- ✓ Perímetro mojado:  $P = b + 2y(1 + z^2)^{1/2}$
- ✓ Radio hidráulico:  $P/A$
- ✓ Reemplazar estos valores en la ecuación de Manning.
- ✓ Se comparan los resultados, si el caudal de la cuenca ( $Q_c$ ) es menor aproximado que el máximo en Manning, SE ACEPTA el badén trapezoidal, de lo contrario se itera valores en función del ancho “ $b$ ”.

Los badenes de sección estándar y trapezoidal se diseñan cuando su sección del cauce presente una pendiente suave según la topografía descrita, tanto aguas arriba como aguas abajo.

*c. Cálculo del badén semicircular*

Diseñado cuando la pendiente del cauce es muy fuerte; generalmente en el momento de su descarga (UNPRG, 2015).

- Para tener las dimensiones de los elementos del badén, primero debe haber obtenido el caudal máximo o de diseño, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años.
- Con el caudal máximo de diseño se tendrá la longitud y la altura del cabezal, en función de una curva elaborada  $h = f(L)$ , usando la ecuación de vertedero de pared gruesa (UNPRG, 2015):

$$Q = 1.7 * L_v * y^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots [Ecuación 21]$$

Despejando la ecuación 19 en función de “y” se tiene:

$$y = \left[ \frac{Q}{1.71 * Lv} \right]^{2/3} \dots\dots\dots [Ecuación 22]$$

Donde:

Q = Caudal máximo de diseño en (m<sup>3</sup>/s)

Lv = Longitud del vertedero (m)

y = Tirante normal a la entrada del badén en (m)

Las características topográficas del terreno permitan analizar la selección del tipo de badén y cumpla con todos los requisitos técnicos.

- *Diseño de la plataforma.*

Para la geometría de la plataforma se tomará como datos de longitud y la altura definidos, considerándolos como la flecha y cuerda de la geometría de circunferencia; con el cual se podrá calcular el radio, el cual no será menor que 80 metros (UNPRG, 2015).

$$R = f^2 + a^2, \quad \text{siendo:} \quad a = \frac{L}{2} \dots\dots\dots [Ecuación 23]$$

Donde:

R es el radio; F es la flecha y L es la cuerda

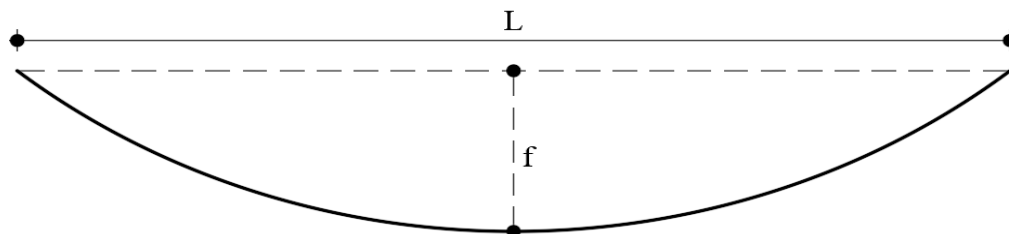


Figura 7. Características geométricas del badén semicircular

- *El ancho de la plataforma.*

Está en función del ancho de la vía y puede estar comprendido de (4, 6 u 8 metros) y el espesor se debe calcular en función de las cargas y de la calidad del terreno de fundación con el estudio geotécnico (en la práctica se recomienda un espesor no menor a 20cm) (UNPRG, 2015).

- *Área hidráulica del badén.*

Con los datos del radio “R”, tirante y longitud del vertedero se hallará el área hidráulica a la salida del badén (UNPRG, 2015):

$$A = R^2 \arctan \left[ \frac{0.5 * Lv}{(R - f)} \right] - Lv[0.5(R - f) - (y - f)] \dots \dots \dots [Ecuación 24]$$

Donde:

y = tirante a la entrada del badén.

Lv=longitud del vertedero.

- *Muros de cabezal.*

Con el área se halla la velocidad a la salida del badén con:  $V=Q/A$ . Finalmente, la altura del cabezal sobre el badén será (UNPRG, 2015):

$$H = 0.67 * y + \frac{V^2}{2g} + 0.10 \dots \dots \dots [Ecuación 25]$$

Donde:

H= altura del cabezal del badén (m)

$V^2/2g$ =altura de velocidad (m)

Se recomienda una altura máxima de 1.00 al 1.20m, su longitud se determina en función a la pendiente y al tipo de terreno de las márgenes.

## 2.3 Definición de términos

El diseño planteado del badén en la zona de intervención está de acuerdo al estudio de la hidrología y de la hidráulica, incluyendo la sección topográfica longitudinal y transversal. Dentro de la definición de términos se tiene el esquema metodológico del diseño de badén y la zona de estudio.

### 2.3.1 Esquema metodológico del proyecto.

Para tener mayor enfoque en la determinación del objetivo del presente proyecto de investigación planteada se puede describir el esquema metodológico del proyecto como se describe.

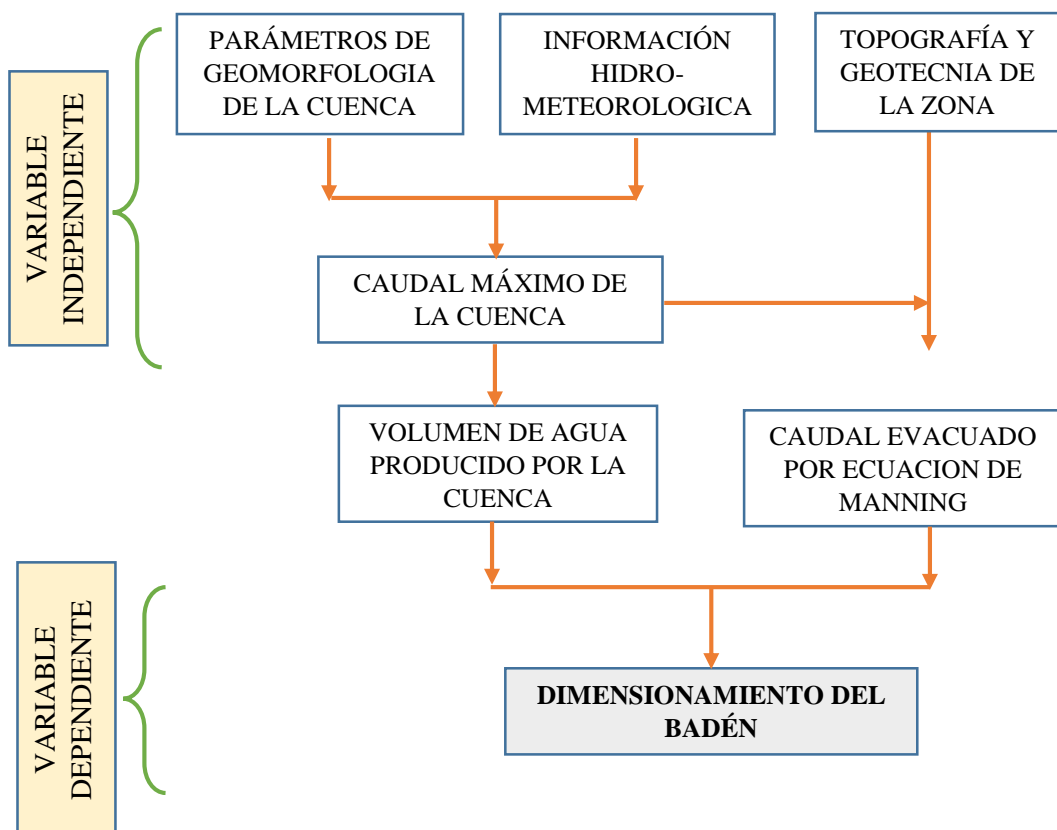


Figura 8. Esquema metodológico del proyecto

### **2.3.2 Zona de estudio.**

La zona de la intervención en el presente trabajo de investigación aplicada se encuentra en la carretera PE-26B, perteneciente a la red vial nacional del departamento de Huancavelica - Ayacucho y en el km 181+500 en la interferencia de pase en el río Chillico.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La investigación propuesta del presente del trabajo de investigación corresponde a una investigación aplicada, por lo que se observará el fenómeno tal como se muestra en la realidad de la zona de la investigación, y luego compararlo y analizarlo (Hernández et al., 2014).

La investigación aplicada tiene el concepto como una investigación en encontrar mecanismos o estrategias que permitan adquirir un objetivo preciso, ejemplo: como curar un malestar del estado fisiológico, o conseguir un bien material que sea de interés. Por consiguiente, el tipo de ámbito al que se aplica es muy concreto y bien delimitado, ya que no trata de explicar una variedad de situaciones distintas, sino se desea explicar un problema específico (Hernández et al., 2014).

En el planteamiento no experimental, nos plantea determinar variables hipotéticamente como reales en el desarrollo de la investigación del evento sin la intervención en la observación del campo (Hernández et al., 2014).

### 3.2 Diseño de investigación

La investigación está planteada como una “investigación transeccional” ya que la información de investigación será recogida en un solo instante. (Hernández et al., 2014) siendo además de manera descriptiva, explicando posiblemente la anulación de las variables. En esta parte se escogerá técnicas y métodos para tener un mejor desarrollo de la presente investigación.

### 3.3 Población y muestra

#### 3.3.1 Población.

Para el desarrollo de la estimación de la población es fundamental determinar la unidad de muestreo / análisis. Para el presente trabajo de investigación corresponde, al estudio de hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Chillico en los distritos de San José de Ticllas y Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

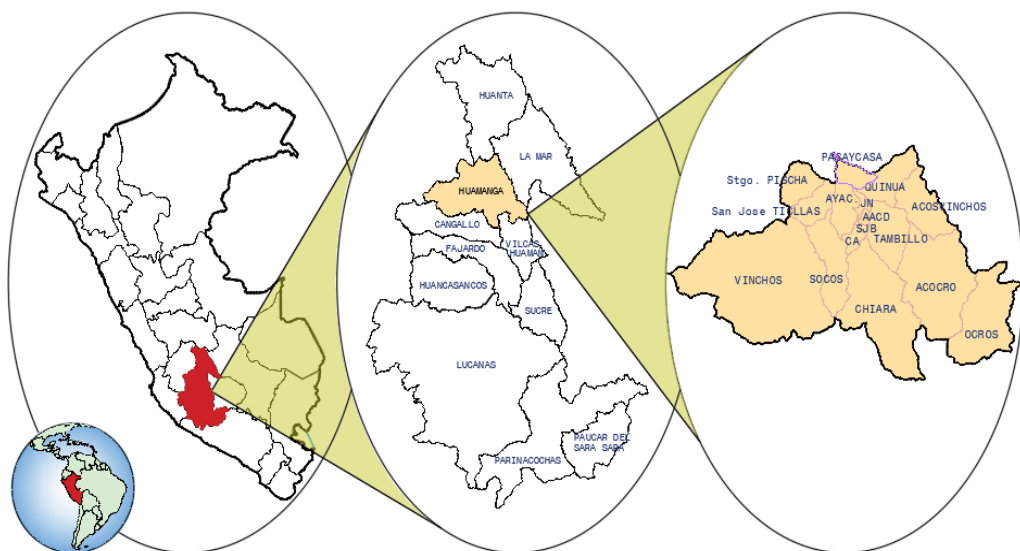


Figura 9. Ubicación de la Zona de Estudio



Teniendo la unidad de muestreo/análisis, la población está conformada por la cuenca hidrográfica del río Chillico ubicado en los distritos de San José de Ticllas y Ayacucho, de la provincia de Huamanga – Ayacucho.

### 3.3.2 Muestra.

La muestra corresponde al análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca hidrográfica del río Chillico ubicado en los distritos de San José de Ticllas y Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

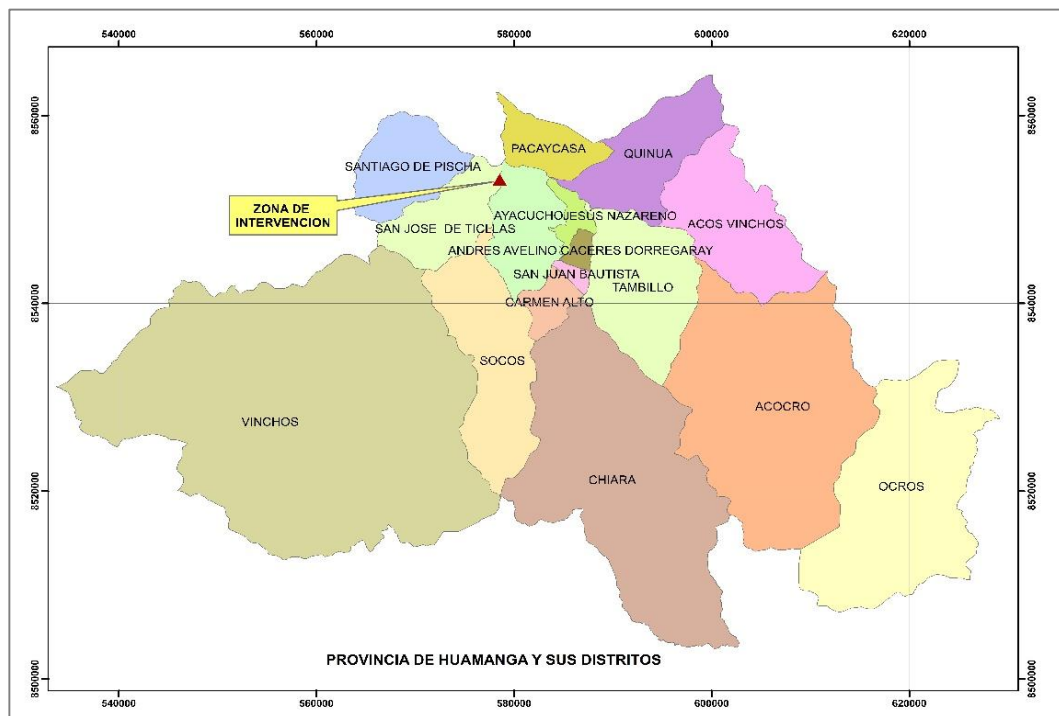


Figura 10. Zona de intervención en los distritos de Ticllas y Ayacucho

### 3.3.3 Tamaño de Muestra.

El tamaño de muestra pertenece a la intersección del Km 181+500 de la vía Nacional Ruta Nacional PE-26B con la salida o punto de fluidez de la cuenca del río Chillico para el dimensionamiento óptimo del badén.

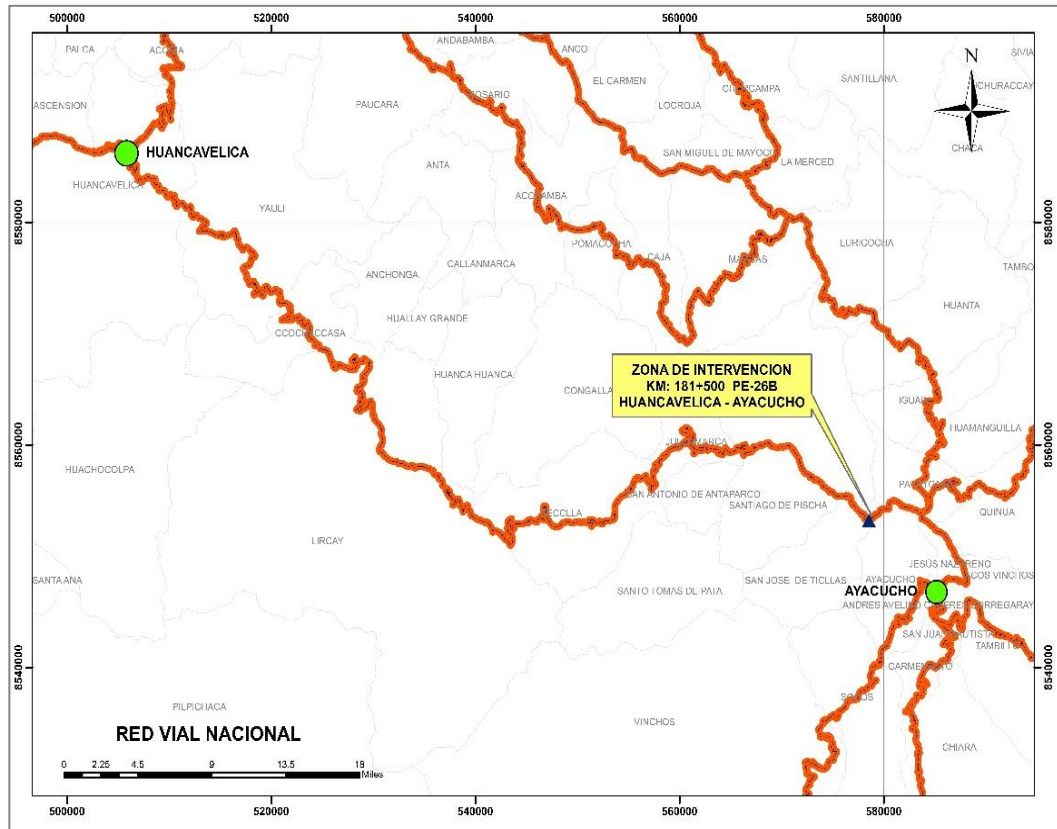


Figura 11. Red vial nacional PE-26B, en el km 181+500 como zona del estudio

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los procedimientos de recolección de datos recolección de información o datos corresponde a herramientas utilizados en campo en el punto de estación de la proyección de la ubicación del badén en el km 181+500.

Se realizan el análisis hidrológico y de los resultados del estudio de mecánica de suelos, a fin de determinar las propiedades geomecánicas e hidrológicas que intervienen en el análisis hidráulico del cauce del río Chillico. De la misma manera se recurre a fuentes bibliográficas referentes a los estudios de hidrología, hidráulico y la estructura hidráulica sobre el río como medida del diseño óptimo del badén.

Una vez consolidada toda la información requerida y calculada los estudios hidrológicos e hidráulicos, se procede al dimensionamiento del badén y se determina el cumplimiento de las hipótesis de la investigación previa a la elaboración del texto y la memoria digital del presente trabajo de investigación.

### **3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

A continuación, se describen las técnicas de procesamiento y análisis de datos que intervienen para alcanzar los objetivos para el presente proyecto de investigación.

#### **3.5.1 Definición del alcance del trabajo.**

Para precisar el alcance del presente trabajo se realizó el planteamiento de los objetivos, de acuerdo a ello, se logró entender la consecuencia negativa de la crecida del río, para el análisis hidrológico e hidráulico que interviene en el diseño óptimo del badén.

#### **3.5.2 Análisis preliminar.**

Consiste en la extracción y revisión de información existente de la zona del proyecto de investigación. Las actividades que se pueden mencionar en la presente fase son:

- Diagnóstico inicial de la información disponible, relacionada con las condiciones meteorológicas de la zona, a fin de conocer de antemano su incidencia en la crecida del río.
- Revisión de mapas de fallas geológicas elaborados en base a la información geológica y geotécnica de la zona en estudio, con el fin de tener una representación objetiva de tipo de materiales, número curva y de las condiciones

existentes en el entorno, y de esta manera contar con antecedentes definidos para la ejecución del análisis hidráulico.

- Reconocimiento del sitio con el propósito de corroborar la información disponible y en caso de requerirse la realización de encuestas a la población de la zona de estudio sobre los problemas que ocasiona el río en épocas de lluvia.

### **3.5.3 Análisis de ensayos de Mecánica de Suelo y de campo.**

Consiste en el análisis de la información disponible a partir de los ensayos de campo y de laboratorio, efectuados y registrados en el proyecto de investigación, además de pruebas adicionales en caso de requerirse. Se pueden enumerar como: granulometría, clasificación, peso específico, cohesión y ángulo de fricción interna.

### **3.5.4 Definición de las características hidrológicas – hidráulicas.**

De acuerdo a los resultados de las características de la microcuenca, se procede a determinar los parámetros geomorfométrico de la microcuenca, y las características hidrológicas de la cuenca la precipitación de diseño y como resultado final la selección del caudal de diseño máximo del río en mención.

En base a los resultados de las características hidráulicas con el estudio de la mecánica de suelos se procede determinar: ancho estable del cauce, socavación, y otros.

### **3.5.5 Diseño del badén.**

Se determina el dimensionamiento del badén de acuerdo a los resultados de la hidrología de la cuenca e hidráulica de la sección estable.

### **3.5.6 Interpretación y evaluación de resultados.**

En esta fase del trabajo, se constituyen los resultados, producto de la fase previa, determinar de las condiciones y características hidrológicas e hidráulica para el diseño del badén trapezoidal sobre el rio Chillico en el km 181+500 de la ruta Nacional PE-26B.

### **3.5.7 Conclusiones y elaboración del trabajo.**

Como etapa final se presentan las conclusiones correspondientes a la ejecución del trabajo de las fases anteriores y se procede a la elaboración del texto con las estructuras del desarrollo del trabajo para de graduación y su respectiva memoria en formato digital.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

#### 4.1 Presentación de resultados por variable

##### 4.1.1 Análisis de las características hidrológicas.

Dentro del análisis de las características hidrológicas se determinan:

- Parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio.
- Análisis pluviométrico de la zona del estudio.
- Determinación del caudal máximo.

##### *4.1.1.1 Determinación de parámetros geomorfológico de cuenca.*

Con el fin de agrupar los grupos de cuencas hidrológicamente semejantes, se estudia una serie de características físicas de la microcuenca del río Chillico, en las que se tienen:

##### *a. Área y perímetro de la microcuenca.*

El área y perímetro de la microcuenca Chillico y para efectos del desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha utilizado las informaciones de la cartografía y la topografía: (Carta Nacional 27ñ - Ayacucho) obtenidos del MINEDU, MINAM y otro. Utilizando la información cartográfica y topográfica

mencionada anteriormente, se analizó la microcuenca del río Chillico para el desarrollo del Trabajo de Investigación.

Los parámetros de Área y perímetro de la microcuenca, longitud del cauce se ha determinado utilizando el ArcGis 10.5 con la carta Nacional 27ñ.

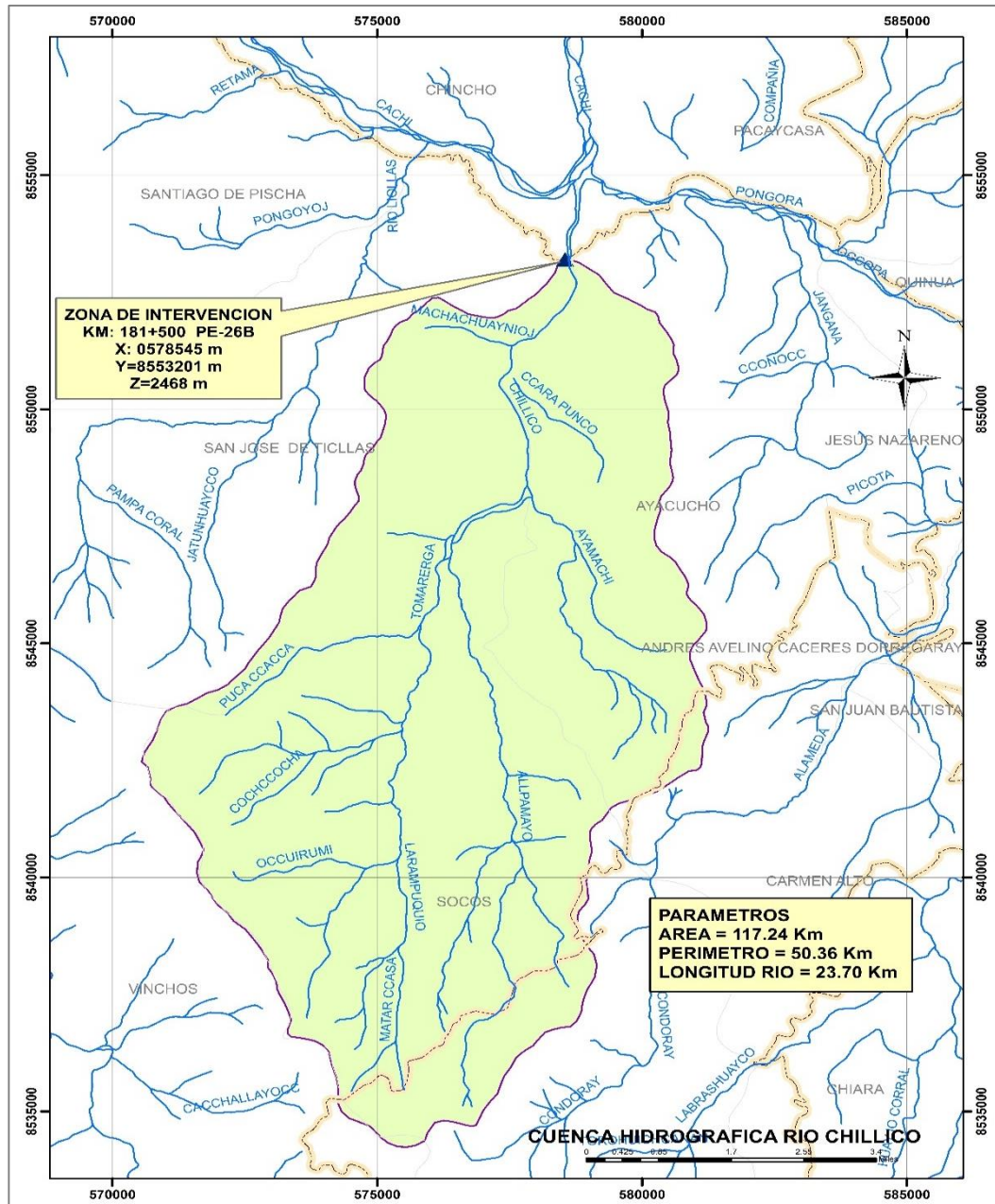


Figura 12. Microcuenca del río Chillico

*b. Parámetros de la microcuenca de relieve y forma.*

Los parámetros como, la pendiente de la microcuenca, tiempo de concentración y demás se han determinado utilizando las ecuaciones descritas en el marco teórico.

**Tabla 10**

*Caracterización de parámetros geomorfológicos de la microcuenca*

<b>Caracterización geomorfológica de cuenca</b>				
<b>Punto de estación - río Chillico PE-S</b>				
<b>Item</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
1.01	Area de la Microcuenca	Ac	117.24	Km <sup>2</sup>
1.02	Perimetro de la Microcuenca	P	50.36	Km
1.03	Longitud del Cauce principal	L	23.70	Km
1.04	Coef. de Compac. ó Índice de Gravelious	Kc	1.31	Adim
1.05	Altitud más baja de la Microcuenca	C <sub>M</sub>	2,468.0	m.s.n.m.
1.06	Altitud más alta de la Microcuenca	C <sub>m</sub>	4,050.0	m.s.n.m.
1.07	Altitud alta del curso del rio naciente	C <sub>R</sub>	3,800.0	m.s.n.m.
1.08	Altitud media simple de la Microcuenca	H <sub>MS</sub>	3,259.0	m.s.n.m.
1.09	Desnivel de la Microcuenca	Hc	1,582.0	m
1.10	Desnivel del cauce principal	Hr	1,332.0	m
1.11	Rectangulo Equivalente: Lado Mayor	L	19.03	Km
1.12	Pendiente de la microcuenca: H/L	Sc	0.08	m/m
1.13	Pendiente de la Microcuenca:	Sc	8.31	%
1.14	Pendiente de quebrada principal	Sq	0.056	m/m
1.15	Pendiente de quebrada principal máximo	Sq	5.62	%
1.16	Pendiente de quebrada principal	Sq	56.20	m/Km
1.17	Tiempo de Concentración: Método de Kirpich	Tc <sub>1</sub>	2.30	Hr
1.18	Tiempo de Concentración: Método de Temez	Tc <sub>2</sub>	2.88	Hr
1.19	Tiempo de Concentración: U.S. Corp. ing	Tc <sub>3</sub>	5.75	Hr
1.20	Tiempo de Concentración: PROMEDIO	Tc	3.64	Hr
1.21	Tiempo de retardo	Tr	2.19	Hr
1.22	Tiempo de precipitación en exceso	Te	3.82	Hr

El área total de la microcuenca río Chillico es de *117.24 km<sup>2</sup>*, su perímetro de 50.36 km; y longitud del cauce principal es de 23.70km, teniendo un tiempo de



concentración calculada de 3.64 horas desde el nacimiento del río hacia el punto de estudio donde se ubica el diseño del badén.

#### ***4.1.1.2 Obtención, análisis y tratamiento de la información pluviométrico.***

El tratamiento de la información hidrometeorológica tener en consideración la recolección, concentración y manejo racional de la información pluviométrica en cuanto se refiere a la calidad y cantidad de datos debido a que la microcuenca en estudio no cuenta con información hidrométrica por lo que se procederá al análisis del dato de las pluviometrías, y se procederá a generar los caudales mensuales y caudales picos de avenidas que ocasiona las microcuencas a partir de la utilización de parámetros de registros pluviométricos (precipitación mensual y máxima en 24 horas).

Las estaciones utilizadas son las 04 estaciones como: Estaciones Meteorológicas de, Pucaloma y Huamanga que son registrados por el GRA (Gobierno Regional de Ayacucho), San Pedro de Cachi y Wayllapampa registrados por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), como se muestra en la siguiente tabla 11.

**Tabla 11**

*Estaciones Meteorológicas al área del Proyecto*

<b>Estación</b>	<b>Provincia</b>	<b>Distrito</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Estado</b>
Pucaloma	Huamanga	Socos	13°12'20"	74°17'54"	3,490.0	Operativo
Huamanga	Huamanga	Ayacucho	13°08'51"	74°13'06"	2,772.0	Inoperativo
San Pedro de Cachi	Huamanga	Stgo. Pische	13°05'14"	74°23'26"	3,247.0	Operativo
Wayllapampa	Huamanga	Pacaycasa	13°04'35"	74°12'59"	2,470.0	Operativo

Fuente: SENAMHI, 2020

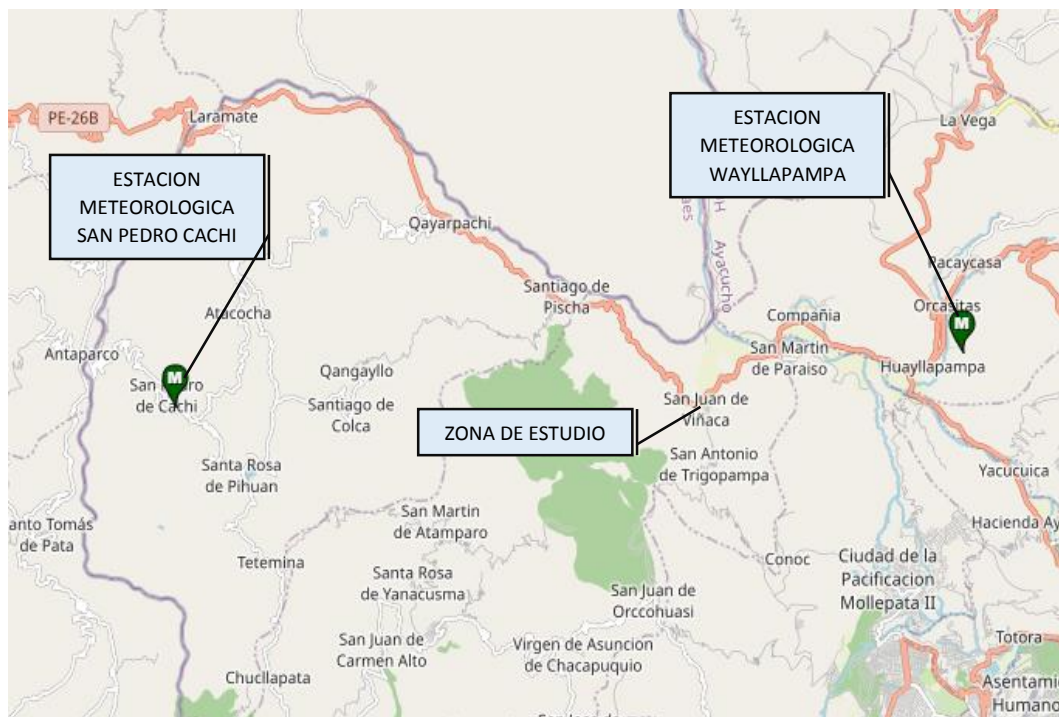


Figura 13 . Ubicación de estaciones meteorológicas

*a. Análisis de la consistencia de la información.*

El análisis de consistencia de la información de registro pluviométrico, se realizó mediante los siguientes procesos: análisis gráfico y análisis estadístico.

La utilización de los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones meteorológicas proporcionada por el SENAMHI y el GRA, permitieron el análisis de consistencia, y análisis estadístico de datos de estación en evaluación como la estación base del Estudio de Hidrología de cuenca del presente trabajo de investigación ubicados en la zona del proyecto y ubicada dentro de la microcuenca en estudio.

*- Análisis gráfico.*

Para el análisis gráfico y ver la consistencia y saltos se utilizó el análisis de variación Temporal y Espacial, utilizando la precipitación media mensual de

registros históricos de cada una de las estaciones meteorológicas mencionadas en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Registros mensuales totales de precipitación*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pucaloma	118.9	134.0	101.2	36.6	8.8	4.7	4.2	7.6	19.9	26.9	46.6	92.6
Huamanga	115.4	132.5	98.0	33.4	19.9	3.2	9.9	8.7	27.6	36.2	64.4	78.7
San Pedro de Cachi	141.7	139.8	112.3	41.0	16.3	4.9	11.0	12.5	20.5	42.3	51.3	111.8
Wayllapampa	113.0	124.3	94.3	29.8	15.6	3.0	9.3	10.6	20.9	32.7	50.8	86.8
Ponderado	122.3	132.7	101.5	35.2	15.1	3.9	8.6	9.8	22.2	34.5	53.3	92.5

Fuente: SENAMHI, 2020

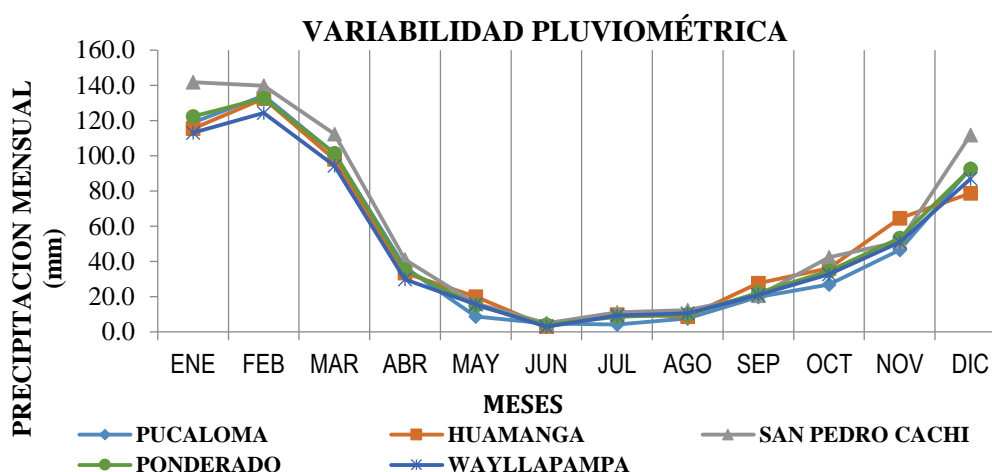


Figura 14. Gráfico de la variación temporal

- *Análisis de doble masa.*

Los errores presentes se pueden examinar por el quiebre que presenta la recta de doble masa; estableciendo un registro de datos con errores sistemáticos bajos por presentar un menor número de puntos de quiebre de la recta.

Para los análisis de doble masa se tomó de acuerdo a la zona de distribución espacial las estaciones meteorológicas de Pucaloma, Huamanga, San Pedro de

Cachi y Wayllapampa ubicados dentro de la provincia de Huamanga de la zona de estudio.

En la figura 15 del análisis de doble masa los quiebres son mínimas y son consistente por lo que no requiere la corrección.

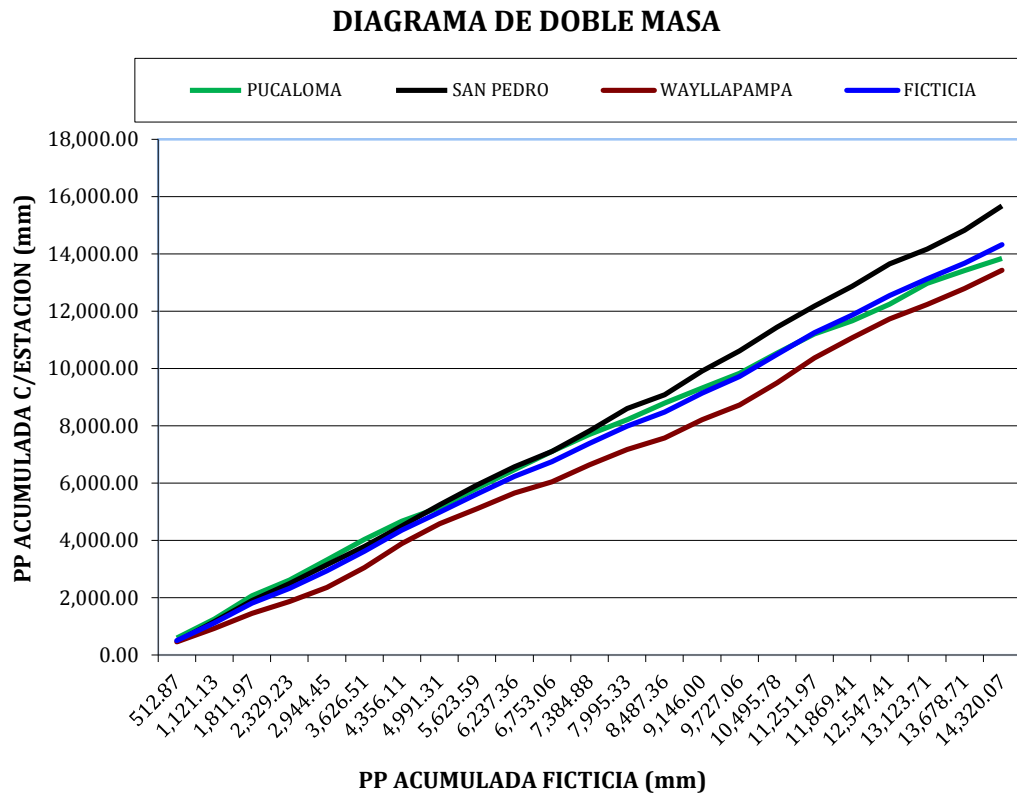


Figura 15. Gráfico del análisis de doble masa de las precipitaciones anuales

#### 4.1.1.3 Determinación de la precipitación de diseño.

##### a. Precipitación máxima en 24 horas de estación.

La zona donde se realiza el estudio cuenta con las estaciones meteorológicas como se mencionó anteriormente que cuenta con registros históricos de precipitación máxima en 24 horas, por lo que se ha seleccionado dicho parámetro para la utilización y aplicación en la generación de caudales máximos o picos.

Para obtener la precipitación máxima de estudio para un determinado año solo se obtiene es el valor máximo para ese año y se coloca en una columna que se denominará máximo, como se muestra en la siguiente tabla 13.

**Tabla 13**

*Precipitación máxima en 24 horas*

Año	Estación	Estación	Estación	Estación	Valor máximo
	Pucaloma	Huamanga	San Pedro	Wayllapampa	Estudio
	PP max	PP max	PP max	PP max	PP max 24hr
1995	22.0	42.0	23.0	17.7	42.0
1996	31.3	29.0	35.0	76.3	76.3
1997	56.3	23.2	45.5	25.4	56.3
1998	29.8	27.3	38.4	22.4	38.4
1999	26.6	24.8	28.0	26.2	28.0
2000	36.1	35.2	35.0	34.2	36.1
2001	S/D	23.3	33.7	23.2	33.7
2002	28.3	27.6	22.6	31.0	31.0
2003	26.2	16.7	32.0	50.4	50.4
2004	S/D	S/D	28.2	40.3	40.3
2005	25.0	S/D	33.2	21.5	33.2
2006	26.2	S/D	29.3	32.3	32.3
2007	19.1	23.5	47.5	19.6	47.5
2008	14.4	31.5	27.8	23.0	31.5
2009	S/D	29.6	35.5	29.0	35.5
2010	41.0	24.5	31.2	18.7	41.0
2011	30.3	46.7	45.0	32.3	46.7
2012	23.2	24.7	29.6	39.2	39.2
2013	20.3	S/D	32.4	37.7	37.7
2014	75.0	S/D	35.2	34.4	75.0
2015	42.2	S/D	29.9	29.1	42.2
2016	30.3	S/D	S/D	S/D	30.3
2017	26.2	S/D	30.5	23.8	30.5
2018	S/D	S/D	24.9	25.8	25.8
2019	S/D	S/D	41.4	40.2	41.4
2020	S/D	S/D	25.5	30.0	30.0

Fuente: SENAMHI, 2020

*b. Análisis de dato dudosos.*

Dentro de los resultados para el análisis de los datos dudosos de la precipitación máxima en 24 horas, se tiene,  $\bar{y}$  igual a 1.553; y de acuerdo con la Tabla 13. Se tiene  $K_n = 2.19$  para un valor de  $N = 27$  años de registro, y  $S_y = 0.09$ .

A partir de los resultados estadísticos, se procede a calcular finalmente el valor de los umbrales máximo y mínimo permitidos para el registro de datos correspondiente a la zona del estudio utilizando Tabla 13 de precipitación máxima en 24 horas. Para eso, hacemos uso de las ecuaciones mencionadas (8) y (9) presentadas en el marco teórico; las cuales se tienen como umbral máximo de datos  $y_H=1.88$ ; y umbral mínimo de datos  $y_L=1.30$ ; Luego, dado que durante el proceso se trabajó con logaritmos, realizamos el cálculo anti logarítmico para cada uno de los valores, de acuerdo correspondiendo  $PH = 75.76$  mm y  $PL = 20.02$  mm al Umbral máximo y mínimo de la precipitación máxima en 24 horas respectivamente de la estación de estudio. Se grafica los resultados obtenidos con el fin de observar y analizar el comportamiento de los datos entre los umbrales máximos y mínimos. Dicha gráfica se encuentra en la figura 16.

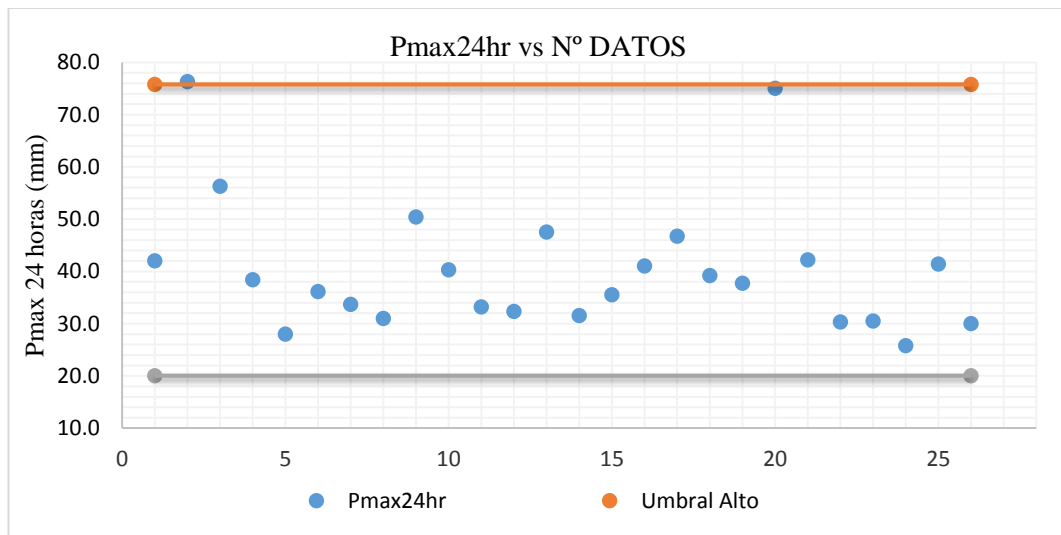


Figura 16. Gráfico del test de datos dudosos de registros de Pmax en 24hr

Dentro de los resultados del gráfico de la figura 16 se pudo evidenciar que para el estudio existe 02 datos dudosos identificados, el cual se descarta el dato del

año 1996 de 76.3mm y dato del año 2014 de 75.0mm de precipitación máxima en 24 hr. Nuevamente procesando datos se tiene:

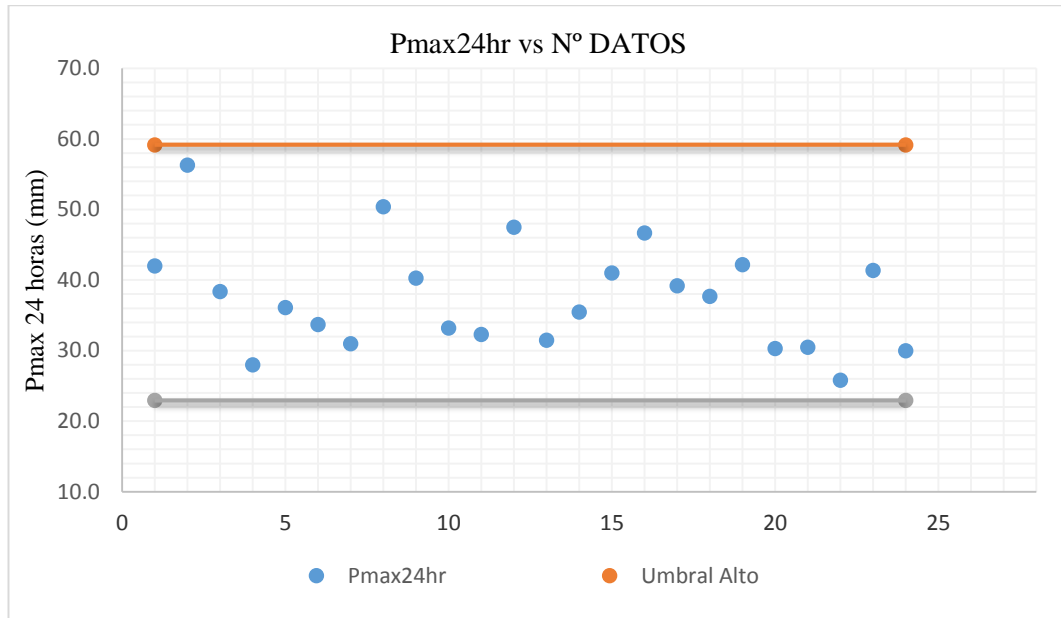


Figura 17. Gráfico del test de datos dudosos de Pmax en 24hr corregido

Dentro de los resultados de la figura 17 se pudo evidenciar se encuentra corregido, en la cual ya presenta datos dudosos con se realizará los cálculos de la precipitación de diseño con la siguiente tabla:

**Tabla 14***Precipitación máxima en 24 horas corregido*

Año	N°	Valor máximo
		Estudio
PP max 24Hr		
1995	1.0	42.0
1997	2.0	56.3
1998	3.0	38.4
1999	4.0	28.0
2000	5.0	36.1
2001	6.0	33.7
2002	7.0	31.0
2003	8.0	50.4
2004	9.0	40.3
2005	10.0	33.2
2006	11.0	32.3
2007	12.0	47.5
2008	13.0	31.5
2009	14.0	35.5
2010	15.0	41.0
2011	16.0	46.7
2012	17.0	39.2
2013	18.0	37.7
2015	19.0	42.2
2016	20.0	30.3
2017	21.0	30.5
2018	22.0	25.8
2019	23.0	41.4
2020	24.0	30.0

*c. Prueba de ajuste.*

Las pruebas de bondad de ajuste, consiste en comprobar la gráfica y estadísticamente si la frecuencia empírica de la serie generada de la precipitación y analizada se ajusta a una serie de funciones de probabilidad teórica. Esto ha sido calculada mediante el programa de Hydrognomon, dando el siguiente resultado.



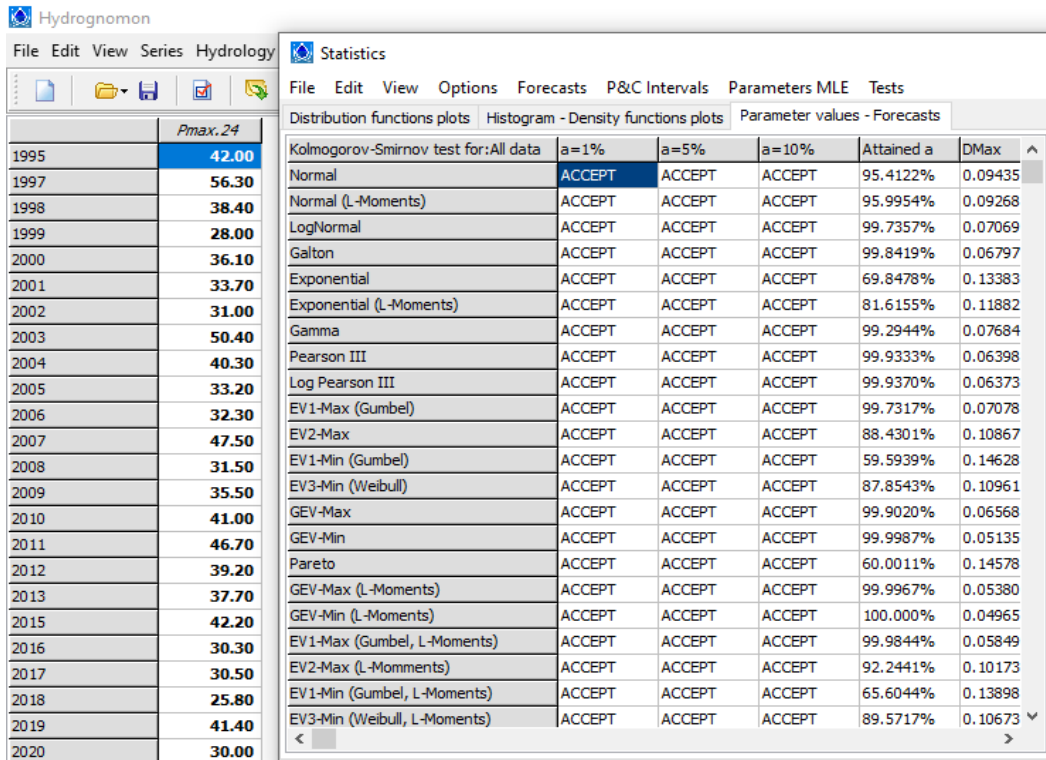


Figura 18. Prueba de ajuste Kolmogorov-Smirnov

Para el cálculo práctico del estadístico teórico se puede obtener de la tabla estadística de Kolmogorov - Smirnov (< 35 número de datos) y/o para mayores de 35 datos con la siguiente ecuación:

$$\Delta_{\max} \approx \frac{\sqrt{-0.5 \ln\left(\frac{\alpha}{2}\right)}}{\sqrt{N}} - \frac{1}{6N}, \text{ si } N \leq 35 \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 26]}$$

Al analizar la Tabla 15, la Distribución Log Pearson Tipo III es el que presenta el mejor ajuste a la prueba de bondad de Kolmogorov – Smirnov de la Tabla 14 y con N=24, y nivel de significación  $\alpha=0.05$  en la ecuación (24), como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 15***Prueba de bondad de ajuste seleccionada*

<b>Distribución</b>	<b><math>\Delta_{max}</math></b>	<b><math>\Delta_{teorico}</math></b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Mejor ajuste</b>
Normal	0.09435	0.3464	Se acepta	
Log Normal	0.07069	0.3464	Se acepta	
Gama	0.07684	0.3464	Se acepta	
Log Pearson Tipo III	0.06373	0.3464	Se acepta	0.06373
Gumbel	0.07078	0.3464	Se acepta	

*d. Modelos de distribución de precipitación máxima.*

Presentación de tabla 16 el resumen y gráfica de las funciones de distribución de probabilidad de registros de precipitaciones de diseño máximo para periodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 año.

**Tabla 16***Precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno*

<b>Methods</b>	<b>Maximum precipitation in 24 hours for return period</b>					
	<b>2 years</b>	<b>5 years</b>	<b>10 years</b>	<b>25 years</b>	<b>50 years</b>	<b>100 years</b>
Description	Value	Value	Value	Value	Value	Value
Normal	37.54	43.96	47.32	50.90	53.21	55.29
Log Normal	36.80	43.53	47.52	52.17	55.42	58.52
Pearson III	36.67	43.52	47.62	52.40	55.73	58.88
Log Pearson III	36.52	43.32	47.61	52.86	56.68	60.43
Gumbel	36.30	42.98	47.41	53.00	57.14	61.26
Log Gumbel	38.78	43.75	45.86	47.84	48.99	49.95

*e. Precipitación de diseño de mejor ajuste de distribución.*

Comprobando con la fórmula de métodos estadísticos los valores calculados son similares con los cálculos del Hydrognomon. Entonces de la Tabla 16 para 2 años, 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno (Tr) la precipitación de diseño con

la Distribución de Pearson Tipo III de mejor ajuste es de 36.52mm, 43.32mm, 47.61mm, 52.86mm, 56.68mm y 60.43mm; respectivamente.

#### **4.1.1.4 Determinación del caudal de diseño.**

##### *a. Método del SCS.*

Se tiene el resultado utilizando las Tabla 4 (NC para complejos hidrológicos de suelos cobertura) y con la utilización del parámetro de tipo de suelo sobre la microcuenca del río Chillico se tiene una el número de curva “CN” de 83.65 como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*CN de la microcuenca del río Chillico*

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>% Area</b>	<b>Grupo suelo</b>	<b>Condición</b>	<b>CN (valor)</b>	<b>CN (%)</b>	<b>CN ponderado</b>
Cultivo agrícola	35%	C	Buena	84.00	29.40	83.65
Arboles Forestales	5%	C	Regular	73.00	3.65	
Pastizales	25%	C	Regular	75.00	18.75	
Suelo desnudo	35%	C	Pobre	91.00	31.85	

Utilizando los valores del CN de 83.65, el área de la microcuenca de 117.24km<sup>2</sup>, precipitación de diseño para los periodos de retorno de 25 años, 50 y 100 años que son: 52.86mm, 56.68mm y 60.43mm respectivamente del Log Pearson Tipo III y el tiempo de concentración de 3.64 hr, se tiene los siguientes valores de los caudales máximos de diseño por el Método del SCS como se muestran en la siguiente figura 19:

## CALCULO DE CAUDAL DE MAXIMAS AVENIDAS

### METODO SCS

**PROYECTO** : ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN DEL RIO CHILLICO  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE AYA CUCHO – HUAMANGA – AYA CUCHO, 2021  
**SECTOR** : KM 118+500 RIO CHILLICO

#### 1. DATOS GENERALES:

1.1 NUMERO CURVA		CN =	83.7
1.2 PRECIPITACION DE DISEÑO Tr	TR= 25 Años	P <sub>max</sub> =	52.86 mm
1.3 PRECIPITACION DE DISEÑO Tr	TR= 50 Años	P <sub>max</sub> =	56.68 mm
1.4 PRECIPITACION DE DISEÑO Tr	TR= 100 Años	P <sub>max</sub> =	60.43 mm
1.5 AREA DE LA CUENCA		A =	117.24 Km <sup>2</sup>
1.6 TIEMPO DE CONCENTRACION		T <sub>c</sub> =	3.64 Hr

#### 2. CALCULO DE EXCESOS DE PRECIPITACIONES

2.1 ESCORRENTIA POTENCIAL (mm)	$hpe = \frac{[NC (P_{max} + 50.8) - 5080]^2}{NC [NC (P_{max} - 203.2) + 20320]}$		
2.2 ALTURA DE LLUVIA EFECTIVA TR1	TR= 25 Años	hpe <sub>1</sub> =	19.91 mm
2.3 ALTURA DE LLUVIA EFECTIVA TR2	TR= 50 Años	hpe <sub>2</sub> =	22.67 mm
2.4 ALTURA DE LLUVIA EFECTIVA TR3	TR= 100 Años	hpe <sub>3</sub> =	25.47 mm

#### 3. CALCULO DE DURACION, TIEMPOS Tr, Tp, T<sub>b</sub>

3.1 DURACION EN EXCESO (Hr)	$de = 2\sqrt{T_c}$	de =	3.82 Hr
3.2 TIEMPO DE RETRASO	$Tr = 0.6T_c$	Tr =	2.18 Hr
3.3 TIEMPO PICO	$T_p = 0.5de + Tr$	T <sub>p</sub> =	4.09 Hr
3.4 TIEMPO BASE	$T_b = 2.67T_p$	T <sub>b</sub> =	10.93 Hr

#### 4. CALCULO DE CAUDALES MAXIMOS O PICOS

4.1 CAUDAL MAXIMO O PICO	$Q_{max} = \frac{0.208 * hpe * A * f}{T_p} \quad f = 100\%$		
4.2 CAUDAL MAXIMO PARA Tr1	TR= 25 Años	Q <sub>max</sub> =	118.65 m <sup>3</sup> /seg
4.3 CAUDAL MAXIMO PARA Tr2	TR= 50 Años	Q <sub>max</sub> =	135.12 m <sup>3</sup> /seg
4.4 CAUDAL MAXIMO PARA Tr3	TR= 100 Años	Q <sub>max</sub> =	151.77 m <sup>3</sup> /seg

Figura 19. Resultado del caudal máximo por el Método SCS

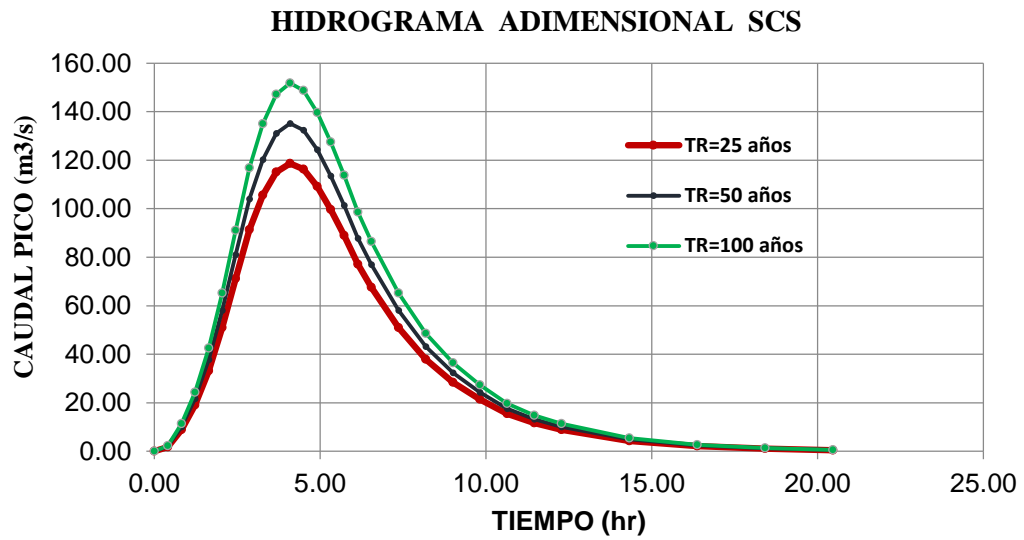


Figura 20. Gráfico del hidrograma del río Chillico

*b. Método del Sistema Dipeo.*

Teniendo los valores de la precipitación de diseño de 24 hr para periodo de retorno de 25, 50 y 100 año, el área de la cuenca, y los coeficientes  $C_R$  y  $C_{R/P}$  y  $C_P$  obtenidos de la Tabla 6 (Valores de  $C_R$ ) y Tabla 7 (Valores de  $C_F$ ) de la base teórica, y el tiempo de concentración calculada. Aplicando la fórmula del Método del Sistema de Dipeo se tiene el caudal máximo calculado.

**Tabla 18***Determinación de los coeficientes para el Sistema Dipeo*

Descripción	Valores
$P_{24h}$ = Precipitación de diseño (mm), para un periodo de retorno de 100 años	Variable
$A_c$ = Superficie o Area de la cuenca	117.24 km <sup>2</sup>
$C_R$ = Coeficiente de reducción según el area de la cuenca	0.85
$C_{P/R}$ = Coeficiente de reducción según la infiltración, permeabilidad y pendientes longitudinal y transversal de la cuenca.	45%
$C_F$ = Coeficiente que considera la forma de la curva del caudal para la zona del proyeco con isoyeta anual mayor a 800mm y areas de la cuenca de 100 a 200 km <sup>2</sup> .	3.10
$T_c$ = Tiempo de concentración, en segundos. ( $T_c=3.64$ hr)	13104.0 seg
$Q_{max} = \frac{P_{24h} * A_c * C_R * C_{P/R} * C_F}{T_c}$	fórmula
Reemplazando valores se tiene en (m3/s):	Resultado

**Tabla 19***Resultados de caudales máximos por el Sistema Dipeo*

Parámetro	Sistema Dipeo		
	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
Pmax. 24hr	52.86 mm	56.68 mm	60.43 mm
Area cuenca: $A_c$	117.24 km <sup>2</sup>	117.24 km <sup>2</sup>	117.24 km <sup>2</sup>
Coeficiente $C_R$	0.85	0.85	0.85
Coeficiente $C_{P/R}$	45 %	45 %	45 %
Coeficiente $C_F$	3.10	3.10	3.10
Tiempo $T_c$ en (s)	13,104.00 s	13,104.00 s	13,104.00 s
Caudal máximo	56.08 m <sup>3</sup> /s	60.13 m <sup>3</sup> /s	64.11 m <sup>3</sup> /s

*c. Método Empírico – Gómez.*

Para este método solo se debe tener el área de la cuenca; la precipitación de diseño para un periodo de retorno de 50 años y  $K=0.574$ . El caudal máximo para un periodo de retorno de 50 años y de más años por el Método Empírico – Gómez se tiene:

<b>1. FORMULA DE GOMEZ:</b>	$Q_{max} = \frac{25 * A}{(A + 57)^{0.5}} * K$
1.1 AREA DE LA CUENCA	A = 117.24 Km2
1.2 PERIODO DE RETORNO	Tr = 50.0 Años
1.3 COEFICIENTE EN f(PERIODO DE RETORNO)	K = 0.574 Adim
1.4 CAUDAL MAXIMO	<b>Q<sub>max</sub> = 127.45 m3/seg</b>

Figura 21. Resultado de Qmax por el Método Empírico para Tr=50años

d. Método de Creager.

Según establece en el Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú. El departamento de Ayacucho, y la cuenca del río Chillico tiene un coeficiente de ecuación regional de Región 6, y con los coeficientes C<sub>1</sub>=0.18, C<sub>2</sub>=0.31, m=1.24 y n=0.04; entonces se tiene los resultados de caudales:

**DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS MÉTODO REGIONAL (CREAGER) - CUENCA DEL RIO CHILLICO**

$$Q = (C1 + C2) * \text{Log}(T) * A^{(m * A^{(-n)})}$$

- Donde: Qmax : Caudal máximo para un periodo de retorno seleccionado, en m3/s  
A : Área de la cuenca aportante, en km2  
T : Periodo de retorno, en años  
C1, C2 : Coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulica  
m, n : Exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas

Periodo de retorno T (años)	Área de la cuenca (Km2)	Coeficiente				Log(T)	A <sup>(m*A<sup>(-n)</sup>)</sup>	Qmax (m3/s)
		C1	C2	m	n			
5	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	0.699	131.973	45.20
10	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	1.000	131.973	64.67
25	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	1.398	131.973	<b>90.40</b>
50	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	1.699	131.973	<b>109.87</b>
100	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	2.000	131.973	<b>129.33</b>
300	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	2.477	131.973	160.19
500	117.24	0.18	0.31	1.24	0.04	2.699	131.973	174.53

Figura 22. Resultado del caudal máximo por el Método Creager

*e. Resultados de caudales de diseño.*

Para selección el resultado óptimo de los caudales de diseños se han promediado los valores de los todos métodos calculados para un tiempo de retorno de 50 años. En la tabla preliminar siguiente se tiene los resultados de caudales con los Métodos del SCS y Sistema de Dipeo, Método Empírico y el Método de Creager para el río de la microcuenca del río Chillico.

**Tabla 20**

*Resumen de Caudales máximos de diseño para Tr de 50 años*

<b>Caudal de diseño para periodo de 50 años de retorno</b>					
Microcuenca	<b>SCS</b>	<b>Dipeo</b>	<b>Empirico</b>	<b>Creager</b>	<b>Selección (Diseño)</b>
	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)
Río Chillico	135.12	60.13	127.45	109.87	

Descartando el caudal calculado por el Método del Sistema de Dipeo por poseer un valor de caudal menor a comparación del resto, se tiene el promedio del caudal diseño sobre el río Chillico para 50 años de periodo de retorno.

**Tabla 21**

*Caudal de diseño seleccionado para Tr de 50 años para el diseño*

<b>Caudal de diseño para periodo de 50 años de retorno</b>					
Microcuenca	<b>SCS</b>	<b>Dipeo</b>	<b>Empirico</b>	<b>Creager</b>	<b>Selección (Diseño)</b>
	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)	Qmax (m3/s)
Río Chillico	135.12		127.45	109.87	124.15



El caudal de diseño de la cuenca sobre la intersección del análisis del proyecto para el dimensionamiento óptimo del badén se considera un  $Q_{max}=124.15$   $m^3/s$  para un periodo de retorno de 50 años.

#### **4.1.2 Dimensionamiento hidráulico del badén.**

Se tiene el dimensionamiento del badén que se propone para el siguiente proyecto de investigación denominada: ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN SOBRE EL RIO CHILLICO, DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO, 2021.

##### **4.1.2.1 Cálculo del ancho estable.**

Teniendo los datos del diámetro medio  $D_{50}=15mm$  por los resultados de geotecnia de suelos; concentración de material de fondo  $C=5\%$ ; el factor de orilla  $F_s=0.10$ ; se tiene el factor de fondo  $F_b$ :

$$F_b = D_{50}^{\frac{1}{3}}(1 + 0.12 * C)$$

$$F_b = 15^{1/3}(1 + 0.12 * 0.05)$$

$$F_b = 2.48$$

Empleando la fórmula de Blench - Altunin se tiene el ancho estable del cauce del rio Chillico con un caudal máximo de  $124.15m^3/s$ :

$$B = 1.81 \left[ \frac{Q * F_b}{F_s} \right]^{1/2}$$

$$B = 1.81 \left[ \frac{124.15 * 2.48}{0.20} \right]^{1/2}$$

$$B = 100.45m$$

$$B \approx 100m$$

#### 4.1.2.2 Altura hidráulica.

Utilizando la fórmula de Blench – Altunin, teniendo valor de factor de fondo de  $F_b=2.48$ ; factor de orilla de  $F_s=0.10$ , y caudal de diseño  $Q=124.15m^3/s$  se tiene la profundidad media:

$$h = 1.02 \left[ \frac{Q * F_s}{F_b^2} \right]^{1/3}$$

$$h = 1.02 \left[ \frac{75.94 * 0.10}{2.48^2} \right]^{1/3}$$

$$h = 1.09m$$

#### 4.1.2.3 Pendiente hidráulica de la Sección.

Utilizando la fórmula de Blench – Altunin se tiene la pendiente hidráulica:

$$S = \frac{0.55 F_b^{5/6} F_s^{1/12}}{\left[ 1 + \frac{C}{233} \right] \left[ \frac{6.6g}{\gamma^{1/4}} \right] D_m^{1/6}}$$

$$S = \frac{0.55(2.48^{5/6})(0.10^{1/12})}{\left[ 1 + \frac{500}{233} \right] \left[ \frac{6.6 * 9.81}{1033^{1/4}} \right] 15^{1/6}}$$

$$S = \frac{0.017m}{m} = 0.02 = 2\%$$

#### 4.1.2.4 Cálculo final del dimensionamiento.

Utilizando la fórmula de Manning se tiene el dimensionamiento del badén sobre el río Chillico:

a. Datos de entrada.

Caudal máximo de la cuenca :  $Q_{max} = 124.15 \text{ m}^3/\text{s}$

Profundidad máxima :  $y = 0.30\text{m}$  (Manual de diseño MTC)

Pendiente longitudinal :  $S_0 = 0.08 \text{ m/m}$  (máximo 8%)

Pendiente transversal :  $S = 0.02\text{m/m}$  (Norma MTC: 2% a 3%)

Coefficiente de rugosidad :  $n = 0.013$  (Concreto armado)

Ancho de trapecio (base) :  $b = 10.0\text{m}$  (variable – calculo iterativo)

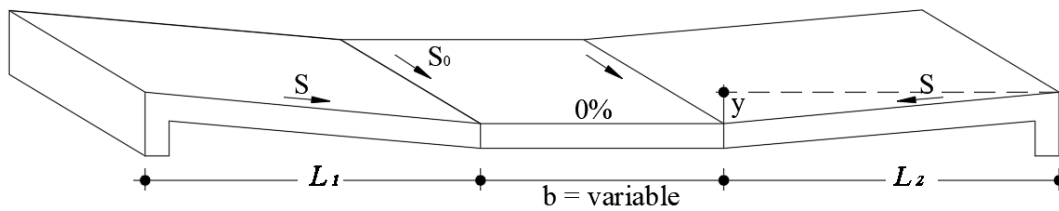


Figura 23. Parámetros geométricos del badén trapezoidal  
Fuente: Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC, 2012

#### b. Cálculos de parámetros geométricos.

Talud lado estructural: **z**

$$z = \frac{1}{S_0} = \frac{1}{0.02} \mapsto z = 20$$

Área de sección transversal: **A**

$$A = y(b + yz) = 0.30(10 + 0.3 * 20) \mapsto A = 4.80\text{m}^2$$

Perímetro mojado: **P**

$$P = b + 2y(1 + z^2)^{1/2} = 10 + 2(0.3)(1 + 20^2)^{0.5} \mapsto P = 22.01\text{m}$$

Radio hidráulico: **R**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{4.80}{22.02} \mapsto R = 0.22\text{m}$$

Longitud del primero y segundo lado del badén:  $L_1$  y  $L_2$

$$L_1 = zy = 20(0.3) \mapsto L_1 = 6.00m$$

$$L_2 = zy = 20(0.3) \mapsto L_2 = 6.00m$$

c. Cálculos del caudal para badén por Ecuación de Manning.

Reemplazando se tiene el caudal que transporta el badén para  $b=1.0m$ :  $Q$

$$Q = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2} A}{n} = \frac{0.22^{2/3} 0.02^{1/2} 4.8}{0.013} \mapsto Q = 23.17m^3 / s$$

d. Comparación de resultados.

- Si el caudal máximo de la cuenca es mayor que el caudal evacuado por el badén entonces se rechaza las dimensiones.
- Si el caudal máximo de la cuenca es menor o igual que el caudal evacuado por el badén entonces se acepta el badén trapezoidal.

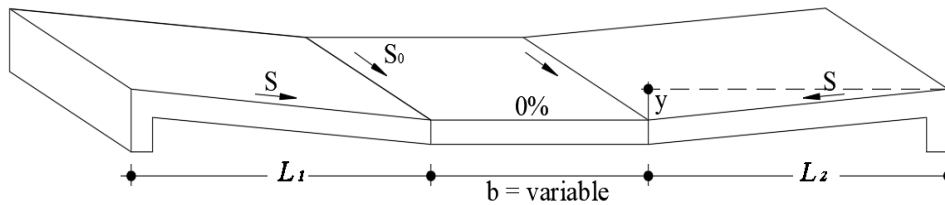
$$Q_c > Q_b \Leftrightarrow 124.15 > 23.17 : \text{rediseñar}$$

## DISEÑO HIDRAULICO DE BADEN TRAPEZOIDAL

**PROYECTO** : ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN SOBRE EL RIO CHILICO  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO  
**KM** : KM 18+500 CARRETERA (P.E-S)

### 1.0 DATOS GENERALES

CAUDAL MAXIMO DE CUENCA	$Q_c = 124.15 \text{ m}^3/\text{s}$	METODO DE CALCULO
PERIODO DE RETORNO	$Tr = 50.00 \text{ años}$	BADEN (02 - 05 años)
PROFUNDIDAD MAXIMA	$y = 0.30 \text{ m}$	REGLAMENTO: $y=0.3\text{m}$
PENDIENTE LONGITUDONAL O LADOS	$S = 0.05 \text{ m/m}$	RANGO: 8.0%
PENDIENTE TRANSVERSAL	$S_0 = 0.03 \text{ m/m}$	NORMA MTC 2.0 - 3.0%
COEF. RUGOSIDAD CONCRETO	$n_1 = 0.013$	TABLAS
ANCHO VARIABLE TRAPECIO	$b = 10.00 \text{ m}$	CONSIDERADO



### 2.0 CALCULOS DE PARAMETROS GEOMETRICOS:

PENDIENTE LADO ESTRUCTURAL	$z = 20$	$z = 1/S_0$
AREA SECCION TRANSVERSAL ( $\Delta$ )	$A = 4.80 \text{ m}^2$	$A = y(b+y*z)$
PERIMETRO MOJADO	$P = 22.01 \text{ m}$	$P = b+2y(1+z^2)^{1/2}$
RADIO HIDRAULICO	$R = 0.22 \text{ m}$	$R = A/P$
LONGITUD 1° LADO DEL BADEN	$L_1 = 6.000 \text{ m}$	$L = Z*y$
LONGITUD 2° LADO DEL BADEN	$L_2 = 6.000 \text{ m}$	

### 3.0 CALCULO DE CAUDAL MAXIMO: (EC. MANNING):

CAUDAL MAXIMO1 (CONCRETO)	$Q_{1_{\max}} = 23.167 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = R^{2/3} * S_0^{1/2} * A/n1$
---------------------------	--	----------------------------------

### 4.0 COMPARACION DE RESULTADOS:

$Q_c > Q_{\max}$  RECHAZADO: DIMENSIONAR BADEN TRAPEZOIDAL

$Q_c < Q_{\max}$  SE ACEPTA EL BADEN ESTANDAR

CAUDAL MAXIMO DE LA CUENCA	$Q_c = 124.15 \text{ m}^3/\text{s}$
CAUDAL PARA BADEN (CONCRETO)	$Q_{1_{\max}} = 23.17 \text{ m}^3/\text{s}$

**RECHAZADO**

Figura 24. Resultado del Cálculo del badén para iteración  $b=10\text{m}$

Rediseñando con cálculos iterativos de la base variable con la misma rugosidad de Manning de  $n = 0.013$  y con la pendiente transversal de  $S_0 = 0.02$  y variando la base  $b$  desde 10m, 20m, 30m hasta 100m y tener la ecuación de la recta:

## DISEÑO HIDRAULICO DE BADEN TRAPEZOIDAL

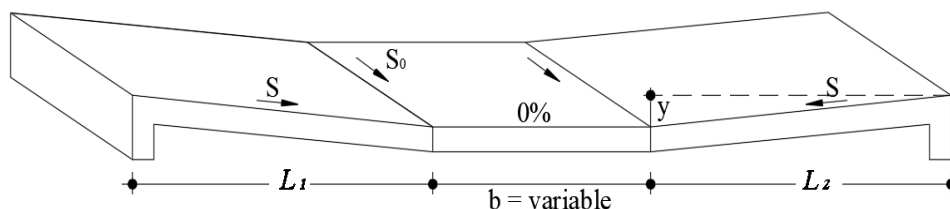
**PROYECTO** : ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN SOBRE EL RIO CHILICO  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO  
**KM** : KM 18+500 CARRETERA (PE-S)

### 1.0 DATOS GENERALES

CAUDAL MAXIMO DE CUENCA  
 PERIODO DE RETORNO  
 PROFUNDIDAD MAXIMA  
 PENDIENTE LONGITUDINAL O LADOS  
 PENDIENTE TRANSVERSAL  
 COEF. RUGOSIDAD CONCRETO  
 ANCHO VARIABLE TRAPEZIO

$Q_c =$	124.15	$m^3/s$
$Tr =$	50.00	años
$y =$	0.30	m
$S =$	0.05	m/m
$S_o =$	0.03	m/m
$n_1 =$	0.013	
$b =$	20.00	m

METODO DE CALCULO  
 BADEN (02 - 05 años)  
 REGLAMENTO:  $y=0.3m$   
 RANGO: 8.0%  
 NORMA MTC 2.0 - 3.0%  
 TABLAS  
 CONSIDERADO



### 2.0 CALCULOS DE PARAMETROS GEOMETRICOS:

PENDIENTE LADO ESTRUCTURAL  
 AREA SECCION TRANSVERSAL ( $\Delta$ )  
 PERIMETRO MOJADO  
 RADIO HIDRAULICO  
 LONGITUD 1° LADO DEL BADEN  
 LONGITUD 2° LADO DEL BADEN

$z =$	20	
$A =$	7.80	$m^2$
$P =$	32.01	m
$R =$	0.24	m
$L_1 =$	6.000	m
$L_2 =$	6.000	m

$z = 1/S_0$   
 $A = y(b+y*z)$   
 $P = b+2y(1+z^2)^{1/2}$   
 $R = A/P$   
 $L = Z*y$

### 3.0 CALCULO DE CAUDAL MAXIMO: (EC. MANNING):

CAUDAL MAXIMO1 (CONCRETO)

$Q_{1_{max}} =$	40.539	$m^3/s$
-----------------	--------	---------

$Q = R^{2/3} * S_o^{1/2} * A/n_1$

### 4.0 COMPARACION DE RESULTADOS:

$Q_c > Q_{max}$  RECHAZADO: DIMENSIONAR BADEN TRAPEZOIDAL

$Q_c < Q_{max}$  SE ACEPTA EL BADEN ESTANDAR

CAUDAL MAXIMO DE LA CUENCA

$Q_c =$	124.15	$m^3/s$
---------	--------	---------

CAUDAL PARA BADEN (CONCRETO)

$Q_{1_{max}} =$	40.54	$m^3/s$
-----------------	-------	---------

RECHAZADO

Figura 25. Resultado del Cálculo del badén para iteración  $b=20m$

## DISEÑO HIDRAULICO DE BADEN TRAPEZOIDAL

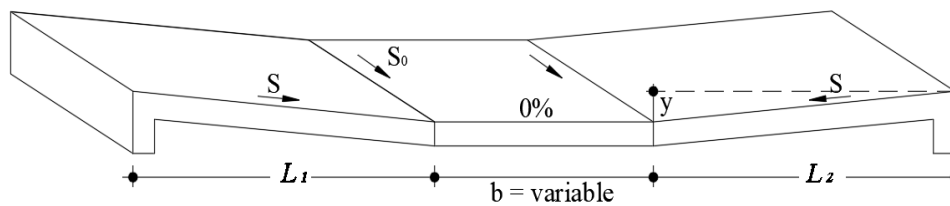
**PROYECTO** : ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN SOBRE EL RIO CHILICO  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO  
**KM** : KM 18+500 CARRETERA (P-E-S)

### 1.0 DATOS GENERALES

CAUDAL MAXIMO DE CUENCA  
 PERIODO DE RETORNO  
 PROFUNDIDAD MAXIMA  
 PENDIENTE LONGITUDINAL O LADOS  
 PENDIENTE TRANSVERSAL  
 COEF. RUGOSIDAD CONCRETO  
 ANCHO VARIABLE TRAPEZOIDO

$Q_c =$	124.15	$m^3/s$
$Tr =$	50.00	años
$y =$	0.30	m
$S =$	0.05	m/m
$S_o =$	0.03	m/m
$n_1 =$	0.013	
$b =$	30.00	m

METODO DE CALCULO  
 BADEN (02 - 05 años)  
 REGLAMENTO:  $y=0.3m$   
 RANGO: 8.0%  
 NORMA MTC 2.0 - 3.0%  
 TABLAS  
 CONSIDERADO



### 2.0 CALCULOS DE PARAMETROS GEOMETRICOS:

PENDIENTE LADO ESTRUCTURAL  
 AREA SECCION TRANSVERSAL ( $\Delta$ )  
 PERIMETRO MOJADO  
 RADIO HIDRAULICO  
 LONGITUD 1° LADO DEL BADEN  
 LONGITUD 2° LADO DEL BADEN

$z =$	20	
$A =$	10.80	$m^2$
$P =$	42.01	m
$R =$	0.26	m
$L_1 =$	6.000	m
$L_2 =$	6.000	m

$z = 1/S_0$   
 $A = y(b+y*z)$   
 $P = b+2y(1+z^2)^{1/2}$   
 $R = A/P$   
 $L = Z*y$

### 3.0 CALCULO DE CAUDAL MAXIMO: (EC. MANNING):

CAUDAL MAXIMO1 (CONCRETO)

$Q_{1_{max}} =$	58.173	$m^3/s$
-----------------	--------	---------

$Q = R^{2/3} * S_o^{1/2} * A/n_1$

### 4.0 COMPARACION DE RESULTADOS:

$Q_c > Q_{max}$  RECHAZADO: DIMENSIONAR BADEN TRAPEZOIDAL

$Q_c < Q_{max}$  SE ACEPTA EL BADEN ESTANDAR

CAUDAL MAXIMO DE LA CUENCA

$Q_c =$	124.15	$m^3/s$
---------	--------	---------

CAUDAL PARA BADEN (CONCRETO)

$Q_{1_{max}} =$	58.17	$m^3/s$
-----------------	-------	---------

RECHAZADO

Figura 26. Resultado del Cálculo del badén para iteración  $b=30m$

Teniendo los resultados en la tabla para diferentes longitudes de base desde 10m hasta 100 m se tiene la siguiente ecuación:

**Tabla 22**

*Resumen de paramétricos hidráulicos de base “b” de 10m hasta 100m*

<b>Base variable</b>	<b>Área Sección</b>	<b>Perímetro</b>	<b>Radio hidráulico</b>	<b>Caudal</b>
<b>b (m)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>P (m)</b>	<b>R (m)</b>	<b>Qmax (m<sup>3</sup>/s)</b>
10	4.8	22.01	0.22	23.17
20	7.8	32.01	0.24	40.54
30	10.8	42.01	0.26	58.17
40	13.8	52.01	0.27	75.92
50	16.8	62.01	0.27	93.71
60	19.8	72.01	0.27	111.54
70	22.8	82.01	0.28	129.39
80	25.8	92.01	0.28	147.26
90	28.8	102.01	0.28	165.13
100	31.8	112.01	0.28	183.01

De la tabla 22 adjunto se realiza la ecuación como las variables de b(y) y Q(x) cuya función es:

$$b = 0.562Q - 2.795$$

Reemplazando para un caudal de  $Q_{max}=124.15\text{m}^3/\text{s}$ , se tiene la base establecida del badén:

$$b = 0.562(124.15) - 2.795$$

$$b = 67.01\text{m}$$

$$b \approx 68\text{m}$$

Las dimensiones finales del badén óptimo sobre el río Chillico es la siguiente calibrada:

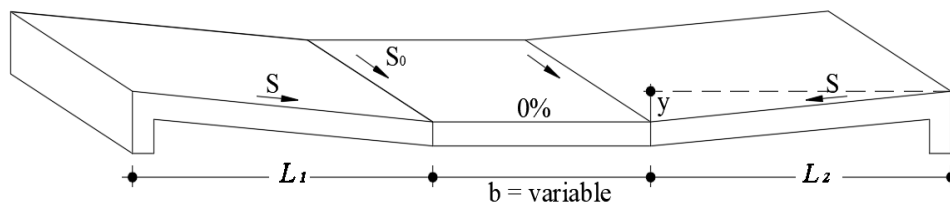


## DISEÑO HIDRAULICO DE BADEN TRAPEZOIDAL

**PROYECTO** : ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BADEN SOBRE EL RIO CHILICO  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE AYACUCHO – HUAMANGA – AYACUCHO  
**KM** : KM 18+500 CARRETERA (P-E-S)

### 1.0 DATOS GENERALES

CAUDAL MAXIMO DE CUENCA	$Q_c = 124.15$	$m^3/s$	METODO DE CALCULO
PERIODO DE RETORNO	$Tr = 50.00$	años	BADEN (02 - 05 años)
PROFUNDIDAD MAXIMA	$y = 0.30$	m	REGLAMENTO: $y=0.3m$
PENDIENTE LONGITUDONAL O LADOS	$S = 0.05$	m/m	RANGO: 8.0%
PENDIENTE TRANSVERSAL	$S_o = 0.03$	m/m	NORMA MTC 2.0 - 3.0%
COEF. RUGOSIDAD CONCRETO	$n_1 = 0.013$		TABLAS
ANCHO VARIABLE TRAPECIO	$b = 68.00$	m	CONSIDERADO



### 2.0 CALCULOS DE PARAMETROS GEOMETRICOS:

PENDIENTE LADO ESTRUCTURAL	$z = 20$		$z = 1/S_0$
AREA SECCION TRANSVERSAL ( $\Delta$ )	$A = 22.20$	$m^2$	$A = y(b+y*z)$
PERIMETRO MOJADO	$P = 80.01$	m	$P = b+2y(1+z^2)^{1/2}$
RADIO HIDRAULICO	$R = 0.28$	m	$R = A/P$
LONGITUD 1° LADO DEL BADEN	$L_1 = 6.000$	m	$L = Z*y$
LONGITUD 2° LADO DEL BADEN	$L_2 = 6.000$	m	

### 3.0 CALCULO DE CAUDAL MAXIMO: (EC. MANNING):

CAUDAL MAXIMO1 (CONCRETO)	$Q_{1_{max}} = 125.822$	$m^3/s$	$Q = R^{2/3} * S_o^{1/2} * A/n_1$
---------------------------	-------------------------	---------	-----------------------------------

### 4.0 COMPARACION DE RESULTADOS:

$Q_c > Q_{max}$  RECHAZADO: DIMENSIONAR BADEN TRAPEZOIDAL

$Q_c < Q_{max}$  SE ACEPTA EL BADEN ESTANDAR

CAUDAL MAXIMO DE LA CUENCA	$Q_c = 124.15$	$m^3/s$
CAUDAL PARA BADEN (CONCRETO)	$Q_{1_{max}} = 125.82$	$m^3/s$

**ACEPTADO**

### 5.0 CONCLUSIONES:

DISEÑO DE BADEN DE CONCRETO:

LONGITUD TOTAL	$L_T = 80.0$	m	$L_T = 2L+b$
TIRANTE MAXIMO	$h = 0.3$	m	
ANCHO LONGITUDINAL	$b = 68.0$	m	

Figura 27. Dimensionamiento adecuado del badén.

La longitud del badén es de 80.0 m.

## **4.2 Contrastación de hipótesis**

Las condiciones hidráulicas, hidrológicas y topográficas determinan las condiciones del diseño óptimo del badén sobre el río Chillico en la ruta Nacional PE-26B en el Km 181+500.

- ✓ El estudio previo hidrológico con los parámetros de las características de la cuenca y los registros de precipitaciones de la zona son las bases para la estimación del caudal máximo de diseño del río Chillico.
- ✓ Se considera factible el análisis hidráulico del río para la estimación de dimensionamiento del badén.
- ✓ Es adecuado el diseño de un badén trapezoidal en el río Chillico según el análisis hidrológico, hidráulico y de topografía plana del tramo.

## **4.3 Discusión de resultados**

- Las características morfométricas de la cuenca del río Chillico tiene un área hidrográfica de 117.24 km<sup>2</sup>, que recorre una longitud del cauce 23.70km, y tiene una avenida máxima de 124.15 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 50 años.
- La sección hidráulica del badén es de una longitud total de 80.0m, longitud de la base variable de 68.00m y un tirante máximo de agua de 0.30m con pendiente de lados de lados del badén de 5% y pendiente transversal de 3%, y considerando un borde libre de 0.50m máximo.
- Se ha optado por un planteamiento de badén en la zona de estudio por presentar una topografía plana.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

**Primera.** Con la determinación de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chillico, y los análisis estadísticos de registro de la precipitación en 24hr se han determinado las características hidrológicas que ha sido posible la estimación del caudal de diseño por los diferentes métodos y tiempos de retorno.

**Segunda.** Con los resultados del caudal de diseño de la microcuenca y con la aplicación de la topografía en campo y la granulométrica del suelo con el ensayo de la mecánica de suelos se han determinado las características hidráulicas del cauce del río.

**Tercera.** Teniendo las características hidrológica e hidráulica de la cuenca y aplicando la Ecuación de Manning se tiene la dimensión geométrica final del badén se sección trapezoidal de una longitud total de 80.0m,

altura máxima 0.30m pendiente longitudinal del 5%; y pendiente transversal de 3% y un borde libre de 0.50m.

**Cuarta.** Se ha determinado las condiciones hidrológicas e hidráulicas para el dimensionamiento del badén sobre el río Chillico en el Km 181+500 de la ruta Nacional PE-26B de acuerdo a las conclusiones primera, segunda y tercera que permita tener una longitud de 80 metros lineales.

## **5.2 Recomendaciones**

**Primera.** En el presente proyecto de investigación no incluye el cálculo estructural, se sugiere que, para la siguiente fase de la formulación del Proyecto de Tesis se pueda incluir los cálculos hidrológicos, hidráulico y estructural para tener un estudio completo del diseño del badén.

**Segunda.** Se recomienda tomar como referencia el presente proyecto de investigación para futuros estudios o proyectos de mejoramiento del servicio de transitabilidad de la ruta en Julcamarca - Ayacucho, o de mejoramiento con puentes de envergadura y otras estructuras hidráulicas que pueden proyectarse sobre el río Chillico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, V. (1985). *Hidrología Estadística*. Lima: UNALM.
- Alvarado, A. (2004). *Guía Hidráulica Para Diseño de Obras de Drenaje en Caminos Rurales*. Recuperado de [https://issuu.com/valeriavega95/docs/gui\\_\\_a\\_hidra\\_\\_ulica\\_\\_pliego](https://issuu.com/valeriavega95/docs/gui__a_hidra__ulica__pliego).
- Cahuana, A. (2009). *Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología*. Cochabamba: UMSS.
- García-Naranjo, M. (2012). *Estimación de caudales máximos en cuencas sin información*. Trabajo presentado en el XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Recuperado de <https://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/estimacin-de-caudales-mximos>
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGrawHill.
- Leiva, D. (2016). *Identificación de Modelos Estadísticos para la Regionalización de los Caudales Máximos de la Cuenca Magdalena-Cauca* (Trabajo de grado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Méndez, E. (2008). *Caracterización de caudales y precipitaciones medias diarias en la región del Bío-Bío*. (Tesis de pregrado). Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima.
- Rodríguez, W. (2009). *Influencia de parámetros geotécnicos, en el diseño de cimentaciones superficiales rígidas*. Trabajo presentado en el XVII

Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Recuperado de <https://slideplayer.es/slide/16737834/>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2015). *Diseño Hidráulico de Obras Complementarias en Caminos Rurales*. México.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2020). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

Terán, R. (1998). *Diseño y Construcción de Defensas Ribereñas*. Lima: Escuela Superior de Administración de Aguas “Charles Sutton”.

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. (2015). *Estudio de badenes*. Trabajo presentado en Caminos II. Lambayeque.

U.S. Water Resources Council. (1981). *Pautas para determinar la frecuencia del flujo de inundaciones*. Boletín No. 17B, 15-19, USA.

Vásquez, A. (2000). *Manejo de Cuencas Altoandinas*. Lima: Charles Sutton.

Villon, M. (2002). *Hidrología*. Costa Rica: Taller de Publicaciones del ITCR.