

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y DISEÑO DE DEFENSAS  
RIBEREÑAS DEL RIO AMOJÚ, LOCALIDAD EL PARRAL – JAÉN -  
CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

*Presentado por:*

**BACHILLER : JORGE LUIS SOTO CARRASCO**

**ASESOR : Ph.D. Ing. OSWALDO ORTÍZ VERA**

**JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ**

**2017**

**COPYRIGHT © 2017 by**  
**JORGE LUIS SOTO CARRASCO**  
**Todos los derechos reservados**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado unos padres maravillosos, que con trabajo, sacrificio y su apoyo incondicional me han brindado la oportunidad de realizarme profesionalmente.

A mi asesor, Ph.D. Ing. Oswaldo Ortiz Vera por sus sabios consejos, dedicación y paciencia brindada para el desarrollo de la investigación.

A todos los docentes de la Escuela Académico profesional de Ingeniería Civil, profesionales y amigos que contribuyeron de una u otra manera para la culminación del trabajo de investigación.

### **DEDICATORIA:**

La culminación de este trabajo de investigación está dedicado en especial para mis padres, que han sabido inculcar en mí valores de Responsabilidad, Honestidad y ganas de superación

A:

Mis hermanos Rober y Maritza por brindarme su apoyo moral y estar conmigo en los momentos de tristeza y alegrías.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Alcances o delimitaciones de la investigación.....	2
1.4. Limitaciones.....	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	3
II.MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	4
2.1.3. Antecedentes locales.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. Hidrología.....	5
2.2.2. Modelamiento Hidráulico.....	34
2.2.3. Hidráulica fluvial.....	35
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	57
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
3.1. Ubicación.....	59
3.2. Población.....	60
3.3. Muestra.....	60
3.4. Unidad de análisis.....	60
3.5. Materiales.....	60

3.6. Procedimiento .....	61
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	66
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
5.1. CONCLUSIONES .....	104
5.2. RECOMENDACIONES.....	105
VI.BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS A: .....	108
ANEXOS B: PLANOS.....	143

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Estrato, descripción y valor de las zonas de peligro.....	06
Tabla 02: Vulnerabilidad Física.....	08
Tabla 03: Vulnerabilidad Económica.....	08
Tabla 04: Vulnerabilidad Social.....	09
Tabla 05: Vulnerabilidad Educativa.....	10
Tabla 06: Vulnerabilidad Cultural e Ideológica.....	11
Tabla 07: Vulnerabilidad Política e Institucional.....	12
Tabla 08: Vulnerabilidad Científica y Tecnológica.....	12
Tabla 09: Estrato, Descripción y Valor de la Vulnerabilidad.....	13
Tabla 10: Matriz de peligro y vulnerabilidad.....	15
Tabla 11: Escala para cuencas.....	16
Tabla 12: Rangos Aproximados del Factor de forma.....	18
Tabla 13: Formas Geométricas de cuencas Hidrográficas en base a rasgos del índice de Graveliús.....	19
Tabla 14: Valores críticos para la prueba Kolmogorov-Smirnov.....	28
Tabla 15: Coeficientes de escorrentía método racional.....	33
Tabla 16: Tabla de WINTER.....	48
Tabla 17: Parámetros de forma de la cuenca del río Amojú.....	66
Tabla 18: Parámetros relativos de la cuenca del río Amojú.....	66
Tabla 19: Simulación de Intensidades máximas para tormentas de duración hasta 480 min de la Estación Jaén.....	67
Tabla 20: Intensidades máximas de la estación Jaén para 308 min de duración.....	72
Tabla 21: Caudales Para Diferentes Periodos Consecutivos de Años (N) e diferentes incertidumbres de Diseño (J).....	73
Tabla 22: Nivel de riesgo de inundación.....	73
Tabla 23: Estratificación del peligro de inundación.....	74
Tabla 24: Nivel de vulnerabilidad total.....	74
Tabla 25: Estimación de costos para edificaciones.....	74
Tabla 26: Cotas del eje hidráulico del río Amojú sector El Parral.....	76
Tabla 27: Intensidad del año 1980 ordenadas descendentemente.....	108

Tabla 28: Tormentas de Intensidades máximas estandar hasta 30 minutos.....	110
Tabla 29: Ajuste al modelo Gumbel para 5, 10, 30, minutos.....	112
Tabla 30: Ajuste al modelo Gumbel para 5, 10, 30, 60 y 120 minutos.....	113
Tabla 31: Ajuste al modelo Gumbel para 5, 10, 30, 60, 120, 240, 480 minutos.....	115
Tabla 32: Ajuste al modelo Log 3 Parámetro para 5, 10 y 30 minutos.....	117
Tabla 33: Ajuste al modelo Log 3 Parámetro para 5, 10, 30, 60, 120, 240 y 480 min.....	119
Tabla 34: Estimación de parámetros del modelo y ordenamiento descendente de intensidades máximas de tormentas de duración hasta 480 minutos.....	126
Tabla 35: Estimación de parámetros del modelo y ordenamiento descendente de intensidades máximas de tormentas de duración hasta 30 minutos.....	127
Tabla 36: Estimación de parámetros del modelo y ordenamiento descendente de intensidades máximas de tormentas de duración hasta 120 minutos.....	129
Tabla 37: Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov para las intensidades máximas de las tormentas de duración hasta 480 minutos.....	130
Tabla 38: Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov para la duración de 120 minutos.....	130
Tabla 39: Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov para la duración de 30 minutos.....	130
Tabla 40: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 2%.....	131
Tabla 41: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 2% y Test de hipótesis de R.....	132
Tabla 42: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 5%.....	132
Tabla 43: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 5% y Test de hipótesis de R.....	134
Tabla 44: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 10%.....	135
Tabla 45: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 10% y Test de hipótesis de R.....	136
Tabla 46: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 50%.....	137
Tabla 47: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 50% y Test de hipótesis de R.....	138
Tabla 48: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 90%.....	139

Tabla 49: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 90% y Test de hipótesis de R.....	140
Tabla 50: Tabla de t de student.....	142

## INDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1:Esquema de Modelos de formas de cuenca según rasgos del coeficiente de Graveliús.....	19
Figura 2:Ramificación de un cauce principal según el modelo de Strahler.....	22
Figura 3: Vista de presentación del software HEC-RAS Fuente: Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1 (Nanía, 2007).....	35
Figura 4: Mapa político del Perú y departamento de cajamarca.....	59
Figura 5: Mapa político de la provincia de Jaén.....	60
Figura 6: Registro de precipitación, del 20/01/1970 hasta el 23/01/1970.....	63
Figura 7: Caudales en diferentes periodos consecutivos de años ingresados en el el Hec - Ras.....	75
Figura 8: Vista en planta de las secciones transversales del rio Amojú en el sector El Parral .....	77
Figura 9: Vista 3D de las secciones transversales del rio Amojú, para la simulación de N=5 años y J=1% en el sector El Parral.....	79
Figura 10: Vista 3D de las secciones transversales del rio Amojú, para la simulación de N=10 años y J=1% en el sector El Parral.....	79
Figura 11: Vista 3D de las secciones transversales del rio Amojú, para la simulación de N=20 años y J=1% en el sector El Parral.....	80
Figura 12: Vista 3D de las secciones transversales del rio Amojú, para la simulación de N=50 años y J=1% en el sector El Parral.....	81
Figura 13: Vista 3D de las secciones transversales del rio Amojú, para la simulación de N=100 años y J=1% en el sector El Parral.....	82
Figura 14: Vista 3D de las secciones transversales del rio Amojú, para la simulación de N=200 años y J=1% en el sector El Parral.....	83
Figura 15: Sección transversal del rio Amojú en el sector El Parral progresiva 0 +20.....	84
Figura 16: Sección transversal del rio Amojú en el sector El Parral progresiva 0+40.....	84
Figura 17: Sección transversal del rio Amojú en el sector El Parral progresiva 0+60.....	84
Figura 18: Sección transversal del rio Amojú en el sector El Parral progresiva 0+60.....	85
Figura 19: Sección transversal del rio Amojú en el sector El Parral progresiva 0+100.....	85
Figura 20: Sección transversal del rio Amojú en el sector El Parral progresiva 0+120.....	85

Figura 21: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+140.....	86
Figura 22: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+160.....	86
Figura 23: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+180.....	86
Figura 24: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+200.....	87
Figura 25: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+220.....	87
Figura 26: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+240.....	87
Figura 27: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+260.....	88
Figura 28: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+280.....	88
Figura 29: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+300.....	88
Figura 30: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+320.....	89
Figura 31: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+340.....	89
Figura 32: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+360.....	89
Figura 33: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+380.....	90
Figura 34: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+400.....	90
Figura 35: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+420.....	90
Figura 36: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+440.....	91
Figura 37: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+460.....	91
Figura 38: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+480.....	91
Figura 39: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+500.....	92
Figura 40: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+520.....	92
Figura 41: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+540.....	92

## INDICE DE ANEXOS

### ANEXOS A

	Pág
Grafica 1: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 2%.....	132
Grafica 2: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 5%.....	133
Grafica 3: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 10%.....	135
Grafica 4: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 50%.....	137
Grafica 5: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 90%.....	139

### ANEXOS B: PLANOS

	Pág
Lamina 01:Plano delimitación de la cuenca.....	144
Lamina 02:Plano topografico y longitudinal del rio.....	145
Lamina 03:Plano área de inundación para un periodo consecutivo de N = 200 años, incertidumbre de diseño $j = 1\%$ .....	146

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo, desarrollar un modelamiento hidrológico e hidráulico del río Amojú para poder determinar las zonas de riesgo de inundación en la localidad el Parral, con fines de diseño de defensas ribereñas.

El trabajo consistió en la recopilación y procesamiento de información cartográfica, luego se realizó un estudio hidrológico de máximas descargas del río Amojú, con la topografía digitalizada del cauce y el apoyo del software Hec – Ras se realizó el modelamiento hidráulico.

Con el estudio hidrológico se logró calcular el caudal de diseño para diferentes probabilidades de acierto y periodos de retorno, el modelamiento hidráulico nos permitió determinar e identificar las principales zonas de inundación.

Entonces identificadas las zonas de inundación y el caudal de diseño se realizó el diseño de la defensa ribereña.

**PALABRAS CLAVE:** intensidades máximas, modelamiento hidrológico, análisis de tormenta, bandas pluviográficas, modelamiento hidráulico, defensa ribereña.

## **ABSTRACT**

This investigation has the objective of developing a hydrological and hydraulic modeling of the Amojú River in order to determine the flood risk zones in the locality of Parral, for the purpose of designing riparian defenses.

The investigation consisted in the collection and cartographic information processing, and then conducted a hydrological study of maximum discharges of the Amojú River, with the digitized topography of the riverbed and the support of the software Hec - Ras, the hydraulic modeling was carried out.

With the hydrological study, it was possible to calculate the design flow for different probabilities of success and return periods, the hydraulic modeling allowed us to identify the main areas of flooding.

Then the flood zones and the design flow were identified, the riverbank defense design was carried out.

**KEY WORDS:** maximum intensities, hydrologic modeling, analysis of storm, rainfall bands, hydraulic modeling, river d

## I. INTRODUCCIÓN

La pobreza por la que atraviesa nuestro país junto con el crecimiento urbano desordenado ha obligado de que gran parte de la población se ubique en las márgenes vulnerables de los ríos desafiando a los altos riesgos a los que están expuestos, pues como se ha dicho “El río puede vivir sin la ciudad, pero la ciudad no puede vivir sin el río” (Rocha F., 2011, pp.5). Este escenario de riesgos crea la necesidad de proyectar diseños de defensas ribereñas de protección, que sean eficientes, económicos y amigables con el medio ambiente.

Producto de las intensas precipitaciones que se suceden en la cuenca colectora de la quebrada Amojú producen ocasionalmente desbordes e inundaciones que provocan pérdidas humanas y materiales. Un estudio de máximas descargas y un modelamiento hidráulico, acompañado de un eficiente diseño de defensas rivereñas permitirá disminuir los riesgos de inundaciones y una mayor protección de la población ribereña vulnerable.

### 1.1. Planteamiento del problema

El desbordamiento de los ríos en el contexto mundial ha sido uno de los grandes problemas que ha tenido que afrontar el hombre, más aun con un continuo crecimiento desordenado de la población que ha obligado a ubicarse en lugares con un alto nivel de riesgo. Para poder afrontar este problema se hace necesario tener un mayor y mejor alcance de los parámetros que determinen las zonas de riesgo por inundación y valores referidos a caudales de diseño, por ello se requiere conocer a detalle los valores de dichos parámetros a la realidad de una determinada cuenca.

El Perú tiene un contexto de vulnerabilidad exagerada por encontrarse ubicado en la cuenca del pacífico, está sometido a diferentes tipos de fenómenos naturales, la cordillera de los Andes condiciona la presencia de peligro de inundaciones, deslizamientos, erupciones volcánicas.

La ciudad de Jaén entre sus principales problemas que afronta son las altas precipitaciones pluviales que se incrementan los caudales rápidamente, aumentando su carácter destructivo

a medida que las aguas bajan a niveles inferiores, el peligro potencial del agua se traduce en inundaciones que se originan principalmente por el desborde de las quebradas que atraviesan la ciudad, debido a la sobrecarga hídrica; así tenemos: la quebrada Jaén o río Amojú que cruza por el sector El Parral.

Toda esta problemática ha motivado a realizar estudios de los parámetros involucrados en la determinación de zonas de riesgo por inundación y plantear una propuesta de pre diseño de defensa ribereña.

## **1.2. Justificación de la investigación**

Un estudio hidrológico de máximas descargas lo suficientemente consistente fundado en niveles de alta probabilidad de confianza, unido a un modelamiento hidráulico adecuado que simule con la precisión adecuada los riesgos de inundaciones por efecto de los desbordamientos probables, permitirá predecir con la debida certeza las bases para un diseño seguro, económico y máxima protección ambiental. A todo ello, se puede agregar que el estudio minucioso del tipo de alternativas y naturaleza de las defensas ribereñas permitirá optimizar la solución del problema desde el punto de vista económico, social y ambiental.

## **1.3. Alcances o delimitaciones de la investigación**

La metodología utilizada en el presente proyecto de tesis aplicable a determinar las zonas de riesgos de inundaciones y diseño de defensas ribereñas, también es aplicable para el diseño de Estructuras Hidráulicas (Puentes, presas, bocatomas, etc.), drenaje urbano.

La investigación está dada para un registro pluviográfico de 28 años, desde el año 1964 hasta el año 1993.

La investigación está dada para la estación meteorológica Jaén, distrito y provincia Jaén, departamento Cajamarca.

## **1.4. Limitaciones**

Para el tamaño de la muestra pluviográfica no se cuenta con registros Pluviográficos continuos por lo que se elegido la de mayor intervalo.

Para la determinación del riesgo solo se utilizó el cálculo de la vulnerabilidad física.

El estudio de mecánica de suelos es un poco costoso, así que se trabajó a nivel de pre diseño de defensas ribereñas con modelos teóricos.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

- Determinar el riesgo de inundación por el rio Amojú en la localidad el Parral – Jaén.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar el estudio hidrológico del rio Amojú.
- Modelar hidráulicamente la zona de estudio.
- Determinar el área inundable.
- Proponer el diseño de la defensa ribereña.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

El Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya – Barcelona realizó un trabajo denominado **“Estudio Hidrológico – Hidráulico de la Cuenca del Guadiamar” (2006)**, indicando la caracterización de la cuenca desde el punto de vista hidrológico y estudiando el comportamiento hidráulico del río Guadiamar, estimando hidrogramas de avenidas a partir de información hidrológica limitada, estimándose caudales asociados a diferentes probabilidades de ocurrencia (periodo de retorno) en diversos puntos de interés de la cuenca. A partir de un modelo de simulación en régimen permanente unidimensional, así como la posibilidad de analizar cambios de régimen (rápido y lento) con el uso de software HEC – RAS y HEC – HMS, se ha analizado en primera aproximación la estabilidad del cauce, indicando los tramos del río que sufren desbordes y causan inundaciones.

Las inundaciones registradas en el río Neverí (Venezuela), se debió a las grandes precipitaciones pluviales dentro de la cuenca, trayendo como consecuencia un aumento anormal de los niveles hidráulicos y el posterior colapso de la defensa ribereña, provocando el desbordamiento del cauce. Una solución para que no vuelva a suceder esta situación es mejorar la defensa ribereña existente colocándolas a una distancia más alejada del cauce, siempre y cuando no afecte la planificación de la ciudad. (Galanton y Romero 2007).

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Choquehuanca (2012), realizo un estudio de evaluación de riesgo de inundación, basado en modelaciones, utilizando software Argis, Hec – Ras y fundamenta que el riesgo de inundación, está en función del peligro, exposición y vulnerabilidad. Se refiere a exposición solo en la pregunta de que si las personas o los bienes se encuentran físicamente en el camino de las aguas de inundación o no, lo cual concluye su estudio de riesgo de inundación del rio Vilcanota.

El Instituto Nacional de Defensa Civil viene elaborando manuales de Manejo de Desastres naturales en todo el país, los cuales nos hace identificar el peligro y realizar un análisis básico de sus condiciones así mismo también un análisis de vulnerabilidad (INDECI LIMA 2014).

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Existen referencia de los pobladores que viven en la zona de estudio lo cual informan que sucede inundaciones en las épocas de máximas avenidas ocasionando daños en el sector agrícola así como en las viviendas.

En la evaluación del nivel de riesgo de inundación por el río Amojú en la parte baja de la ciudad de Jaén, para un tiempo de retorno de  $T=200$  años alcanzó un caudal máximo de 288 m<sup>3</sup>/s, se modeló con el cauce natural utilizando el software Hec- Ras para una probabilidad de ocurrencia de 10 años alcanzando un nivel de hidráulico de 3,20 m de altura, generando un peligro muy alto de inundación ante una máxima avenida. (Mondragón 2013).

El Instituto nacional de defensa civil (INDECI), elaboró un programa de prevención y medidas de seguridad ante desastres naturales de la ciudad de Jaén, donde hace mención al sector el Parral, que se encuentra en una zona de peligro muy alto de vulnerabilidad ante el fenómeno de origen climático. En el año 2014 se suscitó una crecida de su cauce de la quebrada Amojú, que trajo consigo cuantiosas pérdidas materiales, puso en peligro las vidas de los pobladores aledaños a su cauce. (INDECI Jaén 2014).

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Hidrología**

#### **a. Estimación del Riesgo, Peligró y Vulnerabilidad**

La noción de riesgo en una zona urbana, se genera entonces por la acción de un evento Probable sobre un sistema más o menos deteriorado, a la interface entre el fenómeno amenazante dañino y la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

La pareja conformada por el peligro y la vulnerabilidad que equivalen al estado de un Sistema (la ciudad o sociedad urbana), en una situación particular (expuesta a una Amenaza), da al riesgo un aspecto multidimensional (sistema complejo).

Los factores de vulnerabilidad pertenecen a campos diversos (naturales, materiales, sociales, funcionales, en materia de decisiones, etc.) e influyen no solamente considerándolos Individualmente, sino también en interacción los unos con los otros, conformando así un Sistema. (CENEPRED, 2013).

• **Aspectos Teóricos – Conceptuales:**

**Peligro**

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente. (CENEPRED, 2013)

**Definición del Peligro de inundación**

Es la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río, lago u otro. En cierta medida, las inundaciones pueden ser eventos controlables por el hombre. (CENEPRED, 2013)

Identificación y caracterización de la inundación

Pendiente del terreno.

- Descripción del fenómeno.
- Magnitud (tamaño), intensidad, geometría, forma y propiedades físicas relevantes.
- Análisis de las crecidas o avenidas máximas.
- Tiempo de recurrencia de las avenidas.
- Intensidad de precipitaciones en la zona, reportes, etc.

**Tabla 01: Estrato, descripción y valor de las zonas de peligro**

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS	VALOR
	Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.	1
PB (Peligro Bajo)	Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc. Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	< de 25%

PM (Peligro Medio)	Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	2 De 26% a 50%
PA (Peligro Alto)	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro tecnológico	3 De 51% a 75%°
PMA (Peligro Muy Alto)	Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo (“lloclla”). Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colápsales en grandes proporciones. Menor de 150 m. desde el lugar del peligro tecnológico	4 De 76% a 100%

Fuente: CENEPRED 2013.

## **Análisis de Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad, es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales. Se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100. (CENEPRED, 2013).

### **Tipos de vulnerabilidad**

- **Vulnerabilidad Física:**

Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego), para asimilar los efectos del peligro. (CENEPRED, 2013).

**Tabla 02: Vulnerabilidad Física**

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Material de construcción utilizada en viviendas	Estructura sismo resistente con adecuada técnica constructiva( de concreto o acero)	Estructura de concreto. acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario
Localización de viviendas (*)	Muy alejada > 5 Km	Medianamente cerca 1 – 5 Km	Cercana 0.2 – 1 Km	Muy cercana 0.2 – 0 Km
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)
Leyes existentes	Con leyes estrictamente cumplidas	Con leyes medianamente cumplidas	Con leyes sin cumplimiento	Sin ley

(\*) Es necesario especificar la distancia, de acuerdo a la ubicación del tipo de vulnerabilidad

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013.

### • Vulnerabilidad Económica

Constituye el acceso que tiene la población de un determinado centro poblado a los activos económicos (tierra, Infraestructura, servicios y empleo asalariado, entre otros), que se refleja en la capacidad para hacer frente a un Desastre.

Está determinada, fundamentalmente, por el nivel de ingreso o la capacidad para satisfacer las necesidades básicas por parte de la población, la misma que puede observarse en un determinado centro poblado, con la información estadística disponible en los Mapas de Pobreza que han elaborado las Instituciones Públicas. (CENEPRED, 2013).

**Tabla 03: Vulnerabilidad Económica**

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %

Actividad Económica	Alta productividad y Recursos bien distribuidos. Productos para el comercio exterior o fuera de la localidad	Medianamente productiva y distribución regular de los recursos. Productos para el comercio interior, a nivel local.	Escasamente productiva y distribución deficiente de los recursos. Productos para el autoconsumo.	Sin productividad y nula distribución de recursos.
Acceso al mercado laboral	Oferta laboral > Demanda	Oferta laboral = Demanda	Oferta laboral < Demanda	No hay Oferta Laboral.
Nivel de ingresos	Alto nivel de ingresos	Suficientes nivel de ingresos	Nivel de ingresos que cubre necesidades básicas	Ingresos inferiores para cubrir necesidades básicas.
Situación de pobreza o Desarrollo Humano	Población sin pobreza	Población con menor porcentaje pobreza	Población con pobreza mediana	Población con pobreza total o extrema

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

### • Vulnerabilidad Social

Se analiza a partir del nivel de organización y participación que tiene una colectividad, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia. (CENEPRED, 2013).

**Tabla 04: Vulnerabilidad Social**

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Nivel de Organización	Población totalmente organizada.	Población organizada	Población escasamente organizada	Población no organizada.
Participación de la población en los trabajos comunales	Participación total	Participación de la mayoría.	Mínima Participación	Nula participación
Grado de relación entre las instituciones y organizaciones locales.	Fuerte relación	medianamente relacionados	Débil relación	No existe
Tipo de integración entre las organizaciones e Institucionales locales.	Integración total.	Integración parcial	Baja integración	No existe integración

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

- **Vulnerabilidad Educativa**

Se refiere a una adecuada implementación de las estructuras curriculares, en los diferentes niveles de la educación formal, con la inclusión de temas relacionados a la prevención y atención de desastres, orientado a preparar (para las emergencias) y educar (crear una cultura de prevención) a los estudiantes con un efecto multiplicador en la sociedad. (CENEPRED, 2013).

**Tabla 05: Vulnerabilidad Educativa**

VARIABLES	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB < 25 %	VM 26 a 50 %	VA 51 a 75 %	VMA 76 a 100 %
Programas educativos formales (Prevención y Atención de Desastres - PAD).	Desarrollo permanente de temas relacionados con prevención de desastres	Desarrollo con regular permanencia sobre temas de prevención de desastres	Insuficiente desarrollo de temas sobre prevención de desastres	No están incluidos los temas de PAD en el desarrollo de programas educativos.
Programas de Capacitación (educación no formal) de la población en PAD.	La totalidad de la población está capacitada y preparada ante un desastre	La mayoría de la población se encuentra capacitada y preparada.	La población está escasamente capacitada y preparada.	no está capacitada ni preparada la totalidad de la población
Campañas de difusión (TV, radio y prensa) sobre PAD.	Difusión masiva y frecuente	Difusión masiva y poco frecuente	Escasa difusión	No hay difusión
Alcance de los programas educativos sobre grupos estratégicos	Cobertura total	Cobertura mayoritaria	Cobertura insuficiente menos de la mitad de la población objetivo	Cobertura desfocalizada

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

- **Vulnerabilidad Cultural e Ideológica**

Está referida a la percepción que tiene el individuo o grupo humano sobre sí mismo, como sociedad o colectividad, el cual determina sus reacciones ante la ocurrencia de un peligro de

origen natural o tecnológico y estará influenciado según su nivel de conocimiento, creencia, costumbre, actitud, temor, mitos, etc.

El desarrollo histórico de nuestros pueblos ha determinado la presencia de un conjunto de valores que les son propios y que marcan la pauta de las relaciones mutuas, entre la solidaridad y el individualismo, así mismo el avance tecnológico, a través de la televisión y la informática, viene influyendo en la conducta y comportamiento de las personas. (CENEPRED, 2013).

**Tabla 06: Vulnerabilidad Cultural e Ideológica**

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB < 25 %	VM 26 a 50 %	VA 51 a 75 %	VMA 76 a 100 %
Conocimiento sobre la ocurrencia de desastres	Conocimiento total de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres	La mayoría de la población tiene conocimientos sobre las causas y consecuencias de los desastres	Escaso conocimiento de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres	Desconocimiento total de la población sobre las causas y consecuencias de los desastres
Percepción de la población sobre los desastres	La totalidad de la población tiene una percepción real sobre la ocurrencia de desastres	La mayoría de la población tiene una percepción real de la ocurrencia de los desastres.	La minoría de la población tiene una percepción realista y más místico y religioso.	Percepción totalmente irreal – místico – religioso
Actitud frente a la ocurrencia de desastres	Actitud altamente previsoras	Actitud parcialmente previsoras	Actitud escasamente previsoras	Actitud fatalista, conformista y con desidia.
	VB (Vulnerabilidad Baja)		VM (Vulnerabilidad Media)	
	VA (Vulnerabilidad Alta)		VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)	

Fuente: CENEPRED 2013

#### • Vulnerabilidad Política e Institucional

Define el grado de autonomía y el nivel de decisión política que puede tener las instituciones públicas existentes en un centro poblado o una comunidad, para una mejor gestión de los desastres. La misma que está ligada con el fortalecimiento y la capacidad institucional para cumplir en forma eficiente con sus funciones, entre los cuales está el de prevención y atención de desastres o defensa civil, a través de los Comités de Defensa Civil (CDC), en los niveles Regional, Provincial y Distrital. (CENEPRED, 2013).

**Tabla 07: Vulnerabilidad Política e Institucional**

Variable	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Autonomía local	Total autonomía	Autonomía parcial	Escasa autonomía	No existe autonomía
Liderazgo político	Aceptación y respaldo total	Aceptación y respaldo parcial.	Aceptación y respaldo Minoritario.	No hay aceptación ni respaldo
Participación ciudadana	Participación total	Participación mayoritaria	Participación minoritaria	No hay participación
Coordinación de acciones entre autoridades locales y funcionamiento del CDC	Permanente coordinación y activación del CDC	Coordinaciones esporádicas	Escasa coordinación	No hay coordinación inexistencia CDC

VB (Vulnerabilidad Baja)

VM (Vulnerabilidad Media)

VA (Vulnerabilidad Alta)

VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Fuente: CENEPRED 2013

• **Vulnerabilidad Científica y Tecnológica**

Es el nivel de conocimiento científico y tecnológico que la población debe tener sobre los peligros de origen natural y tecnológico, especialmente los existentes en el centro poblado de residencia. (CENEPRED, 2013).

Así mismo, sobre el acceso a la información y el uso de técnicas para ofrecer mayor seguridad a la población frente a los riesgos.

La comunidad debe estar informada, por ejemplo, sobre la necesidad de que en las construcciones deben considerarse las normas sismo resistentes; de ejecutar obras de defensas ribereñas, descolmatación del río o sistemas de alerta, vigilancia, monitoreo y difusión, para evitar el colapso de las viviendas e inundaciones, minimizando o reduciendo el riesgo.

**Tabla 08: Vulnerabilidad Científica y Tecnológica**

VARIABLE	Nivel de vulnerabilidad			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Existencia de trabajos de investigación sobre Desastres naturales en la localidad	La totalidad de los peligros naturales fueron estudiados	La mayoría de los peligros naturales fueron estudiados	Existen pocos estudios de los peligros naturales	No existen estudios de ningún tipo de los peligros.

Existencia de Instrumentos para medición (sensores) de fenómenos completos.	Población totalmente instrumentada	Población parcialmente instrumentada	Población con escasos instrumentos	Población sin instrumentos
Conocimiento sobre la existencia de estudios	Conocimiento total de los estudios existentes	Conocimiento parcial de los estudios	Mínimo conocimiento de los estudios existentes	No tienen conocimiento de los estudios
La Población cumple las conclusiones y recomendaciones	La totalidad de la población cumplen las conclusiones y recomendaciones	La mayoría de la población cumple las conclusiones y recomendaciones	Se cumple en mínima proporción las conclusiones y recomendaciones	No cumplen las conclusiones y recomendaciones
	VB (Vulnerabilidad Baja)		VM (Vulnerabilidad Media)	
	VA (Vulnerabilidad Alta)		VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)	

Fuente: CENEPRED 2013

- **Estratificación de la Vulnerabilidad:**

La vulnerabilidad puede estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en la tabla siguiente:

**Tabla 09: Estrato, Descripción y Valor de la Vulnerabilidad**

Estrato/nivel	Descripción /características	Valor
VB (Vulnerabilidad Baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, participación total - y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	1 < de 25%
VM (Vulnerabilidad Media)	Viviendas asentadas en suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material noble, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	2 De 26% a 50%

VA (Vulnerabilidad Alta)	Viviendas asentadas en zonas donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización en marcha. Población con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia; así como con una escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.	3 De 51% a 75%
VMA (Vulnera Muy Alta)	Viviendas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos y accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como una nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	4 De 76% a 100%

Fuente: CENEPRED 2013

• **Cálculo del riesgo**

Una vez identificada y descrita cada una de las vulnerabilidades de la zona, se procederá a determinar su valor total, tomando como referencia la estratificación porcentual y de acuerdo a los pasos siguientes:

En primer lugar se determinará el valor por cada tipo de vulnerabilidad, el mismo que dependerá del número se establecerá una separación entre la vulnerabilidad física (VF) y el resto de las vulnerabilidades (VR), con la finalidad de determinar la vulnerabilidad total la VT será:

$$VT = VF \dots\dots\dots [1]$$

Una vez identificado los peligros (P) a la que está expuesta el sector y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico.

El cálculo del riesgo corresponde a un análisis y una combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad del peligro identificado, es decir la fuerza e

intensidad de ocurrencia; así como el análisis de vulnerabilidad o la capacidad de resistencia de los elementos expuestos al peligro (población, viviendas, infraestructura, etc.), dentro de una determinada área geográfica.

Existen diversos criterios o métodos para el cálculo del riesgo, pero el método más usado y recomendado es el **método descriptivo**.

El criterio descriptivo, se basa en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad” (Tabla 10). Para tal efecto, se requiere que previamente se hayan determinado los niveles de probabilidad (porcentaje) de ocurrencia del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

Con ambos porcentajes, se interrelaciona, por un lado (vertical), el valor y nivel estimado del peligro; y por otro (horizontal) el nivel de vulnerabilidad promedio determinado.

En la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado.

**Tabla 10: Matriz de peligro y vulnerabilidad**

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

Descripción:

Riesgo Bajo (< de 25%)

Riesgo Medio (26% al 50%)

Riesgo Alto (51% al 75%)

Riesgo Muy Alto (76% al 100%)

Fuente: CENEPRED 2013

## **b. Parámetros Geomorfológicos**

El estudio de la cuenca impone la necesidad de usar cartas y mapas las mismas que se encuentran a varias escalas, pero como criterio de utilización de acuerdo a las áreas se puede tener en cuenta la siguiente tabla:

**Tabla 11. Escala para Cuencas**

<b>Área de la Cuenca en Km<sup>2</sup></b>	<b>ESCALA RECOMENDABLE</b>
$A < 1000$	1/25,000
$100 < A < 1000$	1/50,000
$1000 < A < 10000$	1/200,000
$A > 10000$	1/500,000

Fuente: Hidrología de Superficie

Autor: Ing. Oswaldo Ortiz Vera.

Las características fisiográficas de la cuenca pueden ser explicadas a partir de ciertos parámetros o constantes que se obtienen del procesamiento de la información cartográfica y conocimiento de la topografía de la zona de estudio. (Hidrored, evaluación hidrológica, 2004).

- **Área de la Cuenca (A)**

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografías aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisoras de agua) o sobre un mapa topográfico en función a las curvas de nivel representadas. Probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía – características morfológicas. (Ibáñez S, 2005, pp. 6).

- **Longitud de Máximo Recorrido**

Es la longitud de la línea, medida sobre el cauce principal, entre el punto de efluencia y un punto sobre la divisora de aguas que sea de máxima distancia. (Hidrología de Superficie – Oswaldo Ortiz Vera 1994).

- **Longitud del Cauce**

La longitud del cauce es un parámetro asociado con la geometría y tiempo de concentración; en consecuencia expresa de alguna manera el grado de intensidad de la escorrentía directa de la cuenca. Se mide con el curvímeter y se expresa en km, siendo la distancia en que hay entre

el punto emisor y el extremo final del tramo de igual orden que el de la cuenca. (Hidrología de Superficie – Oswaldo Ortiz Vera 1994).

- **Perímetro de la Cuenca**

Es la longitud de la curva cerrada correspondiente al divortium aquarum, se expresa generalmente en km y se determina mediante el curvómetro. (Hidrología de Superficie – Oswaldo Ortiz Vera 1994).

- **Razón de Circularidad**

La razón de circularidad fue introducida por Miller en 1935 y relaciona el área ( $A$ ) de la cuenca en cuestión con el área de un círculo de igual perímetro ( $P$ ), viniendo esta variable representada por  $R_c$ , de tal forma que:

$$R_c = \frac{4\pi * A}{P^2} \quad \dots\dots\dots [2]$$

(Formas de una Cuenca de Drenaje. Análisis de las Formas Morfométricas que nos las definen – Monserrat Jardí 1985).

- **Índice o factor de forma de la cuenca**

Es uno de los parámetros que explica la elongación de una cuenca. Se expresa como la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma. El parámetro está Definido por la siguiente expresión:

Se expresa mediante:

$$F_f = \frac{A}{L^2} \quad \dots\dots\dots [3]$$

$F_f$  = Factor de forma.

$A$  = Área de la cuenca en  $Km^2$

$L$  = Longitud de la cuenca en  $km$

Por otra parte, en la siguiente tabla se muestra la forma que puede adoptar una cuenca según rangos aproximados del Factor de Forma (ver Tabla 12).

**Tabla 12. Rangos aproximados del Factor de Forma**

<b>Factor de forma (valores aproximados)</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Pérez, 1979

- **Índice de compacidad (Coeficiente de Gravelius)**

Establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca correspondiente. Este índice representa la forma de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987).

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots [4]$$

- $K_c$  = *Coeficiente de compacidad*
- $P$  = *Perímetro de la cuenca*      *Km*
- $A$  = *Superficie de la cuenca*      *Km2*

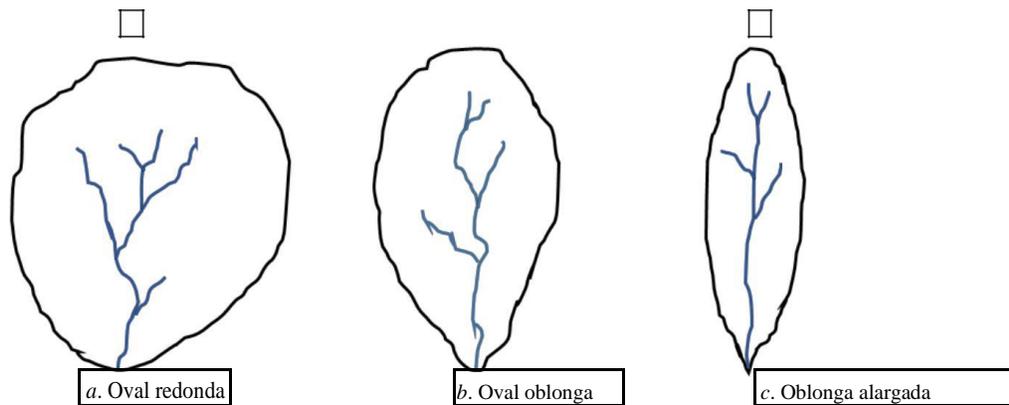
**Tabla 13: Formas geométricas de cuencas hidrográficas en base a rangos del índice de Gravelius.**

Clase de geometría	Rango de clase	Forma de cuenca
$K_c$	$1 < K_c \leq 1.25$	<i>Oval redonda</i>
$K_c$	$1.25 < K_c \leq 1.50$	<i>Oval oblonga</i>
$K_c$	$1.50 < K_c \leq 1.75$	<i>Oblonga alargada</i>

Fuente: Henaos, (1988).

El esquema de la Fig.1 muestra, aproximadamente, los modelos geométricos de cuencas utilizando el criterio de rangos del índice de Gravelius de la Tabla.03, (Henaos, 1988).

**Figura 01: Esquema de modelos de formas de cuenca según rangos del coeficiente de Gravelius.**



• **Altura Media (H)**

La altura media, H, es la elevación promedio referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca. (Ibáñez S, 2005, pp. 9).

$$H = \frac{V}{A} \dots\dots\dots [5]$$

- V = *Volumen comprendido entre la curva y los ejes m3*
- A = *Superficie de la cuenca en m2*

- **Rectángulo Equivalente**

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (1).

Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución altitudinal de la cuenca original. (Ibáñez S, 2005, pp. 7).

$$L = \frac{C_g \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{C_g} \right)^2} \right] \dots\dots\dots [6]$$

$$l = \frac{C_g \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{C_g} \right)^2} \right] \dots\dots\dots [7]$$

*L = Altura del rectángulo en Km*

*l = Base del rectángulo en Km*

*C<sub>g</sub> = Coeficiente de Gravelius*

*A = Superficie de la Cuenca Km<sup>2</sup>*

- **Coeficiente de Masividad**

Este parámetro resulta de la relación entre la altitud media de la cuenca, que se calcula por medio de la curva hipsométrica, y el área de la misma (Martonne, 1940). Su resultado es alto para cuencas de cumbres altas y bajo en cuencas donde predominan terrenos planos que presentan áreas similares.

Su relación es la siguiente:

$$C_m = \frac{H_{med}}{A} \dots\dots\dots [8]$$

*C<sub>m</sub> = Coeficiente de masividad*

*H<sub>med</sub> = Altitud media de la cuenca m. s. n. m.*

*A = Área proyectada de la cuenca km<sup>2</sup>*

- **Pendiente del Cauce**

Es un parámetro muy importante en el estudio de toda cuenca, tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad de suelo, y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. Es uno de los factores, que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje, y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas, Existe diversos criterios para evaluar la pendiente de una cuenca, pero tomamos el criterio del rectángulo equivalente. (Villón 2012).

$$S = \frac{H}{L} \quad \dots\dots\dots [9]$$

$S$  = *Pendiente del cauce*

$H$  = *Desnivel total*

$L$  = *Lado mayor del rectángulo equivalente*

- **Densidad de Drenaje**

Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene:

$$D_d = \frac{L}{A} \quad \dots\dots\dots [10]$$

$L$  =  $\sum$  *longitud de las corrientes de la cuenca en Km*

$A$  = *Superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup>*

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimiento indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. (Ibáñez S, 2005, pp. 12).

- **Centro de Gravedad**

Definiremos al centro de gravedad de una cuenca como el punto central de la misma atendiendo exclusivamente a la forma del perímetro ( $P$ ). Su localización no es inmediata, si no que viene dada por el valor medio de las coordenadas  $X_i, Y_i$  de la superficie de la cuenca. La posición del centro de gravedad, si es equidistante de la línea del perímetro, nos señalara cierta simetría de la cuenca respecto a un punto central, lo que nos indicara la redondez de la misma.

(Formas de una Cuenca de Drenaje. Análisis de las Formas Morfométricas que nos las definen – Monserrat Jardí 1985).

- **Número de Orden de la Cuenca**

Existen diversos criterios desarrollados para establecer el orden de los cauces para cuantificar la magnitud de la red de drenaje en la escorrentía superficial directa. El criterio empleado en este trabajo se basa en el modelo de Strahler que consiste en asignarle un número a cada uno de los cauces tributarios en forma creciente, desde el inicio de la línea divisora de aguas hasta llegar al cauce principal de manera que el número final señale el orden de la red de drenaje en la cuenca (ver Figura 2).

Las cuencas altamente disectadas tienen un orden de cauce alto y los suelos son relativamente impermeables; entonces, la respuesta a una tormenta es rápida (Aparicio, 1996).

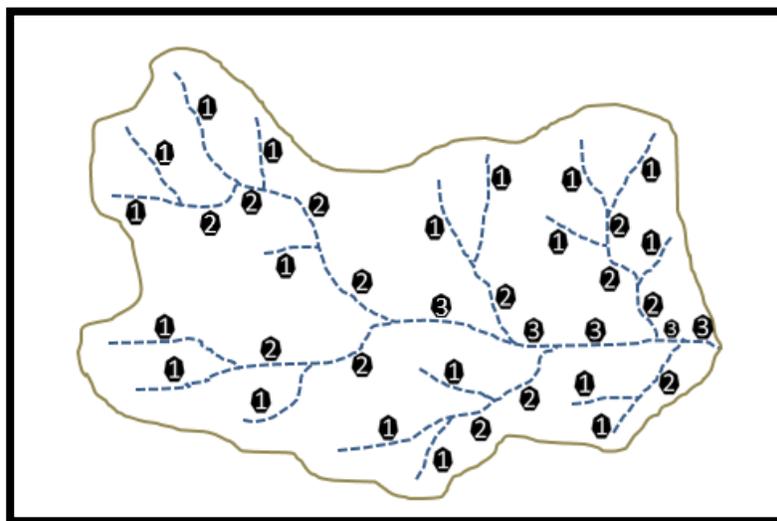


Figura 02: Ramificación de un Cauce Principal Según el Modelo de Strahler.

- **Curva Hipsométrica**

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en  $km^2$  o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Normalmente se puede decir que los extremos de la curva tienen variaciones abruptas. (Ibáñez S, 2005, pp. 8).

- **Periodo de Retorno (T)**

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Según Stappung (1999), el valor del periodo de retorno en el diseño de un sistema de evacuación de aguas de lluvia depende del grado de seguridad con se pretende proteger las estructuras proyectadas.

(Máximo Villón Béjar) Promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud X pueda ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio.

El tiempo de retorno se determinó a partir de la ecuación. (Ven Te Chow, 1993).

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - j)^{\frac{1}{N}}} \dots\dots\dots [11]$$

$T_r$  = *Periodo de retorno*

$j$  = *Incertidumbre o probabilidad de falla en la predicción*

$N$  = *Periodo de años durante el que se pretende proteger la estructura*

- **Estadísticos muestrales**

Un parámetro estadístico es el valor esperado de alguna variable aleatoria, es decir, son estimadores de las muestras para caracterizarlas.

- **Medidas de tendencia hacia un valor central de la serie**

Promedio aritmético o media aritmética ( $\mu$ ): es el primer momento alrededor del origen.

Aunque da información sobre la muestra, este parámetro no caracteriza completamente a una variable aleatoria. Si la muestra es pequeña y contiene valores extremos (altos o bajos) el promedio no será un parámetro real en relación con la población. Se calcula mediante la expresión:

$$\bar{X} = \mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad [12]$$

- **Medidas de Dispersión**

Desviación Estándar ( $\sigma$ ): Es el parámetro de dispersión más usado en hidrología, se llama también desviación cuadrática. Es la raíz cuadrada de la varianza y tiene las unidades de X.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad [13]$$

Coefficiente de variación: es el cociente entre la desviación standard y el promedio,  $\bar{X}$  Es adimensional.

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad [14]$$

El coeficiente de asimetría ( $g$ ): Describe la distribución de los datos alrededor de media. Es una medida de la simetría. Una distribución simétrica tiene un coeficiente de asimetría igual a cero cuando los datos se distribuyen alrededor de la media; negativo cuando la distribución de los datos tiene mayor sesgo a la izquierda y positivo cuando tiene mayor sesgo a la

derecha, según como se desvíe hacia valores bajos o altos con relación a la media, se calcula con la expresión:

$$g = \frac{N * \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N - 1) * (N - 2) * \sigma^3} \quad [15]$$

- **Análisis de Frecuencia**

(Fattorelli y Fernández 2011) Para realizar un diseño hidrológico se debe conocer la probabilidad de ocurrencia de eventos de determinadas magnitudes, para los cuales se debe diseñar una estructura.

Para mejor seguridad, la estructura debería controlar el evento extremo mayor que pueda ocurrir. Desde el punto de vista económico, por otro lado, el costo de la misma, debe justificar los períodos de retorno que se esperan de su construcción o alcanzar un nivel de seguridad aceptable en función del daño que su falla pueda ocasionar. Por lo tanto, el diseño hidrológico es un compromiso entre seguridad y economía y en ese contexto se incluye el concepto de riesgo calculado o riesgo de falla. En diseño hidrológico la probabilidad de ocurrencia de un evento se estima a través de métodos estadísticos mediante el análisis de frecuencia, es decir, el objetivo principal del análisis de frecuencia de una serie hidrológica es determinar el periodo de retorno de un evento de determinada magnitud.

- **Frecuencia absoluta y frecuencia relativa**

Si de una muestra de N valores  $X_i$  de una variable discreta, existen  $n_j$  casos de un determinado evento,  $X_j$ . Estos  $n_j$  números son la frecuencia absoluta de los eventos  $X_j$ . Las frecuencias relativas se definen como:

$$f = \frac{n_j}{N} \quad [16]$$

En las frecuencias absolutas  $\sum n_j = N$

En las frecuencias relativas  $\sum_{i=1}^N f_i = 1$

La suma de los valores de las frecuencias relativas es la frecuencia acumulada así:

$$F = \sum_{i=1}^j f_i \quad [17]$$

#### a. Modelos de Distribución de Probabilidades

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos (ICG 2011).

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones. (MTC 2008).

- **Distribución Log Pearson Tipo III**

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad [18]$$

Valido para:

$$x_0 \leq x < \infty.$$

$$-\infty < x_0 < \infty.$$

$$0 < \beta < \infty.$$

$$0 < \gamma < \infty.$$

Donde  $x_0$  parámetro de posición,  $\gamma$  parámetro de tiempo,  $\beta$  parámetro de escala.

- **Distribución Gumbel**

La distribución de valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad [19]$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad [20]$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad [21]$$

Donde  $\alpha$  parámetros de concentración,  $\beta$  parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente manera:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad [22]$$

Donde  $x$  valor con una probabilidad dada,  $\bar{x}$  media de la serie,  $k$  factor de frecuencia.

- **Pruebas de Bondad de Ajuste**

(Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje) Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida.

En la teoría estadística, entre las pruebas de bondad de ajuste tenemos Kolmogorov – Smirnov, la cual se describen a continuación:

- **Prueba Kolmogorov-Smirnov**

(Máximo 2005) La prueba de ajuste de Smirnov- Kolmogorv, consiste en comparar las diferencias existentes, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo es decir:

$$\Delta_0 = \text{MAX.}|F(x < X) - P(x < X)| \quad [23]$$

Donde:

$\Delta$ =estadístico de Smirnov-Kolmogorv, cuyo valor es igual a la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x < X)$  = probabilidad de la distribución teórica.

$P(x < X)$  = probabilidad experimental o empírica de los datos denominada también frecuencia acumulada.

Procedimiento para efectuar el ajuste:

-Calcular la probabilidad empírica mediante la fórmula de Weibull.

-Calcular las diferencias entre

$$P(x < X) - F(x < X) \quad [24]$$

- Seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta_0 = \text{MAX. } |F(x < X) - P(x < X)| \quad [25]$$

-Calcular el valor crítico del estadístico  $\Delta_0$ , para un  $\alpha = 0.05$  y N igual al número de datos los valores de estadístico  $\Delta_0$  se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14: Valores críticos para la prueba Kolmogorov - Smirnov**

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.001$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
28	0.22497	0.24993	0.35842
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

**Fuente: Aparicio, 1999**

Ventajas y limitaciones:

-No requiere un conocimiento a priori de la función de distribución de distribución teórica

- Es aplicable a distribuciones de datos no agrupados, es decir, no se requiere hacer intervalos de clase.

- **Prueba de T de coeficiente de correlación lineal**

Tras realizar el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson (R) debemos determinar si dicho coeficiente es estadísticamente diferente de cero. Para dicho cálculo se aplica un test basado en la distribución de la t de student.

$$\text{error estandar de R} = \sqrt{\frac{1 - R^2}{N - 2}} \quad [26]$$

Si el valor del R o' ( $t_c$ ) calculado supera al valor del error estándar multiplicado por la t de Student con n-2 grados de libertad, diremos que el coeficiente de correlación es significativo. El nivel de significación viene dado por la decisión que adoptemos al buscar el valor en la tabla de la t de Student.

Donde:

$$0 \leq R < 1$$

R: coeficiente de correlación lineal.

Test de hipótesis de R.

$$HP: R = 0 \rightarrow t_c > t_t$$

$$HA: R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$$

HA: Las variables están bien correlacionadas.

HP: Las variables no están correlacionadas.

- **Análisis de Tormentas**

Uno de los primeros pasos en muchos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia a usar.

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor

de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

Las tormentas de diseño pueden basarse en información histórica de precipitación de una zona o pueden construirse utilizando las características generales de la precipitación en regiones adyacentes.

- **Curvas Intensidad –Duración - Frecuencia**

Fattorelli y Fernández (2011), define a las curvas IDF, es una representación gráfica, o en tablas, de la relación entre la intensidad o la lámina de la lluvia que precipita en un determinado tiempo y su frecuencia estadística de ocurrencia.

Según Témez (1978), las curvas IDF son aquellas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todas ellas a una misma frecuencia o periodo de retorno.

- **Intensidad**

Según Fattorelli y Fernández (2011), se entiende por intensidad a la tasa de la precipitación caída en un intervalo de tiempo (L/D) expresada generalmente en milímetros por hora (mm/hora). Es un valor importante en el diseño hidrológico, por ejemplo una lluvia de intensidad de 60 mm/día tiene efectos y consecuencias muy diferentes a una de 60 mm/hora. La lluvia en función de su intensidad, puede ser identificada como: suave (valores hasta 3 mm/h), moderada (mayor de 3 y hasta 10 mm/h) y fuerte (mayor de 10 mm/h).

Según Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje (2008), La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad instantánea, que puede expresarse como:

$$I = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad [27]$$

Dónde:

I: es intensidad (mm/h)

$\Delta p$ : es lámina precipitada como constante en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ .

- **Frecuencia**

Es una medida de la probabilidad que tiene un evento de ocurrir, definiéndose como el número de veces en un tiempo relativamente largo en que ocurre un evento. (Ramírez, 2003).

$$P_{(X \geq xd)} = \frac{m}{n + 1} \dots\dots\dots [28]$$

$m$  = número de orden.

$n$  = número de registro.

- **Tiempo de Concentración**

Llamado también tiempo de equilibrio o tiempo de viaje, es el tiempo que toma la partícula hidráulicamente más lejana en viajar hasta el punto de efluencia. Se supone que ocurre una lluvia uniforme sobre toda la cuenca durante un tiempo de, por lo menos, igual al tiempo de concentración. (Hidrología de Superficie – Oswaldo Ortiz Vera 1994).

Existen diversas expresiones empíricas para estimar el tiempo de concentración de una cuenca, por razones de limitación ( $S > 0.05$ ) se seleccionó aquí la fórmula propuesta por Kirpich, dada por la ecuación [9] (Aparicio, F.J., 1997).

$$t_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385} \dots\dots\dots [29]$$

$t_c$  = Tiempo de concentración en horas

$L$  = Longitud de máximo recorrido cauce principal en m

$S$  = Pendiente promedio de la longitud de máximo recorrido

- **Hietograma**

A partir de una curva masa de precipitación es posible dibujar diagramas de barras que representen las variaciones de la altura de precipitación o de su intensidad en intervalos de tiempo previamente seleccionados.

- **Precipitación total y efectiva**

El exceso de precipitación o precipitación efectiva (Pe), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial hortoniano. Las gráficas de exceso de precipitación vs. El tiempo o hietograma de exceso de precipitación es un componente clave para el estudio de las relaciones lluvia - escorrentía. La diferencia entre el hietograma de lluvia total y el hietograma de exceso de precipitación se conoce como abstracciones o pérdidas. Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por filtración con algo de interceptación y almacenamiento superficial. (MTC 2008).

- **Estimación de Caudales**

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q. cuando ocurre la lluvia, la cuenca se humedece de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y luego de un tiempo, el flujo se convierte en flujo superficial. (MTC 2008).

- **Método Racional**

El método supone que si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegara un momento en que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del agua, siempre y cuando esta sea impermeable. El tiempo en el que se alcanza la equivalencia es el denominado tiempo de concentración  $t_c$  . (Bolinaga, j., Juan, 1979).

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, A<10 Km<sup>2</sup>. Considerar que la duración de P es igual a tc. La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión. (Bolinaga, j., Juan, 1979).

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{CxIx A}{360} \quad [30]$$

Donde

$Q_{m\acute{a}x}$  = Carga máxima de diseño.

$C$  = Coeficiente de escorrentía.

$I$  = Intensidad de precipitación máxima horaria.

$A$  = Área de la cuenca.

**Tabla 15: Coeficientes de Escorrentía Método Racional**

COBERTUR A VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNC IADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	SUAVE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	Semipermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Permeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Cultivos	Impermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Semipermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Permeable	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
	Semipermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Permeable	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Semipermeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
	Permeable	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Semipermeable	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
	Permeable	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05

**Fuente. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC).**

Cuando el área de drenaje (Cuenca) está constituida por diferentes tipos de cubierta y superficies, el coeficiente de escurrimiento puede obtenerse en función de las características de cada porción del área como un promedio ponderado. (Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje ,2008).

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad [31]$$

Donde

$C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  = Coeficiente de escurrimiento correspondiente a cada área.

$A_1, A_2, A_3 \dots A_n$  = Área parcial que tiene cierto tipo de superficie.

- **Avenida de Diseño**

La Avenida de Diseño es el caudal que se escoge, mediante diversas consideraciones, para dimensionar un proyecto (o una parte de él). Para su determinación se usa la información básica proporcionada por el estudio hidrológico (Estimación de Caudales) y se incorporan los conceptos correspondientes a riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra y muchos otros más, como por ejemplo el tipo de río.

En nuestro país, existe escasez de datos, por lo que juegan un papel muy importante la experiencia y el buen tino del ingeniero proyectista para escoger la Avenida de Diseño.

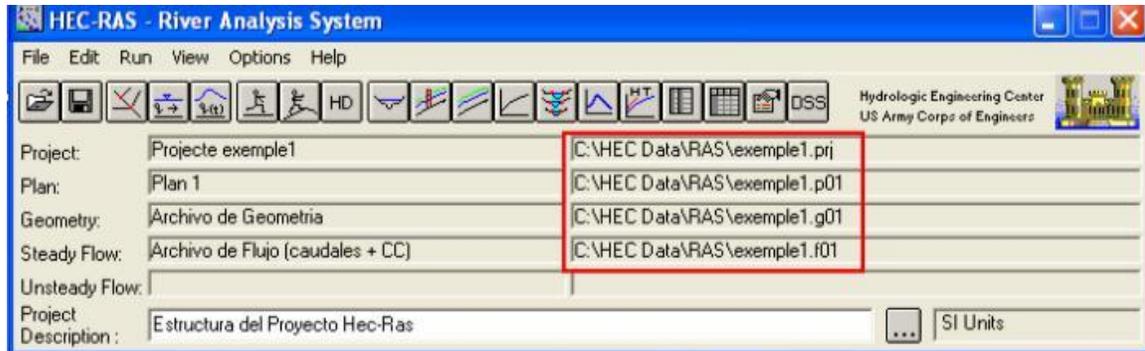
Dentro de los criterios para la selección de los valores posibles están los relativos al máximo nivel alcanzado por el agua, la capacidad del encauzamiento. (MTC 2008).

### **2.2.2. Modelamiento Hidráulico**

El programa Hec-Ras es un modelo hidráulico unidimensional creado por la USACE (United States Army Corps of Engineers), de libre distribución. Estos programas y aplicaciones son muy importantes para el trabajo ingeniería/fluvial actual, pero no se debe olvidar que únicamente son elementos complementarios (pre y post proceso) de los verdaderos motores de cálculo hidráulico (Hec-Ras) e hidrológico (Hec-Hms). Un conocimiento a fondo de estos últimos programas es indispensable para la resolución de problemas fluviales.

Un estudio hidráulico consta de dos elementos fundamentales, que son por un lado la geometría del cauce, y por otra, las condiciones de flujo, definidas por el caudal y las condiciones de contorno. La combinación de distintas geometrías y condiciones de flujo provoca diferentes resultados, que pueden ser analizados por separado o conjuntamente. Esta

es la filosofía de la estructura del proyecto Hec-Ras, donde un único proyecto puede contener multiplicidad de cálculos distintos. (Nanía, 2007).



**Figura 03. Vista de presentación del software HEC-RAS**

**Fuente: Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1 (Nanía, 2007)**

### **2.2.3. Hidráulica Fluvial**

Cuando se va a construir una defensa se debe considerar muchos factores, uno de los más importantes es el material a utilizar, el cual se debe seleccionar el tipo que mejor vaya con los resultados deseados y cumplan con las propiedades de resistividad, impermeabilidad y durabilidad a la intemperie. Además estos materiales se deben integrar al resto de los componentes para proporcionar estética a la construcción. Los Materiales de uso frecuente en este tipo de obras de Concreto: ciclópeo, simple o reforzado; Gaviones; Piedra suelta, piedra pegada; Tablestacas metálicas o de madera; Bolsacretos, sacos de suelo- cemento, sacos de arena; Elementos prefabricados de concreto: Bloques, etc. (Galanton y Romero 2007).

- **Gaviones**

“Una estructura de gaviones es una combinación de mallas de cable y rocas de relleno” (Neermal, 2012, pp. 37). De este tipo de estructuras existen diversas patentes; es decir, cada fabricante y proveedor puede manejar definiciones y criterios particulares para sus productos. Los gaviones son cajas en forma de paralelepípedo hecho con malla de alambre de acero de alta resistencia y galvanizado de cocada cuadrada eléctricamente soldadas en todos sus

cruces. Son elementos permeables, requiriendo de filtros para evitar pérdidas de sustratos y hundimientos (Campaña, 2003).

Según Neermal (2012) las características de las estructuras de gaviones:

- **Monolitismo:** Debido a la facilidad de unión de los elementos que forman la estructura, esta puede responder a la incidencia de fuerzas en tres dimensiones.
- **Flexibilidad:** La alta resistencia de la malla de cables permite que los elementos se deformen. Dentro de los límites aceptables de deformación, la flexibilidad le otorga a las estructuras de gaviones la capacidad de resistir condiciones en las que estructuras más rígidas colapsarían.
- **Permeabilidad:** Los vacíos presentes en el relleno de la estructura permiten el flujo de líquidos a través de esta. Debido a esto, la presión hidráulica de los fluidos no afecta su comportamiento.
- **Durabilidad:** Las capas de elementos anticorrosivos como Gal Fan o el recubrimiento de PVC permiten que la malla resista condiciones bastante severas de exposición ante agentes corrosivos. Además, la ruptura de una sección del cable no necesariamente implica el colapso del elemento gracias al efecto de la torsión del mallado.
- **Versatilidad:** Los gaviones pueden ser construidos bajo diversas condiciones ambientales, en temporadas secas o de lluvias y con temperaturas extremas. Además, pueden ser construidos por personal sin gran especialización y se puede utilizar como relleno sacos con arena, bloques de concreto, ladrillos y otros.
- **Integración con el medio ambiente:** La capacidad de permeabilidad y la naturaleza del relleno de piedras permite que las estructuras de gaviones se integren al medio ambiente, mediante la aparición de vegetación y partículas de suelo, con el paso del tiempo o mediante tratamientos especiales.

- **Muros de contención**

Son estructuras destinadas a garantizar la estabilidad de la plataforma o a defenderla de la acción erosiva de las aguas superficiales. Pueden ser construidos con piedra (muros secos) o concreto, sirven para contener los rellenos o para proteger la vía de eventuales derrumbes, en cuyo caso se construyen en la ribera del río. Los muros de contención se utilizan para detener

materiales sueltos o bloques de tierra cuando el contexto no permite que estas masas se apropien de sus pendientes de origen natural (MTC, 2013).

- **Clases y Elección del Tipo de Muro a Usar**

De acuerdo a su funcionamiento estructural, los muros pueden ser: de Gravedad, en Voladizo y Contrafuertes.

- **Muros de Gravedad**

Son muros que, se construyen de albañilería o de concreto simple o de concreto ciclópeo y deben su estabilidad fundamentalmente a su propio peso. Estos son generalmente de dimensiones poco esbeltos y suelen tener una gran masa. Su uso se recomienda cuando las alturas del material sostenido son pequeñas y medianas.

- **Muros en Voladizo**

Se construyen de C<sup>o</sup>A<sup>o</sup>, también de metal. Ante el empuje del material sostenido su pantalla funciona como voladizo vertical empotrado en la zapata. Son de dimensiones bastante esbeltas y deben usarse para alturas de relleno medianas.

- **Muros Con Contrafuertes**

Se construyen de C<sup>o</sup>A<sup>o</sup>, también de metal e incluso de madera. Su utilización se recomienda para alturas de relleno grandes. Su pantalla funciona horizontalmente como una losa continua apoyada en los contrafuertes.

De acuerdo a lo expuesto y por motivos económicos, consideraremos para el presente proyecto **MUROS DE GRAVEDAD**.

- **Cargas Que Soportan Los Muros de Contención**

- **Peso Propio**

Fuerza vertical que depende del tipo de material que estará constituido el muro de contención y la sección que esta presenta.

- **Peso Del Material Sostenido**

Es una fuerza vertical constituida por el peso de las tierras o material sostenido que se encuentra por encima de la zapata y de los parámetros inclinados o escalonados del muro. Se

determina también como el producto del volumen por el peso unitario del material sostenido y se encuentra aplicado en el centro de gravedad respectivo.

También se tiene en cuenta el llamado relleno pasivo ubicado sobre la punta del muro si es que va estar allí durante toda su vida, se considera también su peso  $T_p$  en el análisis y diseños respectivos; de lo contrario es preferible no considerarlo por constituir una fuerza que ayuda a la estabilidad del muro.

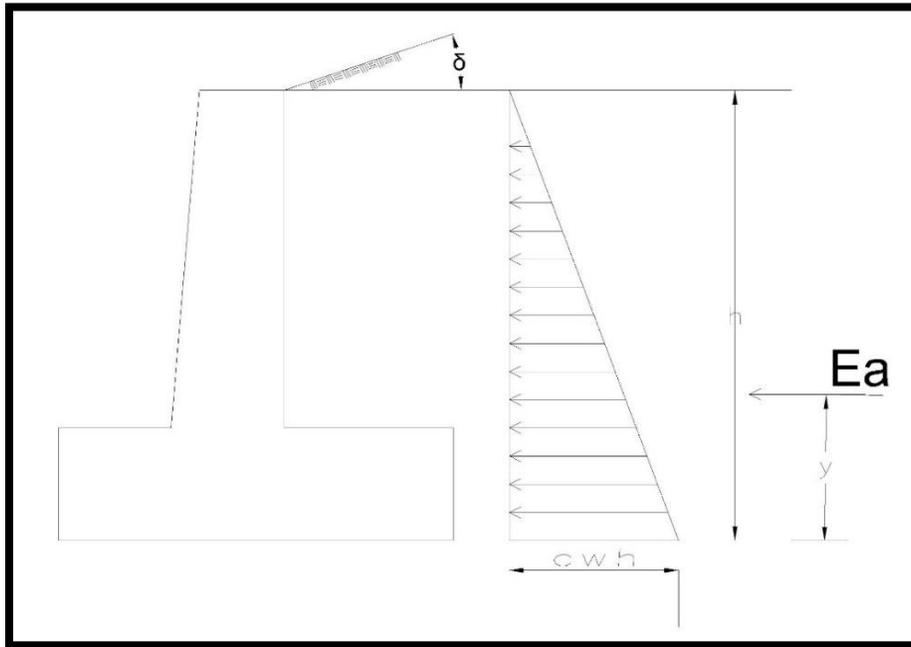
- **La Sobrecarga**

En muchos casos existe sobrecarga por encima del material sostenido por conceptos de personas, vehículos, equipos y materiales de construcción que por allí circulan. Los muros de contención soportan el peso de la sobrecarga aplicada por encima de la zapata y de los parámetros inclinados o escalonados. Este peso es una fuerza vertical que actúa en el centro de gravedad respectivo.

- **Empuje Activo**

El material sostenido por los muros ejerce un empuje sobre el parámetro interior respectivo.

i. Si el material sostenido es un suelo u otro material sólido similar el diagrama de presiones unitarias no es exactamente triangular sino parabólico y el empuje es ligeramente inclinado con respecto a la horizontal sin embargo para fines prácticos de diseño se puede considerar en forma aproximada un diagrama triangular con una resultante horizontal. En este caso las presiones unitarias se corrigen con un factor " $c$ " con respecto a los que ejerce un líquido.



En la figura:

$w$  : peso unitario del material sostenido en el estado en que se encuentre

$c$  : coeficiente que depende del ángulo de fricción interna  $\phi$  del material sostenido y del talud  $\delta$

Se tiene la fórmula de Rankine:

$$c = \frac{\cos \delta - \sqrt{\cos \delta^2 - \cos \phi^2}}{\cos \delta + \sqrt{\cos \delta^2 - \cos \phi^2}} \dots \dots 32$$

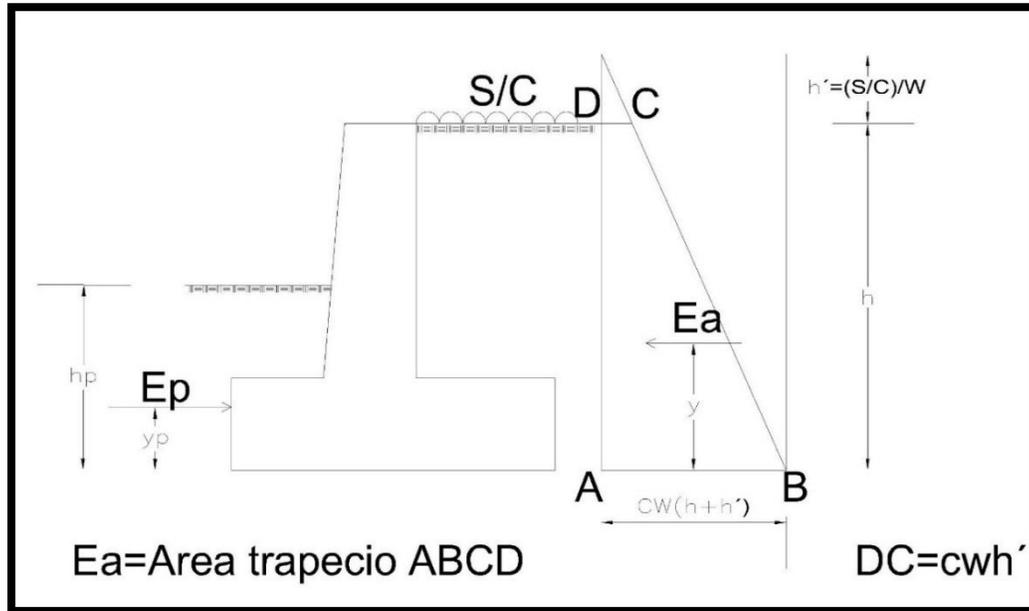
En muchos casos  $\delta = 0$  y  $\cos \delta = 1$  ; luego:

$$c = \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi}$$

De la figura:

$$E_a = \frac{cwh^2}{2} \quad y = \frac{h}{3}$$

- ii. Cuando existe sobrecarga por encima del material sostenido el empuje activo se incrementa. Este incremento se lo tiene en cuenta agregando una altura adicional  $h'$  al diagrama de presiones unitarias.



En este caso el empuje activo y su brazo está dado por:

$$E_a = \frac{cwh}{2} (h + 2h') \quad h' = \frac{S/C}{w} \quad y = \frac{h(h + 3h')}{3(h + 2h')}$$

- **Empuje Pasivo**

Se tiene en cuenta si es que estará allí durante toda la vida útil del muro.

- **Otras Cargas**

Además de las cargas antes mencionadas los muros de contención pueden soportar también otras cargas de carácter especial que pueden presentar en ciertos casos particulares según el tipo de estructura que forme parte.

En cuanto se refiere a la fuerza horizontal que producen los sismos, se suele considerar incrementando el empuje activo en un determinado porcentaje que depende del tipo de suelo y del riesgo sísmico del lugar. Algunos autores incrementan en 12 % el empuje activo por efectos de sismo.

- **Estado de Cargas**

Muchas estructuras entre ellas los muros de contención, soportan diferentes estados de carga durante su vida útil, es decir en determinados instantes soportan la acción de ciertas cargas y en otros instantes soportan otras cargas.

El análisis y diseño deben efectuarse siempre para la etapa más desfavorable para la estructura que es aquella que produce los mayores esfuerzos mecánicos en los elementos de la estructura. En nuestro caso analizaremos un solo estado; el más desfavorable, aquel que no hay descarga de agua por el río, sin tabique perimetral sobre el muro de contención y con una gran sobrecarga sobre el relleno ante la incertidumbre del tipo de edificaciones sobre el muro.

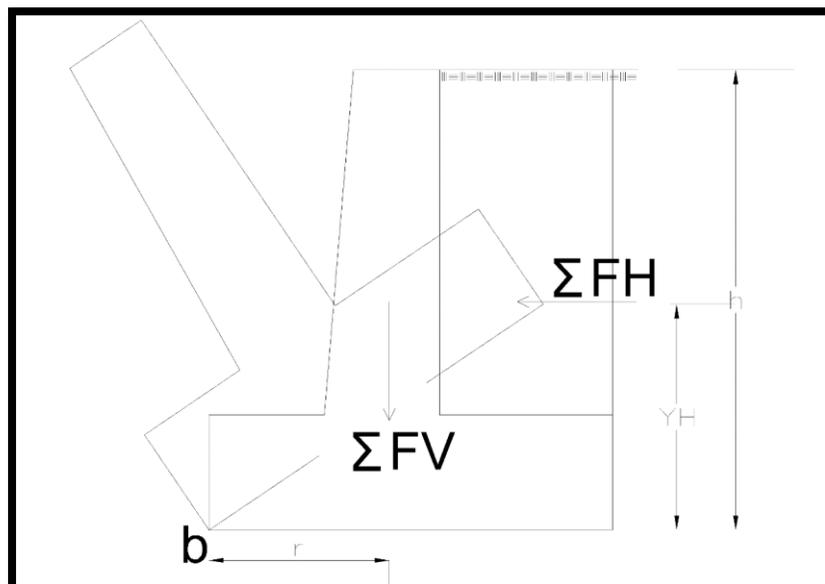
- **Estabilidad de los Muros de Contención**

Un muro de contención tiende a perder estabilidad, principalmente por tres efectos: por volteo, por presiones exageradas sobre el terreno de fundación y, por deslizamiento.

- **Volteo**

Muchas estructuras entre ellas los muros de contención, soportan diferentes estados de carga durante su vida útil, es decir en determinados instantes soportan la acción de ciertas cargas y en otros instantes soportan otras cargas.

Por acción de las fuerzas horizontales que soporta un muro de contención, tienden a voltearse sobre la arista interior de la punta de la zapata.



$\Sigma F_H$ : Resultante de fuerzas horizontales que soporta el muro; en muchos casos:

$$F_H = E_a * y ; Y_H = Y$$

$\Sigma F_V$ : Resultante de fuerzas verticales.

*b*: Punto de Volteo.

Las fuerzas que tratan de voltear al muro son las horizontales por acción de su momento estático con respecto al punto de volteo "*b*", este momento se llama:

$$\text{Momento de Volteo} = \sum F_v(r) = M_e$$

El muro se voltea cuando:  $M_V > M_e$

El llamado coeficiente de seguridad de volteo se expresa mediante

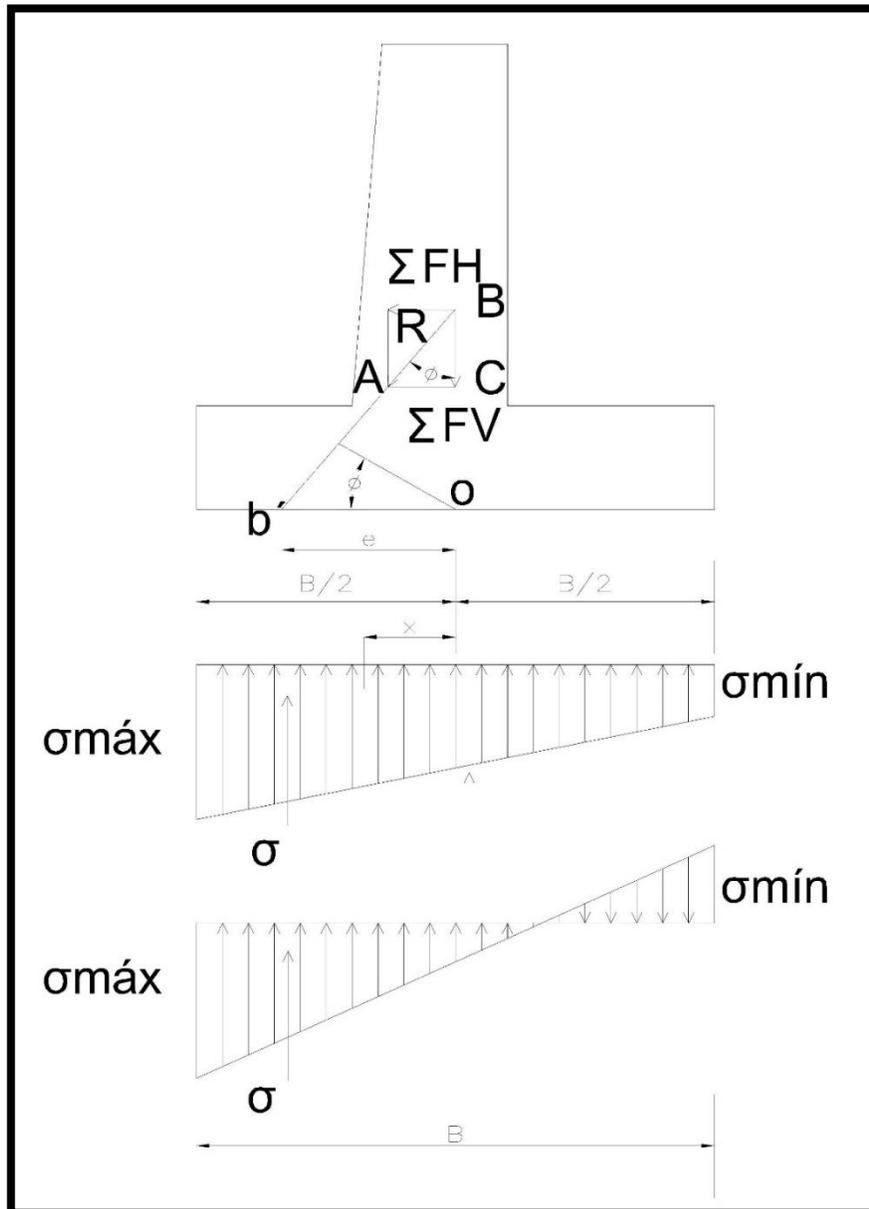
$$CSV = M_e/M_V$$

Cuando el  $CSV < 1$  ; se produce volteo. Suele considerarse satisfactorio; que  $CSV \geq 1.5$  ó  $2$ ; según el grado de precisión con que se calculen las cargas que soporta el muro en estudio, especialmente el empuje activo que depende de  $w$  y  $\emptyset$  que deben determinarse en laboratorio y que sin embargo en algunos caso se los estima a base a tablas o haciendo uso de métodos indirectos lo que conduce a imprecisiones en el cálculo del empuje activo.

- **Presiones Sobre el Terreno de Fundación**

Por acción de todas las cargas que soporta, un muro de contención ejerce presión sobre el terreno que se sustenta, la forma que tiene el diagrama de presiones unitarias respectivo, depende de la magnitud y de la ubicación de la resultante total "*R*" de todas las fuerzas verticales y horizontales que soporta el muro.

Si llamamos " $o$ " al centro de gravedad de la base del muro (CG de la superficie de contacto del muro con el terreno de fundación), y llamemos " $e$ " a la excentricidad del punto  $b'$  en cual la resultante  $R$  corta a la base del muro, con respecto al CG " $o$ "; del diagrama de presiones unitarias puede tener las configuraciones siguientes:



Para calcular el valor de la presión unitaria  $\sigma$ ; que el muro ejerce sobre el suelo en un punto cualquiera ubicada a una distancia "x" del C. G. de la base; hacemos uso de la "fórmula de la escudaría".

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{MX}{I}$$

Donde:  $F = \sum F_V$

Si consideramos que el análisis se hace para 1.00 metro de longitud de muro; el área de la base será:

$$\text{Área} = 100 B \text{ (cm}^2\text{)} \qquad I = 100B^3/12 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$\sigma = \frac{0.01 \sum F_V}{B} \pm \frac{0.12MX}{B^3} \dots \dots \dots (1)$$

El momento  $M$  se debe a la excentricidad "e" y está dada por:

$$M = Rx\overline{OA}; \text{ Pero } \overline{OA} = e \cos\phi; \quad \cos\phi = \frac{\sum F_V}{R}; \text{ Luego } \overline{OA} = e\left(\frac{\sum F_V}{R}\right)$$

Entonces:

$$M = \frac{Rxe \sum F_V}{R} = \sum F_V (e)$$

Remplazando en (1)

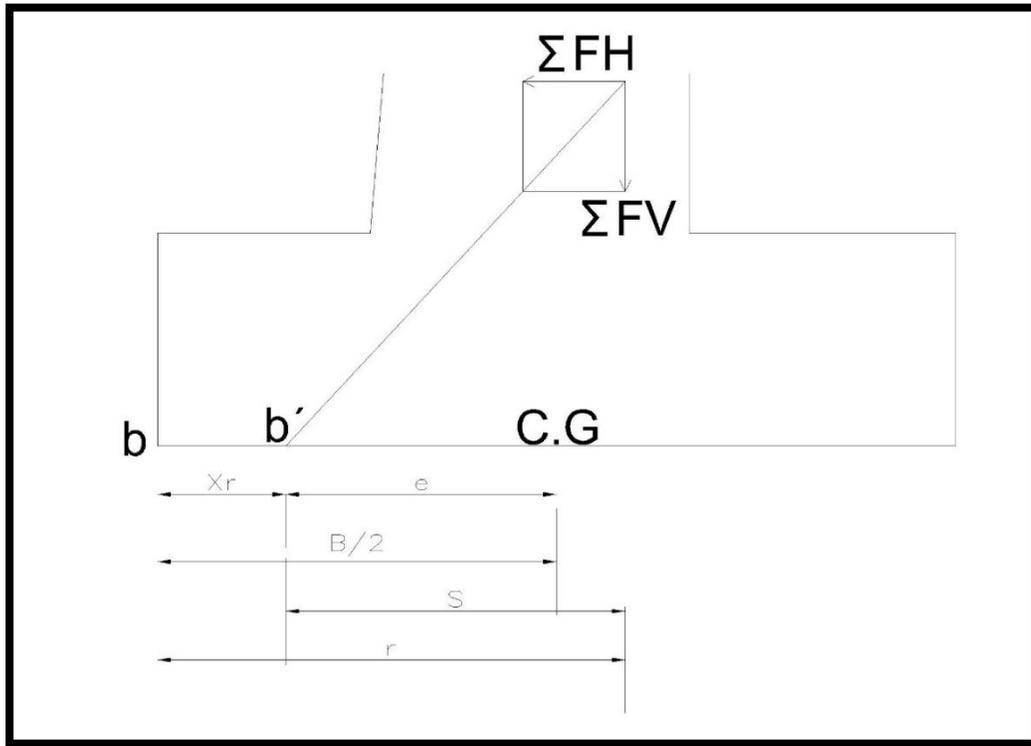
$$\sigma = \frac{0.01 \sum F_V x F_C}{B} \pm \frac{0.12 \sum F_V x e x F_C}{B^3} \quad F_C = \text{factor de carga promedio.}$$

Para calcular  $\sigma_{m\acute{a}x}$  y  $\sigma_{m\acute{i}n}$  : hacemos  $X = \frac{B}{2}$  en la ecuación anterior.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{0.01 \sum F_V x F_C}{B} + \frac{0.06 \sum F_V x (e) x F_C}{B^2}$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = \frac{0.01 \sum F_V x F_C}{B} - \frac{0.06 \sum F_V x (e) x F_C}{B^2}$$

Para calcular la excentricidad:



$$e = \frac{B}{2} - X_r \quad X_r = r - s \quad e = \frac{B}{2} - (r - s) \dots \dots (2)$$

$$\sum M_b: \quad R(0) = \sum F_H(Y_H) - \sum F_V(S) \quad \text{de donde:} \quad S = \frac{\sum F_H(Y_H)}{\sum F_V}$$

Reemplazando en (2), tenemos:

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{M_e - M_V}{\sum F_V} \right)$$

Al diseñar un muro de contención. Con la finalidad de que no se produzca hundimientos; se debe cuidar que:

$$\sigma_{\text{máx}} \leq \sigma_t \quad (\text{No habrá hundimiento})$$

$\sigma_t$  = Capacidad portante admisible del terreno de fundación.

Además, para evitar agrietamiento en la zapata sobre todo cuando esta no tiene armadura se recomienda:

$$\sigma_{min} \geq 0$$

Para que esta última condición se cumpla, la excentricidad "e" no debe superar un límite máximo que se calcula haciendo:

$$\sigma_{min} = 0$$

$$\frac{0.01 \sum F_V x F_C}{B} - \frac{0.06 \sum F_V x (e_{m\acute{a}x}) x F_C}{B^2} = 0$$

De donde:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = B/6$$

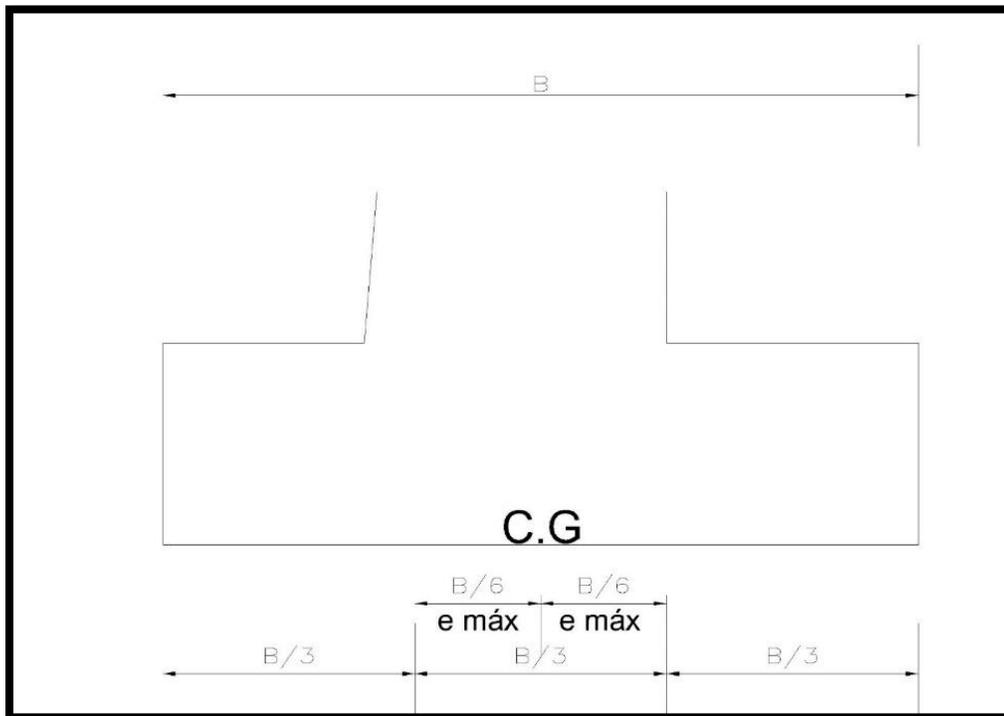
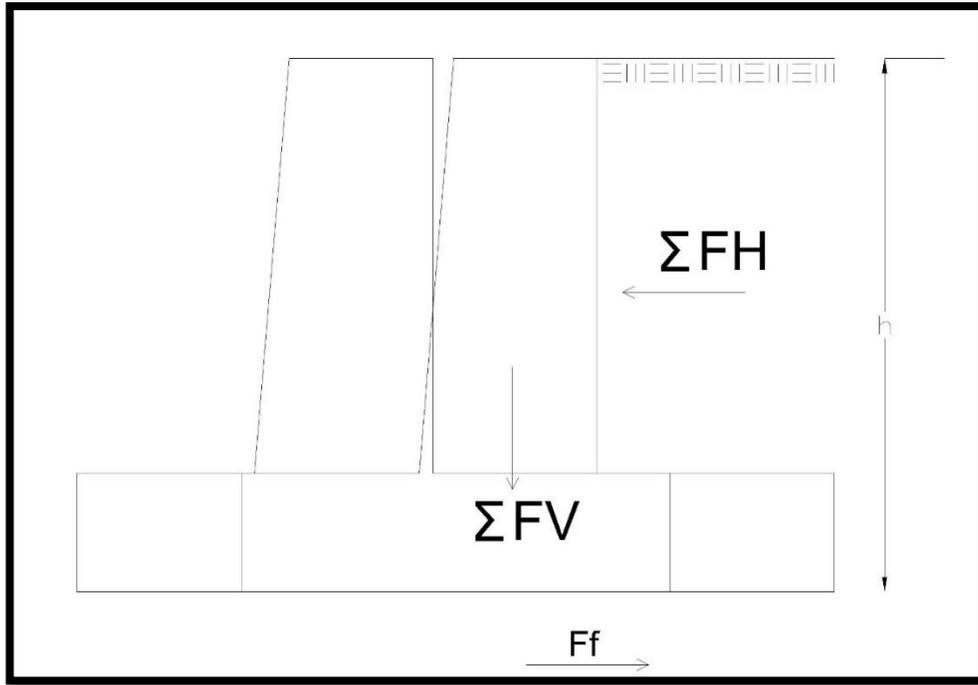


Figura nos indica que para que  $\sigma_{min}$  no sea negativa la línea de acción de la resultante total ( $R$ ) debe cortar a la base del muro en su tercio central.

- **Deslizamientos**

Por acción de las fuerzas horizontales que soporta un muro, tiende a deslizarse sobre el terreno de fundación.



La fuerza desestabilizadora es la  $\Sigma F_H$ . La fuerza desestabilizadora que se opone al deslizamiento es la fricción entre la base del muro y el terreno la fuerza de fricción se evalúa como el producto de la fuerza normal al plano de fricción por el coeficiente de fricción respectivo.

$$F_f = \sum F_V x f$$

El coeficiente de fricción "f" entre la base del muro y el suelo depende del tipo de suelo y la clase de material del que se construye el muro.

Si  $\Sigma F_H > F_f$  El muro se desliza.

Si  $\Sigma F_H < F_f$  El muro no se desliza.

El coeficiente de seguridad al desplazamiento se define así:

$$e_{pas} = \frac{1 + \text{sen}\phi}{1 - \text{sen}\phi}$$

$$E_{pas} = \frac{e_{pas} \times W \times h_{pas}^2}{2}$$

$$C.S.D. = \frac{(\sum f_v x f) + E_{pas}}{E_a}$$

Cuando se diseña un muro de contención debe cuidarse que no se deslice; se suele considerar satisfactorio:

$$CSD \geq 1.50 \quad \text{Suelos Granulares}$$

$$CSD \geq 2.00 \quad \text{Suelos Cohesivos}$$

Cuando *CSD* es deficiente a pesar de que el muro en el proceso de diseño arroja resultados satisfactorios frente a los otros efectos, circunstancias que suele ocurrir con frecuencia, es recomendable utilizar la llamada cuña de deslizamiento.

Para realizar la estabilidad de un muro, se requiere conocer algunas características del terreno de fundación y del material sostenido tales como: Peso Unitario ( $\omega$ ), Ángulo de Fricción Interna ( $\phi$ ) y el Coeficiente de Fricción ( $f$ ).

Estas características deben determinarse en laboratorio para cada caso particular siempre que sea posible, a fin de lograr una buena precisión y confiabilidad en los cálculos, sin embargo, esto no siempre es posible, lo cual obliga a recurrir a tablas para obtener valores de  $\omega$ ,  $\phi$  y  $f$ , según el tipo de suelo, WINTER propone la siguiente tabla:

**Tabla 16: Tabla de WINTER**

<b>TIPO DE SUELO</b>	<b><math>\omega</math> (Tn/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\phi</math></b>	<b><math>f</math></b>
1.- Arenas o gravas gruesas, muy permeables	1.78 – 1.92	33 - 40	0.50 – 0.60
2.- Arenas y gravas con limos poco permeables	1.92 – 2.08	25 - 35	0.40 – 0.50
3.- Arenas con limos, arenas y gravas con alto contenido de arcilla	1.76 – 1.92	23 - 30	0.30 – 0.40
4.- Arcilla fuerte compacta o muy consistente	1.60 – 1.92	25 - 35	0.25 – 0.40
5.- Arcilla blanda, limos	1.44 – 1.76	20 - 25	0.20 – 0.30

FUENTE: Separatas del Curso de Concreto Armado Avanzado.

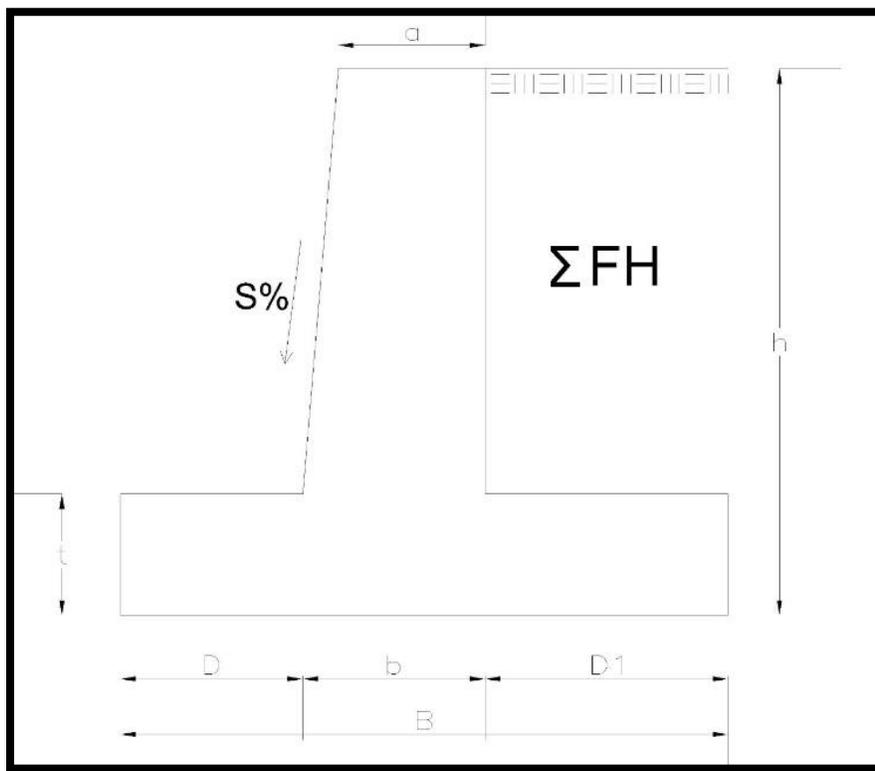
AUTOR: Ing. Roger Becerra Suárez

- **Diseño de Muro de Gravedad**

El procedimiento a seguir para su dimensionamiento y de cualquier tipo de muro de contención general es un proceso de tanteos sucesivos que consiste en lo siguiente:

- **Predimensionamiento**

En primer lugar una vez definida la altura de relleno **h** que está dada por las condiciones del proyecto se procede a asignar dimensiones tentativas al perfil del muro, para un primer tanteo se puede tomar las siguientes recomendaciones:



$$a = \frac{h}{12}, \text{ con un mínimo de } 15 \text{ cm. a } 20 \text{ cm.}$$

$$B = 0.5 h \text{ a } 0.7 h, \quad \text{según :} \quad \begin{array}{l} \emptyset \text{ altos} \rightarrow B = 0.5h \\ \emptyset \text{ bajos} \rightarrow B = 0.7h \end{array}$$

$$t = \frac{h}{8} \text{ a } \frac{h}{6}$$

$$D \text{ y } D_1 \text{ se toma de } \frac{t}{2} \text{ a } t$$

$$b = B - D - D_1$$

$S_{\min} \% = 2 \% \text{ como mínimo.}$

- **Verificación de La Estabilidad**

Una vez que el muro ha sido predimensionado se procede a verificar su estabilidad al volteo, presiones que ejerce sobre el terreno y al deslizamiento. Si los resultados del análisis son satisfactorios es decir si los coeficientes de seguridad son aceptables (no tan pequeños que hagan que la estructura sea insegura, ni tan grandes que conduzcan a una estructura sobredimensionada y antieconómica) se pueden considerar satisfactorias las dimensiones asignadas inicialmente al muro.

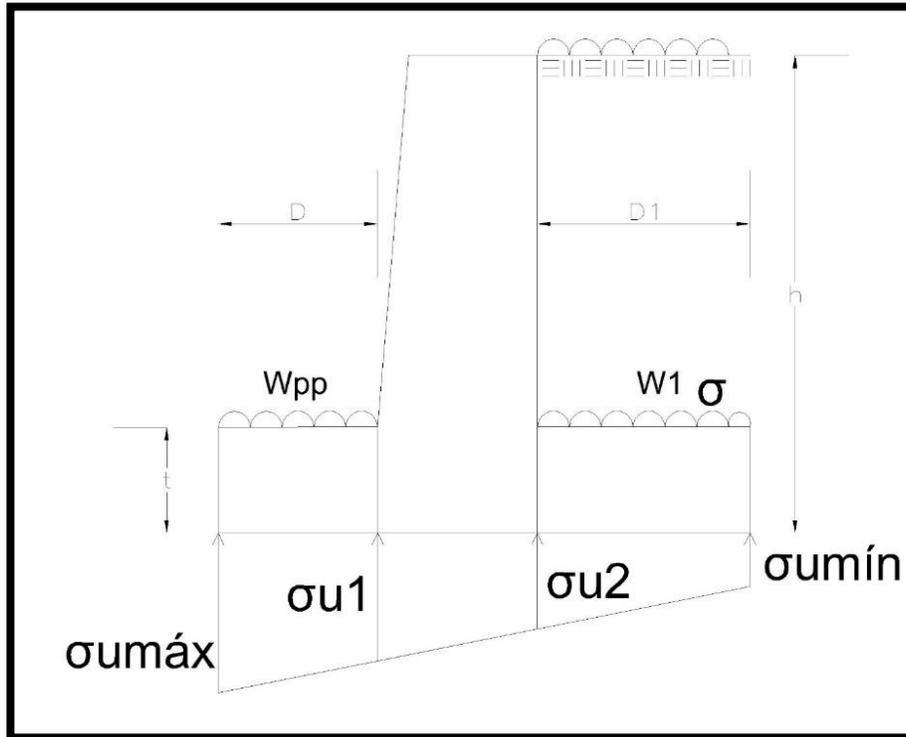
- **Reajuste de Dimensiones**

En caso de que los resultados del análisis de la estabilidad no sean satisfactorios, ya sea que el muro es inseguro o ya sea que está sobredimensionado, se reajustan las dimensiones del muro en base a los resultados del análisis y luego con las nuevas dimensiones se procede a verificar la estabilidad nuevamente. Así sucesivamente se repite el proceso de reajuste de dimensiones y de análisis de estabilidad hasta lograr resultados que se consideren satisfactorios, con la cual quedaran definidos las dimensiones del muro.

Una vez definido las dimensiones del muro debe efectuarse la verificación de la estabilidad estructural interna del muro en secciones críticas. Muchos proyectistas no realizan estas verificaciones por cuanto en la generalidad de los casos no suelen presentar problemas si es que la estructura satisface las condiciones de estabilidad externa. Estas verificaciones se dan a continuación.

- **Verificación de Esfuerzos de la Punta de La Zapata**

La punta de la zapata se comporta como un voladizo empotrado en la pantalla, que está sujeto a la acción de una carga trapezoidal de abajo hacia arriba constituida por la porción correspondiente del diagrama de presiones, y de una carga uniformemente distribuida de arriba hacia abajo, constituida por su peso propio, el peso del relleno pasivo y el agua; chequeando cual es el caso más desfavorable con relleno pasivo y agua o sin relleno pasivo y sin agua.



La sección crítica la constituye la unión de la punta con la pantalla. Si el análisis se realiza para 1.00 m de longitud de muro, la fuerza cortante y el momento flector en dicha sección son las siguientes:

- Esfuerzos factorizado en la base a compresión.

$$\sigma_{u \max} = \frac{0.01 \sum Fv(F.C)}{B} + \frac{0.06 \sum Fv(F.C) x e}{B^2}$$

- Esfuerzos factorizado en la base a tracción.

$$\sigma_{u \max} = \frac{0.01 \sum Fv(F.C)}{B} - \frac{0.06 \sum Fv(F.C) x e}{B^2}$$

$$v_u = \frac{(\sigma_{u.1} + \sigma_{u.máx})}{2} x D x 100 - w_{pp},$$

Donde:  $\sigma_{u.1}, \sigma_{u.máx}$  en  $kg/cm^2$ ; D en cm; 100 es 1 m. De muro;  $w_{pp}$  en kg.

Esta fórmula es cuando analizamos el muro sin agua y sin relleno pasivo, cuando analizamos el muro con agua y con relleno pasivo tendríamos que descontar el peso del agua y el peso del relleno pasivo en la formula.

$$M_u = \left[ \frac{(\sigma_{u1} + \sigma_{m\acute{a}x})}{2} \times \frac{(D^2)}{2} \times 100 \right]$$

Esta fórmula es cuando analizamos el muro sin agua y sin relleno pasivo, cuando analizamos el muro con agua y con relleno pasivo tendríamos que descontar el momento que produce el agua y el momento que produce el relleno pasivo en la formula.

- i. La fuerza cortante  $V$  produce un esfuerzo unitario de corte que está dado por la siguiente expresión:

$$V_v = \frac{vu}{100t}$$

El esfuerzo de corte admisible respectivo está dado por:

$$f_{corte.adm.} = 0.53x\phi\sqrt{f'_c}$$

Debe cumplirse:  $V_u \leq f_{corte.adm.} \dots (1)$

- ii. El momento flector  $M$  produce un esfuerzo de tracción  $\sigma_u$  en la fibra extrema en tracción del volado, que está dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_u = \frac{Mxc}{I}; \quad \text{Siendo: } c = \frac{t}{2}; \quad \text{y: } I = \frac{100xt^3}{12}$$

Reemplazando:  $\sigma_u = \frac{0.06xM_u}{t^2}$

El esfuerzo admisible a la tracción vale:

$$f_{Tadm} = 1.33x\phi\sqrt{f'_c}$$

Debe cumplirse:  $\sigma_u \leq f_{Tadm} \dots (2)$

Si una de las condiciones (1) ó (2) ó ambas no se cumplen resulta necesario incrementar el peralte de la zapata "t" hasta lograr su cumplimiento este incremento implica el volver a verificar la estabilidad del muro con el nuevo peralte de la zapata.

- **Verificación de Esfuerzos en el Talón de La Zapata**

El talón se comporta también como un voladizo empotrado en la pantalla por lo tanto debe efectuarse similares verificaciones a los de la punta de la zapata por cortante como por flexión, en la sección crítica de la unión con la pantalla.

En este caso, la carga uniformemente distribuida  $w_1$  se debe al peso propio del talón, más el peso del material sostenido que se encuentra por encima del talón y mas la sobrecarga por encima de este material sostenido.

$$w_1 = \frac{wpt + w(h - t) + S/C}{D_1 \times 100}$$

Donde:

$wpt$ : Peso propio del talón.

$w(h - t)$ : Peso del material sostenido por encima del talón.

$S/C$  : Peso de la sobrecarga por encima del talón.

La fuerza cortante y el momento flector respectivos son:

$$\downarrow v_u = w_1 D_1 \times 100 \text{ cm}$$

$$\uparrow v_u = \left( \frac{\sigma_{u2} + \sigma_{u \min}}{2} \right) \times D_1 \times 100$$

$$\downarrow M_u = \frac{w_1 D_1^2}{2} \times 100$$

$$\uparrow M_u = \frac{(\sigma_{u2} + \sigma_{u.min})}{2} \times \frac{D_1^2}{2} \times 100$$

El esfuerzo de corte unitario:

$$V_u = \frac{vu}{100t} \leq f_{corteadm} \dots \dots \dots (1)$$

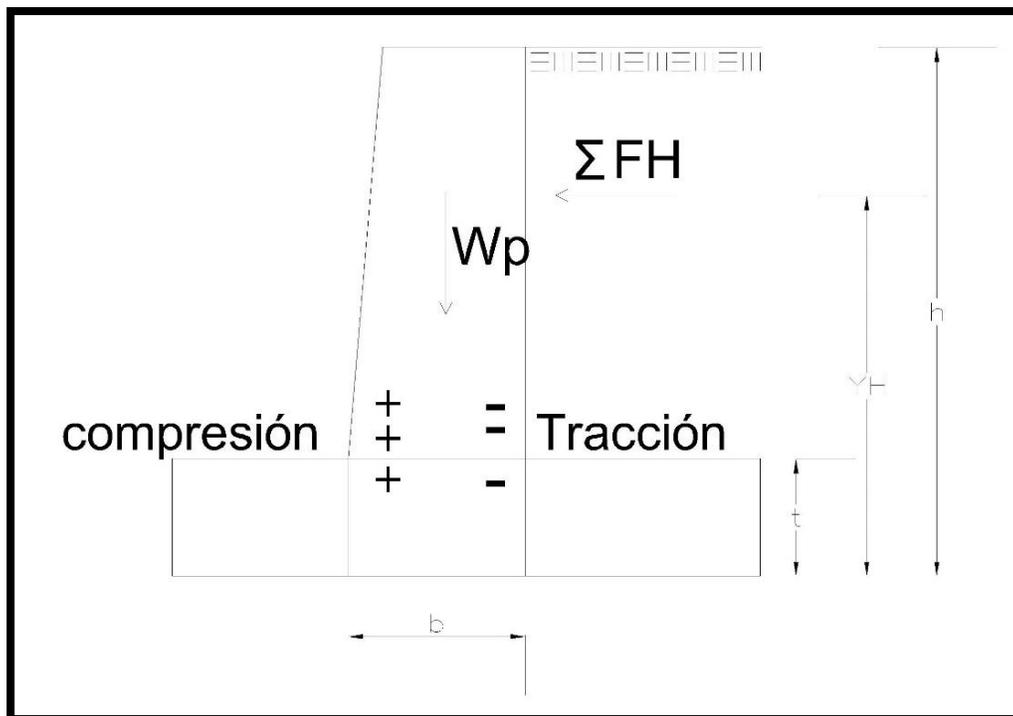
El esfuerzo de tracción es:

$$\sigma_u = \frac{0.06xM_u}{t^2} \leq f_{t adm} \dots \dots \dots (2)$$

Si una de estas 2 condiciones o las 2 no se cumple es también necesario incrementar el peralte  $t$  debiendo volver a verificarse la estabilidad del muro.

• **Verificación de Esfuerzos en el Arranque de La Pantalla**

La pantalla del muro se comporta como un voladizo vertical empotrado en la zapata, sujeto a la acción de la resultante de las fuerzas horizontales que actúan en el muro.



$w_p$  = Peso de la pantalla.

El arranque de la pantalla está sujeto a un momento flector  $M_v$  y a una fuerza de compresión  $w_p$ , siendo:

$$M_v = \sum F_H(Y_H - t)$$

Las fibras extremas, interiores (del lado del relleno) y exteriores (del lado opuesto del relleno), sufren esfuerzos de tracción  $f_t$  y de compresión  $f_c$ , respectivamente según la fórmula de escuadría, están dado por:

- **Chequeo por flexión:**

- Altura de la pantalla:  $h_p = h - t$

- Empuje activo:  $E_{a.p.} = \frac{cwh_p}{2}(h_p + 2h')$

Donde:  $c = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi}$

$$h' = \frac{S/C}{w}$$

Aplicado a:  $y = \frac{h_p}{3} \left( \frac{h_p + 3h'}{h_p + 2h'} \right)$

El esfuerzo factorizado se da de la siguiente manera:

$$\sigma_v = \frac{0.01 \sum F_v(F.C)}{b} \pm \frac{0.06 \sum F_v(F.C)xe}{b^2}; \quad e = \frac{b}{2} - \left( \frac{M_e - M_v}{\sum F_v} \right)$$

**Compresión:**

$$\sigma_{u.c} = \frac{0.01 \sum F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06 \sum F_v(F.C)xe}{b^2}$$

**Tracción:**

$$\sigma_{u.c} = \frac{0.01 \sum F_v(F.C)}{b} - \frac{0.06 \sum F_v(F.C)xe}{b^2}$$

Solo existe tracción si este valor es negativo, de lo contrario solo existen esfuerzos de compresión en el arranque de la pantalla.

- **Chequeo por corte**

La fuerza cortante en el arranque de la pantalla, es:  $V = \sum F_H$ ; que produce un esfuerzo unitario de corte:

$$V_u = \frac{V \times F.C.}{100b}$$

Estos esfuerzos no deben superar a los de corte, tracción y de compresión admisibles respectivamente. Es decir en cuanto a valores absolutos se refieren debe cumplirse:

$$V_u \leq f_{corte.adm} = \phi \times 0.53 \sqrt{f'c} \dots \dots \dots (A); \phi = 0.85$$

$$|\sigma_{U.T.}| \leq |f_{T.adm}| = |1.33 \phi \sqrt{f'c}| \dots \dots \dots (B); \phi = 0.65$$

$$|\sigma_{U.C.}| \leq |f_{C.adm}| = |0.85 \phi f'c| \dots \dots \dots (C); \phi = 0.70$$

Si alguna de las condiciones (A), (B) ó (C) ó 2 de ellas o las 3 no se cumplen, se deberá incrementar el ancho del arranque "b" hasta un valor que permita su cumplimiento. Este incremento hace necesario una nueva verificación de la estabilidad del muro.

- **Muro de Concreto Armado**

Son elementos verticales que pueden resistir cargas verticales y cargas horizontales perpendiculares y paralelas a sus caras. A diferencia de los muros de concreto simple, admiten desplazamiento lateral de sus apoyos y deben estar provistos del refuerzo mínimo indicado en la sección, (Harmsen T., 2005, pp. 677).

## 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BASICOS

- **Área de Inundación**

Una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas. (Leopol et al., 1964).

- **Banda Pluviograficas**

Es una cinta milimetrada, en la cual las ordenadas indica el espesor de la lámina de agua que va desde de 0 ha 10 milímetros cada 0.1mm y en las abscisas registra el tiempo desde la 7:00 am hasta las 7:00 am del día siguiente en intervalos de 10 minutos. (Aros, V 1997).

- **Duración de lluvia**

Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo el fin de la tormenta. Aquí se define el periodo de duración, que es un determinado periodo de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta. (Villón 2002).

- **Escorrentía**

Es el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (Villón, 2002).

- **Lámina o altura de la lluvia**

La lluvia se mide en milímetros caídos sobre una determinada superficie, suponiendo que:

La precipitación queda estática en la superficie

No exista evaporación ni infiltración

1 mm de lluvia sobre 1 m<sup>2</sup> de superficie es:

1 mm de lluvia sobre 1 m<sup>2</sup> = 0.1 cm x 10000 cm<sup>2</sup> = 1000 cm<sup>3</sup> = 1 litro

Por hectárea (10000 m<sup>2</sup> serán 400000 litros. Así, si en una región precipitan 500 mm/año, equivalen a 5000 m<sup>3</sup>/Ha/año). (Fattorelli y Fernández (2011).

- **Precipitación**

Se llama precipitación a toda forma de humedad que llega a la superficie terrestre luego de haberse iniciado en las nubes. Por lo tanto son formas de precipitación: la lluvia, granizada, nevadas, garúas, escarchas, etc. (Hidrología de Superficie – Oswaldo Ortiz Vera 1994).

- **Pluviometría**

Es la medida de la precipitación. Se expresa por el espesor (en milímetros) de una lámina de agua ficticia que quedaría sobre la superficie terrestre de no existir flujo ni pérdida después de haber contacto con el suelo. (Hidrología de Superficie – Oswaldo Ortiz Vera 1994).

- **Riesgo de Falla**

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de la vida de la obra.

El riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra está dada por: (Manual de Hidrología, hidráulica y Drenaje – Ministerio de Transportes y Comunicaciones).

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \dots\dots\dots [1]$$

- **Tormenta**

Una tormenta se define como el conjunto de lluvias que obedecen al mismo efecto meteorológico y poseen características bien definidas (Ramírez, 2003).

Para determinación de la tormenta de diseño sería recomendable contar con información obtenida a través de un pluviógrafo, ya que este equipo provee información instantánea, sin embargo, la mayoría de estaciones de medición de precipitaciones solo cuentan con pluviómetros que solo proveen de valores medios. (Manual de hidrología, hidráulica y drenaje)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

El tramo de la quebrada en estudio está ubicado desde la parte alta del sector El Parral hasta los muros de contención existente, siendo un total de 540,00 metros lineales de quebrada Amojú. Ubicado en las siguientes coordenadas UTM; ESTE: 741 373 y NORTE: 9 368 107, Datum WGS 84, huso 17, zona M.

La “Estación Jaén” está ubicada en el Sector la Granja, ubicado en el distrito Jaén, provincia de Jaén y departamento de Cajamarca. Geográficamente en las coordenadas UTM según Datum WGS-84; ESTE: 746307.98 y NORTE: 9358062.49, a una altitud de 654 m.s.n.m.

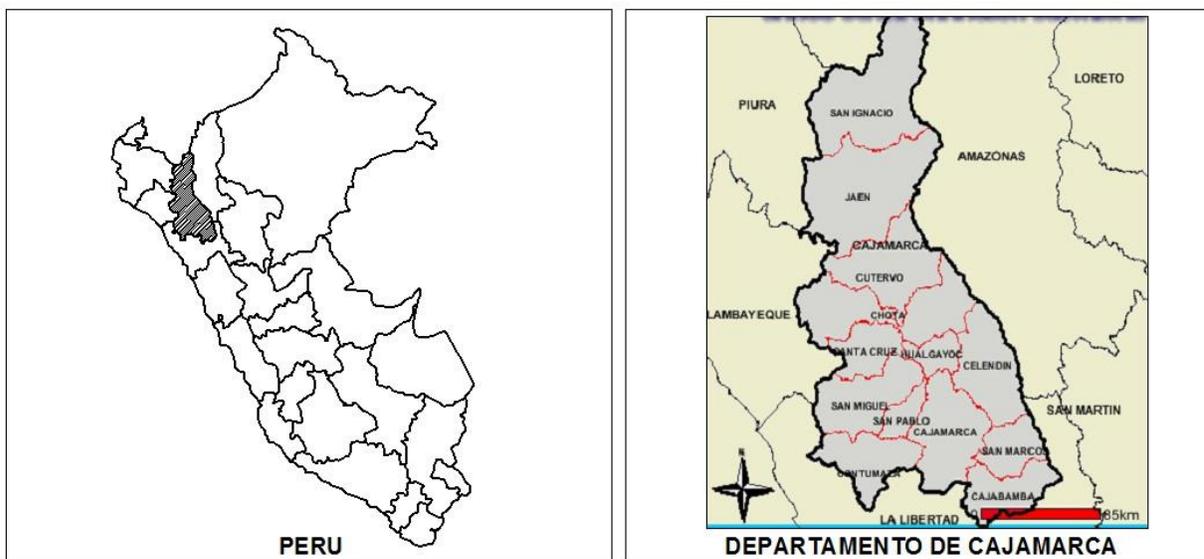
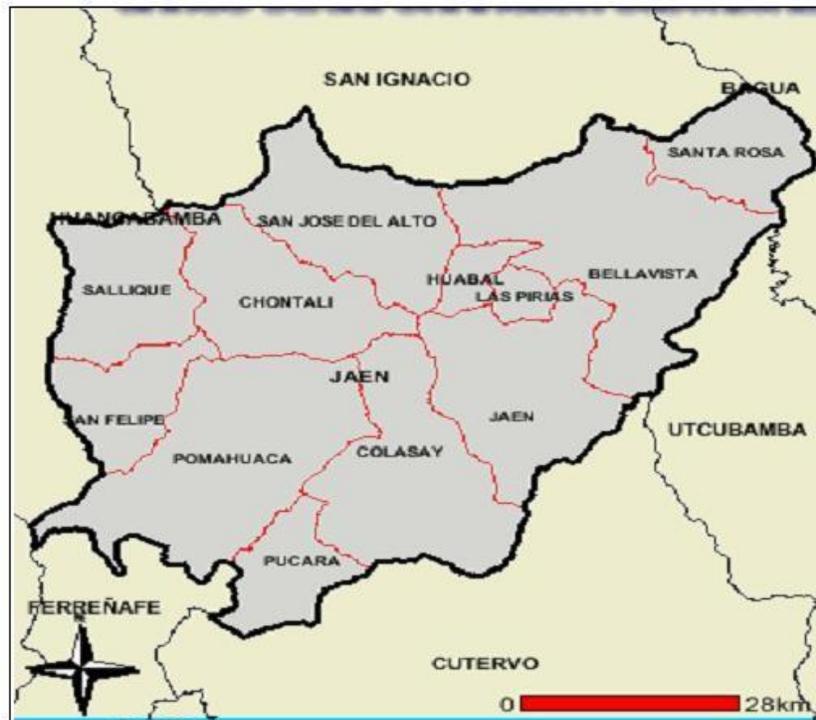


Figura 04: Mapa político del Perú y Departamento Cajamarca



### PROVINCIA DE JAEN

Figura 05: Mapa político de la Provincia de Jaén

### 3.2. Población

Longitud total de la ribera del río en la localidad el Parral Jaén.

### 3.3. Muestra

Zonas inundables del río Amojú en el sector El Parral.

### 3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue las zonas de riesgo de inundación en la localidad El Parral.

### 3.5. Materiales

#### a. Materiales

- Registros de bandas Pluviograficas de 28 años consecutivos (1964 - 1991) de información con periodos de duración de 30 min, 120 min, 480 min.

- Carta Geográfica de la región Cajamarca, escala 1/100 000. (Delimitación geométrica de la cuenca quebrada Amojú).
- Plano topográfico catastral de la ciudad de Jaén 2013, escala 1/5 000.

#### **b. Equipo**

- Estación Total, trípode y prisma.
- GPS navegador.
- Wincha.
- Cámara fotográfica.

#### Programas:

Microsoft Word: Procesador de Datos.

Microsoft Excel: Procesador de Datos Numéricos.

Auto CAD 2014: Elaboración de Planos

Modelamiento Hidrológico.

Modelamiento Hidráulico.

### **3.6. Procedimiento**

#### **a. Tratamiento de la información**

##### **• Delimitación de la Cuenca**

Se procedió a Buscar la carta nacional de Cajamarca, donde se ubicó la cuenca de la quebrada Amojú, el cual se delimito según las curvas a nivel teniendo en cuenta un punto más bajo, en este caso se consideró los muros de contención existentes.

##### **• Estimación de los parámetros geomorfológicos**

Se definieron los “Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca Hidrográfica”, detallando de esta manera la forma, el relieve y parámetros relativos como el coeficiente de masividad, densidad de drenaje, tiempo de concentración y número de orden de la cuenca en estudio. (Fuente: Hidrología Aplicada - Ven te Chow).

Se delimito la cuenca del rio Amojú en la carta nacional digital.

##### **• Estudio Topográfico**

Se realizó un reconocimiento a detalle de la zona de estudio mediante un análisis visual y levantamiento topográfico.

La zona de estudio está comprendida dentro del ámbito del distrito de Jaén, donde se aprecia un relieve montañoso con pendientes pronunciadas.

Para nuestro proyecto se ha elegido la poligonal abierta, ya que previamente se reconoció la zona comprendida dentro del alcance del proyecto, la cual es de poca extensión y presenta una topografía ondulada.

El levantamiento fue ejecutado en condiciones normales de tiempo y tuvo una duración de 4 días.

El lugar donde se ubicara la estructura ha sido seleccionado cuidadosamente de acuerdo a las características geométricas del río Amojú.

Se realizó una nivelación simple o diferencial, partiendo del BM para así determinar la cota de la estación E-1. Para dicho BM se verifico la cota con un GPS navegador.

La estación fue ubicada en la parte central del proyecto de tal manera que se pueda radiar el mayor número de puntos posibles.

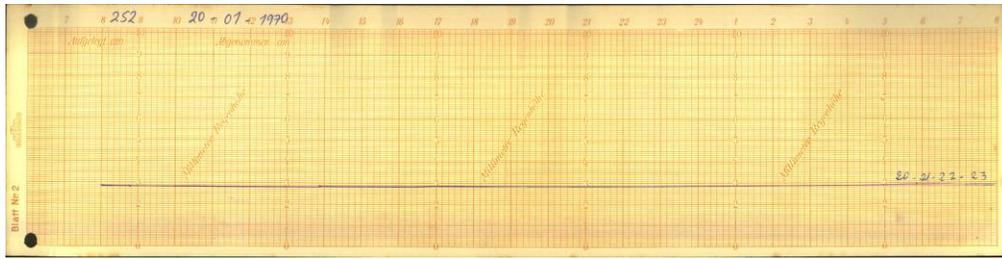
Trabajo de gabinete aquí los datos obtenidos en el campo fueron procesados en Microsoft Excel, y las curvas a nivel fueron obtenidas con la ayuda del programa Auto Civil 2014.

Se consideró un eje longitudinal, que corresponde a la defensa ribereña. El estacado se realizó cada 10 m.

El seccionamiento del eje longitudinal se realizara en forma secuencial de acuerdo con la numeración y ubicación de las estacas de cada eje, además se tendrá en cuenta que en cada sección se deberá dar un ancho adecuado y teniendo en cuenta que no se traslape los detalles.

- **Reconocimiento de Bandas Pluviográfica**

En el registro de la línea recta que ha marcado la plumilla indica que en la fecha especificada no se ha percibido precipitación.



**Figura 06: Registro de precipitación, del 20/01/1970 hasta el 23/01/1970**

- **Estimación de caudales máximos**

Para el cálculo del caudal máximo se usó el método Racional y el valor del coeficiente de escorrentía se estableció de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de la cuenca

- **Estimación del Riesgo**

- **Variable Peligro:**

Después de la visita en campo para identificar el peligro en una forma general, se tuvo en cuenta los posibles efectos que puedan generar daños en la población e infraestructura actual y a futuro.

- **Variable Vulnerabilidad:**

Basado en relación con los tipos de vulnerabilidad descritas, , con respecto a la ficha técnica del CENEPRED; Se determinó el grado de cada una de las vulnerabilidades, Una vez que se determinó el valor de cada tipo de vulnerabilidad se consolido en un Cuadro General, anotando el valor obtenido por cada tipo de vulnerabilidad; seguidamente se obtuvo el valor total haciendo el uso de la ecuación 31, con la finalidad de determinar el valor de la vulnerabilidad en unidades de porcentaje indicando su nivel.

- **Variable Riesgo:**

De la integración de ambos conocimientos, tanto el nivel de peligro, como el nivel de la vulnerabilidad, se determinó el nivel de riesgo, cuyo resultado se presentara en tablas

indicando en forma porcentual, cuyo indicador porcentual permitirá determinar un total aproximado de pérdidas y daños.

#### **b. Simulación Hidráulica (Descripción del Software)**

Se desarrolló la simulación Hidráulica empleando el software Hec – Ras utilizando la información topográfica e hidrológica de la quebrada Amojú, se ingresó al software los datos geométricos, que consistió en exportar las secciones transversales del software Auto Civil 3D 2014 del tramo en estudio, siguiendo el proceso se ingresaron los parámetros hidráulicos que son: el coeficiente de rugosidad de Manning (n), y la pendiente del cauce.

Luego se ingresaron los caudales en función del periodo consecutivos de años (N) para N=5, N=10, N=20, N=50, N=100 y N=200; con una incertidumbre de diseño (J) para J=1% y el periodo de duración (311.40 min) igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Se procesó el software y se determinó los niveles hidráulicos (NAME) que se producen en cada sección transversal del tramo en estudio.

#### **c. Pre - Diseño del Muro de la Defensa Ribereña**

##### **• Pre - Diseño Arquitectónico de la Defensa**

Con la construcción del muro para la defensa ribereña estamos conservando las áreas verdes de la zona del proyecto y contribuyendo al mejoramiento en la estética de dicho paisaje.

El concreto ciclópeo con que se construirán los muros presenta caras lisas a diferencia de otros materiales integrándose a un cambio gradual del paisaje.

##### **• Pre - Diseño**

El proyecto de la defensa ribereña consiste en el Pre - diseño del muro de contención los cuales serán cimentados en el lecho del río, siguiendo la constitución natural del cauce.

De la clasificación general de los muros de contención, se hará un Pre - diseño los de gravedad, por razones de economía, los cuales serán construidos de concreto ciclópeo, cuya estabilidad está garantizada por su propio peso. La pantalla de los muros, va a tener una sección trapezoidal, donde el parámetro anterior es vertical y el parámetro posterior inclinado. En la base del muro, tanto en la punta como en el talón deben de tener sus caras verticales.

Este muro de contención; además, de soportar la acción hidráulica durante las avenidas, también soportan el empuje de los suelos y otros materiales de relleno, que se depositan detrás de él, después de su construcción.

En el Pre - diseño de estos muros hay que tener en cuenta una serie de factores, tales como: la cohesión del suelo que empuja al muro; la mayor o menor humedad del mismo, el modo de hacer el relleno, la capacidad portante del suelo en donde será construido.

Además se debe de tener en cuenta el tirante producido en la máxima avenida, la profundidad de erosión, la elevación de la masa líquida, el borde libre y el espesor de la cimentación teniendo en cuenta que además de encausar las aguas del río estos muros van a soportar el empuje del suelo, debido al relleno que se hará después de constru

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### a. Estimación de los Parámetros Geomorfológicos

- **Parámetros de Forma:**

**Tabla 17: Parámetros de forma de la cuenca del rio Amojú**

Área	152.116 Km <sup>2</sup>
Perímetro	53.983 Km
Factor de forma	0.78
Coefficiente de Gravelius	1.23

La Tabla 17 muestra los parámetros de forma de la cuenca del rio Amojú, según el valor del Coeficiente de Gravelius, se determina que la cuenca es de "Forma Ovalada".

- **Parámetros Relativos**

**Tabla 18: Parámetros relativos de la cuenca del rio Amojú**

Coefficiente de masividad	0.01
Densidad de drenaje	0.15/Km
Pendiente del cauce	6.83%
Tiempo de concentración	5.14h
Número de orden	3

La tabla 18 muestra los parámetros relativos de la cuenca del rio Amojú, la cual describe la red hidrográfica correspondiente al drenaje natural de la cuenca.

## b. Modelamiento Hidrológico de Máximas Avenidas

Tabla 19: Simulación de Intensidades máximas para tormentas de duración hasta 480 min de la Estación Jaén

AÑOS	RIESGO	TIEMPO DE RETORNO	DURACIÓN						
			5 min	10 min	30 min	60 min	120 min	240 min	480 min
"N"	(J)	Tr (AÑOS)							
5	1	498.00	100.25	90.61	63.79	40.25	23.38	12.65	6.50
	2	247.99	89.68	81.05	57.07	36.07	21.00	11.37	5.85
	5	97.98	75.57	68.29	48.10	30.50	17.81	9.67	4.97
	10	47.96	64.68	58.44	41.17	26.20	15.35	8.35	4.30
	15	31.27	58.12	52.50	36.99	23.61	13.87	7.56	3.89
	20	22.91	53.32	48.16	33.94	21.71	12.78	6.98	3.60
	25	17.89	49.48	44.68	31.49	20.19	11.92	6.52	3.36
	30	14.52	46.22	41.74	29.42	18.91	11.18	6.12	3.16
	40	10.30	40.79	36.82	25.96	16.76	9.95	5.47	2.82
	50	7.73	36.17	32.64	23.02	14.94	8.91	4.91	2.54
	60	5.97	31.94	28.82	20.34	13.27	7.95	4.40	2.27
	70	4.67	27.81	25.08	17.71	11.64	7.02	3.90	2.02
	75	4.13	25.67	23.15	16.35	10.79	6.54	3.64	1.89
	80	3.63	23.42	21.10	14.91	9.90	6.03	3.37	1.75
	90	2.71	17.99	16.20	11.46	7.76	4.80	2.72	1.41
100	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1	995.49	110.74	100.10	70.47	44.39	25.75	13.92	7.15
	2	495.48	100.17	90.54	63.75	40.22	23.37	12.64	6.49
	5	195.46	86.07	77.78	54.77	34.65	20.18	10.94	5.62
	10	95.41	75.17	67.93	47.84	30.34	17.72	9.62	4.95
	15	62.03	68.61	61.99	43.67	27.75	16.24	8.83	4.54
	20	45.32	63.81	57.65	40.61	25.86	15.15	8.25	4.25
	25	35.26	59.97	54.17	38.17	24.34	14.29	7.78	4.01
	30	28.54	56.71	51.23	36.10	23.05	13.55	7.39	3.81
	40	20.08	51.28	46.31	32.64	20.91	12.32	6.74	3.47
	50	14.93	46.66	42.13	29.70	19.08	11.28	6.18	3.18
	60	11.42	42.43	38.31	27.01	17.41	10.32	5.67	2.92
	70	8.82	38.30	34.57	24.38	15.78	9.39	5.17	2.67
	75	7.73	36.17	32.64	23.02	14.94	8.91	4.91	2.54
	80	6.73	33.91	30.60	21.59	14.05	8.40	4.64	2.40

	90	4.86	28.49	25.69	18.14	11.90	7.17	3.98	2.06
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>15</b>	2	292.94	106.31	96.10	67.65	42.64	24.75	13.38	6.87
	5	1462.68	92.20	83.34	58.68	37.07	21.57	11.68	6.00
	10	142.87	81.31	73.48	51.75	32.77	19.11	10.36	5.33
	15	42.56	74.75	67.55	47.57	30.18	17.62	9.57	4.92
	20	336.61	69.95	63.20	44.52	28.28	16.54	8.99	4.63
	25	52.64	66.10	59.73	42.07	26.76	15.67	8.53	4.39
	30	210.78	62.85	56.78	40.00	25.48	14.94	8.13	4.19
	40	29.87	57.41	51.86	36.54	23.33	13.71	7.48	3.85
	50	22.14	52.79	47.68	33.60	21.51	12.66	6.92	3.56
	60	16.88	48.57	43.86	30.92	19.84	11.71	6.41	3.30
	70	12.97	44.44	40.12	28.29	18.20	10.78	5.91	3.05
	75	11.33	42.30	38.19	26.93	17.36	10.29	5.65	2.91
	80	9.83	40.04	36.15	25.49	16.47	9.78	5.38	2.78
	90	7.03	34.62	31.24	22.04	14.33	8.56	4.72	2.44
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>20</b>	1	1990.48	121.23	109.60	77.14	48.54	28.12	15.18	7.80
	2	990.47	110.66	100.04	70.42	44.36	25.74	13.91	7.14
	5	390.41	96.56	87.28	61.45	38.79	22.55	12.20	6.27
	10	190.32	85.66	77.42	54.52	34.49	20.09	10.89	5.60
	15	123.56	79.10	71.48	50.34	31.90	18.61	10.10	5.19
	20	90.13	74.30	67.14	47.29	30.00	17.52	9.52	4.89
	25	70.02	70.46	63.66	44.84	28.48	16.66	9.05	4.66
	30	56.57	67.20	60.72	42.77	27.20	15.92	8.66	4.46
	40	39.65	61.77	55.80	39.31	25.05	14.69	8.00	4.12
	50	29.36	57.15	51.62	36.37	23.23	13.65	7.44	3.83
	60	22.33	52.92	47.80	33.69	21.56	12.69	6.93	3.57
	70	17.12	48.79	44.06	31.06	19.92	11.76	6.43	3.32
	75	14.93	46.66	42.13	29.70	19.08	11.28	6.18	3.18
	80	12.93	44.40	40.09	28.26	18.19	10.77	5.90	3.04
90	9.20	38.98	35.18	24.81	16.05	9.54	5.25	2.71	
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>30</b>	2	1485.45	116.80	105.59	74.32	46.79	27.12	14.65	7.52
	5	585.37	102.69	92.83	65.35	41.22	23.94	12.95	6.65
	10	285.24	91.80	82.97	58.42	36.91	21.48	11.63	5.98
	15	615.81	85.24	77.04	54.25	34.32	19.99	10.84	5.57
	20	134.94	80.44	72.70	51.19	32.43	18.91	10.26	5.27
	25	104.78	76.60	69.22	48.75	30.91	18.04	9.79	5.04
	30	84.61	73.34	66.27	46.68	29.62	17.31	9.40	4.84
	40	59.23	67.91	61.35	43.22	27.47	16.08	8.74	4.50

	50	43.78	63.29	57.18	40.28	25.65	15.03	8.19	4.21
	60	33.24	59.06	53.35	37.59	23.98	14.08	7.68	3.95
	70	25.42	54.93	49.61	34.96	22.35	13.15	7.18	3.70
	75	22.14	52.79	47.68	33.60	21.51	12.66	6.92	3.56
	80	19.14	50.54	45.64	32.17	20.61	12.15	6.65	3.42
	90	13.54	45.11	40.74	28.72	18.47	10.93	5.99	3.09
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>40</b>	2	1980.43	121.15	109.53	77.10	48.51	28.11	15.17	7.79
	5	780.33	107.05	96.77	68.12	42.94	24.92	13.47	6.92
	10	380.15	96.15	86.91	61.19	38.63	22.46	12.16	6.25
	15	246.63	89.59	80.98	57.02	36.04	20.98	11.36	5.84
	20	179.76	84.80	76.64	53.96	34.15	19.89	10.78	5.54
	25	139.54	80.95	73.16	51.52	32.63	19.02	10.32	5.31
	30	112.65	77.70	70.21	49.45	31.34	18.29	9.93	5.10
	40	78.81	72.26	65.29	45.99	29.19	17.06	9.27	4.77
	50	58.21	67.64	61.11	43.05	27.37	16.02	8.71	4.48
	60	44.16	63.42	57.29	40.36	25.70	15.06	8.20	4.22
	70	33.73	59.28	53.55	37.73	24.07	14.13	7.70	3.97
	75	29.36	57.15	51.62	36.37	23.23	13.65	7.44	3.83
	80	25.36	54.89	49.58	34.94	22.33	13.14	7.17	3.69
	90	17.88	49.47	44.67	31.49	20.19	11.91	6.52	3.36
100	1.00	-	-	-	-	-	-	-	
<b>50</b>	1	4975.98	124.61	112.65	79.29	49.87	28.89	15.59	8.01
	2	2475.42	124.53	112.58	79.24	49.84	28.87	15.58	8.00
	5	975.29	110.43	99.82	70.27	44.27	25.68	13.88	7.13
	10	475.06	99.53	89.97	63.34	39.97	23.22	12.56	6.46
	15	308.16	92.97	84.03	59.17	37.37	21.74	11.77	6.05
	20	224.57	88.17	79.69	56.11	35.48	20.66	11.19	5.75
	25	174.30	84.33	76.21	53.67	33.96	19.79	10.73	5.51
	30	140.68	81.07	73.27	51.60	32.68	19.05	10.33	5.31
	40	98.38	75.64	68.35	48.14	30.53	17.82	9.68	4.98
	50	72.64	71.02	64.17	45.20	28.70	16.78	9.12	4.69
	60	55.07	66.79	60.35	42.51	27.03	15.83	8.61	4.43
	70	42.03	62.66	56.61	39.88	25.40	14.89	8.11	4.17
	75	31.57	60.53	54.68	38.52	24.56	14.41	7.85	4.04
	80	62.63	58.27	52.63	37.09	23.67	13.90	7.58	3.90
	90	22.22	52.85	47.73	33.64	21.53	12.68	6.92	3.57
100	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>60</b>	2	2970.40	127.29	115.08	81.00	50.93	29.49	15.92	8.17
	5	1170.24	113.19	102.32	72.03	45.36	26.31	14.21	7.30
	10	569.97	102.29	92.46	65.10	41.06	23.85	12.90	6.63

	15	369.69	95.73	86.53	60.92	38.46	22.36	12.10	6.22
	20	269.39	90.93	82.19	57.87	36.57	21.28	11.52	5.92
	25	209.06	87.09	78.71	55.42	35.05	20.41	11.06	5.69
	30	168.72	83.83	75.77	53.35	33.77	19.68	10.67	5.48
	40	117.96	78.40	70.85	49.89	31.62	18.45	10.01	5.15
	50	60.00	73.78	66.67	46.95	29.79	17.40	9.45	4.86
	60	65.98	69.55	62.85	44.27	28.12	16.45	8.94	4.60
	70	50.34	65.42	59.11	41.64	26.49	15.52	8.44	4.35
	75	43.78	63.29	57.18	40.28	25.65	15.03	8.19	4.21
	80	37.78	61.03	55.13	38.84	24.76	14.52	7.91	4.07
	90	26.56	55.61	50.23	35.39	22.62	13.30	7.26	3.74
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
70	2	3465.38	129.62	117.19	82.48	51.85	30.02	16.20	8.32
	5	1365.20	115.52	104.43	73.51	46.28	26.83	14.49	7.44
	10	664.89	104.62	94.57	66.58	41.98	24.37	13.18	6.77
	15	431.22	98.06	88.64	62.41	39.39	22.89	12.39	6.36
	20	314.20	93.27	84.30	59.35	37.49	21.81	11.81	6.07
	25	243.82	89.42	80.82	56.91	35.97	20.94	11.34	5.83
	30	196.76	86.17	77.88	54.84	34.69	20.20	10.95	5.63
	40	137.53	80.73	72.96	51.38	32.54	18.98	10.29	5.29
	50	101.49	76.11	68.78	48.44	30.71	17.93	9.73	5.01
	60	76.90	71.89	64.96	45.75	29.05	16.98	9.22	4.75
	70	58.64	67.75	61.22	43.12	27.41	16.04	8.72	4.49
	75	51.00	65.62	59.29	41.76	26.57	15.56	8.47	4.36
	80	44.00	63.36	57.24	40.33	25.68	15.05	8.19	4.22
	90	30.90	57.94	52.34	36.88	23.54	13.83	7.54	3.88
100	-	-	-	-	-	-	-	-	
75	1	7462.94	141.23	127.70	89.87	56.44	32.64	17.60	9.04
	2	3712.87	130.67	118.14	83.15	52.26	30.26	16.32	8.38
	5	1462.68	116.56	105.38	74.18	46.69	27.07	14.62	7.51
	10	712.34	105.67	95.52	67.24	42.39	24.61	13.30	6.84
	15	461.98	99.11	89.58	63.07	39.80	23.13	12.51	6.43
	20	336.61	94.31	85.24	60.02	37.90	22.04	11.93	6.13
	25	261.20	90.46	81.76	57.57	36.38	21.17	11.47	5.89
	30	210.78	87.21	78.82	55.50	35.10	20.44	11.08	5.69
	40	147.32	81.77	73.90	52.04	32.95	19.21	10.42	5.36
	50	108.70	77.15	69.72	49.10	31.13	18.17	9.86	5.07
	60	82.35	72.93	65.90	46.42	29.46	17.21	9.35	4.81
	70	62.80	68.80	62.16	43.79	27.83	16.28	8.85	4.55
	75	47.10	66.66	60.23	42.43	26.98	15.80	8.59	4.42
80	62.63	64.40	58.19	40.99	26.09	15.29	8.32	4.28	

	90	33.07	58.98	53.28	37.54	23.95	14.06	7.67	3.95
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>80</b>	2	3960.37	131.64	119.02	83.77	52.65	30.48	16.44	8.44
	5	1560.16	117.54	106.26	74.80	47.08	27.29	14.74	7.57
	10	759.80	106.64	96.40	67.87	42.78	24.83	13.42	6.90
	15	492.75	100.08	90.47	63.69	40.18	23.35	12.63	6.49
	20	359.01	95.29	86.13	60.64	38.29	22.26	12.05	6.19
	25	278.59	91.44	82.65	58.19	36.77	21.39	11.59	5.95
	30	224.79	88.19	79.70	56.12	35.49	20.66	11.19	5.75
	40	157.11	82.75	74.79	52.66	33.34	19.43	10.54	5.42
	50	115.92	78.13	70.61	49.72	31.51	18.39	9.98	5.13
	60	87.81	73.91	66.78	47.04	29.84	17.43	9.47	4.87
	70	66.95	69.77	63.05	44.41	28.21	16.50	8.97	4.61
	75	58.21	67.64	61.11	43.05	27.37	16.02	8.71	4.48
	80	50.21	65.38	59.07	41.61	26.48	15.51	8.44	4.34
	90	35.25	59.96	54.17	38.16	24.34	14.28	7.78	4.01
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>90</b>	2	4455.35	133.43	120.63	84.90	53.35	30.88	16.66	8.55
	5	1755.12	119.32	107.87	75.93	47.78	27.69	14.95	7.68
	10	854.71	108.43	98.02	69.00	43.48	25.23	13.64	7.01
	15	554.28	101.87	92.08	64.83	40.89	23.75	12.85	6.60
	20	403.83	97.07	87.74	61.77	38.99	22.67	12.27	6.30
	25	313.35	93.22	84.26	59.33	37.47	21.80	11.80	6.07
	30	252.83	89.97	81.32	57.26	36.19	21.06	11.41	5.86
	40	176.69	84.53	76.40	53.80	34.04	19.83	10.75	5.53
	50	130.34	79.91	72.22	50.86	32.22	18.79	10.19	5.24
	60	98.72	75.69	68.40	48.17	30.55	17.84	9.68	4.98
	70	75.25	71.56	64.66	45.54	28.92	16.90	9.18	4.72
	75	65.42	69.42	62.73	44.18	28.07	16.42	8.93	4.59
	80	56.42	67.16	60.68	42.75	27.18	15.91	8.65	4.45
	90	39.59	61.74	55.78	39.30	25.04	14.69	8.00	4.12
	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>100</b>	1	9950.42	145.59	131.64	92.64	58.16	33.63	18.13	9.30
	2	4950.33	135.02	122.07	85.92	53.98	31.24	16.85	8.65
	5	1950.07	120.92	109.32	76.95	48.41	28.05	15.15	7.78
	10	949.62	110.02	99.46	70.01	44.11	25.59	13.83	7.10
	15	615.81	103.46	93.52	65.84	41.52	24.11	13.04	6.70
	20	448.64	98.66	89.18	62.79	39.62	23.03	12.46	6.40
	25	348.11	94.82	85.70	60.34	38.10	22.16	11.99	6.16
	30	280.87	91.57	82.76	58.27	36.82	21.42	11.60	5.96
	40	196.26	86.13	77.84	54.81	34.67	20.19	10.94	5.63

50	144.77	81.51	73.66	51.87	32.85	19.15	10.39	5.34
60	109.64	77.28	69.84	49.19	31.18	18.20	9.88	5.08
70	83.56	73.15	66.10	46.56	29.55	17.26	9.38	4.82
75	72.64	71.02	64.17	45.20	28.70	16.78	9.12	4.69
80	62.63	68.76	62.13	43.76	27.81	16.27	8.85	4.55
90	43.93	63.34	57.22	40.31	25.67	15.05	8.19	4.22
100	-	-	-	-	-	-	-	-

En la Tabla 19 se verifico que, para un cierto número de años consecutivos, los mayores eventos son de menor duración, menos frecuentes; es decir de mayor tiempo de retorno y viceversa, para una misma incertidumbre de diseño. Para un mismo periodo de años consecutivos, a mayor incertidumbre de diseño menor intensidad y viceversa.

**Tabla 20: Intensidades Máximas de la Estación Jaén para 308 minutos de duración**

Años "N"	Riesgo J(%)	Tiempo de retorno Tr(Años)	INTENSIDAD MAXIMA
			308 min
5	1	498.00	10.91
10	1	995.49	12.00
20	1	1990.48	13.09
50	1	4975.46	14.53
100	1	9950.42	15.63
200	1	19900.33	16.72

En la 20 se observa las Intensidades Máximas de la Estación Jaén para 308 minutos de duración, para mayor número de años consecutivos de predicción mayor es la intensidad.

**Tabla 21: Caudales para diferentes periodos consecutivos de años (N) e incertidumbre de diseño (J=1%)**

Años "N"	Riesgo J(%)	Tiempo de retorno Tr(Años)	Tiempo de concentración (Tc)	Intensidad Máxima	Coefficiente de escorrentía "C"	Caudal (m3/s)
5	1	498	308	10.91	0.39	179.88
10	1	995	308	12.00	0.39	197.89
20	1	1990	308	13.09	0.39	215.90
50	1	4975	308	14.53	0.39	239.71
100	1	9950	308	15.63	0.39	257.72
200	1	19900	308	16.72	0.39	275.73

En la Tabla 21 se observa los Caudales para diferentes periodos consecutivos de años (N) e incertidumbre de diseño (J=1%), a mayor número de años consecutivos de predicción mayor es el caudal.

### c. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO DE INUNDACIÓN

#### Estimación del nivel de riesgo

**Tabla 22: Nivel de riesgo de inundación**

Descripción de evento	Rango (%)	Rango calculado (%)	Nivel
Nivel del peligro de inundación	75 – 100	100	Muy alto
Grado de vulnerabilidad	75 - 100	79.2	Muy alto
Nivel de riesgo de inundación		79.2	Muy alto

En la Tabla 22 se muestra el resultado en donde el sector El Parral, presenta un riesgo muy alto ante el peligro de inundación con 79.2%, se usó el criterio descriptivo, la cual se basó en el uso de una matriz de doble entrada: “Matriz de Peligro y Vulnerabilidad”. Para tal efecto, con el nivel determinado del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente. Con ambos porcentajes, se halló el nivel de riesgo de la comunidad frente al peligro de inundación. (Becerra, 2017).

## Estimación del peligro

**Tabla 23: Estratificación del peligro de inundación.**

ESTRATO/NIVEL	Rango (%)	VALOR (%)
PMA (Peligro Muy Alto)	(75-100)	100

En la 23 se muestra el resultado de la recopilación de información en campo y el estudio específico de la zona de investigación, se indica que el sector El Parral, está ante un peligro de inundación de nivel muy alto teniendo un valor de 100%. (Becerra, 2017).

## Estimación del grado de vulnerabilidad.

**Tabla 24: Nivel de vulnerabilidad total**

TIPO	Nivel de vulnerabilidad				TOTAL (%)
	VB	VM	VA	VMA	
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %	
<b>Física</b>				77.75	77.75
<b>Económica</b>				82.75	82.75
<b>Social</b>			67.5		67.5
<b>Educativa</b>				95.0	95.0
<b>Cultural e ideológica</b>			70.0		70.0
<b>Política e institucional</b>			67.5		67.5
<b>Científica y técnica</b>				93.75	93.75

En la Tabla 24 se muestra el nivel de vulnerabilidad que presenta la población frente al peligro de inundación es: 79.2% la cual representa el promedio de las diversas vulnerabilidades estudiadas, y que lo clasifica en una vulnerabilidad muy alta ya que se encuentra en el rango de 76% a 100% de acuerdo a la Tabla 10. (Becerra, 2017).

## Costo total de daños en edificaciones:

**Tabla 25: Estimación total de costos para edificaciones**

Material de construcción de Viviendas	Costo total
Adobe	S/. 160 902.00
Concreto	S/. 1 300 703.04
Total	S/. 1 461 605.04

En la Tabla 25 se muestra la estimación total de costos para edificaciones, el cual se obtiene de sumar el costo total para edificaciones de adobe y el costo total para edificaciones de concreto. Dado que se tiene una población de 210 personas encuestadas en el sector El Parral, de acuerdo al porcentaje de riesgo calculado (79.2%), nos da una cantidad de 166 personas afectadas por la inundación. (Becerra, 2017).

#### d. Modelamiento Hidráulico

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates					
River	Reach	RS	N=5 y J=1%	N=10 y J=1%	N=20 y J=1%	N=50 y J=1%	N=100 y J=1%	N=200 y J=1%
1 RIO AMOJU	RIO AMOJÚ	540	179.88	197.89	215.9	239.71	257.72	275.73

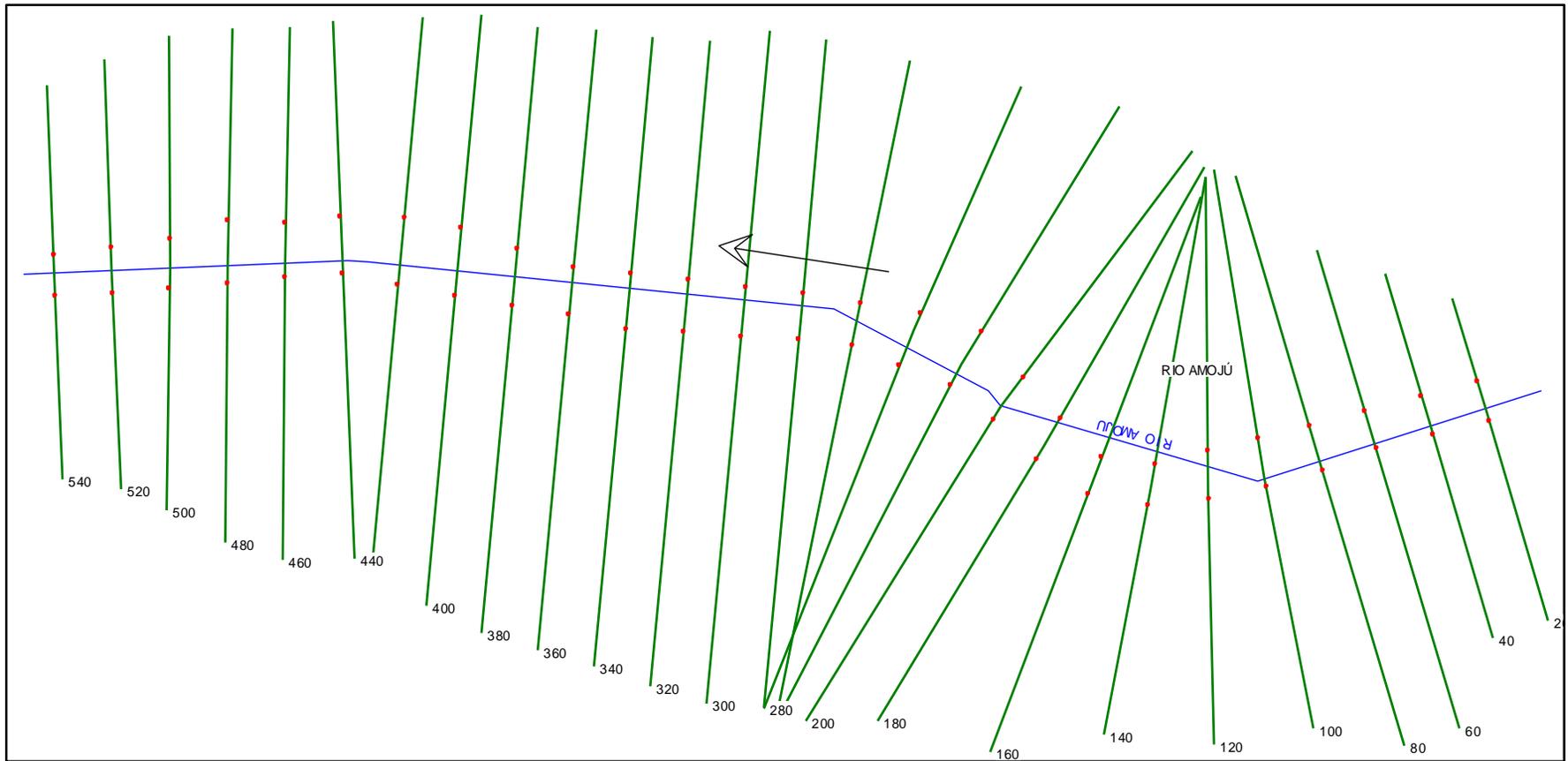
**Figura 07: Caudales en diferentes periodos consecutivos de años ingresados en el HEC-RAS.**

En la Figura 07, se observa el ingreso de los caudales al programa HEC-RAS para los diferentes periodos consecutivo de años N=5, 10, 20, 50, 100 y 200; incertidumbre de diseño J=1%.

**Tabla 26: Cotas del eje hidráulico del río Amojú sector El Parral.**

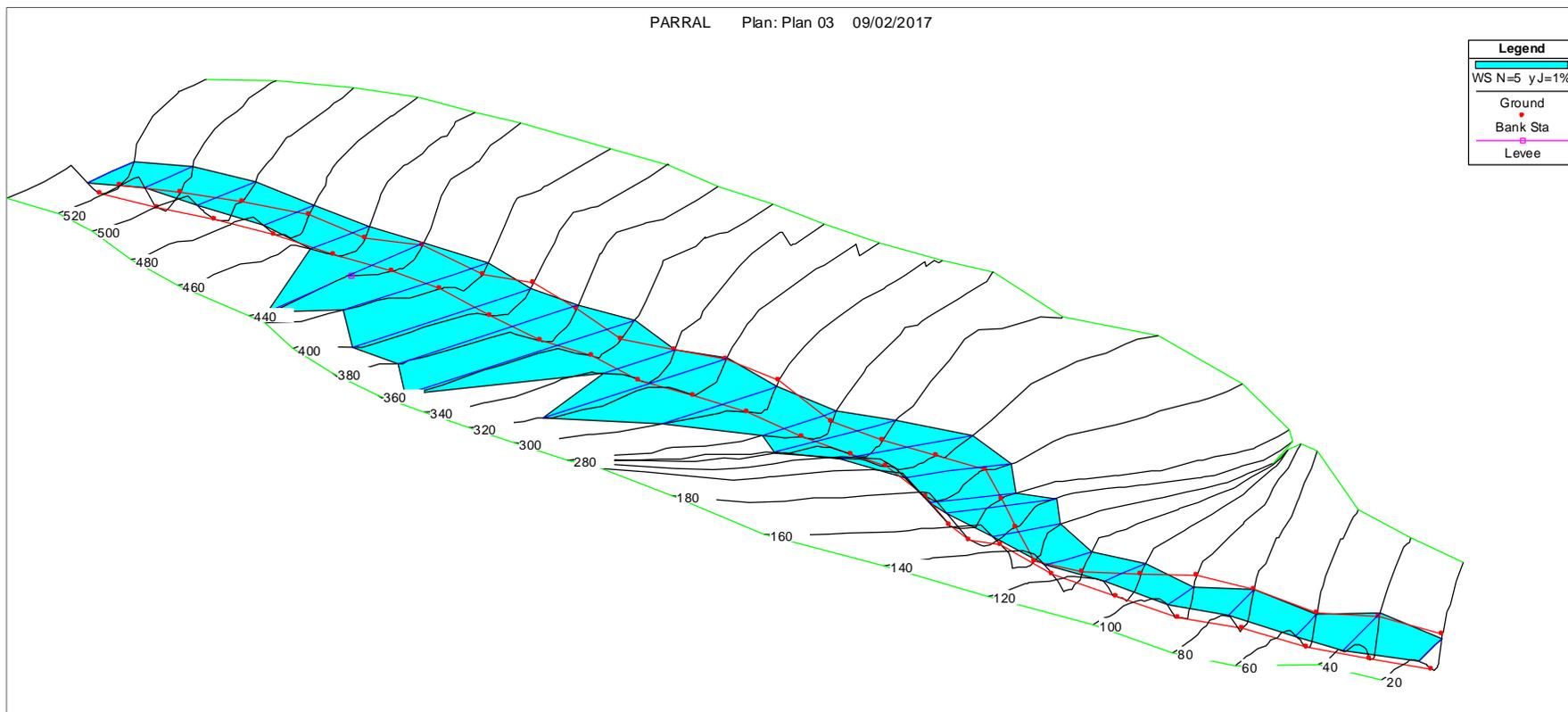
PROGRESIVA	PERIODO CONSECUTIVO DE AÑOS					
	N=5	N=10	N=20	N=50	N=100	N=200
0+540	784.17	784.24	784.30	784.39	784.45	784.51
0+520	784.27	784.37	784.48	784.60	784.67	784.75
0+500	783.56	783.63	783.70	783.79	783.86	783.92
0+480	782.31	782.40	782.49	782.59	782.66	782.74
0+460	781.36	781.42	781.48	781.56	781.62	781.67
0+440	780.64	780.73	780.74	780.77	780.78	780.80
0+420	779.68	779.73	779.79	779.85	779.89	779.92
0+400	778.62	778.65	778.68	778.72	778.75	778.78
0+380	778.21	778.26	778.31	778.37	778.41	778.45
0+360	777.64	777.68	777.72	777.76	777.79	777.81
0+340	776.33	776.44	776.55	776.68	776.80	776.95
0+320	776.40	776.41	776.42	776.43	776.43	776.42
0+300	775.00	775.07	775.13	775.20	775.25	775.29
0+280	773.61	773.74	773.80	773.88	773.94	773.99
0+260	773.50	773.53	773.60	773.68	773.76	773.83
0+240	772.93	773.00	773.07	773.16	773.22	773.28
0+220	771.91	772.00	772.09	772.20	772.27	772.35
0+200	770.96	771.06	771.16	771.28	771.37	772.47
0+180	771.34	771.36	771.34	771.42	771.48	771.46
0+160	770.48	770.87	771.39	771.25	771.26	771.31
0+140	769.19	769.27	769.35	769.56	769.70	769.85
0+120	768.65	768.73	768.81	768.91	768.98	769.07
0+100	767.44	767.53	767.61	767.72	767.80	767.88
0+080	767.43	767.47	767.51	767.57	767.62	767.67
0+060	765.85	765.95	766.04	766.14	766.22	766.29
0+040	766.20	766.26	766.32	766.38	766.39	766.41
0+020	764.65	764.75	764.85	764.98	765.07	765.16

En la Tabla 26 se observa las cotas del eje hidráulico de la lámina de agua que pasa por cada sección del río Amojú en el sector El Parral.



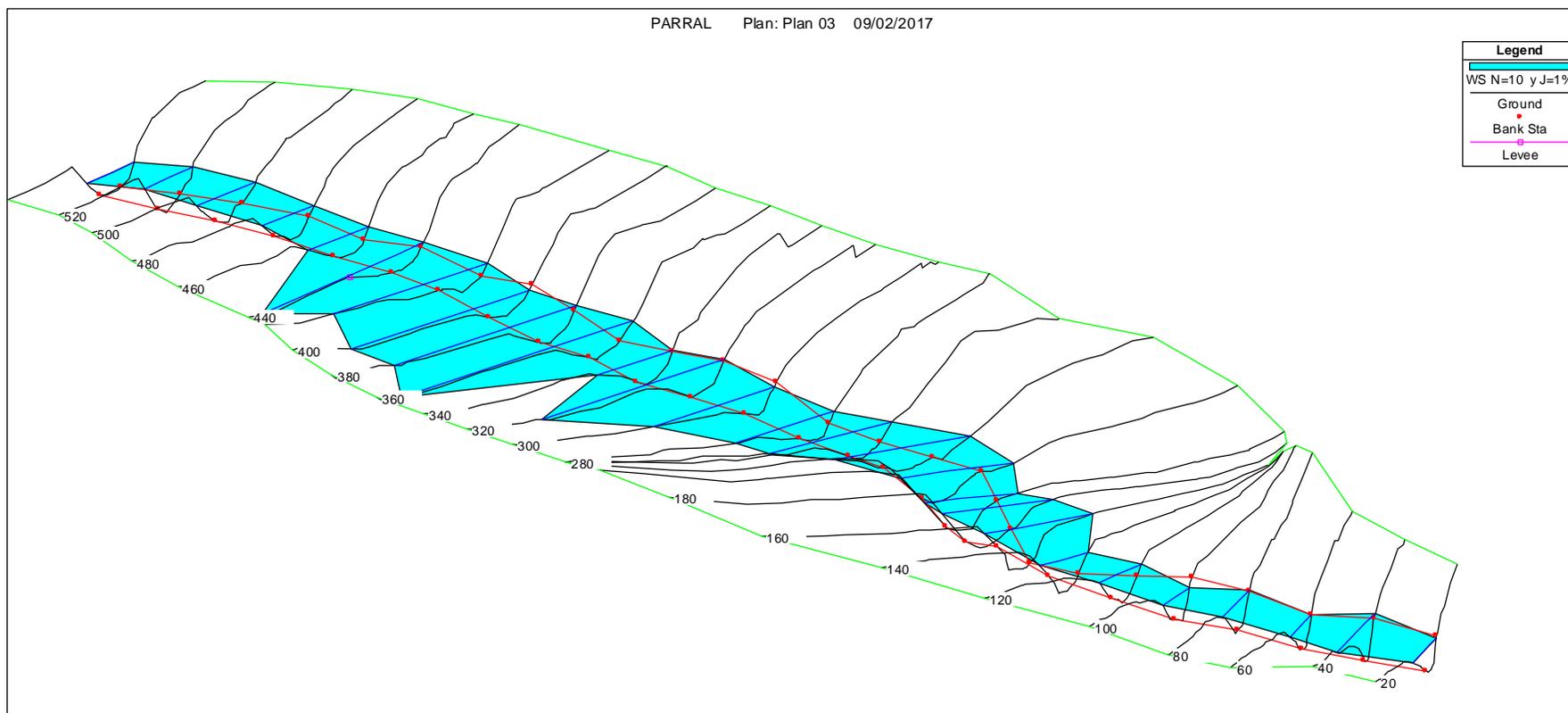
**Figura 08: Vista en planta de las secciones transversales del rio Amojú en el sector El Parral.**

En la figura 08, se observa las secciones transversales 100 metros margen derecho e izquierdo del eje del rio cada progresiva de 20 metros en una longitud total de  $L=540$  metros.



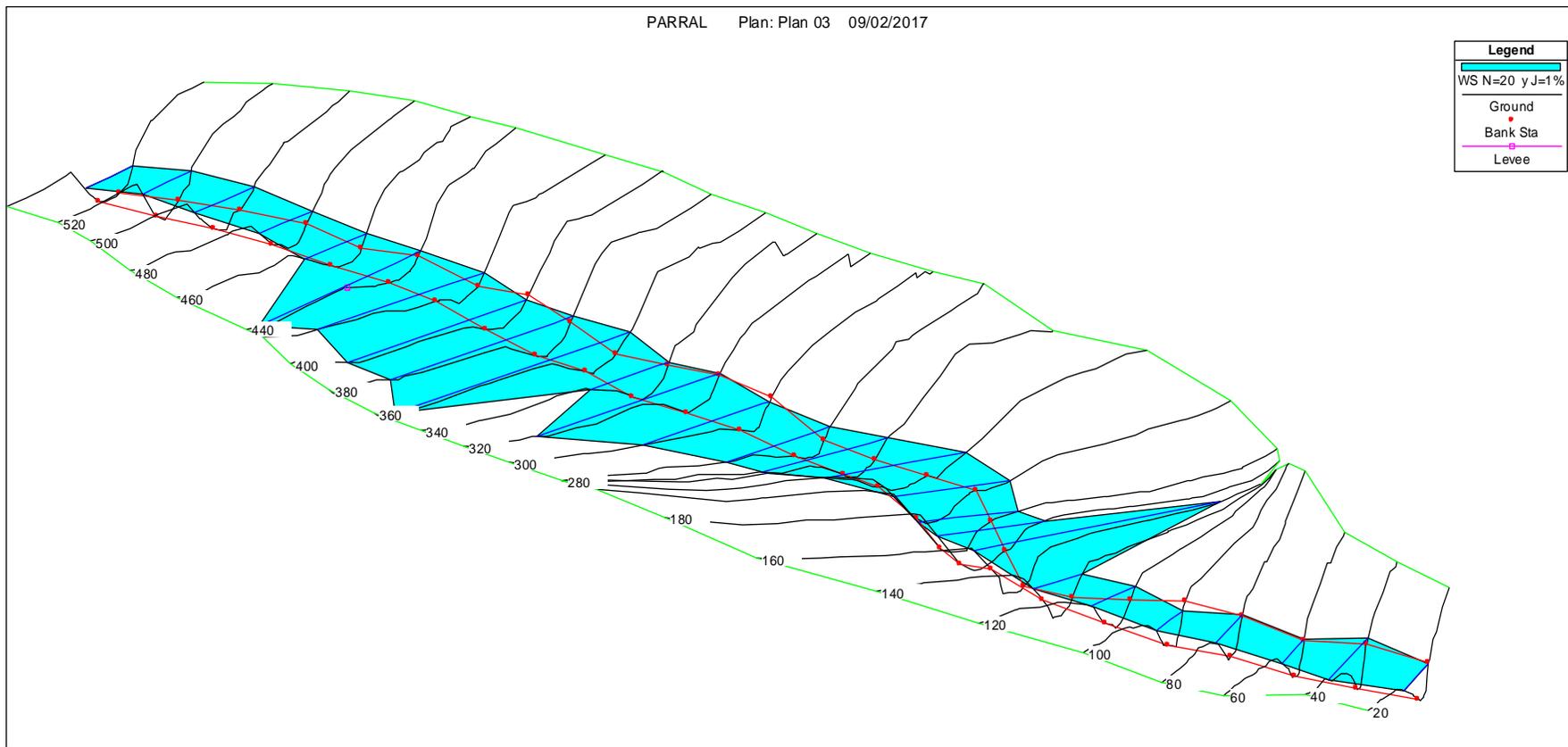
**Figura 09: Vista 3D de las secciones transversales del río Amojú, para la simulación de N=5 años y J=1% en el sector El Parral.**

En la Figura 09 se observa la simulación con HEC-RAS del río Amojú, en cual se indican las zonas hasta donde alcanza la lámina de agua para el periodo consecutivo de N=5 años e incertidumbre de diseño J=1%.



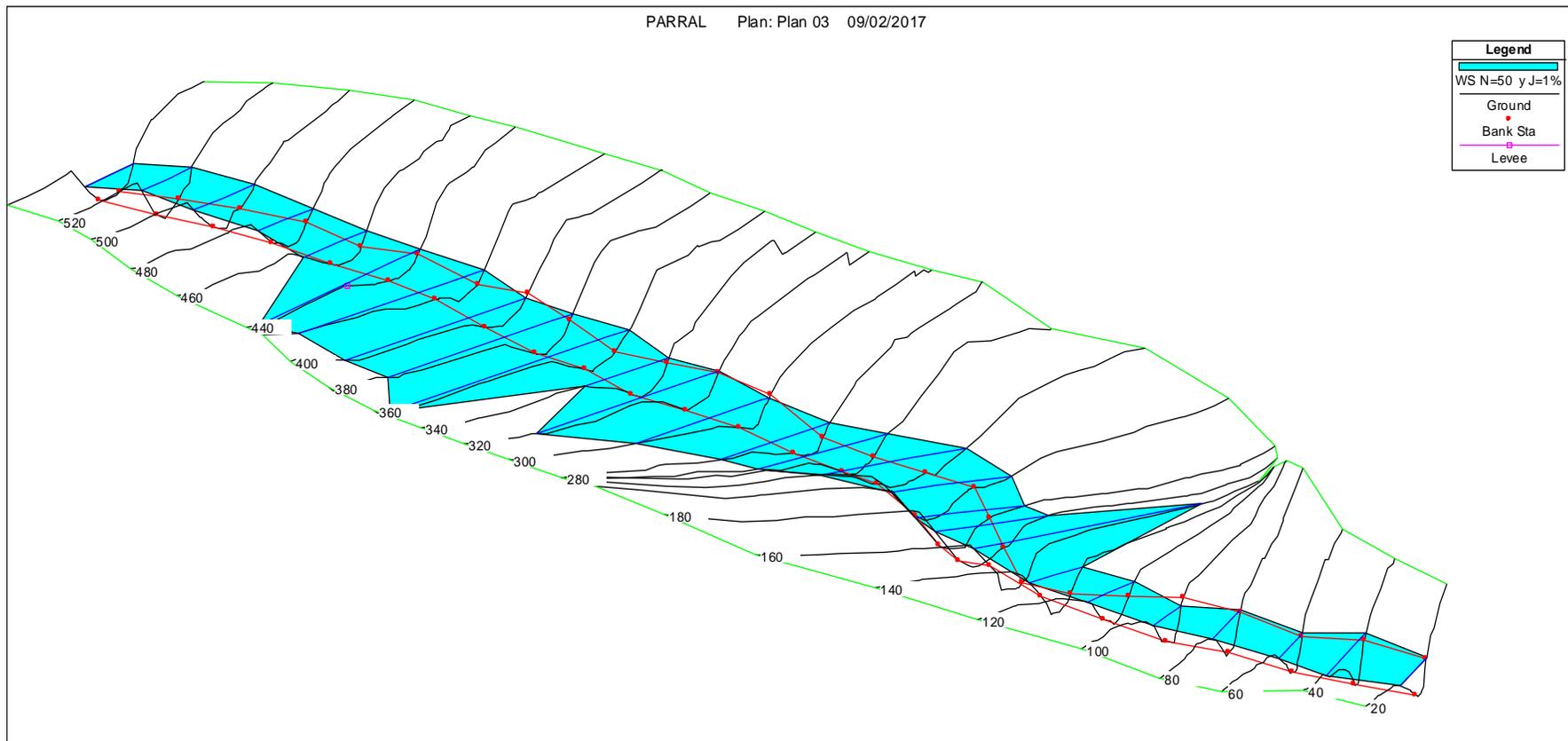
**Figura 10: Vista 3D de las secciones transversales del río Amojú, para la simulación de N=10 años y J=1% en el sector El Parral.**

En la Figura 10 se observa la simulación con HEC-RAS del río Amojú, en cual se indican las zonas hasta donde alcanza la lámina de agua para el periodo consecutivo de N=10 años e incertidumbre de diseño J=1%.



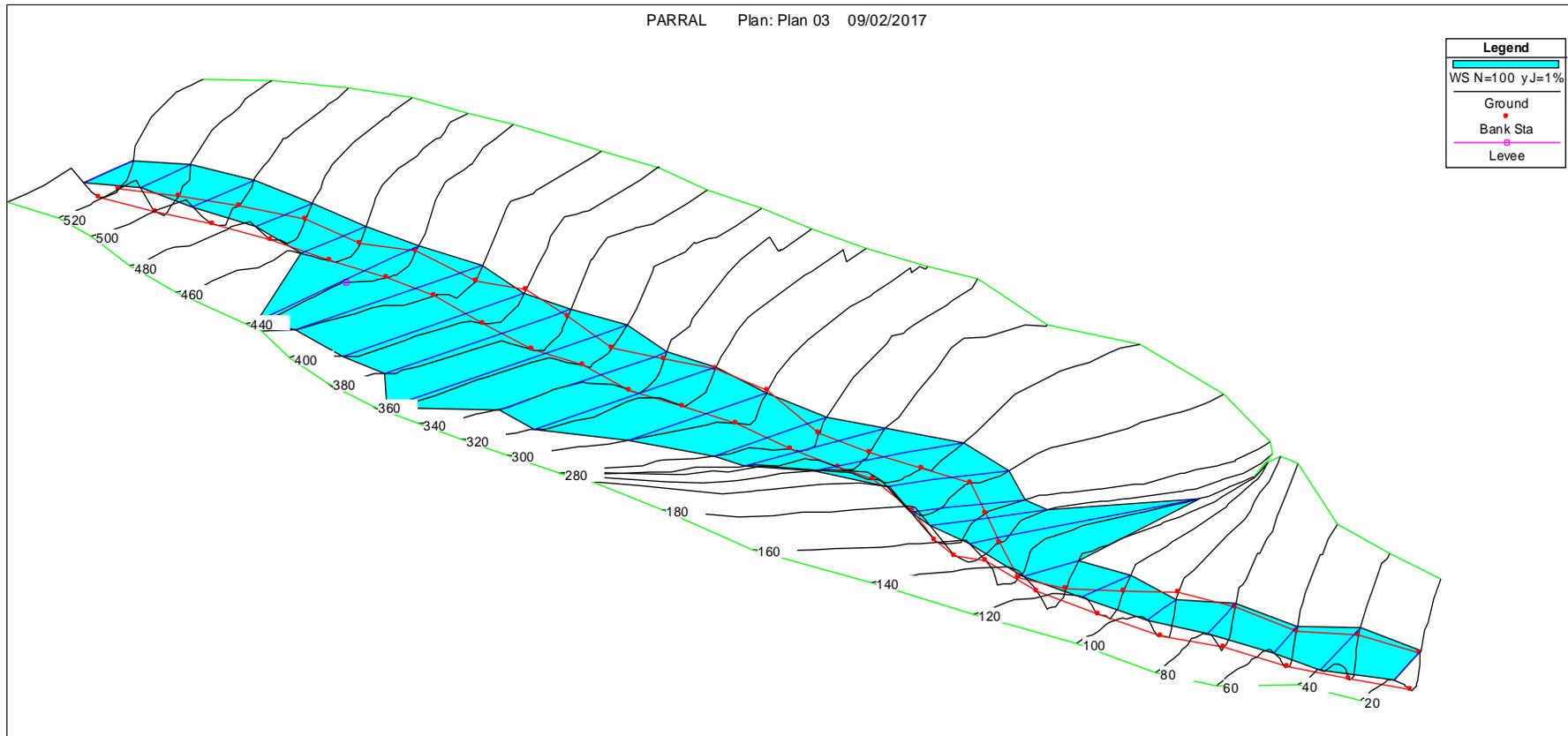
**Figura 11: Vista 3D de las secciones transversales del río Amojú, para la simulación de N=20 años y J=1% en el sector El Parral.**

En la figura 11, se observa la simulación con HEC-RAS del río Amojú, en cual se indican las zonas hasta donde alcanza la lámina de agua para el periodo consecutivo de N=20 años e incertidumbre de diseño J=1%.



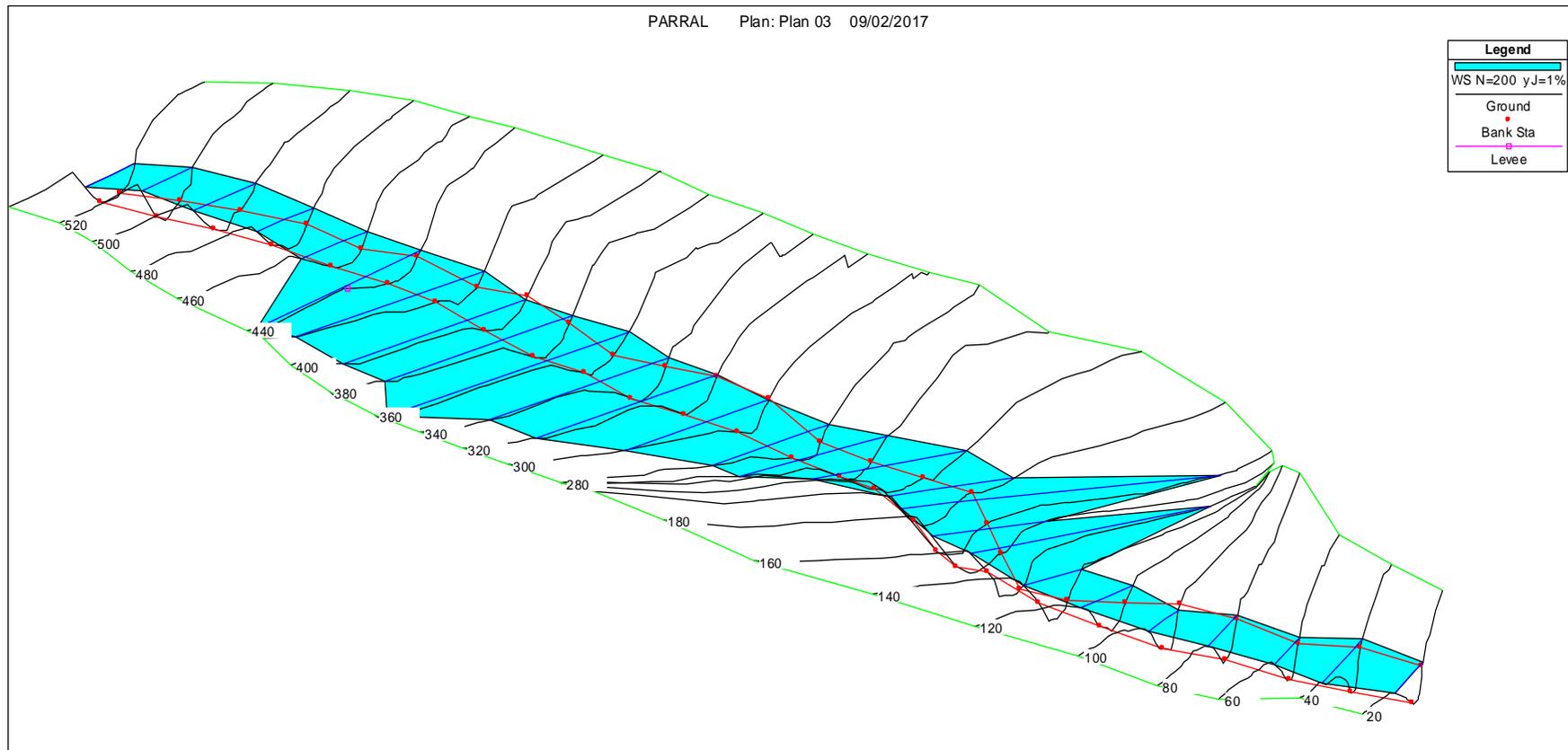
**Figura 12: Vista 3D de las secciones transversales del río Amojú, para la simulación de N=50 años y J=1% en el sector El Parral.**

En la Figura 12 se observa la simulación con HEC-RAS del río Amojú, en cual se indican las zonas hasta donde alcanza la lámina de agua para el periodo consecutivo de N=50 años e incertidumbre de diseño J=1%.



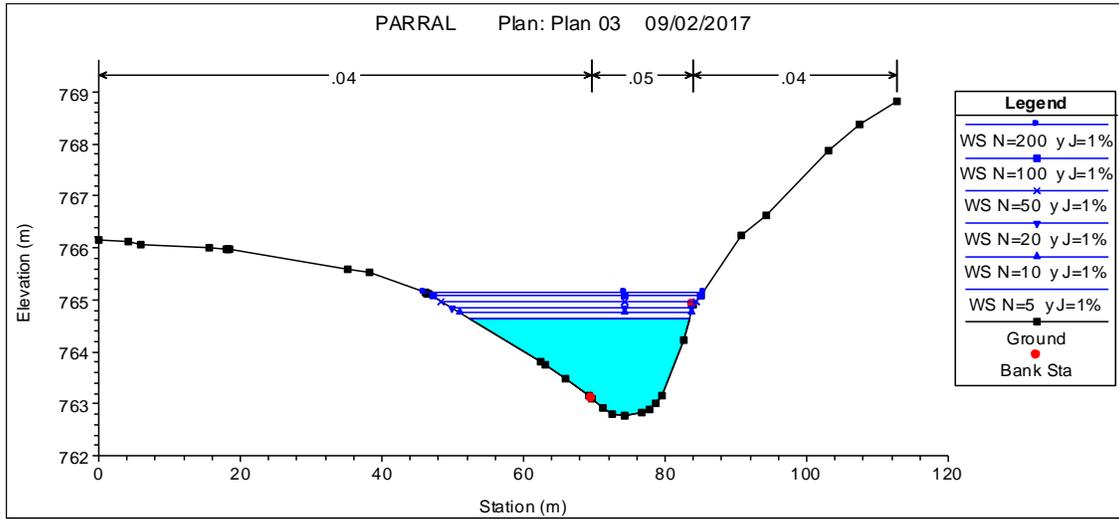
**Figura 13: Vista 3D de las secciones transversales del río Amojú, para la simulación de N=100 años y J=1% en el sector El Parral.**

En la Figura 13 se observa la simulación con HEC-RAS del río Amojú, en cual se indican las zonas hasta donde alcanza la lámina de agua para el periodo consecutivo de N=100 años e incertidumbre de diseño J=1%.

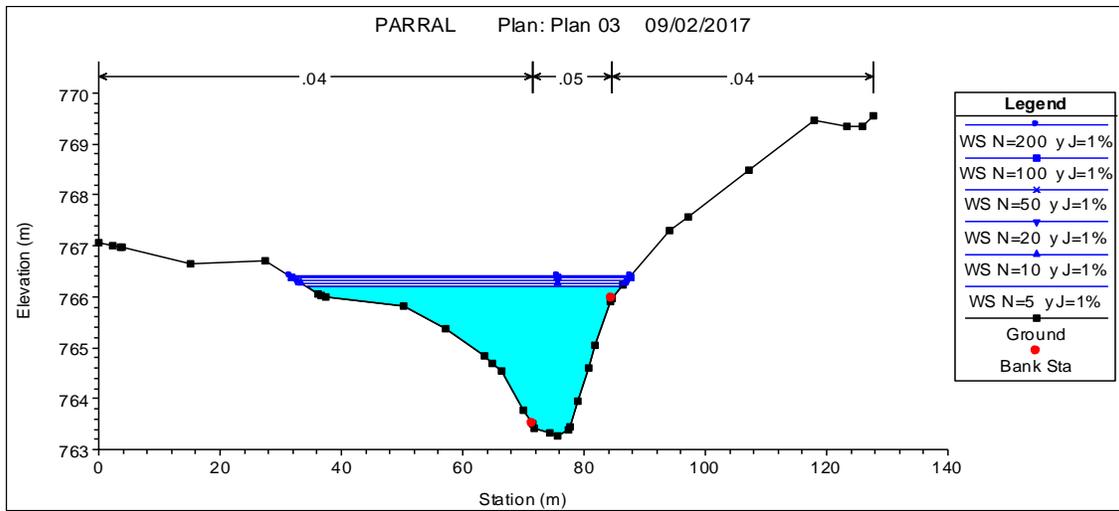


**Figura 14: Vista 3D de las secciones transversales del río Amojú, para la simulación de N=200 años y J=1% en el sector El Parral**

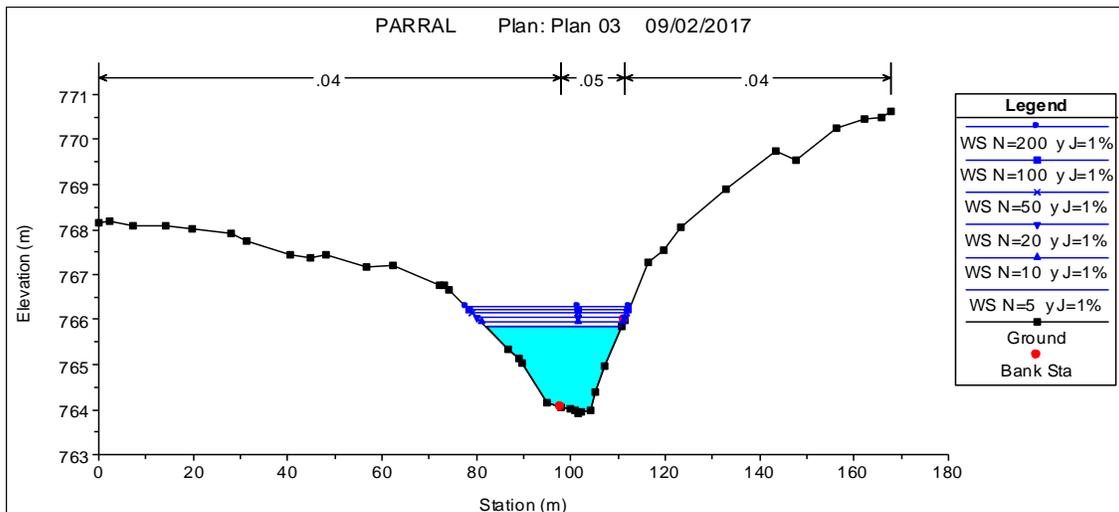
En la figura 14, se observa la simulación con HEC – RAS del río Amojú, en el cual se indican las zonas hasta donde alcanza la lámina de agua para el periodo consecutivo de N=200 años e incertidumbre de diseño J=1%.



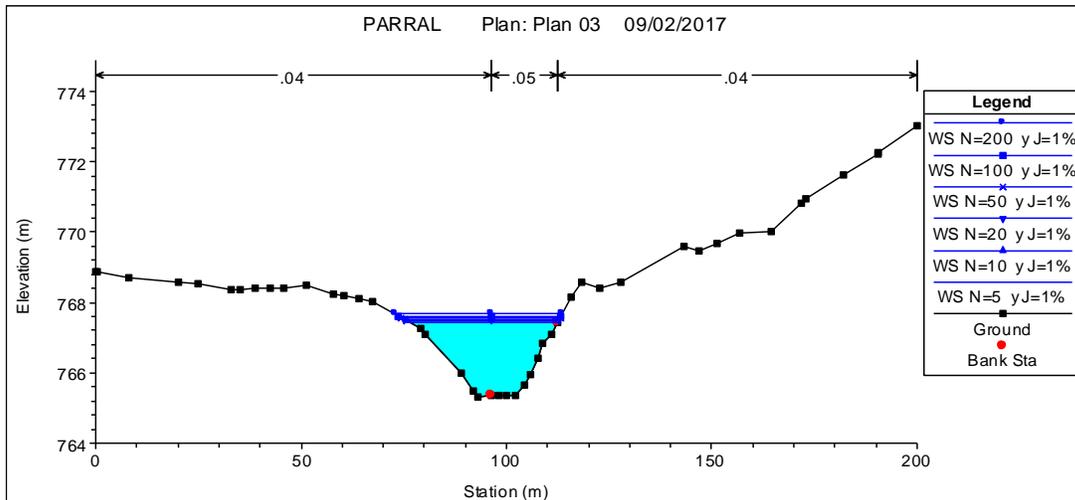
**Figura 15: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+020**



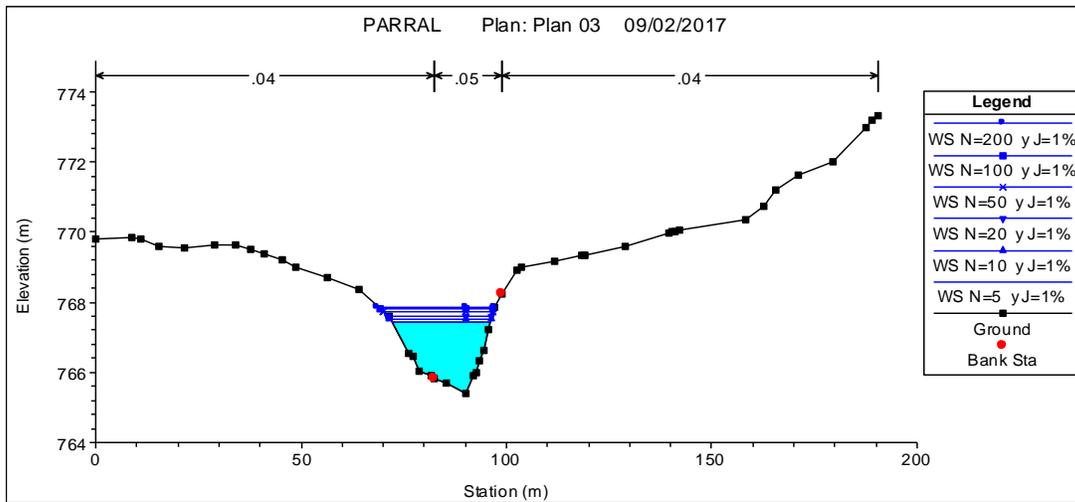
**Figura 16: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+040**



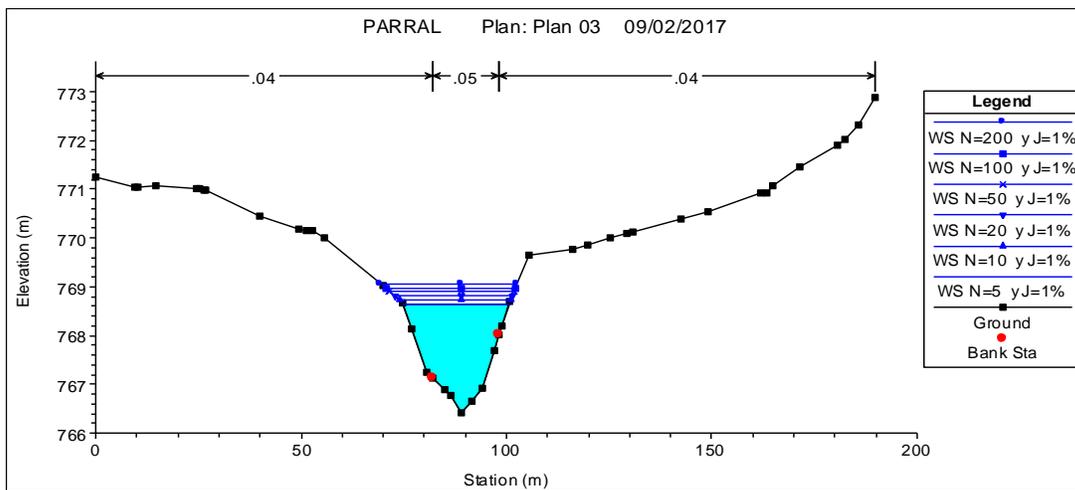
**Figura 17: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+060**



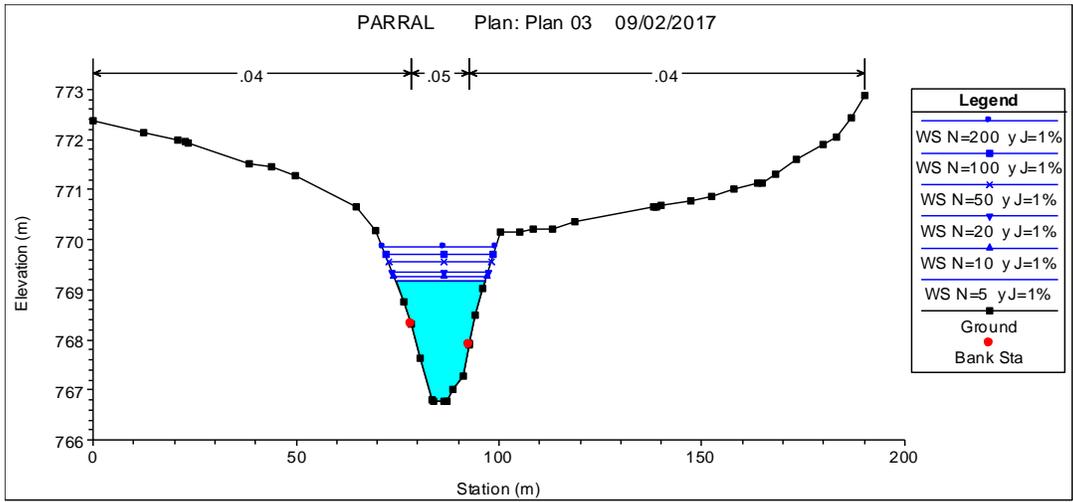
**Figura 18: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+080**



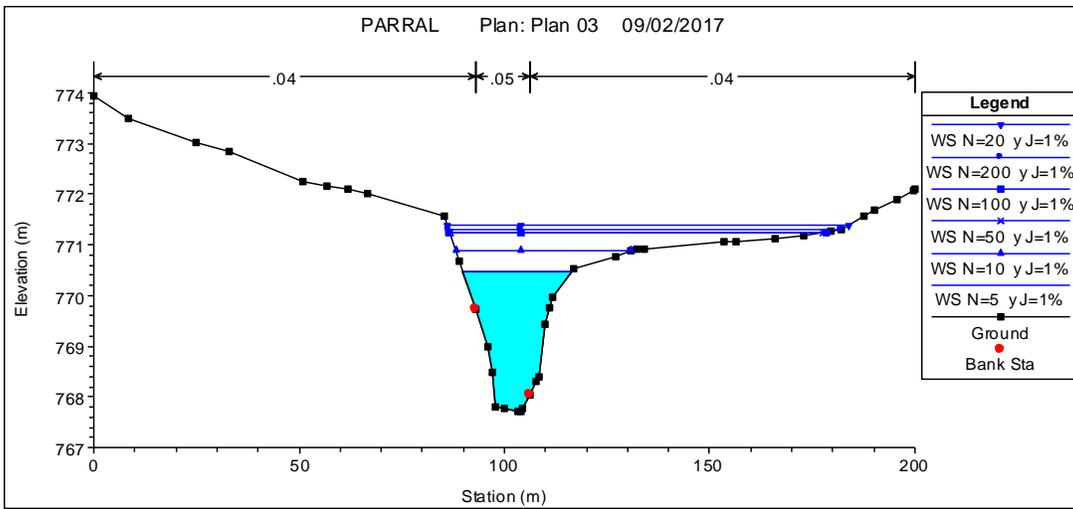
**Figura 19: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+100**



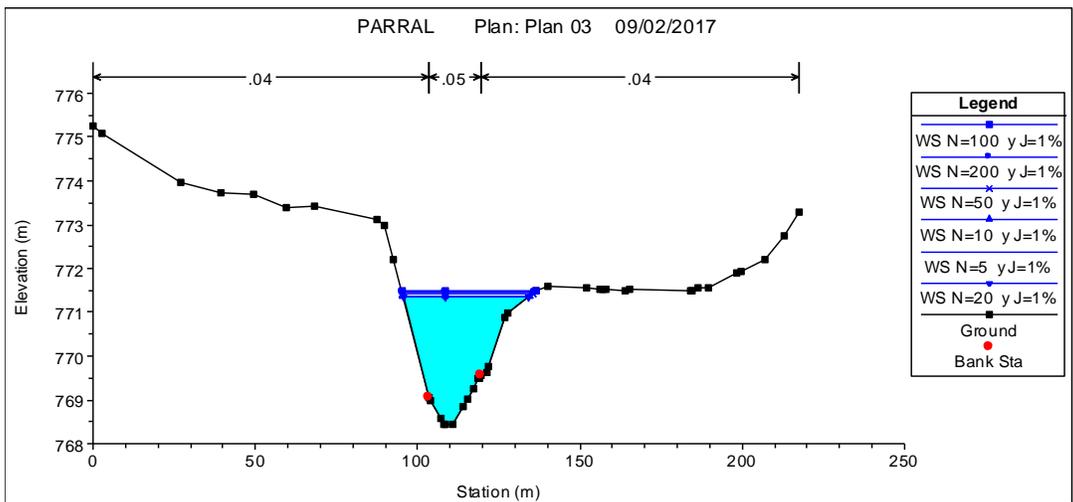
**Figura 20: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+120**



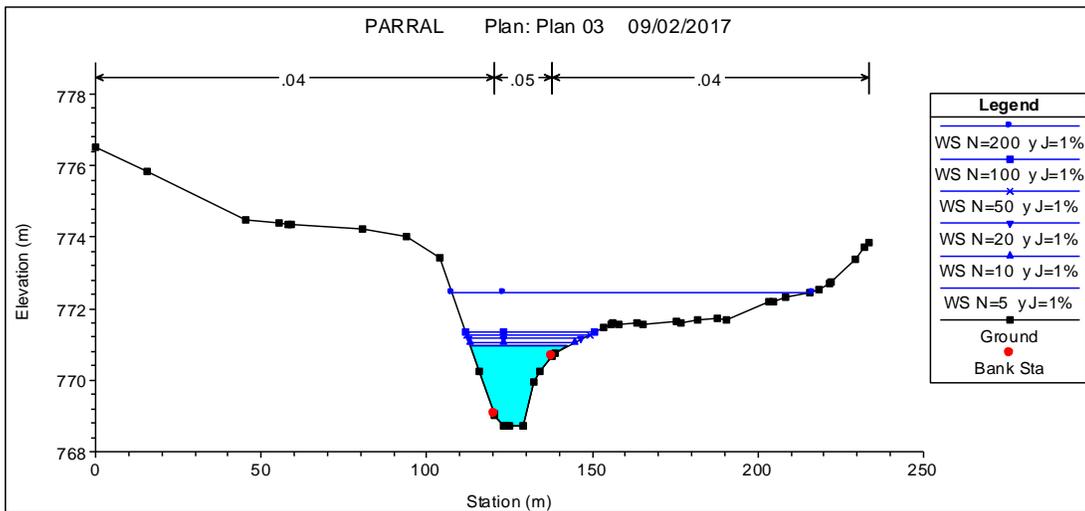
**Figura 21: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+140**



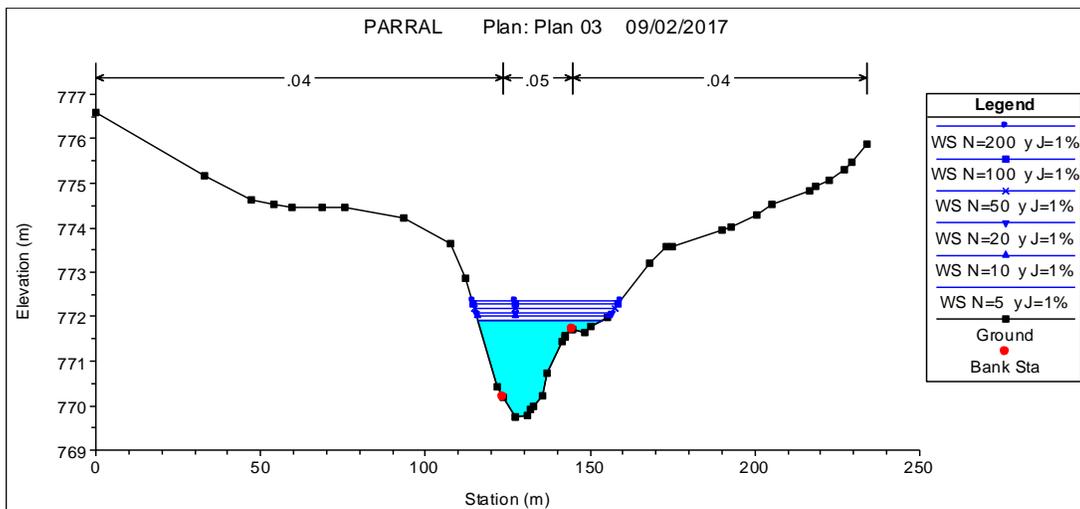
**Figura 22: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+160**



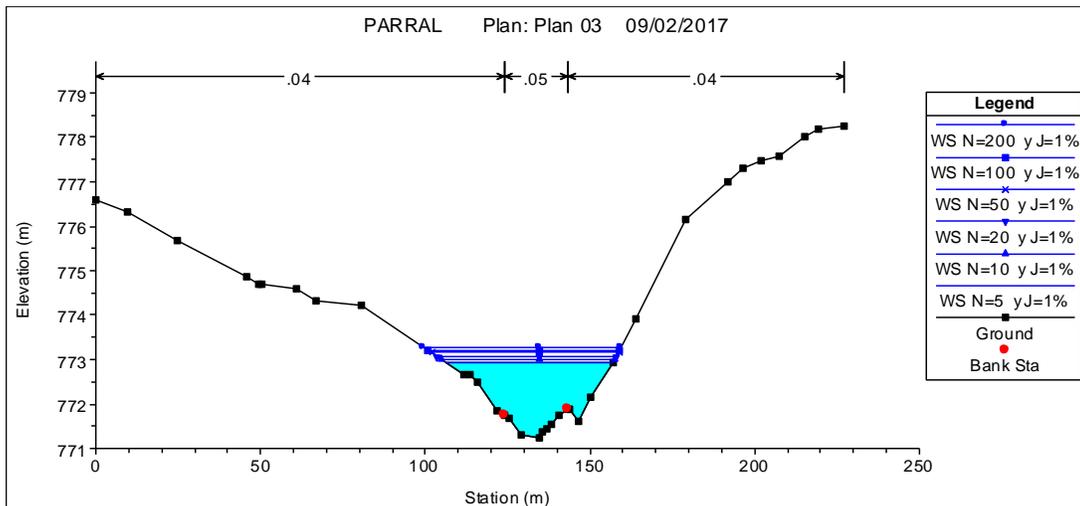
**Figura 23: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+180**



**Figura 24: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+200**



**Figura 25: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+220**



**Figura 26: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+240**

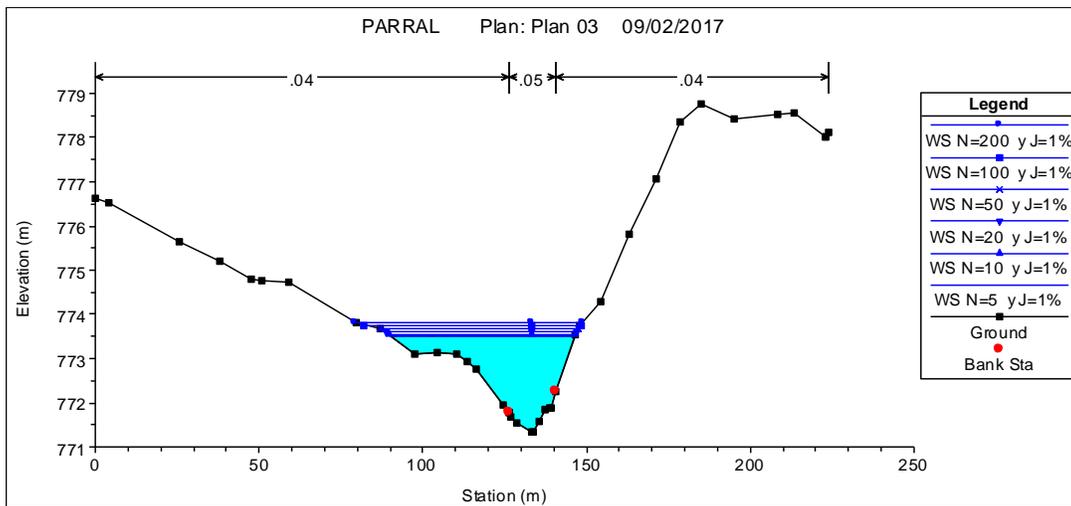


Figura 27: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+260

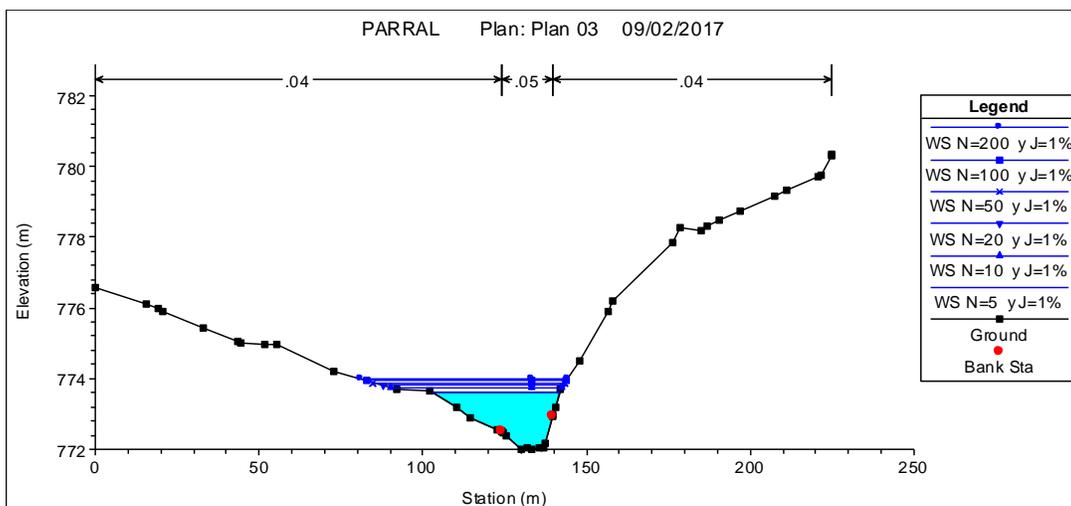


Figura 28: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+280

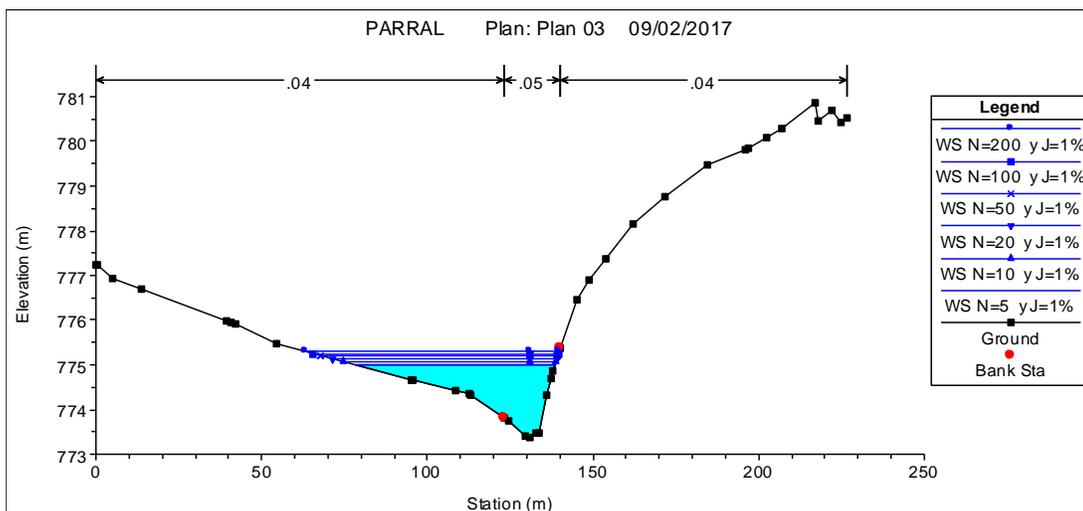
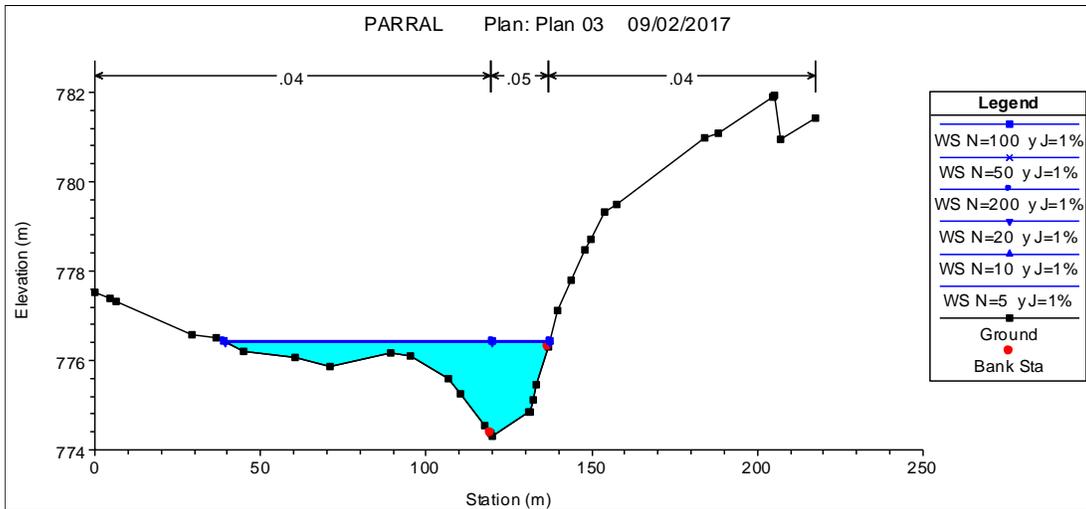
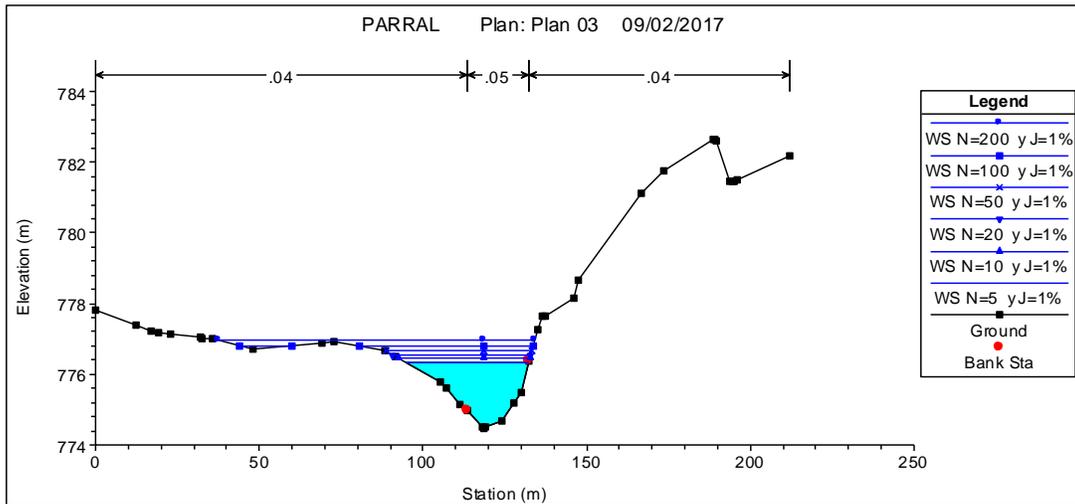


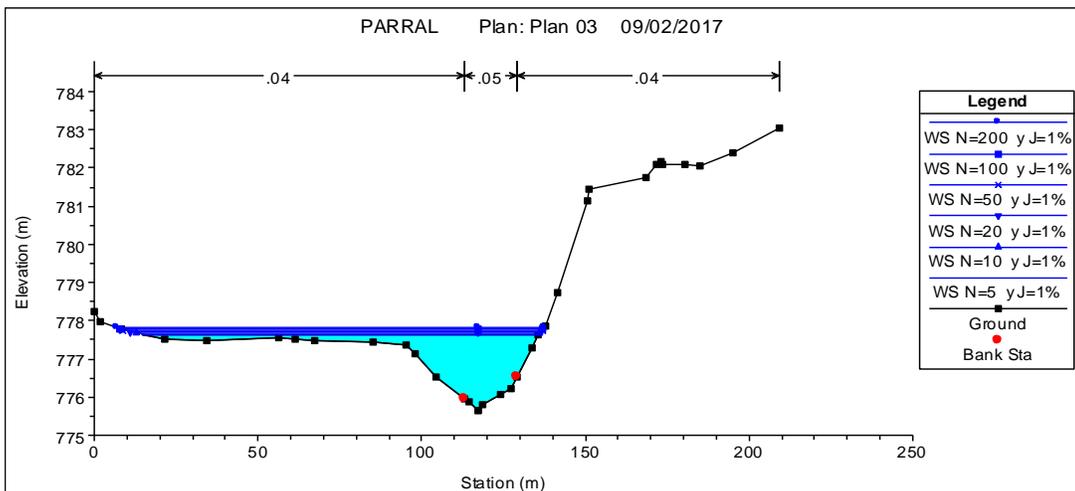
Figura 29: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+300



**Figura 30: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+320**



**Figura 31: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+340**



**Figura 32: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+360**

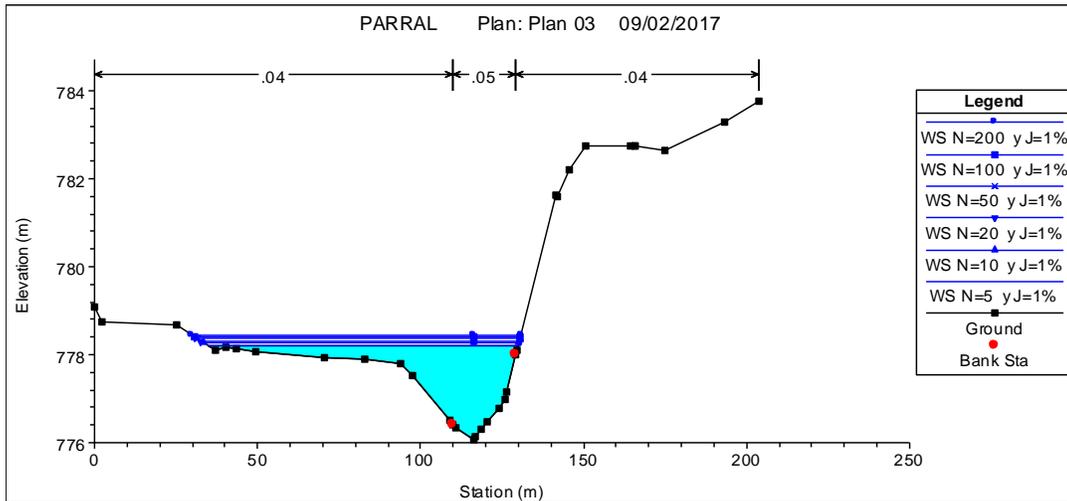


Figura 33: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+380

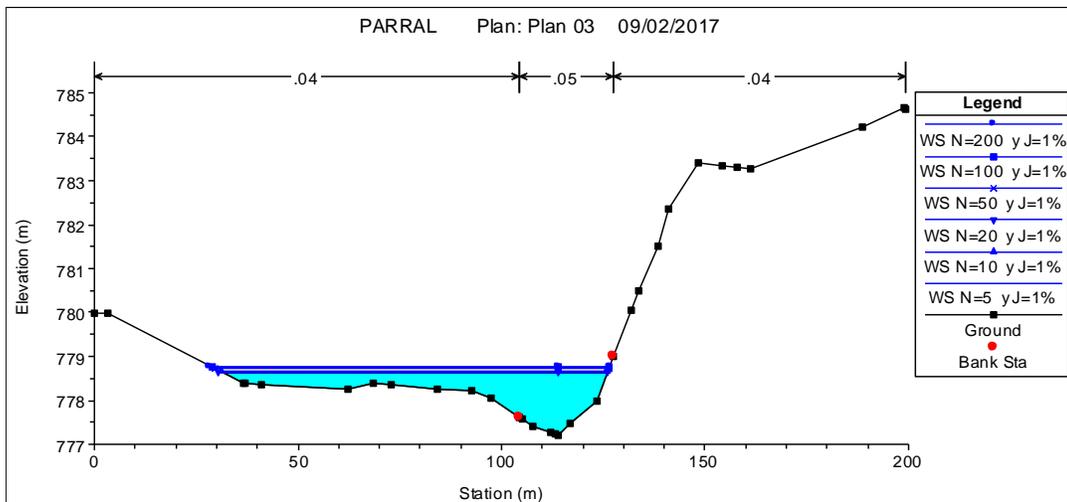


Figura 34: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+400

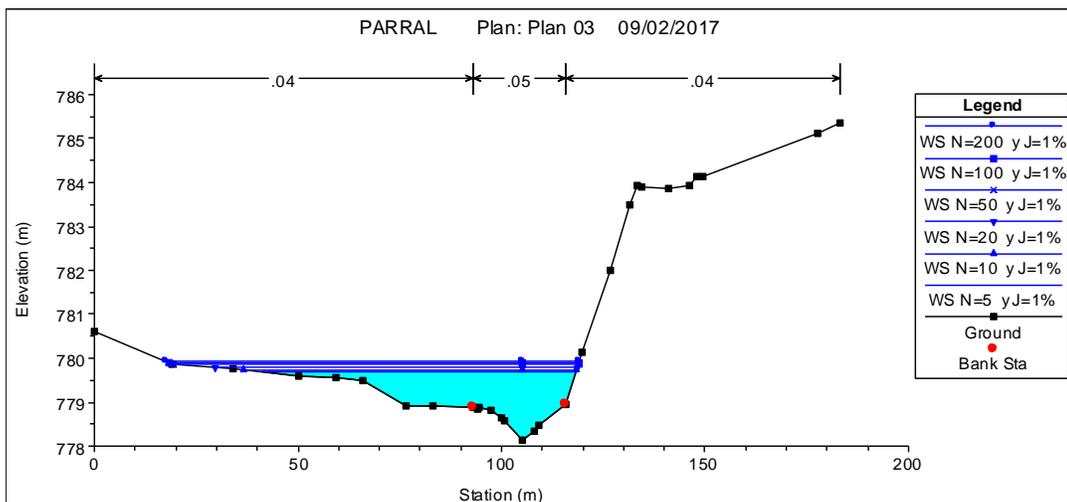


Figura 35: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+420

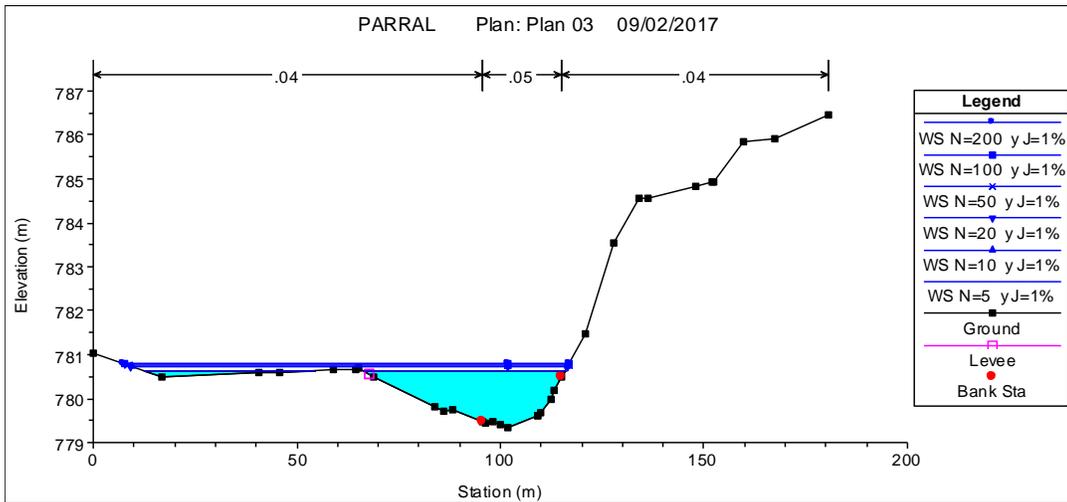


Figura 36: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+440

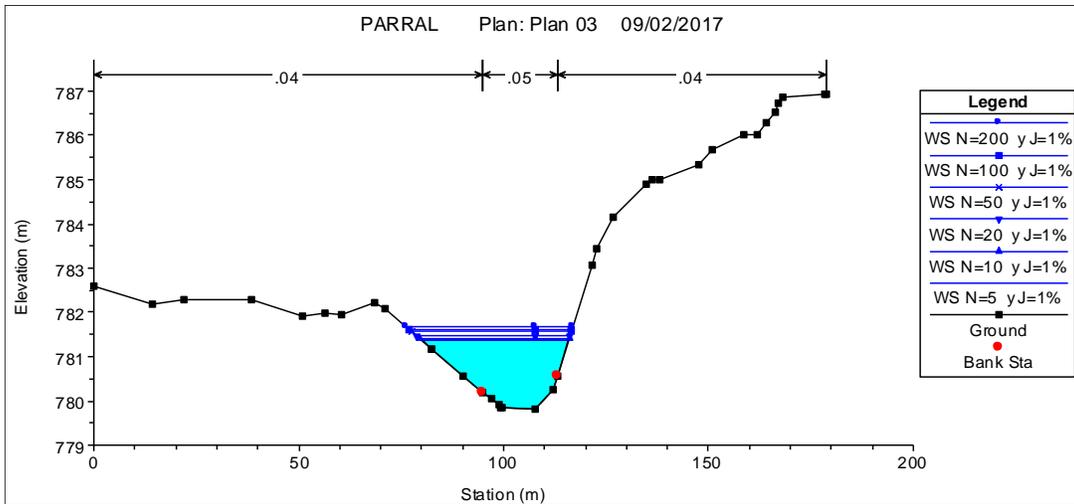


Figura 37: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+460

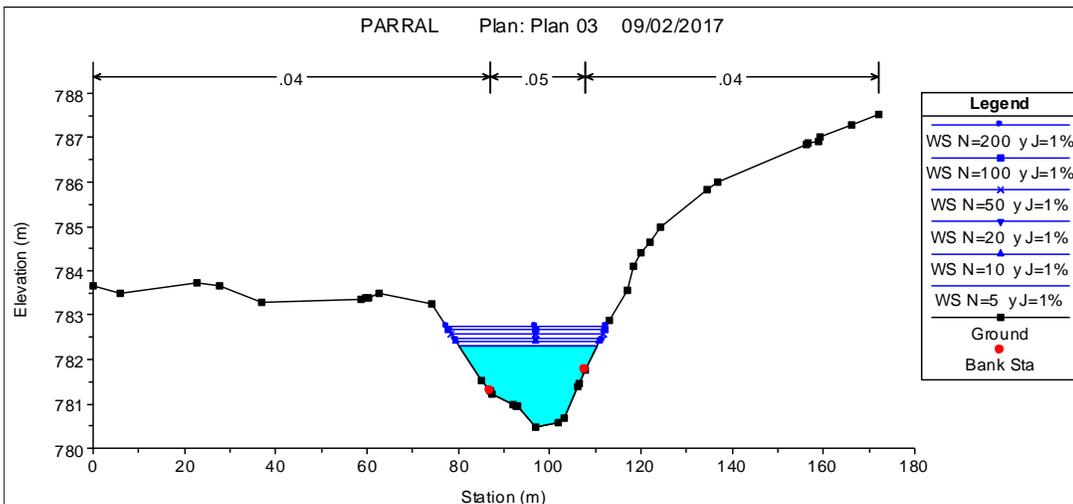
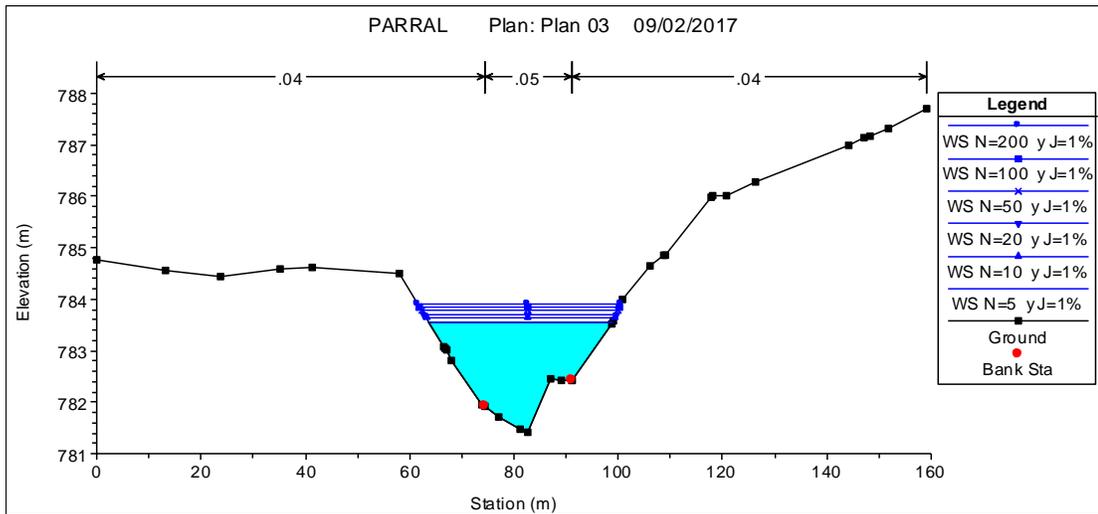
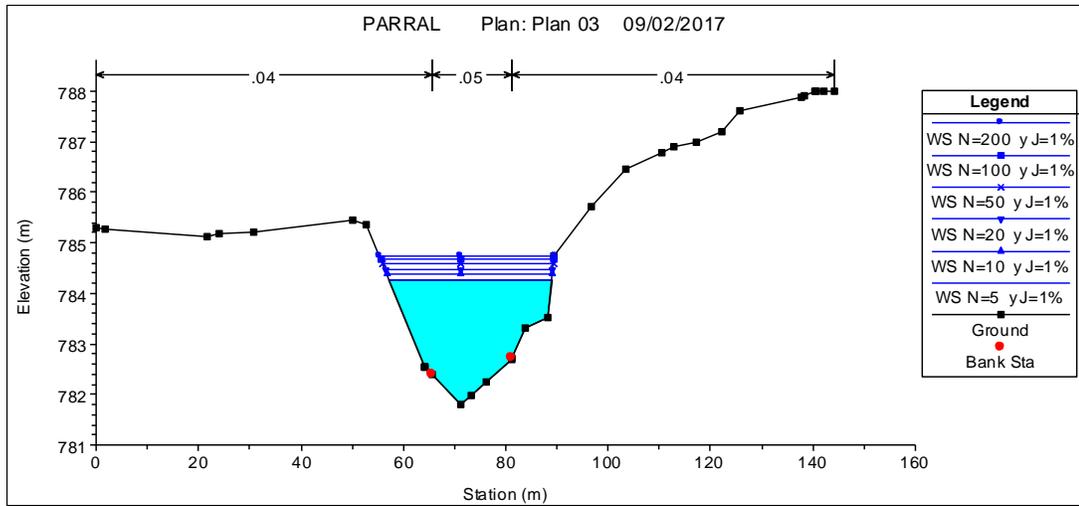


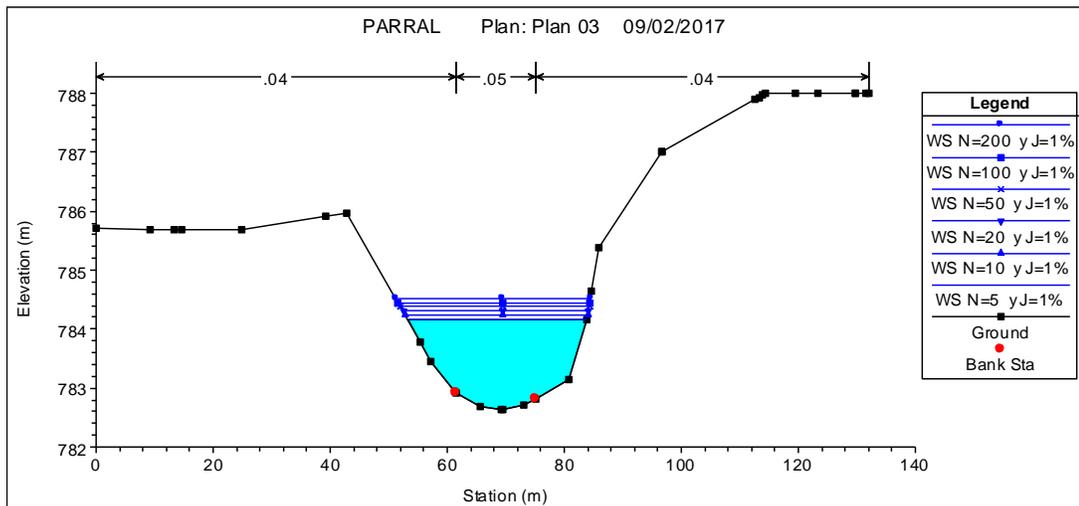
Figura 38: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+480



**Figura 39: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+500**



**Figura 40: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+520**



**Figura 41: Sección transversal del río Amojú en el sector El Parral progresiva 0+520**

## PRE - DISEÑO DEL MURO DE CONTENCIÓN

MURO PARA LA DEFENSA RIBEREÑA

**MÉTODO PLÁSTICO O POR ROTURA (ESFUERZOS PERMISIBLES PARA CARGAS FACTORIZADAS)**

**DATOS:**

1.- RELLENO

Talud de la Sección del Terreno	$\delta =$	0	
Ángulo de Fricción Interna del Material Sostenido	$\phi =$	35	
S/C. Sobre el Relleno	S/C =	0.70	Tn/m <sup>2</sup>
Peso Unitario del Relleno	W =	1.92	Tn/m <sup>3</sup>
Factor de Fricción con °C	f =	0.45	

2.- CONCRETO DEL MURO:

Peso Unitario del C° Ciclopeo	$\gamma_{C^{\circ}} =$	2.30	Tn/m <sup>3</sup>
Resistencia del Concreto	f'c =	175	Kg/cm <sup>2</sup>

3.- BARANDA DEL MURO:

Carga de la Baranda Sobre el Muro	Pb =	0.012	Tn/m
-----------------------------------	------	-------	------

4.- TERRENO DE FUNDACIÓN:

Resistencia del Terreno	$\sigma_t =$	1.87	Kg/cm <sup>2</sup>
-------------------------	--------------	------	--------------------

5.- AGUA DEL RIO:

Peso específico del agua	$\gamma_{a^{\circ}} =$	1.042	Tn/m <sup>3</sup>
--------------------------	------------------------	-------	-------------------

**SOLUCIÓN:**

**I.- PREDIMENSIONAMIENTO:**

DIMENSIONES

Altura del Muro de Contención	h =	5.40	m
Peralte de la Zapata	t =	0.70	m
Longitud de Punta	D =	0.70	m
Longitud de Talón	D1 =	0.70	m
Ancho de Zapata	B =	3.20	m
Ancho de Corona	a =	0.50	m
Ancho del Arranque	b =	1.80	m
Inclinación del Muro	S% =	27.70%	

RECOMENDACIONES

t = h/8 a h/6
D = h/8 a h/6
D1 = t/2 a t
B = 0.5 h a 0.7 h
a = h/12
b = B - D1 - D

**II.- ESTABILIDAD EXTERNA DEL MURO:**

1.- ESTABILIDAD AL VOLTEO: Caso más crítico sin agua y sin relleno pasivo.

Coeficiente de Empuje Activo (Ca):

$\delta = 0$  ; relleno horizontal

$$C = \frac{1 - \text{Sen } \phi}{1 + \text{Sen } \phi} = 0.27$$

$$h' = \frac{S/C}{W} = 0.36 \quad \text{m}$$

Empuje Activo (Ea):

$$E_a = \frac{cwh}{2}(h+2h') = 8.02 \text{ Tn}$$

h = 5.40 m

Empuje activo incrementado em 12 % por la fuerza horizontal que producen los sismos Eas:

$$E_{as} = E_a * 112\% = 8.98 \text{ Tn}$$

$$y = \frac{h}{3} \left( \frac{h+3h'}{h+2h'} \right) = 1.84 \text{ m}$$

Momento por Volteo (Mv)

$$M_v = E_{as} * y = 16.53 \text{ Tn - m}$$

Momento por Estabilizador (Me)

$$h_{s,r} = 0.2 \text{ m}$$

$$d_{i,m} = 0.06 \text{ m}$$

Fuerzas actuantes:

				Brazo Palanca		Momento		
P1	=	5.41	Tn	Y1	=	0.95	m	M1 = 5.13 Tn - m
P2	=	7.03	Tn	Y2	=	1.63	m	M2 = 11.48 Tn - m
P3	=	5.15	Tn	Y3	=	1.60	m	M3 = 8.24 Tn - m
P4	=	5.38	Tn	Y4	=	2.09	m	M4 = 11.21 Tn - m
P5	=	6.05	Tn	Y5	=	2.85	m	M5 = 17.24 Tn - m
S/C	=	5.41	Tn	Y	=	2.23	m	M6 = 3.03 Tn - m
Pb	=	5.41	Tn	Yb	=	0.95	m	Mb = 0.011 Tn - m
<b>ΣFv</b>		<b>30.38</b>	<b>Tn</b>					<b>Me 56.341 Tn - m</b>

Verificación del Volteo

$$\text{C.S.V.} = \text{Me/Mv} = 3.41 \geq 2 \rightarrow \text{ok}$$

2.- ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO: Caso más crítico sin agua y con empuje pasivo solo hasta la altura de la zapata, al empuje pasivo no le aumentamos el 12% por sismo porque contrarestaría el deslizamiento .

$$e_{pas} = \frac{1 + \text{Sen } \phi}{1 - \text{Sen } \phi} = 3.69$$

$$E_{pas} = \frac{e_{pas} \times W \times h_{pas}}{2} = 1.74 \quad \text{Tn}$$

Coefficiente de Seguridad al deslizamiento (C. S. D.):

$$\text{C.S.D} = \frac{(\Sigma f_v \times f) + E_{pas}}{E_{as}} = 1.73 \geq 1.5 \rightarrow \text{ok}$$

### 3.- PRESIONES SOBRE EL TERRENO DE FUNDACIÓN:

I.- Con agua y con relleno pasivo:

Fuerzas actuantes:

				Brazo Palanca		Momento	
P1	=	5.41	Tn	Y1 =	0.95	m	M1 = 5.13 Tn - m
P2	=	7.03	Tn	Y2 =	1.63	m	M2 = 11.48 Tn - m
P3	=	5.15	Tn	Y3 =	1.60	m	M3 = 8.24 Tn - m
P4	=	5.38	Tn	Y4 =	2.09	m	M4 = 11.21 Tn - m
P5	=	6.05	Tn	Y5 =	2.85	m	M5 = 17.24 Tn - m
S/C	=	1.36	Tn	Y =	2.23	m	M6 = 3.03 Tn - m
Pb	=	0.012	Tn	Yb =	0.95	m	Mb = 0.011 Tn - m
Pr.p	=	2.02	Tn	Yr.p =	0.35	m	Mr.p = 0.71 Tn - m
Pagua	=	1.48	Tn	Yagua =	0.35	m	Magua = 0.52 Tn - m
<b><math>\Sigma F_v</math></b>		<b>33.88</b>	<b>Tn</b>				<b>Me 57.57 Tn - m</b>

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{M_e - M_v}{\Sigma F_v} \right) = 0.39 \text{ m} \leq b/6 = 0.53 \text{ m} \rightarrow \text{ok}$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{0.01 \Sigma F_v}{B} + \frac{0.06 \Sigma F_v (e)}{B^2} = 1.83 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_t = 1.87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{0.01 \Sigma F_v}{B} - \frac{0.06 \Sigma F_v (e)}{B^2} = 0.29 \text{ Kg/cm}^2 \geq 0 \text{ Kg/cm}^2, \text{ ya no afecta el F.C. porque ya esta considerado el Eas (Empuje activo con sismo)}$$

II.- Sin agua y sin relleno pasivo:

Fuerzas actuantes:

P1	=	5.41	Tn
P2	=	7.03	Tn
P3	=	5.15	Tn
P4	=	5.38	Tn
P5	=	6.05	Tn
S/C	=	1.36	Tn
Pb	=	0.012	Tn
<b>ΣFv</b>		<b>30.88</b>	<b>Tn</b>

Brazo Palanca

Y1	=	0.95	m
Y2	=	1.63	m
Y3	=	1.60	m
Y4	=	2.09	m
Y5	=	2.85	m
Y	=	2.23	m
Yb	=	0.95	m

Momento

M1	=	5.13	Tn - m
M2	=	11.48	Tn - m
M3	=	8.24	Tn - m
M4	=	11.21	Tn - m
M5	=	17.24	Tn - m
M6	=	3.03	Tn - m
Mb	=	0.011	Tn - m
<b>Me</b>		<b>56.35</b>	<b>Tn - m</b>

$$e = \frac{B}{2} - \left( \frac{M_e - M_v}{\Sigma F_v} \right) = 0.29 \text{ m} \leq b/6 = 0.53 \text{ m} \rightarrow \text{ok}$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{0.01\Sigma F_v}{B} + \frac{0.06\Sigma F_v(e)}{B^2} = 1.46 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_t = 1.87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{0.01\Sigma F_v}{B} - \frac{0.06\Sigma F_v(e)}{B^2} = 0.43 \text{ Kg/cm}^2 \geq 0 \text{ Kg/cm}^2, \text{ ya no afecta el F.C. porque ya esta considerado el Eas (Empuje activo con sismo)}$$

De los pasos I y II, observamos que en cualquiera de los dos casos se cumple las presiones.

### III.- VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS INTERNOS:

#### 1.- VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN EL ARRANQUE DE LA PANTALLA: Caso más desfavorable sin agua y sin Ep.

##### a.- Chequeo por Flexión

$$h_p = h - t = 4.5 \text{ m}$$

$$c = \frac{1 - \text{Sen } \emptyset}{1 + \text{Sen } \emptyset} = 0.27 \text{ m}$$

$$h' = \frac{S/C}{W} = 0.36 \text{ m}$$

$$E_{a.p} = \frac{cwh_p}{2} (h_p + 2h') = 6.12 \text{ Tn}$$

Empuje activo incrementando por la fuerza horizontal que producen los sismos Eas:

$$E_{a.p} = E_a * 112\% = 6.88 \text{ Tn}$$

$$v = \frac{h_p}{2} \left( \frac{h_p + 3h'}{2} \right) = 1.6 \text{ m}$$

$$3 \cdot h_p + 2h'$$

$$M_{vp} = E_{aps} \cdot y = 11 \text{ Tn/m}$$

Fuerzas actuantes:

P1	=	5.41	Tn
P2	=	7.03	Tn
P4	=	5.38	Tn
S/C	=	0.87	Tn
Pb	=	0.012	Tn
<b>ΣFv</b>		<b>18.69</b>	<b>Tn</b>

Brazo Palanca

Y1	=	0.25	m
Y2	=	0.93	m
Y4	=	1.39	m
Y	=	1.18	m
Yb	=	0.25	m

Momento

M1	=	1.35	Tn - m
M2	=	6.56	Tn - m
M4	=	7.45	Tn - m
M6	=	1.03	Tn - m
Mb	=	0.0030	Tn - m
<b>Me</b>		<b>16.39</b>	<b>Tn - m</b>

Excentricidad

$$e = \frac{b}{2} - \left( \frac{M_e - M_{v.p}}{\Sigma F_v} \right) = 0.61 \text{ Tn}$$

Esfuerzo Factorizado

$$\sigma_U = \frac{0.01 \Sigma F_v (F.C)}{b} - \frac{0.06 \Sigma F_v (F.C) x(e)}{b^2} = 1.7 \leq F_c \leq 2.0 : F_c = 1.7$$

Compresión

$$\sigma_{U.C} = \frac{0.01 \Sigma F_v (F.C)}{b} + \frac{0.06 \Sigma F_v (F.C) x(e)}{b^2} = 5.37 \text{ Kg/cm}^2$$

$\sigma_{U.T} =$	5.37	Kg/cm <sup>2</sup>	≤	Ø x85xf'c=	104.13	Kg/cm <sup>2</sup>	Ø = 0.7
	5.37	Kg/cm <sup>2</sup>	≤		104.13	Kg/cm <sup>2</sup>	→ Ok

Tracción

$$\sigma_{U.T} = \frac{0.01 \Sigma F_v (F.C)}{b} - \frac{0.06 \Sigma F_v (F.C) x(e)}{b^2} = -1.84 \text{ Kg/cm}^2 \text{ Valor negativo entonces si existe tracción.}$$

$\sigma_{U.C} =$	1.84	Kg/cm <sup>2</sup>	≤	Ø x1.33√f'c =	11.44	Kg/cm <sup>2</sup>	Ø = 0.65
	1.84	Kg/cm <sup>2</sup>	≤		11.44	Kg/cm <sup>2</sup>	→ Ok

**b.- Chequeo por Corte (V)**

$$V = \Sigma FH = 6.86 \text{ Tn}$$

$$0.27 \text{ m}$$

**Corte Actuante (Vu):**

$$V_u = \frac{Vx F.C.}{100xb} = 0.65 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_u = 0.65 \text{ Kg/cm}^2 \leq \frac{\phi \times 0.53 \sqrt{f'c}}{0.65 \text{ Kg/cm}^2} = \frac{11.44 \text{ Kg/cm}^2}{5.96 \text{ Kg/cm}^2} \rightarrow \phi = 0.65 \text{ Ok}$$

**2.- VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN LA PUNTA DE LA ZAPATA:**

I.- Con agua y con relleno pasivo:

Esfuerzo factorizado en la base.

Esfuerzo factorizado en la base a compresión.

$$\sigma_{umax} = \frac{0.01 \Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06 \Sigma F_v(F.C)x(e)}{b^2} = 3.11 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo factorizado en la base a Tracción.

$$\sigma_{umin} = \frac{0.01 \Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06 \Sigma F_v(F.C)x(e)}{b^2} = 0.49 \text{ Kg/cm}^2$$

**a.- Chequeo por Corte (vu):**

$$vu = \frac{(\sigma_{u1} + \sigma_{umin})}{2} x D x 100 - wpp \dots \dots \dots (A)$$

Hallando 0

$$\frac{(\sigma_{u1} - \sigma_{umin})}{(\sigma_{umax} - \sigma_{umin})} = \frac{(B - D)}{B} \quad \text{Despejando } (\sigma_{u1}) \text{ y reemplazando valores tenemos:}$$

$$(\sigma_{u1}) = 2.54 \text{ Kg/cm}^2$$

Luego reemplazando en (A) tenemos:

$$vu = 15145.54 \text{ Kg} \quad \text{como se lo requiere en Kg/cm}^2 \text{ tenemos:}$$

$$V_u = \frac{vu}{100 \times t} = 2.16 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V_u = 2.16 \text{ Kg/cm}^2 \leq \frac{\phi \times 0.53 \times \sqrt{f'c}}{2.16 \text{ Kg/cm}^2} = \frac{5.96 \text{ Kg/cm}^2}{5.96 \text{ Kg/cm}^2} \rightarrow \phi = 0.85 \text{ Ok}$$

**b.- Chequeo por Flexión:**

El momento último sera:

$$M_u = \left[ \frac{(\sigma_{u1} + \sigma_{m\acute{a}x})}{2} * \frac{(D^2)}{2} * 100 - (P_{r.p} + P_{agua}) * \frac{D}{2} \right] = 569539.05 \quad \text{Kg-cm}^2$$

$$\sigma_u = \frac{0.06xM_u}{t^2} = 6.97 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_u = \begin{matrix} 6.97 & \text{Kg/cm}^2 & \leq & \emptyset \times 1.33x \sqrt{f'c} = & 11.44 & \text{Kg/cm}^2 & \emptyset = 0.65 \\ 6.97 & \text{Kg/cm}^2 & \leq & & 11.44 & \text{Kg/cm}^2 & \rightarrow \text{Ok} \end{matrix}$$

II.- Sin agua y sin relleno pasivo:

Esfuerzo factorizado en la base.

Esfuerzo factorizado en la base a compresi3n.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{0.01\Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06\Sigma F_v(F.C)x(e)}{b^2} = 2.49 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Esfuerzo factorizado en la base a Tracci3n.

$$\sigma_{min} = \frac{0.01\Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06\Sigma F_v(F.C)x(e)}{b^2} = 0.74 \quad \text{Kg/cm}^2$$

**a.- Chequeo por Corte (vu):**

$$v_u = \frac{(\sigma_{u1} + \sigma_{umin})}{2} x D x 100 - w_{pp} \dots \dots \dots (A)$$

Hallando  $(\sigma_{u1})$

$$\frac{(\sigma_{u1} - \sigma_{umin})}{(\sigma_{um\acute{a}x} - \sigma_{umin})} = \frac{(B - D)}{B} \quad \text{Despejando } (\sigma_{u1}) \text{ y reemplazando valores tenemos:}$$

$$(\sigma_{u1}) = 2.11 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Luego reemplazando en (A) tenemos:

$$v_u = 14960.92 \quad \text{Kg} \quad \text{como se lo requiere en Kg/cm}^2 \text{ tenemos:}$$

$$V_u = \frac{v_u}{100 * t} = 2.14 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$V_u = \begin{matrix} 2.14 & \text{Kg/cm}^2 & \leq & \emptyset \times 0.53x \sqrt{f'c} = & 5.96 & \text{Kg/cm}^2 & \emptyset = 0.85 \\ 2.14 & \text{Kg/cm}^2 & \leq & & 5.96 & \text{Kg/cm}^2 & \rightarrow \text{Ok} \end{matrix}$$

**b.- Chequeo por Flexión:**

El momento último sera:

$$M_u = \left[ \frac{(\sigma_{u1} + \sigma_{m\acute{a}x})}{2} * \frac{(D^2)}{2} * 100 \right] = 56307.37 \quad \text{Kg-cm}^2$$

$$\sigma_u = \frac{0.06xM_u}{t^2} = 6.89 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_u = \begin{matrix} 6.89 & \text{Kg/cm}^2 & \leq & \emptyset \times 1.33x \sqrt{f'c} = & 11.44 & \text{Kg/cm}^2 & \emptyset = 0.65 \\ 6.89 & \text{Kg/cm}^2 & \leq & & 11.44 & \text{Kg/cm}^2 & \rightarrow \text{Ok} \end{matrix}$$

De los pasos I y II, observamos que en cualquiera de los dos casos se cumple los esfuerzos admisibles del concreto, y observamos que con agua y con relleno pasivo se presentan mayores esfuerzos en el concreto.

**3.- VERIFICACIÓN DE ESFUERZOS EN EL TALÓN DE LA ZAPATA:**

I.- Con agua y con relleno pasivo:

Esfuerzo factorizado en la base.

Esfuerzo factorizado en la base a compresión.

$$\therefore m\acute{a}x = \frac{0.01\Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06\Sigma F_v(F.C)x(e)}{b^2} = 3.11 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Esfuerzo factorizado en la base a Tracción.

$$\therefore min = \frac{0.01\Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06\Sigma F_v(F.C)x(e)}{b^2} = 0.49 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Carga Uniformemente distribuida (W1):

$$W_1 = \frac{wpt+w(h-t)+S/C}{D_1 \times 100} = 1.04 \quad \text{Kg/cm}^2$$

Hallando

$$\frac{(\sigma_{um\acute{a}x} - \sigma_{umin})}{(\sigma_{u2} - \sigma_{umin})} = \frac{B}{D_1}$$

Despejando  $(\sigma_{u2})$  y reemplazando valores tenemos:

$$(\sigma_{u2}) = 1.06 \quad \text{Kg/cm}^2$$

**a.- Chequeo por Corte :**

$$\downarrow v_u = w_1 \times D_1 \times 100 = 7261.8 \quad \text{Kg}$$

$$\uparrow v_u = \left( \frac{\sigma_{u2} + \sigma_{umin}}{2} \right) D_1 \times 100 = 5427.89 \quad \text{Kg}$$

Total  $v_u = 1833.91 \quad \text{Kg}$  como se lo requiere en Kg/cm2 tenemos:

$$V_u = \frac{v_u}{100 \times t} = 0.26 \quad \text{Kg/cm2}$$

$$V_u = 0.26 \quad \text{Kg/cm2} \leq \emptyset \times 0.53 \times \sqrt{f'c} = 5.96 \quad \text{Kg/cm2} \quad \emptyset = 0.85$$

$$2.16 \quad \text{Kg/cm2} \leq 5.96 \quad \text{Kg/cm2} \rightarrow \text{Ok}$$

**b.- Chequeo por Flexión:**

El momento último sera:

$$\downarrow M_u = \left[ \frac{W_1 \times D_1^2}{2} \times 100 \right] = 254163.00 \quad \text{Kg-cm}$$

$$\uparrow M_u = \left[ \frac{(\sigma_{u2} + \sigma_{umin}^2)}{2} \times \frac{D_1^2}{2} \times 100 \right] = 189976.26 \quad \text{Kg-cm}$$

Momento de diseño será:

$$M_u = 64186.74 \quad \text{Kg-cm}$$

$$\sigma_u = \frac{0.06 \times M_u}{t^2} = 0.79 \quad \text{Kg/cm2}$$

$$\sigma_u = 0.79 \quad \text{Kg/cm2} \leq \emptyset \times 1.33 \times \sqrt{f'c} = 11.44 \quad \text{Kg/cm2} \quad \emptyset = 0.65$$

$$0.79 \quad \text{Kg/cm2} \leq 11.44 \quad \text{Kg/cm2} \rightarrow \text{Ok}$$

II.- Sin agua y sin relleno pasivo:

Esfuerzo factorizado en la base.

Esfuerzo factorizado en la base a compresión.

$$\sigma_{u.m\acute{a}x} = \frac{0.01 \Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06 \Sigma F_v(F.C) \times (e)}{b^2} = 2.49 \quad \text{Kg/cm2}$$

Esfuerzo factorizado en la base a Tracción.

$$\sigma_{u.min} = \frac{0.01 \Sigma F_v(F.C)}{b} + \frac{0.06 \Sigma F_v(F.C) \times (e)}{b^2} = 0.74 \quad \text{Kg/cm2}$$

Carga uniformemente distribuida (W1):

$$W_1 = \frac{wpt + w(h-t) + S/C}{D_1 \times 100} = 1.04 \quad \text{Kg/cm2}$$

Hallando

$$\frac{(\sigma_{um\acute{a}x} - \sigma_{umin})}{\sigma_{um\acute{a}x} - \sigma_{umin}} = \frac{B}{\sigma_{um\acute{a}x} - \sigma_{umin}}$$

Despejando  $(\sigma_{u2})$  y reemplazando valores tenemos:

$$(\sigma_{u2} - \sigma_{umin}) \cdot D_1$$

$$(\sigma_{u2}) = 1.12 \quad \text{Kg/cm}^2$$

**a.- Chequeo por Corte (vu):**

$$\downarrow vu = w_1 x D_1 x 100 = 7261.8 \quad \text{Kg}$$

$$\uparrow vu = \left( \frac{\sigma_{u2} + \sigma_{umin}}{2} \right) D_1 x 100 = 6508.54 \quad \text{Kg}$$

$$\text{Total } vu = 753.26 \quad \text{Kg}$$

$$V_u = \frac{vu}{100 \cdot t} = 0.11 \quad \text{Kg/cm}^2$$

como se lo requiere en Kg/cm2 tenemos:

$$V_u = 0.11 \quad \text{Kg/cm}^2 \leq \quad \emptyset \times 0.53 x \sqrt{f'c} = 5.96 \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \emptyset = 0.85$$

$$0.11 \quad \text{Kg/cm}^2 \leq \quad 5.96 \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

**b.- Chequeo por Flexión:**

El momento último sera:

$$\downarrow M_u = \left[ \frac{W_1 \cdot D_1^2}{2} * 100 \right] = 254163.00 \quad \text{Kg-cm}$$

$$\uparrow M_u = \left[ \frac{(\sigma_{u2} + \sigma_{umin}^2)}{2} * \frac{D_1^2}{2} x 100 \right] = 227798.81 \quad \text{Kg-cm}$$

Momento de diseño será:

$$M_u = 26364.19 \quad \text{Kg-cm}$$

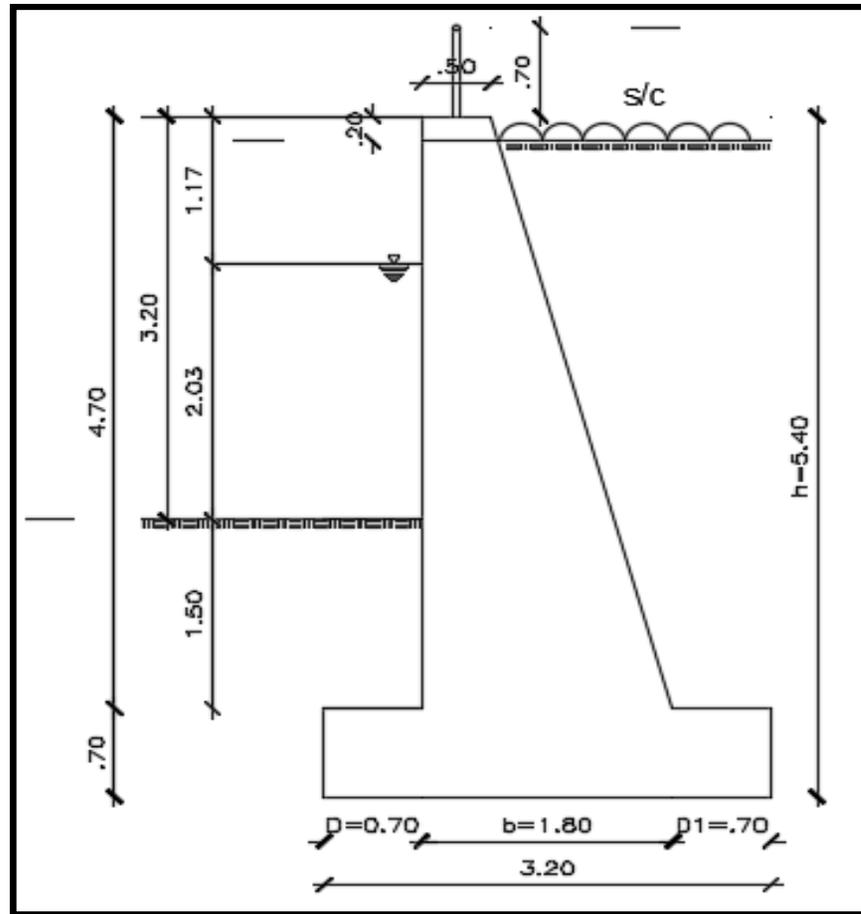
$$\sigma_u = \frac{0.06 x M_u}{t^2} = 0.32 \quad \text{Kg/cm}^2$$

$$\sigma_u = 0.32 \quad \text{Kg/cm}^2 \leq \quad \emptyset \times 1.33 x \sqrt{f'c} = 11.44 \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \emptyset = 0.65$$

$$0.32 \quad \text{Kg/cm}^2 \leq \quad 11.44 \quad \text{Kg/cm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

De los pasos I y II, observamos que en cualquiera de los dos casos se cumple los esfuerzos admisibles del concreto, y observamos que con agua y con relleno pasivo se presentan mayores esfuerzos en el concreto.

IONES DE PRE - DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN



MURO PARA EL RÍO AMOJÚ

Este muro debe construirse para proteger a las riberas del Sector el Parral - Jaén se recomienda utilizar el diseño del presente proyecto de investigación.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El sector el parral presentó un nivel riesgo muy alto ante el peligro de inundación con un porcentaje de 79.2 %, debido a una vulnerabilidad muy alta de la población y la gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo que están afectados, el porcentaje de riesgo calculado ante el peligro de inundación es 79.2 % , con una población de 105 personas y 21 viviendas en el sector el parral, estas estimaciones representan a 83 personas afectadas y 17 viviendas destruidas cuyo costo asciende a S/. 784 998.49 nuevos soles.
- Para N= 200 años con incertidumbre (J=1%), con un caudal (Q=275.73 m<sup>3</sup>/s), nos da como resultado una zona de inundación de 33 468.51 m<sup>2</sup> y El Pre – diseño de la defensa ribereña es un muro de contención de concreto ciclópeo, con una altura de 5.40 m y un ancho de zapata de 3.20 m y con una longitud de 4 m.
- Para el modelamiento hidrológico se seleccionaron dos modelos de variables extremas, Gumbel y Log Normal 3 parámetros. Se planteó la hipótesis con niveles de confianza no menores del 95% esto es, con niveles de significaciones no mayores al 5%. Debido a que la muestra es pequeña con tan solo 28 años de información, por lo que la prueba de bondad de ajuste que se utilizó es la de Smirnov - Kolmogorov, con un valor de probabilidad crítica  $\Delta_0 = 0.2499$ , el cual fue mayor a las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas pertenecientes al modelo Gumbel,  $0.2010 < \Delta_0$ ,  $0.2325 < \Delta_0$  ,  $0.1573 < \Delta_0$  de las intensidades máximas de tormentas de duración hasta 480 min, 120 min y 30 min respectivamente. Lo que nos conduce a afirmar que se trata de una prueba altamente no significativa para el caso de intensidades con duración hasta 30 min, y no significativa para duraciones de 480 min y 120 min por tanto el modelo Gumbel describe las características de la muestra con precisión, en consecuencia se trata de un buen ajuste.
- Se determinó una zona de inundación de 33 468.51 m<sup>2</sup>el área.
- El Pre – diseño de la defensa ribereña es un muro de contención de concreto ciclópeo, con una altura de 5.40 m y un ancho de zapata de 3.20 m y con una longitud de 4 m, la cual garantiza la seguridad de los pobladores de la localidad.

## 5.2.RECOMENDACIONES

- Utilizar una cartografía digitalizada y tormentas de precipitación de alta resolución digital.
- Realizar estudios de modelación hidrológica e hidráulica en otras cuencas nacionales e internacionales, que permitan comparaciones y contribuyan al mejoramiento de la metodología aplicada en este trabajo de investigación.
- El porcentaje de riesgo calculado ante el peligro de inundación es 79.2 % y con una población de 105 personas y 21 viviendas en el sector el parral, estas estimaciones representan a 83 personas afectadas y 17 viviendas destruidas cuyo costo asciende a S/. 784 998.49 nuevos soles
- Para todo diseño de estructuras hidráulicas se debe considerar como primer paso una determinada **incertidumbre (J %)**, en un número de años (N) para luego obtener el evento con el que se diseñara. Más no seleccionar el evento máximo de una serie histórica registrada con el que acostumbran diseñar.
- Seleccionar la variable de diseño con la incertidumbre que sea apropiada a la importancia de la estructura en cuanto a limitar pérdidas económicas, materiales y humanas, mientras más importante sea la estructura menor será la incertidumbre. A menor incertidumbre mayor será el evento, conllevando a sobreproteger la estructura conduciendo a diseños antieconómicos.
- Para lograr una mayor exactitud de la información se debe tratar de realizar los estudios de mecánica de suelos a una mayor profundidad según lo requiera la investigación.
- Esperamos que este trabajo de investigación, sirva de guía para realizar nuevas investigaciones en los diferentes campos de acción que involucra a la fascinante carrera de ingeniería civil, contribuyendo así al desarrollo y beneficio de la sociedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aparicio F.J., editorial Limusa S.A de C.V. (1987).Fundamentos de Hidrología de superficie. pág. 134.303p.
2. Bolinaga J. Juan (1979). Drenaje Urbano. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Instituto Nacional de Obras Sanitarias. Caracas – República de Venezuela.
3. CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención Y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED, 2013). Manual de Conocimientos Básicos para Comité de Defensa Civil y Oficinas de Defensa Civil. Versión 5.Lima, Pe. P 146.
4. Chereque, W. (1989). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. 2da. Edición. PUCP. PP 223.
5. Fattorelli, S; Fernández, P. (2011). Diseño Hidrológico. Padova, Mendoza. Italia, Argentina. Pag.172. 531p.
6. Henaos, J. E. (1988). Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogotá: 396 p.
7. Ibañez, S.; Moreno H. & Gisbert J., (2009). Morfología de las Cuencas Hidrográfica.
8. Formas de una Cuenca de Drenaje. Análisis de las Formas Morfométricas que nos las definen – Monserrat Jardí 1985.
9. López Cadenas de Llano, F. & Mintegui Aguirre, J. A., (1987). *Hidrología de superficie*. Editorial Salazar. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid: 22p.
10. Nanía, LS; Molero, E. 2007, “Manual Básico de HEC – RAS 3.1.3 Y HEC – GeoRAS 3.1.1 – Modelación de ríos con HEC – RAS y SIG”. Editorial digital. Universidad de Granada, España.
11. Neermal, M. (2012). The use of gabions in hydraulic applications. Civil Engineering (10212000), 20(5), 37-39.
12. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (2008).Ministerio de Transportes y comunicaciones.Peru.pag.18.202p.
13. Máximo, V.B 2005.Hidrología estadística. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
14. Pérez J., (1979). Fundamentos del ciclo hidrológico. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas. Venezuela. 01-38.

15. Ramírez, M. 2003. Hidrología Aplicada. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Merida – Venezuela. 6 – 105p.
16. Stappung, C. 1999. Lluvias de diseño de sistemas de aguas lluvias en Chile. Memorias XIV Congreso Chileno de Hidrología. Santiago, Chile. 512 p.
17. Oswaldo Ortiz Vera, 1994 “Hidrología de Superficie”.
18. Oswaldo, O.V 2003. Pronóstico de variables aleatorias en el diseño de ingeniería. Cajamarca Perú.
19. Témez, J. 1978. Cálculo hidrometeorológicos de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid. Dirección General de Carreteras. España. Pág. 42 .111p.
20. Varas, E.; Sánchez, S. 1988. Curvas generalizadas de intensidad - duración-frecuencia de lluvias. Hidrología y drenaje vial. Chile. 332 p.
21. Ven Te Chow (1995) .Hidrología Aplicada, Edit. Graw – Hill Interamericana, primera edición, Colombia.577 pág.
22. <http://www.agraria.pe/noticias/senamhi-ano-hidrologico-2015-2016-se-inicio-en-peru-9101>

**ANEXOS A:**

**a.- Ordenación de las intensidades en forma descendente**

Se ordenó de mayor a menor las intensidades de cada una de las tormentas críticas.

**Tabla 27: Intensidades del año 1980 ordenadas descendentemente (a hasta c.)**

<b>Día</b>	<b>Intervalo de tiempo (min)</b>	<b>Intensidad (mm/hr)</b>
02/04/1980	4	77.48
	3	37.06
	7	23.82
	3	19.40
	3	19.05
	9	17.07
	4	15.73
	2	14.42
	5	11.64
	5	11.54
	2	11.27
	6	9.61
	3	9.09
	11	8.87
	7	8.17
	4	6.95
	4	6.03
	5	5.66
	15	3.04
	16	2.23
	11	2.15
	17	1.57
	8	1.57
	11	0.81
25	0.80	
14	0.45	
662	0.02	

**a.**

Día	Intervalo de tiempo (min)	Intensidad (mm/hr)
31/03/1980	2	87.00
	6	15.00
	10	10.20
	2	6.00
	3	6.00
	45	4.93
	30	3.80
	10	2.40
	20	1.80
	8	1.50
	9	1.33
	30	0.80
	120	0.05
	284	0.04
	26	0.00
30	0.00	

Día	Intervalo de tiempo (min)	Intensidad (mm/hr)
18/03/1980	6	90.00
	7	77.14
	8	52.50
	14	38.57
	15	8.00
	10	6.00
	8	6.00
	15	5.20
	5	2.40
	3	2.00
	29	1.03
	121	0.64
	22	0.55
	45	0.13
	277	0.02
85	0.00	

c.

### Convertir las intensidades a periodos estándar.

Se convirtió los datos de las tormentas ordenadas a periodos estándar de 5, 10, 30, 60, 120, 240 y 480 min.

#### Para la tormenta crítica de la Tabla (a.)

Para 5 minutos:

$$I_{max} = \frac{87 * 2}{5} + \frac{15 * 3}{5} = 43.8mm/hr$$

Para 10 minutos

$$I_{max} = \frac{87 * 2}{10} + \frac{15 * 6}{10} + \frac{10.2 * 2}{10} = 28.4mm/hr$$

Para 30 minutos

$$I_{max} = \frac{87 * 2}{30} + \frac{15 * 6}{30} + \frac{10.2 * 10}{30} + \frac{6 * 2}{30} + \frac{6 * 3}{30} + \frac{4.93 * 7}{30} = 14.4mm/hr$$

Para 60 minutos

$$I_{max} = \frac{87 * 2}{60} + \frac{15 * 6}{60} + \frac{10.2 * 10}{60} + \frac{6 * 2}{60} + \frac{6 * 3}{60} + \frac{4.93 * 37}{60} = 37mm/hr$$

Para 120 minutos

$$I_{max} = \frac{87 * 2}{120} + \frac{15 * 6}{120} + \frac{10.2 * 10}{120} + \frac{6 * 2}{120} + \frac{6 * 3}{120} + \frac{4.93 * 45}{120} + \frac{3.8 * 30}{120} + \frac{2.4 * 10}{120} + \frac{1.8 * 12}{120} = 20 \text{ mm/hr}$$

**Tabla 28: Tormentas de intensidades máximas estándar hasta 30 minutos**

AÑO	INTENSIDADES MAXIMAS (mm/hr)		
	5min	10min	30min
1	5.0	4.9	3.7
2	9.4	7.4	3.8
3	8.4	7.2	4.7
4	6.0	4.5	2.5
5	19.6	12.9	6.5
6	13.6	10.2	5.6
7	10.8	7.7	3.8
8	21.9	16.2	8.4
9	18.0	16.8	8.0
10	15.4	10.4	5.9
11	33.0	24.0	17.6
12	13.9	8.8	3.7
13	0.6	0.6	0.4
14	10.8	7.0	3.2
15	25.7	16.4	6.3
16	69.4	49.3	29.1
17	56.4	40.9	18.4
18	92.7	59.9	31.5
19	50.2	43.9	24.5
20	66.2	43.7	16.2
21	1.4	1.4	1.4
22	9.6	6.4	4.0
23	31.2	9.6	6.8
24	9.2	9.2	9.1
25	2.3	2.3	2.3
26	17.2	17.2	17.2
27	22.2	22.2	15.2
28	5.9	5.9	5.9

### **a.- Ajuste a los modelos probabilísticos**

- **Simulación del modelo probabilístico.**

La simulación del modelo se determinó de la siguiente manera:

- Calculando probabilidad de ocurrencia de un evento, en función de la variable y de los parámetros estadísticos:

$$F(x > X) = f(x, \alpha, \beta)$$

-El tiempo de retorno es la inversa de la probabilidad, pero, el tiempo de retorno depende de dos variables importantes, la falla de predicción de la variable (J %) y el número de años(N) en que se puede presentar dicho variable.

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - J)^{\frac{1}{N}}}$$

J=riesgo de falla al predecir la variable

N=numero de años en que se puede presentar el evento

**HIPOTESIS**

**HP:** Los datos de Intensidades Máximas de la Estación Pluviograficas Jaén para 30min se ajusta al Modelo Gumbel.

**HA:** Los datos de Intensidades Máximas de la Estación Pluviograficas Jaén para 30min no se ajustan al Modelo Gumbel.

**Tabla 29: Ajuste al Modelo Gumbel para 5, 10, 30 minutos**

MODELO GUMBEL			5 minutos			10 minutos			30 minutos					
m	P(x<X)	P(x>X)	Intensidad des Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)	Intensidad des Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)	Intensidad des Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)			
	m/(N+1)	1-P(x<X)												
1	0.0345	0.9655	92.74	0.9881	0.0226	59.87	0.9826	0.0171	31.4874	0.9804	0.0149			
2	0.0690	0.9310	69.40	0.9574	0.0264	49.26	0.9598	0.0287	29.0878	0.9719	0.0409			
3	0.1034	0.8966	66.15	0.9493	0.0527	43.93	0.9390	0.0424	24.5056	0.9444	0.0478			
4	0.1379	0.8621	56.39	0.9147	0.0526	43.72	0.9380	0.0759	18.4446	0.8660	0.0039			
5	0.1724	0.8276	50.17	0.8818	0.0542	40.90	0.9228	0.0952	17.5556	0.8482	0.0206			
6	0.2069	0.7931	33.00	0.7229	0.0702	24.00	0.7321	0.0610	17.2000	0.8404	0.0473			
7	0.2414	0.7586	31.20	0.6988	0.0598	22.20	0.6975	0.0612	16.2367	0.8177	0.0591			
8	0.2759	0.7241	25.68	0.6150	0.1091	17.20	0.5838	0.1404	15.2000	0.7901	0.0660			
9	0.3103	0.6897	22.20	0.5549	0.1348	16.80	0.5736	0.1160	9.1000	0.5512	0.1384			
10	0.3448	0.6552	21.90	0.5495	0.1057	16.44	0.5644	0.0908	8.4000	0.5155	0.1396			
11	0.3793	0.6207	19.60	0.5067	0.1140	16.20	0.5581	0.0626	8.0471	0.4971	0.1236			
12	0.4138	0.5862	18.00	0.4758	0.1104	12.90	0.4676	0.1186	6.8320	0.4313	0.1549			
13	0.4483	0.5517	17.20	0.4602	0.0916	10.38	0.3944	0.1573	6.5429	0.4153	0.1364			
14	0.4828	0.5172	15.36	0.4235	0.0937	10.20	0.3891	0.1282	6.3172	0.4028	0.1145			
15	0.5172	0.4828	13.92	0.3945	0.0883	9.60	0.3714	0.1114	5.9100	0.3801	0.1027			
16	0.5517	0.4483	13.60	0.3880	0.0603	9.20	0.3596	0.0887	5.8706	0.3778	0.0704			
17	0.5862	0.4138	10.80	0.3312	0.0826	8.76	0.3466	0.0672	5.6000	0.3627	0.0511			
18	0.6207	0.3793	10.80	0.3312	0.0481	7.68	0.3149	0.0644	4.6500	0.3098	0.0695			
19	0.6552	0.3448	9.60	0.3070	0.0378	7.38	0.3061	0.0387	4.0100	0.2749	0.0700			
20	0.6897	0.3103	9.36	0.3023	0.0081	7.20	0.3009	0.0094	3.8000	0.2636	0.0468			
21	0.7241	0.2759	9.20	0.2991	0.0232	7.00	0.2951	0.0193	3.7647	0.2617	0.0142			
22	0.7586	0.2414	8.40	0.2832	0.0418	6.40	0.2779	0.0365	3.6750	0.2569	0.0155			
23	0.7931	0.2069	6.00	0.2369	0.0300	5.91	0.2640	0.0571	3.6560	0.2559	0.0490			
24	0.8276	0.1724	5.91	0.2352	0.0627	4.93	0.2367	0.0642	3.1733	0.2307	0.0583			
25	0.8621	0.1379	5.00	0.2183	0.0803	4.50	0.2250	0.0871	2.4800	0.1960	0.0580			
26	0.8966	0.1034	2.28	0.1706	0.0671	2.28	0.1682	0.0648	2.2800	0.1864	0.0829			
27	0.9310	0.0690	1.41	0.1564	0.0875	1.41	0.1480	0.0790	1.4145	0.1471	0.0782			
28	0.9655	0.0345	0.60	0.1436	0.1092	0.60	0.1301	0.0956	0.4400	0.1083	0.0739			
			Max P(x<X)-F(x<X)			0.1348			0.1573			0.1549		
			α			0.0552			0.0803			0.1520		
			β			12.6101			9.4816			5.6923		

Nivel de significancia: 5%, para N=28, Δ<sub>0</sub>= 0.24993

Si Δ<sub>max</sub> < Δ<sub>0</sub> → 0.1573 < 0.24993; se acepta HP.

**HIPOTESIS**

**HP:** Las Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 120 min se ajusta al Modelo Gumbel.

**HA:** Las Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 120min no se ajustan al Modelo Gumbel.

**Tabla 30: Ajuste al Modelo Gumbel para 5, 10, 30, 60, 120 minutos**

MODELO GUMBEL			5 minutos			10 minutos			30 minutos			60 minutos			120 minutos		
m	P(x<X)	P(x<X)	Inten. Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X) - F(x<X)	Inten. Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X) - F(x<X)	Inten. Ord. Desc..	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)	Inten. Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)	Inten. Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)
	m/(N+ 1)	1-P(x>X)															
1	0.0345	0.9655	84.00	0.9715	0.0060	75.99	0.9774	0.0118	60.0980	0.9826	0.0171	40.65	0.9871	0.0216	26.65	0.9926	0.0271
2	0.0690	0.9310	80.12	0.9656	0.0346	68.62	0.9657	0.0346	50.3143	0.9640	0.0330	31.25	0.9607	0.0297	15.80	0.9331	0.0020
3	0.1034	0.8966	74.58	0.9551	0.0586	67.64	0.9637	0.0672	46.4000	0.9520	0.0555	29.33	0.9508	0.0543	15.41	0.9276	0.0311
4	0.1379	0.8621	64.77	0.9283	0.0663	49.80	0.9026	0.0405	46.3579	0.9519	0.0898	28.10	0.9432	0.0811	15.40	0.9275	0.0654
5	0.1724	0.8276	49.80	0.8564	0.0288	46.40	0.8829	0.0553	36.4000	0.9008	0.0732	21.05	0.8724	0.0448	12.65	0.8757	0.0481
6	0.2069	0.7931	46.40	0.8326	0.0395	43.02	0.8598	0.0667	19.4112	0.6867	0.1064	12.96	0.6970	0.0961	9.50	0.7754	0.0177
7	0.2414	0.7586	43.80	0.8121	0.0534	28.44	0.7061	0.0525	16.8586	0.6341	0.1246	10.84	0.6274	0.1312	6.48	0.6224	0.1363
8	0.2759	0.7241	42.53	0.8013	0.0771	27.93	0.6990	0.0252	15.2400	0.5977	0.1265	10.01	0.5977	0.1264	6.28	0.6102	0.1139
9	0.3103	0.6897	30.38	0.6687	0.0210	22.88	0.6198	0.0698	14.3511	0.5767	0.1129	9.64	0.5838	0.1058	5.74	0.5755	0.1141
10	0.3448	0.6552	17.40	0.4671	0.1880	17.40	0.5198	0.1354	9.8000	0.4605	0.1947	6.60	0.4603	0.1949	5.21	0.5397	0.1155
11	0.3793	0.6207	15.60	0.4354	0.1853	12.90	0.4289	0.1918	7.1600	0.3882	0.2325	6.40	0.4517	0.1690	4.96	0.5225	0.0982
12	0.4138	0.5862	14.40	0.4140	0.1722	11.88	0.4076	0.1786	6.8400	0.3793	0.2069	6.10	0.4387	0.1475	4.25	0.4717	0.1145
13	0.4483	0.5517	13.20	0.3924	0.1593	10.50	0.3787	0.1731	6.7000	0.3755	0.1763	5.68	0.4204	0.1313	3.96	0.4505	0.1012
14	0.4828	0.5172	10.20	0.3383	0.1790	8.40	0.3345	0.1827	6.1300	0.3597	0.1576	4.25	0.3573	0.1599	3.42	0.4095	0.1077
15	0.5172	0.4828	9.96	0.3339	0.1488	8.28	0.3320	0.1508	5.8148	0.3509	0.1318	4.02	0.3471	0.1356	2.66	0.3526	0.1302
16	0.5517	0.4483	9.00	0.3167	0.1316	8.10	0.3282	0.1200	5.6000	0.3450	0.1033	3.72	0.3339	0.1144	2.46	0.3369	0.1114
17	0.5862	0.4138	6.90	0.2795	0.1343	6.90	0.3033	0.1105	5.5000	0.3422	0.0716	3.64	0.3303	0.0835	2.32	0.3269	0.0869
18	0.6207	0.3793	6.13	0.2661	0.1132	6.13	0.2874	0.0919	5.3000	0.3367	0.0426	3.56	0.3270	0.0523	2.27	0.3227	0.0567
19	0.6552	0.3448	6.00	0.2639	0.0809	6.00	0.2847	0.0601	4.7500	0.3215	0.0233	3.46	0.3225	0.0223	2.16	0.3145	0.0303
20	0.6897	0.3103	6.00	0.2639	0.0464	5.40	0.2725	0.0378	4.2100	0.3067	0.0036	3.45	0.3220	0.0117	2.05	0.3063	0.0041

Continuación de la Tabla 30

21	0.7241	0.2759	5.08	0.2481	0.0278	5.08	0.2660	0.0099	3.8400	0.2966	0.0208	3.00	0.3025	0.0266	1.60	0.2727	0.0032
22	0.7586	0.2414	4.80	0.2434	0.0020	4.80	0.2604	0.0190	3.8200	0.2961	0.0547	2.70	0.2893	0.0480	1.50	0.2658	0.0244
23	0.7931	0.2069	4.56	0.2393	0.0324	4.56	0.2555	0.0486	3.8144	0.2959	0.0891	2.69	0.2891	0.0822	1.49	0.2653	0.0584
24	0.8276	0.1724	4.20	0.2333	0.0609	4.20	0.2485	0.0760	2.6400	0.2644	0.0920	2.32	0.2731	0.1007	1.47	0.2636	0.0912
25	0.8621	0.1379	3.84	0.2273	0.0894	3.84	0.2414	0.1034	2.6000	0.2634	0.1254	1.89	0.2547	0.1168	1.12	0.2381	0.1002
26	0.8966	0.1034	3.69	0.2249	0.1215	3.69	0.2385	0.1350	2.4000	0.2581	0.1546	1.53	0.2399	0.1365	0.93	0.2249	0.1214
27	0.9310	0.0690	3.00	0.2136	0.1446	3.00	0.2250	0.1561	1.7000	0.2398	0.1708	0.90	0.2145	0.1455	0.45	0.1928	0.1238
28	0.9655	0.0345	0.36	0.1725	0.1380	0.36	0.1765	0.1420	0.3600	0.2061	0.1716	0.36	0.1934	0.1589	0.36	0.1869	0.1524
Max P(x<X)-F(x<X)		0.1880		0.1918		0.2325		0.1949		0.1524							
$\alpha$	0.0491	0.0572		0.0754		0.1202		0.2064									
$\beta$	11.8413	9.9872		6.4266		4.4890		2.8652									

Nivel de significancia: 5%, para N=28,  $\Delta_0 = 0.24993$

Si  $\Delta_{max} < \Delta_0 \rightarrow 0.2325 < 0.24993$ ; se acepta HP

HP: Las Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 480 min se ajustan al Modelo Gumbel.

HA: Las Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 480 min no se ajustan al Modelo Gumbel.

**Tabla 31: Ajuste al Modelo Gumbel para 5, 10, 30, 60, 120, 240min, 480minutos**

MODELO GUMBEL			5 minutos			10 minutos			30 minutos			60 minutos			120 minutos			240 minutos			480 minutos		
m	P(x<X)	P(x<X)	Int. Ord. Desc.	F(x<X)	P(x<X)-F(x<X)																		
	$\frac{m}{m/(N+1)}$	$1-P(x>X)$																					
1	0.0345	0.9655	90.00	0.9961	0.0305	84.86	0.9969	0.0314	61.57	0.9975	0.0320	37.00	0.9965	0.0310	19.95	0.9945	0.0290	10.30	0.9927	0.0272	5.20	0.9919	0.0264
2	0.0690	0.9310	53.64	0.9572	0.0262	39.11	0.9172	0.0138	26.84	0.9110	0.0201	19.36	0.9360	0.0049	12.05	0.9462	0.0151	6.51	0.9437	0.0127	3.30	0.9406	0.0096
3	0.1034	0.8966	35.20	0.8626	0.0339	35.20	0.8914	0.0052	24.92	0.8924	0.0042	15.74	0.8858	0.0107	9.85	0.9001	0.0035	5.36	0.8971	0.0006	2.98	0.9170	0.0204
4	0.1379	0.8621	33.88	0.8511	0.0110	33.88	0.8811	0.0190	18.07	0.7929	0.0691	14.31	0.8574	0.0047	8.78	0.8659	0.0039	5.29	0.8937	0.0316	2.79	0.8995	0.0375
5	0.1724	0.8276	25.94	0.7614	0.0661	21.00	0.7230	0.1046	16.60	0.7632	0.0643	10.85	0.7598	0.0678	8.00	0.8346	0.0070	4.69	0.8549	0.0273	2.53	0.8696	0.0420
6	0.2069	0.7931	21.04	0.6862	0.1069	20.71	0.7180	0.0751	14.93	0.7252	0.0679	10.22	0.7372	0.0559	7.48	0.8099	0.0168	4.48	0.8387	0.0456	2.24	0.8265	0.0334
7	0.2414	0.7586	21.00	0.6855	0.0731	18.07	0.6692	0.0894	13.95	0.7008	0.0578	9.23	0.6974	0.0612	6.75	0.7705	0.0119	4.01	0.7969	0.0383	2.01	0.7849	0.0262
8	0.2759	0.7241	16.60	0.6035	0.1206	16.60	0.6394	0.0848	9.71	0.5756	0.1485	8.42	0.6619	0.0623	4.81	0.6315	0.0927	2.95	0.6664	0.0578	1.50	0.6569	0.0673
9	0.3103	0.6897	15.90	0.5893	0.1004	14.00	0.5823	0.1074	9.64	0.5731	0.1166	6.54	0.5686	0.1210	3.77	0.5359	0.1537	2.50	0.5959	0.0937	1.28	0.5873	0.1023
10	0.3448	0.6552	11.45	0.4919	0.1633	11.45	0.5214	0.1338	7.83	0.5109	0.1443	5.91	0.5341	0.1210	3.76	0.5352	0.1200	1.89	0.4856	0.1696	1.00	0.4896	0.1656
11	0.3793	0.6207	10.89	0.4789	0.1418	9.64	0.4753	0.1454	6.60	0.4662	0.1545	4.64	0.4604	0.1603	3.24	0.4834	0.1373	1.83	0.4744	0.1463	0.95	0.4726	0.1481
12	0.4138	0.5862	9.64	0.4493	0.1369	9.59	0.4742	0.1120	6.02	0.4445	0.1417	4.63	0.4593	0.1269	2.79	0.4360	0.1503	1.65	0.4390	0.1472	0.92	0.4595	0.1267
13	0.4483	0.5517	9.00	0.4342	0.1176	8.28	0.4399	0.1118	5.91	0.4407	0.1111	4.53	0.4538	0.0979	2.57	0.4126	0.1391	1.60	0.4276	0.1241	0.86	0.4351	0.1166
14	0.4828	0.5172	6.60	0.3762	0.1411	6.60	0.3952	0.1221	5.28	0.4168	0.1005	3.38	0.3833	0.1340	2.35	0.3896	0.1277	1.51	0.4101	0.1071	0.84	0.4276	0.0896
15	0.5172	0.4828	6.24	0.3674	0.1153	5.91	0.3768	0.1060	4.16	0.3741	0.1086	3.04	0.3625	0.1202	2.35	0.3893	0.0935	1.45	0.3984	0.0843	0.79	0.4074	0.0754
16	0.5517	0.4483	5.91	0.3595	0.0888	5.26	0.3593	0.0890	4.15	0.3737	0.0745	2.78	0.3464	0.1019	1.91	0.3422	0.1060	1.18	0.3442	0.1041	0.59	0.3323	0.1160
17	0.5862	0.4138	5.26	0.3437	0.0701	4.98	0.3517	0.0621	3.65	0.3546	0.0592	2.76	0.3455	0.0683	1.75	0.3246	0.0892	1.15	0.3382	0.0755	0.58	0.3265	0.0873
18	0.6207	0.3793	5.25	0.3434	0.0359	4.85	0.3483	0.0310	3.63	0.3539	0.0254	2.65	0.3387	0.0406	1.64	0.3125	0.0668	1.00	0.3077	0.0716	0.54	0.3127	0.0666
19	0.6552	0.3448	4.80	0.3325	0.0124	4.62	0.3419	0.0029	3.59	0.3523	0.0075	2.54	0.3317	0.0132	1.63	0.3114	0.0334	0.99	0.3054	0.0394	0.51	0.3006	0.0442
20	0.6897	0.3103	4.62	0.3280	0.0177	4.40	0.3362	0.0258	3.56	0.3513	0.0410	2.49	0.3290	0.0186	1.58	0.3065	0.0038	0.89	0.2873	0.0231	0.45	0.2781	0.0322
21	0.7241	0.2759	4.56	0.3267	0.0508	4.38	0.3356	0.0598	3.38	0.3441	0.0683	2.31	0.3179	0.0420	1.43	0.2911	0.0152	0.84	0.2759	0.0000	0.44	0.2721	0.0038
22	0.7586	0.2414	3.43	0.2995	0.0581	3.38	0.3088	0.0675	3.22	0.3382	0.0968	2.15	0.3084	0.0670	1.42	0.2897	0.0483	0.83	0.2738	0.0324	0.43	0.2672	0.0258
23	0.7931	0.2069	3.38	0.2982	0.0913	3.30	0.3069	0.1000	2.57	0.3137	0.1068	2.04	0.3018	0.0949	1.35	0.2818	0.0749	0.72	0.2528	0.0459	0.41	0.2625	0.0556
24	0.8276	0.1724	2.00	0.2658	0.0934	2.00	0.2728	0.1004	2.00	0.2922	0.1198	2.00	0.2991	0.1267	1.33	0.2797	0.1073	0.68	0.2463	0.0739	0.35	0.2391	0.0667
25	0.8621	0.1379	1.92	0.2640	0.1260	1.92	0.2707	0.1328	1.92	0.2892	0.1513	1.80	0.2871	0.1491	1.17	0.2636	0.1257	0.60	0.2310	0.0930	0.33	0.2336	0.0957
26	0.8966	0.1034	1.80	0.2612	0.1577	1.80	0.2676	0.1642	1.80	0.2847	0.1813	1.02	0.2411	0.1377	0.63	0.2096	0.1062	0.38	0.1922	0.0888	0.21	0.1905	0.0870
27	0.9310	0.0690	1.50	0.2542	0.1853	1.50	0.2599	0.1910	1.40	0.2700	0.2010	0.96	0.2378	0.1689	0.57	0.2039	0.1350	0.31	0.1792	0.1102	0.16	0.1743	0.1054
28	0.9655	0.0345	0.30	0.2271	0.1926	0.30	0.2298	0.1953	0.30	0.2304	0.1959	0.30	0.2011	0.1666	0.19	0.1692	0.1347	0.13	0.1502	0.1157	0.08	0.1469	0.1125
Max P(x<X)-F(x<X)			0.1926			0.1953			<b>0.2010</b>			0.1689			0.1537			0.1696			0.1656		
$\alpha$			0.0661			0.0730			0.1038			0.1673			0.2925			0.5470			1.0678		
$\beta$			6.2591			5.5826			3.9968			3.1246			2.1530			1.2980			0.6848		

De la Tabla 31, Las Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 480 min se ajustan al Modelo Gumbel.

Nivel de significancia: 5%, para N=28,  $\Delta_0 = 0.24993$

Si  $\Delta_{max} < \Delta_0 \rightarrow 0.2010 < 0.24993$ ; se acepta HP

**-Prueba de bondad de ajuste al modelo Log Normal 3 Parámetros**

### **HIPOTESIS**

**HP:** Los datos de Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 30 min se ajusta al Modelo Log Normal 3 Parámetros

**HA:** Los datos de Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 30 minutos no se ajustan al Modelo Log Normal 3 Parámetros

**Tabla 32: Ajuste al Modelo Log 3 Parámetros para 5, 10, 30 minutos**

MODELO LOG 3 PARAMETROS			5 minutos						10 minutos						30 minutos					
m	$P(x<X)$ $m/(N+1)$	$P(x>X)$ $1-P(x<X)$	Intensidades Ord. Desc.	(x-x0)	$Y=Ln(x-x0)$	$(Ln(x-x0)-\mu_y)^2$	$F(x<X)$	$ P(x<X)-F(x<X) $	Intensidades Ord. Desc.	(x-x0)	$Y=Ln(x-x0)$	$(Ln(x-x0)-\mu_y)^2$	$F(x<X)$	$ P(x<X)-F(x<X) $	Intensidades Ord. Desc.	(x-x0)	$Y=Ln(x-x0)$	$(Ln(x-x0)-\mu_y)^2$	$F(x<X)$	$ P(x<X)-F(x<X) $
1	0.0345	0.9655	92.7	95.2	4.5562	2.7943	0.0010	0.9645	59.87	61.4	4.1173	2.4146	0.0019	0.9636	31.49	32.7	3.4868	1.9362	0.0040	0.9615
2	0.0690	0.9310	69.4	71.9	4.2749	1.9331	0.0024	0.9286	49.26	50.8	3.9276	1.8610	0.0035	0.9275	29.09	30.3	3.4105	1.7298	0.0052	0.9259
3	0.1034	0.8966	66.2	68.6	4.2288	1.8068	0.0028	0.8938	43.93	45.5	3.8168	1.5710	0.0048	0.8917	24.51	25.7	3.2465	1.3251	0.0088	0.8877
4	0.1379	0.8621	56.4	58.9	4.0754	1.4180	0.0043	0.8578	43.72	45.3	3.8122	1.5595	0.0049	0.8572	18.44	19.6	2.9775	0.7782	0.0191	0.8430
5	0.1724	0.8276	50.2	52.6	3.9635	1.1642	0.0057	0.8219	40.90	42.4	3.7478	1.4027	0.0058	0.8218	17.56	18.7	2.9312	0.6986	0.0215	0.8061
6	0.2069	0.7931	33.0	35.5	3.5689	0.4683	0.0135	0.7796	24.00	25.5	3.2397	0.4574	0.0191	0.7740	17.20	18.4	2.9120	0.6670	0.0225	0.7706
7	0.2414	0.7586	31.2	33.7	3.5168	0.3997	0.0149	0.7437	22.20	23.7	3.1666	0.3638	0.0220	0.7367	16.24	17.4	2.8582	0.5820	0.0257	0.7329
8	0.2759	0.7241	25.7	28.2	3.3378	0.2054	0.0204	0.7038	17.20	18.7	2.9300	0.1344	0.0328	0.6913	15.20	16.4	2.7969	0.4922	0.0297	0.6945
9	0.3103	0.6897	22.2	24.7	3.2059	0.1032	0.0249	0.6647	16.80	18.3	2.9084	0.1190	0.0339	0.6557	9.10	10.3	2.3316	0.0558	0.0704	0.6192
10	0.3448	0.6552	21.9	24.4	3.1936	0.0955	0.0253	0.6298	16.44	18.0	2.8885	0.1057	0.0349	0.6202	8.40	9.6	2.2611	0.0275	0.0776	0.5776
11	0.3793	0.6207	19.6	22.1	3.0945	0.0441	0.0290	0.5917	16.20	17.7	2.8751	0.0971	0.0356	0.5851	8.05	9.2	2.2237	0.0165	0.0813	0.5394
12	0.4138	0.5862	18.0	20.5	3.0193	0.0182	0.0318	0.5544	12.90	14.4	2.6691	0.0112	0.0466	0.5396	6.83	8.0	2.0827	0.0002	0.0950	0.4912
13	0.4483	0.5517	17.2	19.7	2.9794	0.0090	0.0333	0.5184	10.38	11.9	2.4771	0.0074	0.0566	0.4952	6.54	7.7	2.0460	0.0024	0.0984	0.4533
14	0.4828	0.5172	15.4	17.8	2.8813	0.0000	0.0370	0.4803	10.20	11.7	2.4619	0.0103	0.0573	0.4599	6.32	7.5	2.0164	0.0062	0.1010	0.4162
15	0.5172	0.4828	13.9	16.4	2.7971	0.0077	0.0400	0.4427	9.60	11.1	2.4094	0.0237	0.0598	0.4229	5.91	7.1	1.9607	0.0181	0.1056	0.3771
16	0.5517	0.4483	13.6	16.1	2.7774	0.0115	0.0407	0.4076	9.20	10.7	2.3727	0.0364	0.0615	0.3868	5.87	7.1	1.9551	0.0197	0.1061	0.3422
17	0.5862	0.4138	10.8	13.3	2.5860	0.0891	0.0467	0.3671	8.76	10.3	2.3309	0.0541	0.0633	0.3505	5.60	6.8	1.9160	0.0321	0.1090	0.3047
18	0.6207	0.3793	10.8	13.3	2.5860	0.0891	0.0467	0.3326	7.68	9.2	2.2199	0.1180	0.0676	0.3117	4.65	5.8	1.7654	0.1089	0.1182	0.2611
19	0.6552	0.3448	9.6	12.1	2.4913	0.1547	0.0491	0.2957	7.38	8.9	2.1868	0.1418	0.0686	0.2762	4.01	5.2	1.6494	0.1988	0.1222	0.2226
20	0.6897	0.3103	9.4	11.8	2.4712	0.1708	0.0496	0.2608	7.20	8.7	2.1664	0.1576	0.0693	0.2411	3.80	5.0	1.6082	0.2373	0.1230	0.1874
21	0.7241	0.2759	9.2	11.7	2.4576	0.1823	0.0499	0.2260	7.00	8.5	2.1432	0.1766	0.0699	0.2059	3.76	5.0	1.6011	0.2442	0.1231	0.1528
22	0.7586	0.2414	8.4	10.9	2.3866	0.2479	0.0512	0.1902	6.40	7.9	2.0703	0.2432	0.0717	0.1697	3.68	4.9	1.5829	0.2626	0.1232	0.1181
23	0.7931	0.2069	6.0	8.5	2.1374	0.5583	0.0531	0.1538	5.91	7.4	2.0064	0.3102	0.0728	0.1341	3.66	4.8	1.5790	0.2666	0.1233	0.0836
24	0.8276	0.1724	5.9	8.4	2.1267	0.5744	0.0531	0.1193	4.93	6.5	1.8649	0.4879	0.0738	0.0986	3.17	4.4	1.4742	0.3859	0.1228	0.0497
25	0.8621	0.1379	5.0	7.5	2.0118	0.7617	0.0524	0.0855	4.50	6.0	1.7962	0.5886	0.0735	0.0644	2.48	3.7	1.3013	0.6305	0.1167	0.0213
26	0.8966	0.1034	2.3	4.8	1.5596	1.7555	0.0418	0.0617	2.28	3.8	1.3368	1.5046	0.0602	0.0433	2.28	3.5	1.2453	0.7226	0.1134	0.0100
27	0.9310	0.0690	1.4	3.9	1.3588	2.3280	0.0345	0.0344	1.41	2.9	1.0789	2.2039	0.0471	0.0219	1.41	2.6	0.9588	1.2918	0.0898	0.0208
28	0.9655	0.0345	0.6	3.1	1.1239	3.0998	0.0258	0.0087	0.60	2.1	0.7546	3.2717	0.0302	0.0043	0.44	1.6	0.4910	2.5738	0.0444	0.0099
Max P(x<X)-F(x<X)								0.9645	0.9636								0.9615			
$\mu_y =$								2.8846	2.5634								2.0953			
$\sigma_y =$								0.85546	0.83309								0.73946			
$x_0 =$								-2.4770	-1.5268								-1.1940			

De la Tabla 32, Los datos de Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 30 minutos no se ajustan al Modelo Log Normal 3 Parámetros.

Nivel de significancia: 5%, para  $N=28$ ,  $\Delta_0 = 0.24993$

Si  $\Delta_{max} < \Delta_0 \rightarrow 0.9645 > 0.24993$ ; No se acepta HP

### **Prueba de bondad de ajuste al modelo Log 3 Parámetros**

Para intensidades máximas con duraciones mínimas de 480 minutos

Tabla 33: Ajuste al Modelo Log 3 Parámetros para 5, 10, 30, 60, 120, 240,480 minutos

MODELO LOG 3 PARA.			5 minutos					
m	P(x<X)	P(x<X)	Int. Ord. Desc.	(x-x0)	Y=Ln(x-x0)	(Ln(x-x0)- μ <sub>Y</sub> )^2	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)
	m/(N+1)	1-P(x>X)						
1	0.0345	0.9655	90.0	90.2	4.5018	5.8773	0.0006	0.9649
2	0.0690	0.9310	53.6	53.8	3.9857	3.6411	0.0023	0.9288
3	0.1034	0.8966	35.2	35.4	3.5662	2.2163	0.0060	0.8906
4	0.1379	0.8621	33.9	34.1	3.5283	2.1047	0.0065	0.8556
5	0.1724	0.8276	25.9	26.1	3.2627	1.4045	0.0110	0.8165
6	0.2069	0.7931	21.0	21.2	3.0552	0.9559	0.0161	0.7770
7	0.2414	0.7586	21.0	21.2	3.0532	0.9520	0.0162	0.7424
8	0.2759	0.7241	16.6	16.8	2.8204	0.5518	0.0238	0.7003
9	0.3103	0.6897	15.9	16.1	2.7778	0.4904	0.0254	0.6642
10	0.3448	0.6552	11.5	11.6	2.4543	0.1419	0.0401	0.6150
11	0.3793	0.6207	10.9	11.1	2.4050	0.1072	0.0427	0.5780
12	0.4138	0.5862	9.6	9.8	2.2844	0.0428	0.0494	0.5368
13	0.4483	0.5517	9.0	9.2	2.2174	0.0196	0.0533	0.4984
14	0.4828	0.5172	6.6	6.8	1.9145	0.0266	0.0719	0.4453
15	0.5172	0.4828	6.2	6.4	1.8600	0.0473	0.0754	0.4074
16	0.5517	0.4483	5.9	6.1	1.8079	0.0727	0.0786	0.3696
17	0.5862	0.4138	5.3	5.4	1.6948	0.1465	0.0856	0.3282
18	0.6207	0.3793	5.3	5.4	1.6926	0.1482	0.0857	0.2936
19	0.6552	0.3448	4.8	5.0	1.6061	0.2222	0.0909	0.2539
20	0.6897	0.3103	4.6	4.8	1.5684	0.2592	0.0931	0.2173
21	0.7241	0.2759	4.6	4.7	1.5568	0.2712	0.0937	0.1822
22	0.7586	0.2414	3.4	3.6	1.2843	0.6292	0.1073	0.1340
23	0.7931	0.2069	3.4	3.6	1.2693	0.6532	0.1080	0.0989
24	0.8276	0.1724	2.0	2.2	0.7809	1.6811	0.1188	0.0536
25	0.8621	0.1379	1.9	2.1	0.7436	1.7793	0.1188	0.0191
26	0.8966	0.1034	1.8	2.0	0.6849	1.9395	0.1185	0.0151
27	0.9310	0.0690	1.5	1.7	0.5209	2.4231	0.1161	0.0471
28	0.9655	0.0345	0.3	0.5	-0.7266	7.8634	0.0506	0.0162
Max P(x<X)-F(x<X)								0.9649
μ <sub>y</sub> =			2.0775					
σ <sub>y</sub> =			1.14437					
x <sub>0</sub>			-0.1835					

Continuación de Tabla 33

10 minutos					
Int. Ord. Desc.	(x-x0)	Y=Ln(x-x0)	$(\text{Ln}(x-x_0) - \mu_Y)^2$	F(x<X)	$ \text{P}(x<X) - \text{F}(x<X) $
84.86	85.0	4.4432	5.8522	0.0006	0.9650
39.11	39.3	3.6712	2.7132	0.0043	0.9267
35.20	35.4	3.5664	2.3788	0.0055	0.8911
33.88	34.1	3.5284	2.2632	0.0060	0.8561
21.00	21.2	3.0535	1.0597	0.0156	0.8120
20.71	20.9	3.0396	1.0314	0.0160	0.7771
18.07	18.3	2.9049	0.7759	0.0203	0.7383
16.60	16.8	2.8207	0.6346	0.0234	0.7007
14.00	14.2	2.6524	0.3949	0.0305	0.6591
11.45	11.6	2.4547	0.1855	0.0405	0.6147
9.64	9.8	2.2849	0.0680	0.0503	0.5704
9.59	9.8	2.2805	0.0658	0.0506	0.5356
8.28	8.5	2.1364	0.0126	0.0597	0.4920
6.60	6.8	1.9152	0.0118	0.0745	0.4427
5.91	6.1	1.8087	0.0464	0.0817	0.4010
5.26	5.5	1.6957	0.1078	0.0892	0.3590
4.98	5.2	1.6426	0.1455	0.0927	0.3211
4.85	5.0	1.6180	0.1649	0.0942	0.2851
4.62	4.8	1.5694	0.2067	0.0973	0.2476
4.40	4.6	1.5236	0.2505	0.1000	0.2103
4.38	4.6	1.5192	0.2549	0.1003	0.1756
3.38	3.6	1.2707	0.5675	0.1133	0.1281
3.30	3.5	1.2495	0.6000	0.1142	0.0927
2.00	2.2	0.7832	1.5397	0.1243	0.0481
1.92	2.1	0.7460	1.6335	0.1242	0.0137
1.80	2.0	0.6874	1.7867	0.1238	0.0204
1.50	1.7	0.5239	2.2506	0.1208	0.0518
0.30	0.5	-0.7164	7.5100	0.0494	0.0150
					0.9650
2.0241					
1.11021					
-0.1885					

Continuación de Tabla 33

30 minutos					
Int. Ord. Desc.	(x-x0)	Y=Ln(x-x0)	(Ln(x-x0)- $\mu_Y$ )^2	F(x<X)	P(x<X)-F(x<X)
61.6	61.6	4.1214	5.7203	0.0006	0.9649
26.8	26.9	3.2927	2.4431	0.0065	0.9246
24.9	25.0	3.2186	2.2169	0.0077	0.8888
18.1	18.1	2.8981	1.3652	0.0159	0.8462
16.6	16.7	2.8138	1.1753	0.0189	0.8087
14.9	15.0	2.7083	0.9578	0.0232	0.7699
14.0	14.0	2.6410	0.8306	0.0264	0.7322
9.7	9.8	2.2809	0.3039	0.0484	0.6758
9.6	9.7	2.2731	0.2953	0.0489	0.6407
7.8	7.9	2.0673	0.1140	0.0654	0.5897
6.6	6.7	1.8980	0.0283	0.0807	0.5400
6.0	6.1	1.8063	0.0059	0.0894	0.4968
5.9	6.0	1.7896	0.0036	0.0910	0.4607
5.3	5.4	1.6776	0.0027	0.1018	0.4154
4.2	4.2	1.4428	0.0823	0.1240	0.3587
4.2	4.2	1.4405	0.0836	0.1242	0.3240
3.7	3.7	1.3144	0.1724	0.1352	0.2786
3.6	3.7	1.3094	0.1766	0.1356	0.2437
3.6	3.7	1.2982	0.1862	0.1365	0.2083
3.6	3.6	1.2910	0.1925	0.1371	0.1732
3.4	3.4	1.2377	0.2420	0.1413	0.1345
3.2	3.3	1.1916	0.2895	0.1447	0.0966
2.6	2.6	0.9730	0.5725	0.1578	0.0491
2.0	2.1	0.7288	1.0017	0.1648	0.0076
1.9	2.0	0.6894	1.0821	0.1651	0.0272
1.8	1.9	0.6273	1.2151	0.1651	0.0616
1.4	1.5	0.3870	1.8026	0.1595	0.0905
0.3	0.4	-0.9872	7.3815	0.0464	0.0119
					0.9649
1.7297					
1.03412					
-0.0726					

Continuación de Tabla 33

60 minutos					
Int. Ord. Desc.	(x- x0)	Y=Ln(x-x0)	(Ln(x-x0)- $\mu_Y$ )^2	F(x<X)	P(x<X)- F(x<X)
37.00	37.0	3.6102	4.9930	0.0014	0.9642
19.36	19.3	2.9618	2.5158	0.0085	0.9225
15.74	15.7	2.7544	1.9009	0.0141	0.8824
14.31	14.3	2.6594	1.6479	0.0175	0.8445
10.85	10.8	2.3817	1.0121	0.0314	0.7962
10.22	10.2	2.3222	0.8959	0.0353	0.7578
9.23	9.2	2.2193	0.7116	0.0427	0.7159
8.42	8.4	2.1270	0.5645	0.0503	0.6739
6.54	6.5	1.8743	0.2486	0.0754	0.6143
5.91	5.9	1.7729	0.1577	0.0871	0.5680
4.64	4.6	1.5298	0.0237	0.1185	0.5022
4.63	4.6	1.5257	0.0225	0.1191	0.4672
4.53	4.5	1.5057	0.0169	0.1218	0.4299
3.38	3.3	1.2085	0.0280	0.1631	0.3542
3.04	3.0	1.1023	0.0748	0.1773	0.3054
2.78	2.7	1.0110	0.1330	0.1889	0.2594
2.76	2.7	1.0056	0.1370	0.1896	0.2242
2.65	2.6	0.9645	0.1691	0.1945	0.1848
2.54	2.5	0.9197	0.2080	0.1996	0.1452
2.49	2.5	0.9020	0.2243	0.2016	0.1088
2.31	2.3	0.8254	0.3029	0.2096	0.0663
2.15	2.1	0.7546	0.3857	0.2161	0.0252
2.04	2.0	0.7021	0.4537	0.2205	0.0136
2.00	2.0	0.6798	0.4843	0.2222	0.0497
1.80	1.8	0.5729	0.6444	0.2289	0.0909
1.02	1.0	-0.0085	1.9159	0.2220	0.1186
0.96	0.9	-0.0682	2.0849	0.2173	0.1483
0.30	0.3	-1.2966	7.1413	0.0652	0.0307
					0.9642
1.3757					
1.01943					
0.0265					

Continuación de Tabla 33

120 minutos					
Int. Ord. Desc.	(x-x0)	Y=Ln(x-x0)	(Ln(x-x0)- $\mu_Y$ )^2	F(x<X)	P(x<X)-F(x<X)
19.95	20.1	2.9991	3.9410	0.0031	0.9624
12.05	12.2	2.4987	2.2047	0.0140	0.9170
9.85	10.0	2.2992	1.6522	0.0235	0.8731
8.78	8.9	2.1857	1.3731	0.0309	0.8312
8.00	8.1	2.0939	1.1665	0.0381	0.7895
7.48	7.6	2.0272	1.0268	0.0441	0.7490
6.75	6.9	1.9267	0.8332	0.0546	0.7040
4.81	4.9	1.5947	0.3374	0.1012	0.6230
3.77	3.9	1.3567	0.1176	0.1457	0.5440
3.76	3.9	1.3547	0.1162	0.1461	0.5091
3.24	3.4	1.2120	0.0393	0.1761	0.4446
2.79	2.9	1.0667	0.0028	0.2080	0.3782
2.57	2.7	0.9882	0.0007	0.2252	0.3265
2.35	2.5	0.9048	0.0119	0.2433	0.2740
2.35	2.5	0.9036	0.0122	0.2435	0.2393
1.91	2.0	0.7085	0.0932	0.2825	0.1658
1.75	1.9	0.6241	0.1519	0.2971	0.1166
1.64	1.8	0.5614	0.2047	0.3069	0.0724
1.63	1.7	0.5555	0.2101	0.3078	0.0371
1.58	1.7	0.5286	0.2355	0.3116	0.0012
1.43	1.5	0.4382	0.3314	0.3227	0.0469
1.42	1.5	0.4298	0.3412	0.3236	0.0823
1.35	1.5	0.3796	0.4023	0.3285	0.1216
1.33	1.4	0.3657	0.4201	0.3297	0.1573
1.17	1.3	0.2514	0.5814	0.3369	0.1990
0.63	0.7	-0.2961	1.7161	0.3031	0.1997
0.57	0.7	-0.3798	1.9422	0.2894	0.2204
0.19	0.3	-1.1907	4.8599	0.1214	0.0870
					0.9624
1.0139					
0.93208					
-0.1165					

Continuación de Tabla 33

240 minutos					
Int. Ord. Desc.	(x-x0)	Y=Ln(x-x0)	(Ln(x-x0)- $\mu_Y$ )^2	F(x<X)	P(x<X)-F(x<X)
10.30	10.4	2.3430	3.3317	0.0072	0.9583
6.51	6.6	1.8902	1.8837	0.0288	0.9022
5.36	5.5	1.6998	1.3973	0.0476	0.8489
5.29	5.4	1.6881	1.3698	0.0491	0.8130
4.69	4.8	1.5689	1.1049	0.0655	0.7621
4.48	4.6	1.5239	1.0125	0.0727	0.7204
4.01	4.1	1.4167	0.8082	0.0923	0.6663
2.95	3.1	1.1189	0.3614	0.1656	0.5586
2.50	2.6	0.9621	0.1975	0.2152	0.4745
1.89	2.0	0.6969	0.0321	0.3119	0.3432
1.83	1.9	0.6677	0.0225	0.3232	0.2975
1.65	1.8	0.5702	0.0028	0.3608	0.2254
1.60	1.7	0.5373	0.0004	0.3735	0.1783
1.51	1.6	0.4847	0.0011	0.3935	0.1238
1.45	1.6	0.4481	0.0048	0.4071	0.0756
1.18	1.3	0.2588	0.0671	0.4727	0.0245
1.15	1.3	0.2358	0.0795	0.4799	0.0661
1.00	1.1	0.1068	0.1688	0.5155	0.1362
0.99	1.1	0.0964	0.1775	0.5180	0.1732
0.89	1.0	0.0091	0.2587	0.5366	0.2262
0.84	1.0	-0.0502	0.3225	0.5465	0.2706
0.83	0.9	-0.0615	0.3355	0.5481	0.3067
0.72	0.8	-0.1852	0.4941	0.5602	0.3533
0.68	0.8	-0.2274	0.5552	0.5619	0.3895
0.60	0.7	-0.3361	0.7289	0.5603	0.4224
0.38	0.5	-0.6954	1.4717	0.4982	0.3947
0.31	0.4	-0.8615	1.9021	0.4462	0.3772
0.13	0.2	-1.4099	3.7158	0.2410	0.2065
					0.9583
0.5177					
0.88253					
-0.1153					

Continuación de Tabla 33

480 minutos					
Int. Ord. Desc.	(x-x0)	Y=Ln(x-x0)	(Ln(x-x0)- $\mu_Y$ )^2	F(x<X)	P(x<X)-F(x<X)
5.20	5.3	1.6618	3.1083	0.0148	0.9507
3.30	3.4	1.2162	1.7354	0.0594	0.8716
2.98	3.0	1.1147	1.4784	0.0785	0.8180
2.79	2.9	1.0513	1.3281	0.0928	0.7693
2.53	2.6	0.9560	1.1176	0.1179	0.7097
2.24	2.3	0.8378	0.8817	0.1561	0.6370
2.01	2.1	0.7354	0.6998	0.1960	0.5626
1.50	1.6	0.4513	0.3052	0.3416	0.3825
1.28	1.3	0.2996	0.1606	0.4392	0.2505
1.00	1.1	0.0711	0.0297	0.6038	0.0513
0.95	1.0	0.0282	0.0168	0.6359	0.0153
0.92	1.0	-0.0060	0.0091	0.6615	0.0753
0.86	0.9	-0.0719	0.0009	0.7107	0.1590
0.84	0.9	-0.0930	0.0001	0.7262	0.2089
0.79	0.9	-0.1517	0.0026	0.7688	0.2860
0.59	0.7	-0.4039	0.0916	0.9305	0.4822
0.58	0.7	-0.4263	0.1057	0.9424	0.5286
0.54	0.6	-0.4821	0.1451	0.9699	0.5906
0.51	0.6	-0.5340	0.1874	0.9923	0.6475
0.45	0.5	-0.6394	0.2897	1.0276	0.7173
0.44	0.5	-0.6703	0.3239	1.0352	0.7594
0.43	0.5	-0.6957	0.3534	1.0405	0.7991
0.41	0.5	-0.7211	0.3843	1.0449	0.8380
0.35	0.4	-0.8603	0.5763	1.0524	0.8800
0.33	0.4	-0.8965	0.6326	1.0497	0.9118
0.21	0.3	-1.2558	1.3330	0.9286	0.8252
0.16	0.2	-1.4430	1.8003	0.8120	0.7430
0.08	0.1	-1.9056	3.2560	0.4738	0.4394
					0.9507
-0.1012					
0.85259					
-0.0737					

De la Tabla 33, Los datos de Intensidades Máximas de la Estación Pluviográfica Jaén para 480 minutos no se ajustan al Modelo Log Normal 3 Parámetros.

Nivel de significancia: 5%, para N=28,  $\Delta_0 = 0.24993$

Si  $\Delta_{max} < \Delta_0 \rightarrow 0.9649 > 0.24993$ ; No se acepta HP

**d. Estimación de parámetros estadísticos y ordenamiento descendente de datos.**

**Tabla 34: Estimación de parámetros del modelo y ordenamiento descendente de intensidades máximas de tormentas de duración hasta 480 minutos**

Año	Duración						
	5min	10min	30min	60min	120min	240min	480min
	Intensidades Máximas ordenadas (mm/hr)						
1	90.0	85.0	61.6	37.00	19.95	10.30	5.20
2	53.6	39.3	26.9	19.36	12.05	6.51	3.30
3	35.2	35.4	25.0	15.74	9.85	5.36	2.98
4	33.9	34.1	18.1	14.31	8.78	5.29	2.79
5	25.9	21.2	16.7	10.85	8.00	4.69	2.53
6	21.0	20.9	15.0	10.22	7.48	4.48	2.24
7	21.0	18.3	14.0	9.23	6.75	4.01	2.01
8	16.6	16.8	9.8	8.42	4.81	2.95	1.50
9	15.9	14.2	9.7	6.54	3.77	2.50	1.28
10	11.5	11.6	7.9	5.91	3.76	1.89	1.00
11	10.9	9.8	6.7	4.64	3.24	1.83	0.95
12	9.6	9.8	6.1	4.63	2.79	1.65	0.92
13	9.0	8.5	6.0	4.53	2.57	1.60	0.86
14	6.6	6.8	5.4	3.38	2.35	1.51	0.84
15	6.2	6.1	4.2	3.04	2.35	1.45	0.79
16	5.9	5.5	4.2	2.78	1.91	1.18	0.59
17	5.3	5.2	3.7	2.76	1.75	1.15	0.58
18	5.3	5.0	3.7	2.65	1.64	1.00	0.54
19	4.8	4.8	3.7	2.54	1.63	0.99	0.51
20	4.6	4.6	3.6	2.49	1.58	0.89	0.45
21	4.6	4.6	3.4	2.31	1.43	0.84	0.44
22	3.4	3.6	3.3	2.15	1.42	0.83	0.43
23	3.4	3.5	2.6	2.04	1.35	0.72	0.41
24	2.0	2.2	2.1	2.00	1.33	0.68	0.35
25	1.9	2.1	2.0	1.80	1.17	0.60	0.33
26	1.8	2.0	1.9	1.02	0.63	0.38	0.21
27	1.5	1.7	1.5	0.96	0.57	0.31	0.16
28	0.3	0.5	0.4	0.30	0.19	0.13	0.08
$\bar{X}$	14.99	13.49	9.55	6.58	4.13	2.35	1.23
SX	19.41	17.56	12.35	7.67	4.39	2.34	1.20
Cv	1.29	1.30	1.29	1.17	1.06	1.00	0.98
sesgo (a)	2.58	2.83	3.09	2.67	2.14	1.83	1.75
K	7.87	9.74	11.57	8.71	5.35	3.68	3.18
$\alpha$	0.0661	0.0730	0.1038	0.1673	0.2925	0.5470	1.0679
$\beta$	6.2581	5.5817	3.9962	3.1242	2.1527	1.2979	0.6847
N	28	28	28	28	28	28	28

En la Tabla 34, se observó que, el nivel de desviación de las intensidades máximas con respecto al valor promedio es elevado, es decir, las intensidades máximas de tormentas de duración hasta 480 min de la estación Jaén son variables extremas. Requiriendo ajustarse a modelos probabilísticos de variables extremas.

**Tabla 35: Estimación de parámetros del modelo y ordenamiento descendente de intensidades máximas de tormentas de duración hasta 30 minutos**

Año	Intensidades máximas ordenadas (mm/hr)		
	5min	10min	30min
1	92.7	59.9	31.5
2	69.4	49.3	29.1
3	66.2	43.9	24.5
4	56.4	43.7	18.4
5	50.2	40.9	17.6
6	33.0	24.0	17.2
7	31.2	22.2	16.2
8	25.7	17.2	15.2
9	22.2	16.8	9.1
10	21.9	16.4	8.4
11	19.6	16.2	8.0
12	18.0	12.9	6.8
13	17.2	10.4	6.5
14	15.4	10.2	6.3
15	13.9	9.6	5.9
16	13.6	9.2	5.9
17	10.8	8.8	5.6
18	10.8	7.7	4.7
19	9.6	7.4	4.0
20	9.4	7.2	3.8
21	9.2	7.0	3.8
22	8.4	6.4	3.7
23	6.0	5.9	3.7
24	5.9	4.9	3.2
25	5.0	4.5	2.5
26	2.3	2.3	2.3
27	1.4	1.4	1.4
28	0.6	0.6	0.4
X	23.07	16.67	9.49
SX	23.24	15.98	8.44
Cv	1.01	0.96	0.89
sesgo (a)	1.63	1.45	1.35
K	2.12	1.12	0.97
$\alpha$	0.0552	0.0803	0.1520
$\beta$	12.6101	9.4816	5.6923
N	28	28	28

En la Tabla 35, se observó que, el nivel de desviación de las intensidades máximas con respecto al valor promedio es elevado, es decir, las intensidades máximas de tormentas de

duración hasta 480 min de la estación Jaén son variables extremas. Requiriendo ajustarse a modelos probabilísticos de variables extremas.

**Tabla 36: Estimación de parámetros del modelo y ordenamiento descendente de intensidades máximas de tormentas de duración hasta 120 minutos**

Año	Intensidades máximas ordenadas (mm/hr)				
	5min	10min	30min	60min	120min
1	84.0	76.0	60.1	40.7	26.7
2	80.1	68.6	50.3	31.3	15.8
3	74.6	67.6	46.4	29.3	15.4
4	64.8	49.8	46.4	28.1	15.4
5	49.8	46.4	36.4	13.0	12.7
6	46.4	43.0	19.4	10.8	9.5
7	43.8	28.4	16.9	10.0	6.5
8	42.5	27.9	15.2	9.6	6.3
9	30.4	22.9	14.4	6.6	5.7
10	17.4	17.4	9.8	6.4	5.2
11	15.6	12.9	7.2	6.1	5.0
12	14.4	11.9	6.8	5.7	4.3
13	13.2	10.5	6.7	4.3	4.0
14	10.2	8.4	6.1	4.0	3.4
15	10.0	8.3	5.8	3.7	2.7
16	9.0	8.1	5.6	3.6	2.5
17	6.9	6.9	5.5	3.6	2.3
18	6.1	6.1	5.3	3.5	2.3
19	6.0	6.0	4.8	3.5	2.2
20	6.0	5.4	4.2	3.0	2.1
21	5.1	5.1	3.8	2.7	1.6
22	4.8	4.8	3.8	2.7	1.5
23	4.6	4.6	3.8	2.3	1.5
24	4.2	4.2	2.6	1.9	1.5
25	3.8	3.8	2.6	1.5	1.1
26	3.7	3.7	2.4	0.9	0.9
27	3.0	3.0	1.7	0.4	0.5
28	0.4	0.4	0.4	21.1	0.4
X	23.6	20.1	14.1	9.3	5.7
SX	26.12	22.42	17.02	10.67	6.21
Cv	1.11	1.12	1.21	1.15	1.10
sesgo (a)	1.24	1.42	1.66	1.75	1.91
K	0.21	0.82	1.50	2.13	3.76
$\alpha$	0.0491	0.0572	0.0754	0.1202	0.2064
$\beta$	11.8413	9.9872	6.4266	4.4890	2.8652
N	28	28	28	28	28

En la Tabla 36, se observó que, el nivel de desviación de las intensidades máximas con respecto al valor promedio es elevado, es decir, las intensidades máximas de tormentas de duración hasta 480 min de la estación Jaén son variables extremas. Requiriendo ajustarse a modelos probabilísticos de variables extremas.

**e. Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov.**

**Tabla 37: Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov para las intensidades máximas de las tormentas de duración hasta 480 minutos.**

Periodo de duración (minutos)	Máxima desviación absoluta $\Delta_{max}$		Significación 5% $\Delta_0$
	Gumbel	Log Normal 3 parámetros	
5	0.1926	0.9649	0.2499
10	0.1953	0.9650	0.2499
30	0.2010	0.9649	0.2499
60	0.1689	0.9642	0.2499
120	0.1537	0.9624	0.2499
240	0.1696	0.9583	0.2499
480	0.1656	0.9507	0.2499
Si $\Delta_{max} < \Delta_0$ , se acepta el modelo probabilístico	$0.2010 < \Delta_0$	$0.9650 > \Delta_0$	

La Tabla 37 muestra las máximas absolutas  $\Delta_{m\acute{a}x}$ . entre la probabilidad simulada  $F(x<X)$  y la probabilidad observada  $P(x<X)$ , para cada periodo de duración, y el valor crítico de la probabilidad de Kolmogorov  $\Delta_0$ . Para Gumbel se observó que, el valor crítico de Kolmogorov  $\Delta_0$  es superior a la máxima desviación absoluta  $\Delta_{max}$ , esto es que la prueba del modelo es no significativa. Lo que significa que el modelo describe con precisión las características muestrales de intensidades máximas de las tormentas de duración hasta 480 minutos registradas en la estación Jaén, al 5% de significancia.

**Tabla 38: Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov para la duración de 120 minutos.**

Periodo de duración (minutos)	Máxima desviación absoluta $\Delta_{max}$		Significación 5% $\Delta_0$
	Gumbel	Log Normal 3 parámetros	
5	0.1880	0.9640	0.2499
10	0.1918	0.9640	0.2499
30	0.2325	0.9640	0.2499
60	0.1949	0.9644	0.2499
120	0.1524	0.9626	0.2499
Si $\Delta_{max} < \Delta_0$ , se acepta el modelo probabilístico	$0.2325 < \Delta_0$	$0.9644 > \Delta_0$	

La Tabla 38, muestra las máximas absolutas  $\Delta_{m\acute{a}x}$ . entre la probabilidad simulada  $F(x<X)$  y la probabilidad observada  $P(x<X)$ , para cada periodo de duración, y el valor crítico de la probabilidad de Kolmogorov  $\Delta_0$ . Para Gumbel se observó que, el valor crítico de Kolmogorov  $\Delta_0$  es superior a la máxima desviación absoluta  $\Delta_{max}$ , esto es que la prueba del modelo es no significativa. Lo que significa que el modelo describe con precisión las características muestrales de intensidades máximas de las tormentas de duración hasta 120 minutos registradas en la estación Jaén, al 5% de significancia.

**Tabla 39: Comparación entre las máximas desviaciones absolutas de las probabilidades simuladas y observadas y la probabilidad kolmogorov para la duración de 30 minutos.**

Periodo de duración (minutos)	Máxima desviación absoluta $\Delta_{max}$		Significación 5% $\Delta_0$
	Gumbel	Log Normal 3 parámetros	
5	0.1348	0.9645	0.2499
10	0.1573	0.9636	0.2499
30	0.1549	0.9615	0.2499
Si $\Delta_{max} < \Delta_0$ , se acepta el modelo probabilístico	$0.1573 < \Delta_0$	$0.9645 > \Delta_0$	

La Tabla 39, muestra las máximas absolutas  $\Delta_{m\acute{a}x}$ . entre la probabilidad simulada  $F(x<X)$  y la probabilidad observada  $P(x<X)$ , para cada periodo de duraci3n, y el valor cr3tico de la probabilidad de Kolmogorov  $\Delta_0$ . Para Gumbel se observ3 que, el valor cr3tico de Kolmogorov  $\Delta_0$  es superior a la m\acute{a}xima desviaci3n absoluta  $\Delta_{max}$ , esto es que la prueba del modelo es altamente no significativa. Lo que significa que el modelo describe con mucha precisi3n las caracter3sticas muestrales de intensidades m\acute{a}ximas de las tormentas de duraci3n hasta 30 minutos registradas en la estaci3n Ja3n, al 5% de significancia.

**f. Curvas IDF generadas para la estaci3n de estudio.**

**CURVAS IDF PARA DIFERENTES NIVELES DE CONFIANZA**

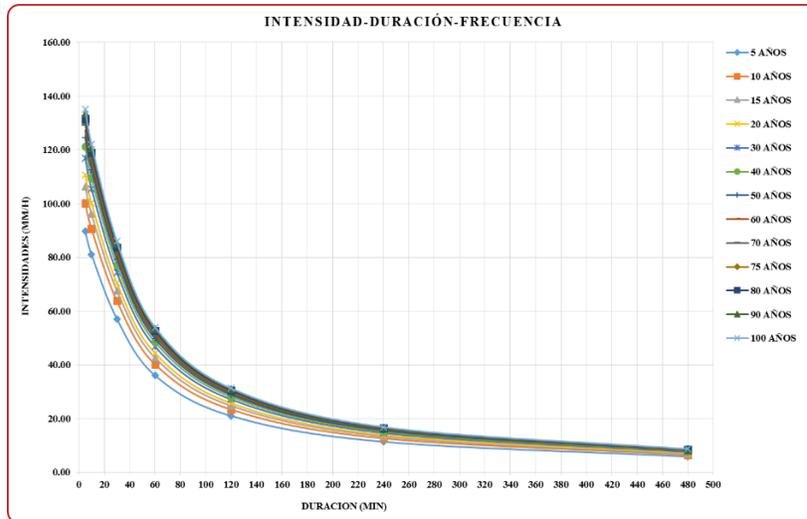
**Duraci3n hasta 480min**

**• Para un riesgo de predicci3n de 2%**

**Tabla 40: Intensidades m\acute{a}ximas con riesgo de predicci3n del 2%**

Riesgo J (%)	Numero de a\ntos	Tiempo de Retorno	Duraci3n (min)						
			5	10	30	60	120	240	480
			Intensidades (mm/hr)						
2	5	247.99	89.68	81.05	57.07	36.07	21.00	11.37	5.85
	10	495.48	100.17	90.54	63.75	40.22	23.37	12.64	6.49
	15	742.97	106.31	96.10	67.65	42.64	24.75	13.38	6.87
	20	990.47	110.66	100.04	70.42	44.36	25.74	13.91	7.14
	30	1485.45	116.80	105.59	74.32	46.79	27.12	14.65	7.52
	40	1980.43	121.15	109.53	77.10	48.51	28.11	15.17	7.79
	50	2475.42	124.53	112.58	79.24	49.84	28.87	15.58	8.00
	60	2970.40	127.29	115.08	81.00	50.93	29.49	15.92	8.17
	70	3465.38	129.62	117.19	82.48	51.85	30.02	16.20	8.32
	75	3712.87	130.67	118.14	83.15	52.26	30.26	16.32	8.38
	80	3960.37	131.64	119.02	83.77	52.65	30.48	16.44	8.44
	90	4455.35	133.43	120.63	84.90	53.35	30.88	16.66	8.55
100	4950.33	135.02	122.07	85.92	53.98	31.24	16.85	8.65	

La Tabla 40, muestra la probabilidad de que falle la predicci3n de las intensidades m\acute{a}ximas en un 2%, es decir con nivel de confianza del 98 % de que ocurrir\an dichas intensidades en el n\umero de a\ntos especificados. Adem\as se verifico que, a mayor n\umero de a\ntos, se presentan mayores tiempos de retorno y mayores intensidades m\acute{a}ximas para las duraciones establecidas.



**Gráfica 01: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 2%.**

El gráfico, muestra que, a menor duración, mayor intensidad y viceversa, además que, a menor número de años, menores intensidades y viceversa.

-Ecuaciones de la curva IDF para un riesgo del 2% y Test de hipótesis de R.

$$HP: R = 0 \rightarrow t_c > t_t$$

$$HA: R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$$

**Tabla 41: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 2% y Test de hipótesis de R**

Riesgo J %	Número de años	Ecuación	R <sup>2</sup>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
2	5	$y = 328.02x^{-0.603}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	10	$y = 367.56x^{-0.604}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	15	$y = 390.7x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	20	$y = 407.12x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	30	$y = 430.25x^{-0.606}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	40	$y = 446.67x^{-0.606}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	50	$y = 459.41x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	60	$y = 469.82x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	70	$y = 478.62x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	75	$y = 482.55x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	80	$y = 486.24x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	90	$y = 492.96x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
100	$y = 498.97x^{-0.607}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706	

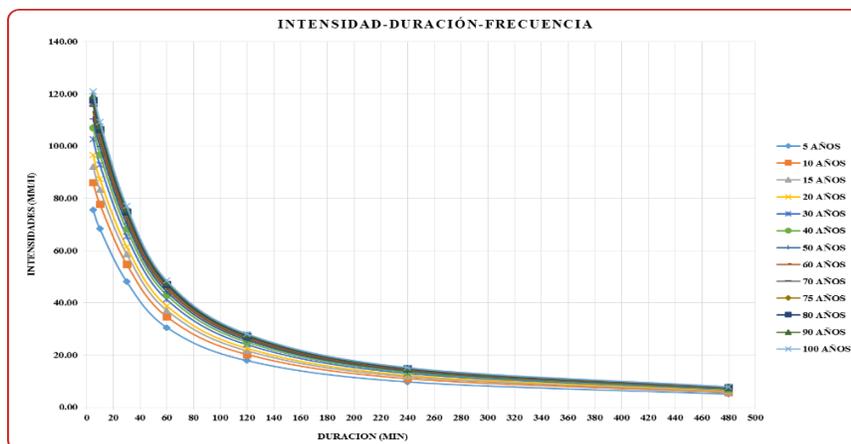
La Tabla 41, muestra ecuaciones en función del tiempo de duración, hasta 480 minutos, para un riesgo del 2% de ocurrencia de la intensidad en los números de años especificados. Se verificó  $t_c < t_t$ , indicando variables bien correlacionadas, aceptando  $HA:R \neq 0$ .

• Para un riesgo de predicción de 5%

Tabla 42: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 5%

Riesgo J (%)	Número de años	Tiempo de Retorno	Duración (min)						
			5	10	30	60	120	240	480
			Intensidades (mm/hr)						
5	5	97.98	75.57	68.29	48.10	30.50	17.81	9.67	4.97
	10	195.46	86.07	77.78	54.77	34.65	20.18	10.94	5.62
	15	292.94	92.20	83.34	58.68	37.07	21.57	11.68	6.00
	20	390.41	96.56	87.28	61.45	38.79	22.55	12.20	6.27
	30	585.37	102.69	92.83	65.35	41.22	23.94	12.95	6.65
	40	780.33	107.05	96.77	68.12	42.94	24.92	13.47	6.92
	50	975.29	110.43	99.82	70.27	44.27	25.68	13.88	7.13
	60	1170.24	113.19	102.32	72.03	45.36	26.31	14.21	7.30
	70	1365.20	115.52	104.43	73.51	46.28	26.83	14.49	7.44
	75	1462.68	116.56	105.38	74.18	46.69	27.07	14.62	7.51
	80	1560.16	117.54	106.26	74.80	47.08	27.29	14.74	7.57
	90	1755.12	119.32	107.87	75.93	47.78	27.69	14.95	7.68
100	1950.07	120.92	109.32	76.95	48.41	28.05	15.15	7.78	

La Tabla 42, muestra la probabilidad de que falle la predicción de las intensidades máximas en un 2%, es decir con nivel de confianza del 98 % de que ocurrirán dichas intensidades en el número de años especificados. Además se verificó que, a mayor número de años, se presentan mayores tiempos de retorno y mayores intensidades máximas para las duraciones establecidas.



Gráfica 02: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 5%.

La gráfica, define a menor duración, mayor intensidad y viceversa, además a menor número de años, menores intensidades y viceversa.

-Ecuaciones de la curva IDF para un riesgo del 5% y Test de hipótesis de R.

$$HP: R = 0 \rightarrow t_c > t_t$$

$$HA: R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$$

**Tabla 43: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 5% y Test de hipótesis de R**

Riesgo J %	Número de años	Ecuación	R <sup>2</sup>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
5	5	y = 274.88x <sup>-0.6</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	10	y = 314.41x <sup>-0.602</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	15	y = 337.54x <sup>-0.603</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	20	y = 353.95x <sup>-0.604</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	30	y = 377.08x <sup>-0.605</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	40	y = 393.5x <sup>-0.605</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	50	y = 406.23x <sup>-0.605</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	60	y = 416.64x <sup>-0.606</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	70	y = 425.44x <sup>-0.606</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	75	y = 429.37x <sup>-0.606</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	80	y = 433.06x <sup>-0.606</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	90	y = 439.78x <sup>-0.606</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	100	y = 445.79x <sup>-0.606</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706

La HA: R ≠ 0 → t<sub>c</sub> < t<sub>t</sub>

Tabla 43, muestra ecuaciones en función del tiempo de duración, hasta 480 minutos, para un riesgo del 5% de ocurrencia de la intensidad en los números de años especificados.

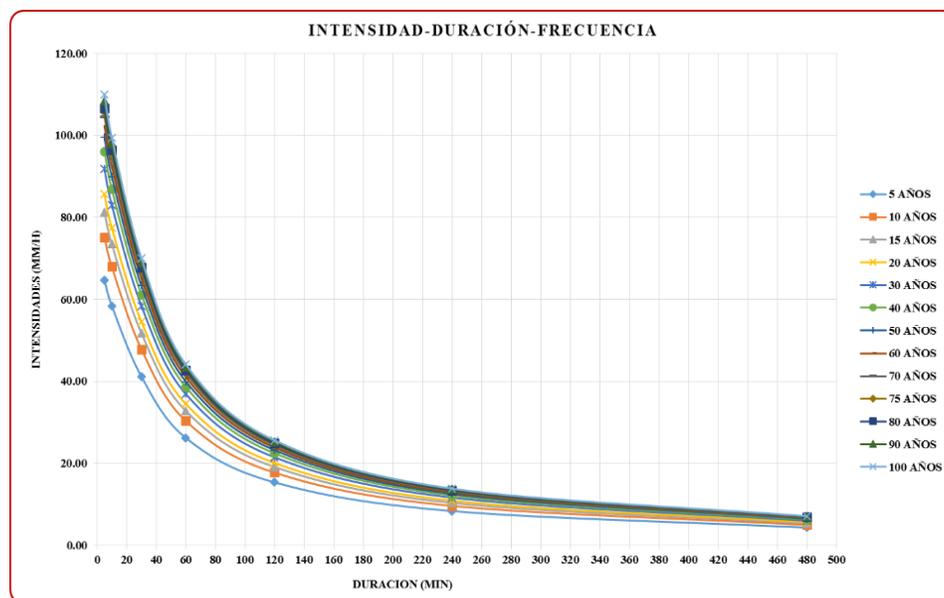
Se verificó t<sub>c</sub> < t<sub>t</sub>, indicando variables bien correlacionadas, aceptando HA: R ≠ 0 .

• Para un riesgo de predicción de 10%

Tabla 44: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 10%

Riesgo J (%)	Número de años	Tiempo de Retorno	Duración (min)						
			5	10	30	60	120	240	480
			Intensidades (mm/hr)						
10	5	47.96	64.68	58.44	41.17	26.20	15.35	8.35	4.30
	10	95.41	75.17	67.93	47.84	30.34	17.72	9.62	4.95
	15	142.87	81.31	73.48	51.75	32.77	19.11	10.36	5.33
	20	190.32	85.66	77.42	54.52	34.49	20.09	10.89	5.60
	30	285.24	91.80	82.97	58.42	36.91	21.48	11.63	5.98
	40	380.15	96.15	86.91	61.19	38.63	22.46	12.16	6.25
	50	475.06	99.53	89.97	63.34	39.97	23.22	12.56	6.46
	60	569.97	102.29	92.46	65.10	41.06	23.85	12.90	6.63
	70	664.89	104.62	94.57	66.58	41.98	24.37	13.18	6.77
	75	712.34	105.67	95.52	67.24	42.39	24.61	13.30	6.84
	80	759.80	106.64	96.40	67.87	42.78	24.83	13.42	6.90
	90	854.71	108.43	98.02	69.00	43.48	25.23	13.64	7.01
100	949.62	110.02	99.46	70.01	44.11	25.59	13.83	7.10	

La Tabla 44, muestra la probabilidad de que falle la predicción de las intensidades máximas en un 10 %, es decir con nivel de confianza del 90 % de que ocurrirán dichas intensidades en el número de años especificados. Además se verifico que, a mayor número de años, se presentan mayores tiempos de retorno y mayores intensidades máximas para las duraciones establecidas.



Gráfica 03: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 10%.

La Grafica define a menor duración, mayor intensidad y viceversa, además a menor número de años, menores intensidades y viceversa.

-Ecuaciones de la curva IDF para un riesgo del 10% y Test de hipótesis de R.

$$HP: R = 0 \rightarrow t_c > t_t$$

$$HA: R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$$

**Tabla 45: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 10% y Test de hipótesis de R**

Riesgo J %	Número de años	Ecuación	R <sup>2</sup>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
10	5	$y = 233.85x^{-0.598}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	10	$y = 273.36x^{-0.6}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	15	$y = 296.48x^{-0.602}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	20	$y = 312.89x^{-0.602}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	30	$y = 336.01x^{-0.603}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	40	$y = 365.16x^{-0.604}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	50	$y = 365.16x^{-0.604}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	60	$y = 375.56x^{-0.604}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	70	$y = 384.36x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	75	$y = 388.29x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	80	$y = 391.98x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	90	$y = 404.71x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
100	$y = 398.7x^{-0.605}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706	

La HA:  $R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$

Tabla 45, muestra ecuaciones en función del tiempo de duración, hasta 480 minutos, para un riesgo del 10% de ocurrencia de la intensidad en los números de años especificados.

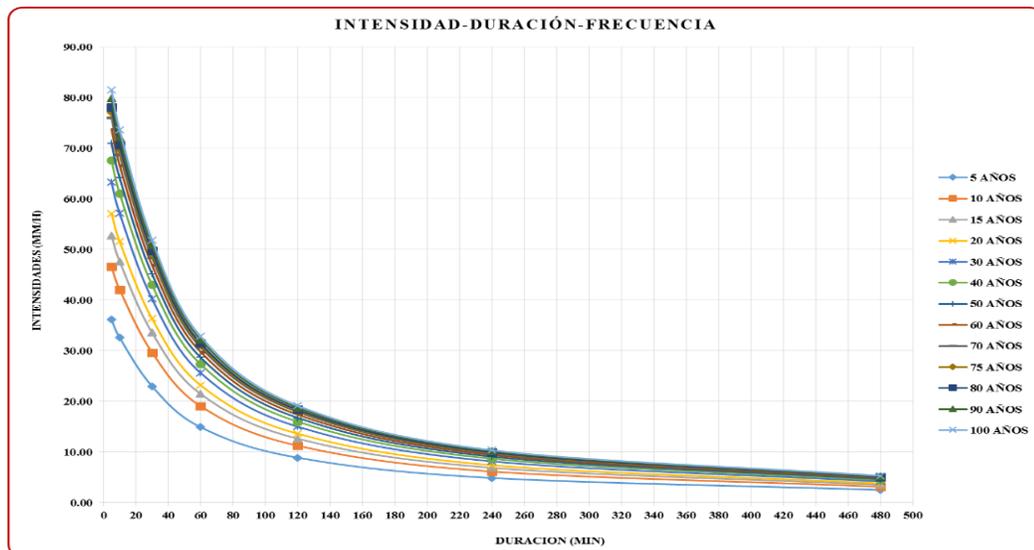
Se verifico'  $t_c < t_t$ , indicando variables bien correlacionadas, aceptando HA:  $R \neq 0$ .

• Para un riesgo de predicción de 50%

Tabla 46: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 50%

Riesgo J (%)	Número de años	Tiempo de Retorno	Duración (min)						
			5	10	30	60	120	240	480
			Intensidades (mm/hr)						
50	5	7.73	36.17	32.64	23.02	14.94	8.91	4.91	2.54
	10	14.93	46.66	42.13	29.70	19.08	11.28	6.18	3.18
	15	22.14	52.79	47.68	33.60	21.51	12.66	6.92	3.56
	20	29.36	57.15	51.62	36.37	23.23	13.65	7.44	3.83
	30	43.78	63.29	57.18	40.28	25.65	15.03	8.19	4.21
	40	58.21	67.64	61.11	43.05	27.37	16.02	8.71	4.48
	50	72.64	71.02	64.17	45.20	28.70	16.78	9.12	4.69
	60	87.06	73.78	66.67	46.95	29.79	17.40	9.45	4.86
	70	101.49	76.11	68.78	48.44	30.71	17.93	9.73	5.01
	75	108.70	77.15	69.72	49.10	31.13	18.17	9.86	5.07
	80	115.92	78.13	70.61	49.72	31.51	18.39	9.98	5.13
	90	130.34	79.91	72.22	50.86	32.22	18.79	10.19	5.24
	100	144.77	81.51	73.66	51.87	32.85	19.15	10.39	5.34

La Tabla 46, muestra la probabilidad de que falle la predicción de las intensidades máximas en un 50 %, es decir con un nivel de confianza del 50 % de que ocurrirán dichas intensidades en el número de años especificados. Además se verifico que, a mayor número de años, se presentan mayores tiempos de retorno y mayores intensidades máximas para las duraciones establecidas.



Gráfica 04: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 50%.

El define, a menor duración, mayor intensidad y viceversa. Respecto al número de años a menor número de años, menores intensidades y viceversa.

-Ecuaciones de la curva IDF para un riesgo del 50% y Test de hipótesis de R.

$$HP: R = 0 \rightarrow t_c > t_t$$

$$HA: R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$$

**Tabla 47: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 50% y Test de hipótesis de R**

Riesgo J %	Número de años	Ecuación	R <sup>2</sup>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
50	5	$y = 126.68x^{-0.584}$	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	10	$y = 166.05x^{-0.591}$	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	15	$y = 189.12x^{-0.594}$	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	20	$y = 205.5x^{-0.596}$	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	30	$y = 228.6x^{-0.597}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	40	$y = 244.99x^{-0.599}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	50	$y = 257.71x^{-0.599}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	60	$y = 268.11x^{-0.6}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	70	$y = 276.9x^{-0.601}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	75	$y = 280.83x^{-0.601}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	80	$y = 284.51x^{-0.601}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	90	$y = 291.23x^{-0.601}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
100	$y = 297.23x^{-0.602}$	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706	

La  $HA:R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$

Tabla 47, muestra ecuaciones en función del tiempo de duración, hasta 480 minutos, para un riesgo del 50% de ocurrencia de la intensidad en los números de años especificados.

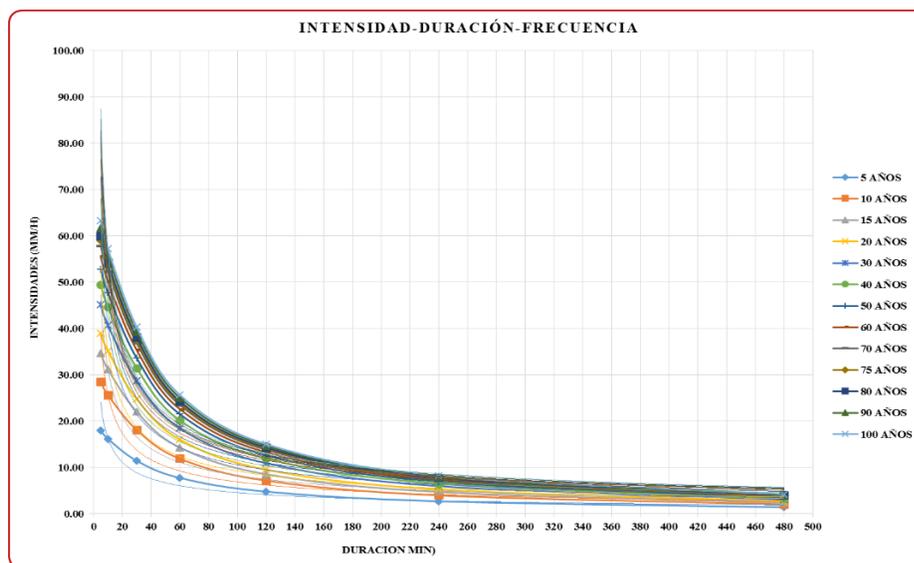
Se verificó  $t_c < t_t$ , indicando variables bien correlacionadas, aceptando  $HA:R \neq 0$ .

- Para un riesgo de predicción de 90%

**Tabla 48: Intensidades máximas con riesgo de predicción del 90%**

Riesgo J (%)	Número de años	Tiempo de Retorno	Duración (min)						
			5	10	30	60	120	240	480
			Intensidades (mm/hr)						
90	5	2.71	17.99	16.20	11.46	7.76	4.80	2.72	1.41
	10	4.86	28.49	25.69	18.14	11.90	7.17	3.98	2.06
	15	7.03	34.62	31.24	22.04	14.33	8.56	4.72	2.44
	20	9.20	38.98	35.18	24.81	16.05	9.54	5.25	2.71
	30	13.54	45.11	40.74	28.72	18.47	10.93	5.99	3.09
	40	17.88	49.47	44.67	31.49	20.19	11.91	6.52	3.36
	50	22.22	52.85	47.73	33.64	21.53	12.68	6.92	3.57
	60	26.56	55.61	50.23	35.39	22.62	13.30	7.26	3.74
	70	30.90	57.94	52.34	36.88	23.54	13.83	7.54	3.88
	75	33.07	58.98	53.28	37.54	23.95	14.06	7.67	3.95
	80	35.25	59.96	54.17	38.16	24.34	14.28	7.78	4.01
	90	39.59	61.74	55.78	39.30	25.04	14.69	8.00	4.12
	100	43.93	63.34	57.22	40.31	25.67	15.05	8.19	4.22

La Tabla 48, muestra la probabilidad de que falle la predicción de las intensidades máximas en un 90 %, es decir con un nivel de confianza del 10 % de que ocurrirán dichas intensidades en el número de años especificados. Además se verifico que, a mayor número de años, se presentan mayores tiempos de retorno y mayores intensidades máximas para las duraciones establecidas.



**Gráfica 05: Curvas IDF con riesgo de predicción de los eventos de 90%.**

La grafica define, a menor duración, mayor intensidad y viceversa. Respecto al número de años a menor número de años, menores intensidades y viceversa.

-Ecuaciones de la curva IDF para un riesgo del 90% y Test de hipótesis de R.

$$HP: R = 0 \rightarrow t_c > t_t$$

$$HA: R \neq 0 \rightarrow t_c < t_t$$

**Tabla 49: Ecuaciones en función del tiempo de duración hasta 480 min, para un riesgo de 90% y Test de hipótesis de R**

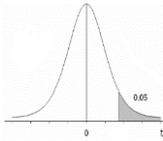
Riesgo J %	Número de años	Ecuación	R <sup>2</sup>	t <sub>c</sub>	t <sub>t</sub>
90	5	y = 58.95x <sup>-0.555</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9397	0.075	1.706
	10	y = 97.937x <sup>-0.576</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	15	y = 120.89x <sup>-0.583</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706
	20	y = 137.22x <sup>-0.586</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	30	y = 160.26x <sup>-0.59</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	40	y = 176.62x <sup>-0.592</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	50	y = 189.32x <sup>-0.594</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	60	y = 199.7x <sup>-0.595</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	70	y = 208.48x <sup>-0.596</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	75	y = 212.41x <sup>-0.596</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	80	y = 216.08x <sup>-0.596</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	90	y = 222.79x <sup>-0.597</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9403	0.082	1.706
	100	y = 228.8x <sup>-0.597</sup>	R <sup>2</sup> = 0.9402	0.082	1.706

La HA:R≠ 0 → t<sub>c</sub> < t<sub>t</sub>

Tabla 49, muestra ecuaciones en función del tiempo de duración, hasta 480 minutos, para un riesgo del 90% de ocurrencia de la intensidad en los números de años especificados.

Se verifico' t<sub>c</sub> < t<sub>t</sub>, indicando variables bien correlacionadas, aceptando HA:R ≠ 0 .

- **Tabla 50: de t de student**



**Tabla 50: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT**

Grados de Libertad	Área de la Parte Superior							
	0.40	0.30	0.25	0.10	0.05	0.025	0.010	0.005
1	0.325	0.727	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656
2	0.289	0.617	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.559	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.542	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.540	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.538	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.532	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.531	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.531	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.530	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.530	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.530	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.530	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
31	0.256	0.530	0.682	1.309	1.696	2.040	2.453	2.744
32	0.255	0.530	0.682	1.309	1.694	2.037	2.449	2.738
33	0.255	0.530	0.682	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733
34	0.255	0.529	0.682	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728
35	0.255	0.529	0.682	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724

Continuación de tabla 50

<b>36</b>	0.255	0.529	0.681	1.306	1.688	2.028	2.434	2.719
<b>37</b>	0.255	0.529	0.681	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715
<b>38</b>	0.255	0.529	0.681	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712
<b>39</b>	0.255	0.529	0.681	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708
<b>40</b>	0.255	0.529	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
<b>60</b>	0.254	0.527	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
<b>100</b>	0.254	0.526	0.677	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626
<b>120</b>	0.254	0.526	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
<b>inf.</b>	0.253	0.524	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

## **ANEXOS B: PLANOS**

Lamina 01: Plano delimitación de cuenca.

Lamina 02: Plano topográfico y perfil longitudinal del río.

Lamina 03: Plano área de inundación para un periodo consecutivo de  $N = 200$  años, incertidumbre de diseño  $j = 1\%$ .