

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“COMPARACION DE VARIABLES HIDRAULICAS OBTENIDAS CON MODELOS
BIDIMENSIONALES IBER Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES, APLICACIÓN
AL RIO CHAMAN-TRAMO PUENTE CHAMAN-CHEPEN-LA LIBERTAD”**

LINEA DE INVESTIGACION: HIDRAULICA

AUTORES:

BR. CANEVARO BALAREZO DANNER JAIR

BR. MUÑOZ CACEDA DEIBHY STEVEN

ASESOR:

ING. JUAN PABLO GARCIA RIVERA

Trujillo – Perú

2020

**“COMPARACION DE VARIABLES HIDRAULICAS OBTENIDAS CON MODELOS
BIDIMENSIONALES IBER Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES, APLICACIÓN
AL RIO CHAMAN-TRAMO PUENTE CHAMAN-CHEPEN-LA LIBERTAD”**

Por: Br. Canevaro Balarezo Danner Jair
Br. Muñoz Caceda Deibhy Steven

Miembros del Jurado:

.....
Presidente

Dr. Ricardo Andrés Narváez Aranda
CIP 58776

.....
Secretario

Mg. Jose Luis Serrano Hernández
CIP 54464

.....
Vocal

Mg. Tito Alfredo Burgos Sarmiento
CIP 82596

Asesor:

.....
Mg. García Rivera Juan Pablo CIP 68614

PRESENTACION

Señores Miembros del Jurado:

En cumplimiento a las normas estipuladas para la elaboración de la tesis según el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato someter a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: “COMPARACION DE VARIABLES HIDRAULICAS OBTENIDAS CON MODELOS BIDIMENSIONALES IBER Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES, APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO PUENTE CHAMAN-CHEPEN-LA LIBERTAD”, con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingenieros Civiles.

Con la convicción que se le otorga al valor justo y mostrando apertura a sus observaciones, les agradezco por anticipado por las sugerencias y apreciaciones que se me brinden en la investigación.

Atentamente,

Trujillo, diciembre del 2020

Br: Canevaro Balarezo Danner J.

Br. Muñoz Caceda Deibhy S.

DEDICATORIA

En primer lugar, a mis padres, Víctor Augusto Muñoz Marino y María Hayde Caceda Fernández, que fueron el pilar de todo el proceso de mi enseñanza, me brindaron todo el apoyo incondicional en la parte moral y económica para llegar hacer un buen profesional.

También a mi hermanan Bertha Muñoz Caceda, por todo su amor, comprensión y respeto.

A mi esposa Vanesa Dávila, por todo el apoyo incondicional y por siempre estar mi lado, motivándome para cumplir todas mis metas.

A mi pequeña hija Ivana Muñoz Dávila, por ser el motor y motivo de todos los logros que me he propuesto, siendo el camino y razón de nuestras vidas.

Deibhy Steven Muñoz Caceda

A todas las personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron dispuestas a brindarme toda su ayuda de manera incondicional y sin inconvenientes, me es grato retribuir un poco de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño está tesis se las dedico:

A mis padres:

Job Canevaro Montezza

Elena Balarezo Morales

A mi abuelo:

Juan Balarezo Guerra

A mi hermana:

Patricia Canevaro Balarezo

A mis familiares todos

Danner Jair Canevaro Balarezo

AGRADECIMIENTO

A nuestro creador Dios padre por iluminar nuestros caminos para la culminación satisfactoria de nuestra tesis.

A nuestras familias, por todo el apoyo incondicional, comprensión, amor y mucha paciencia a lo largo de todo este tiempo y principalmente en diferentes momentos difíciles en todo el desarrollo. En especial agradecemos a cada uno de nuestros padres por el todo el esfuerzo y esmero de enseñarnos hacer mejores personas, para llegar hacer mejores profesionales.

A nuestro asesor Ing. Juan Pablo García Rivero Rivera por su apoyo técnico y aporte de sus conocimientos para el desarrollo de nuestra tesis.

INDICE

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la Realidad problemática.....	24
1.2 Descripción del problema	25
1.3 Formulación del problema.....	27
1.4 Objetivo general.....	27
1.5 Objetivos específicos.....	27
1.6 Justificación de la Investigación	27
1.7 Viabilidad de la investigación.....	28

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	29
2.1.1 Antecedente internacional... ..	29
2.1.2 Antecedente nacional... ..	30
2.1.3 Antecedente local... ..	34
2.2 Fundamentación Teórica... ..	35
2.2.1 Levantamiento de cause utilizando Topografía... ..	35
2.2.2 Flujo Bidimensional	35
2.2.3 Modelamiento Hidráulico... ..	35
2.2.3.1 Modelo Hidráulico HEC-RAS 2D	36
2.2.3.2 Modelo Hidráulico IBER	40
2.3 Definición Conceptual.....	44
2.4 Hipótesis	44
2.5 Variables dependientes e independientes... ..	45
2.6 Operacionalización de las Variables (Dimensiones e indicadores)	45

2.6.1	Variables independientes.....	45
2.6.2	Variable dependiente	47

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Tipo de Investigación, Enfoque y Alcance	49
	Tipo de investigación	49
	Enfoque y alcance de la investigación	49
3.2	Población y muestra	49
	Población	49
	Muestra:.....	49
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	50
3.4	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	53
3.5	Procesamiento y Análisis de Datos.....	55
	3.5.1 Estudio Topográfico.....	55
	3.5.2 Delimitación De La Cuenca en ArcMap	58
	3.5.2.1 Análisis de Raster	59
	3.5.3 Creación De Modelo De Elevación	66
	3.5.4 Datos Estación Lives Extraídos De La Web Del Ana	67
	3.5.5 Cálculo De Caudales Máximos Para Periodos De Retorno	
	De 50, 100 Y 500 Años	68
	3.5.5.1 Cálculo De Intensidad De Precipitación En 50 Años.....	76
	Método Perfil SCS Tipo II.....	76
	Método de Dick Peschke	78
	Método de F. Bell.....	79
	Método de Daniel F. Campos	80
	CALCULO DE CAUDALES	82
	Método Racional.....	82
	Método Envolvente de Descargas Máximas de Creager.....	84
	Método Hidrograma Unitario Triangular	86

3.5.5.2	Cálculo De Intensidad De Precipitación en 100 Años	88
	Método Perfil SCS Tipo II.....	88
	Método de Dick Peschke	90
	Método de F. Bell.....	91
	Método de Daniel F. Campos	92
	CALCULO DE CAUDALES	94
	Método Racional.....	94
	Método Envolvente de Descargas Máximas de Creager.....	96
	Método Hidrograma Unitario Triangular	98
3.5.5.3	Cálculo De Intensidad De Precipitación en 500 Años	100
	Método Perfil SCS Tipo II.....	100
	Método de Dick Peschke	102
	Método de F. Bell.....	103
	Método de Daniel F. Campos	104
	CALCULO DE CAUDALES	106
	Método Racional.....	106
	Método Envolvente de Descargas Máximas de Creager.....	108
	Método Hidrograma Unitario Triangular	110

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1	Modelamientos Bidimensionales En Hec-Ras Y Iber.....	112
	4.1.1 Modelamiento bidimensional con Diques	112
	4.1.2 Diseño de Enrocado de Protección	115
	4.1.3 Modelamiento con HEC-RAS.....	130
	Proceso de Malla de Calculo.....	131
	Modelo Sin Proyecto.....	135
	Periodo de Retorno 50 Años	136
	Periodo de Retorno 100 Años	140
	Periodo de Retorno 500 Años.....	144

Modelo Con Proyecto	148
Periodo de Retorno 50 Años	149
Periodo de Retorno 100 Años	153
Periodo de Retorno 500 Años.....	157
4.1.4 Modelo Bidimensional IBER	161
Proceso de Malla de Calculo.....	162
Modelo Sin Proyecto.....	166
Periodo de Retorno 50 Años	166
Periodo de Retorno 100 Años	170
Periodo de Retorno 500 Años.....	174
Modelo Con Proyecto	178
Periodo de Retorno 50 Años	178
Periodo de Retorno 100 Años	182
Periodo de Retorno 500 Años.....	186

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Modelo Bidimensional	190
5.2 Modelo Bidimensional Hec-Ras.....	190
5.2.1 Periodo de Retorno 50 Años	190
5.2.2 Periodo de Retorno 100 Años	190
5.2.3 Periodo de Retorno 500 Años	191
5.3 Modelo Bidimensional Hec-Ras con Proyecto.....	191
5.3.1 Periodo de Retorno 50 Años	191
5.3.2 Periodo de Retorno 100 Años	192
5.3.3 Periodo de Retorno 500 Años	192
5.4 Modelo Bidimensional IBER.....	193
5.2.4 Periodo de Retorno 50 Años	193
5.2.5 Periodo de Retorno 100 Años	193
5.2.6 Periodo de Retorno 500 Años	194

5.5 Modelo Bidimensional IBER con Proyecto	194
5.3.4 Periodo de Retorno 50 Años	194
5.3.5 Periodo de Retorno 100 Años	195
5.3.6 Periodo de Retorno 500 Años	195
CONCLUSIONES	196
RECOMENDACIONES	196
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	197
ANEXOS	199

Índice de Figuras

Figura 1: Abundante vegetación en el rio Chaman	26
Figura 2: Defensas Ribereñas en laterales del rio Chaman	26
Figura 3: Demostración de un modelamiento hidráulico y sección Transversal utilizando Hec-Ras	37
Figura 4: Esquema de modelo hidráulico Bidimensional (X, Y)	37
Figura 5: Demostración de una superficie inferior que está dada por $z(x, y)$ la profundidad del agua es $h(x, y, t)$	39
Figura 6: Ejemplo de malla no estructurada formada por elementos triangulares	42
Figura 7: Drone empleado para el levantamiento topográfico	51
Figura 8: Estación Total utilizado para el levantamiento topográfico	51
Figura 9: Digitación de puntos estratégicos, marcados con corrector	52
Figura 10: Prismas utilizados en puntos estratégicos para una mejor visualización con la Estación Total	52
Figura 11: Ubicación Geográfica Distrito San José de Moro.....	55
Figura 12: Imagen de la ubicación en Google Maps	56
Figura 13: Imagen recortada de la ubicación del cauce del rio	56
Figura 14: Ubicación de los datos Ráster en la página del Ministerio del Ambiente ..	58
Figura 15: Selección del ráster S08W80 donde se ubica nuestra cuenca	59
Figura 16: Forma de la cuenca luego del proceso del archivo raster	59
Figura 17: Proceso fil sink aplicado al raster	60
Figura 18: Proceso de herramienta flow direction aplicado al raster	61
Figura 19: Proceso flow accumulation aplicado al raster	62
Figura 20: Proceso Stream definition aplicado al raster	62
Figura 21: Proceso Stream Segmentación aplicado al raster.....	63
Figura 22: Proceso Catchment Grind Delineation aplicado al raster	63
Figura 23: Proceso Catchment Polygon Processing aplicado al raster, formación de las Microcuencas mediante Polígonos	64

Figura 24: Proceso Drenaje Lind Processing aplicado al raster, formación de la red fluvial	64
Figura 25: Proceso Adjoint Catchent Processing aplicado al raster, junto con el proyecto del punto referencial	65
Figura 26: Modelo digital con geometrías para distinguir las zonas.....	66
Figura 27: Secciones trazadas de margen derecho a margen izquierdo	67
Figura 28: Identificación de estación lives en la página de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)	67
Figura 29: Registros pluviométricos de la estación lives	68
Figura 30: Fórmulas para cálculo de variables probabilísticas.....	73
Figura 31: Mapa de Regiones Hidráulicas Diferenciales	85
Figura 32: Mapa de Regiones Hidráulicas Diferenciales	97
Figura 33: Mapa de Regiones Hidráulicas Diferenciales	109
Figura 34: Herramienta 2D Area Break Lines.....	112
Figura 35: Sesión típica de la formación de diques.....	112
Figura 36: Dimensiones alto y ancho para la estructura.....	113
Figura 37: Proyecto generado para modelación bidimensional.....	113
Figura 38: Sección del río Chaman aguas arriba y aguas abajo.....	114
Figura 39: Archivo DEM de la sección del puente Chaman en el programa RAS Mapper	116
Figura 40: Creación de perímetro en área 2d.....	116
Figura 41: Edición de perímetro y asignación de malla (comando: 2d final área edition).....	117
Figura 42: Archivo editado abierto en el programa Hec Ras	117
Figura 43: Se le dan condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo del margen izquierdo al derecho	118
Figura 44: Edición de condiciones de borde aguas abajo con un normal Depth y una pendiente de 0.005.....	118

Figura 45: Edición de condiciones de borde aguas arriba en el hidrograma asignando los datos de la data hidrológica y el caudal máximo correspondiente a cada año de retorno	119
Figura 46: Corremos el programa Hec Ras.....	119
Figura 47: Visualización de variables hidráulicas en áreas coloreadas Modelo Bidimensional Hec-Ras	120
Figura 48: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional en el cauce del rio Chaman.....	120
Figura 49: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	121
Figura 50: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.003 m para un periodo de retorno de 50 años.....	121
Figura 51: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.117 m para un periodo de retorno de 50 años.....	122
Figura 52: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.087 m para un periodo de retorno de 50 años.....	122
Figura 53: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	123
Figura 54: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 1.702 m/s para un periodo de retorno de 50 años.....	123
Figura 55: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.477 m/s para un periodo de retorno de 50 años	124
Figura 56: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.687 m/s para un periodo de retorno de 50 años	124
Figura 57: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	125
Figura 58: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.031 m para un periodo de retorno de 100 años.....	125

Figura 59: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.269 m para un periodo de retorno de 100 años.....	126
Figura 60: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.267 m para un periodo de retorno de 100 años	126
Figura 61: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	127
Figura 62: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.001 m/s para un periodo de retorno de 100 años	127
Figura 63: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.865 m/s para un periodo de retorno de 100 años	128
Figura 64: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.763 m/s para un periodo de retorno de 100 años	128
Figura 65: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años	129
Figura 66: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.210 m para un periodo de retorno de 500 años	129
Figura 67: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.968 m para un periodo de retorno de 500 años	130
Figura 68: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.612 m para un periodo de retorno de 500 años	130
Figura 69: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años	131
Figura 70: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.106 m/s para un periodo de retorno de 500 años	131
Figura 71: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 5.367m/s para un periodo de retorno de 500 años	132
Figura 72: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.941 m/s para un periodo de retorno de 500 años	132

Figura 73: Flechas de velocidad estática y Rastreo de partículas en la sección del puente Chaman para un periodo de retorno de 500 años sin Proyecto	133
Figura 74: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional con diques en el cauce del rio Chaman.....	133
Figura 75: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	134
Figura 76: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.004 m para un periodo de retorno de 50 años	134
Figura 77: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.153 m para un periodo de retorno de 50 años	135
Figura 78: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.023 m para un periodo de retorno de 50 años	135
Figura 79: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	136
Figura 80: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.336 m/s para un periodo de retorno de 50 años	136
Figura 81: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.136 m/s para un periodo de retorno de 50 años	137
Figura 82: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.252 m/s para un periodo de retorno de 50 años	137
Figura 83: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	138
Figura 84: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.216 m para un periodo de retorno de 100 años	138
Figura 85: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 2.284 m para un periodo de retorno de 100 años	139
Figura 86: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.222 m para un periodo de retorno de 100 años	139

Figura 87: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 50 años	140
Figura 88: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.742 m/s para un periodo de retorno de 100 años	140
Figura 89: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.341 m/s para un periodo de retorno de 100 años	141
Figura 90: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.468 m/s para un periodo de retorno de 100 años	141
Figura 91: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 500 años	142
Figura 92: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.704 m para un periodo de retorno de 500 años	142
Figura 93: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 2.705 m para un periodo de retorno de 500 años	143
Figura 94: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.635 m para un periodo de retorno de 500 años	143
Figura 95: Modelo bidimensional con diques que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 500 años	144
Figura 96: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.862 m/s para un periodo de retorno de 500 años	144
Figura 97: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.000 m/s para un periodo de retorno de 500 años	145
Figura 98: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.900 m/s para un periodo de retorno de 500 años	145
Figura 99: Flechas de velocidad estática y Rastreo de partículas en la sección del puente Chaman para un periodo de retorno de 500 años con Proyecto	146
Figura 100: Selección del modelo contorneado en el programa AutoCAD Civil 3d....	147
Figura 101: Modelo contorneado en el programa AutoCAD Civil3d	148

Figura 102: Asignación de condiciones de contorno	148
Figura 103: Asignación de condiciones de entrada y salida del agua según el flujo del rio	149
Figura 104: Asignación del caudal máximo (Qmax) correspondiente al año de retorno en la condición de entrada.....	149
Figura 105: Generación de malla con el tamaño de entrada de 115.448.....	150
Figura 106: Proceso de generación de la malla	150
Figura 107: Malla generada con las condiciones de contorno antes mencionadas	151
Figura 108: Fijación de cota (subimos topografía del terreno).....	151
Figura 109: Cálculo del Post Proceso	152
Figura 110: Procesamiento del modelo	152
Figura 111: Función mezclar	153
Figura 112: Visualización de variables hidráulicas en áreas coloreadas	153
Figura 113: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional en el cauce del rio Chaman	154
Figura 114: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	154
Figura 115: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.15 m para periodo de retorno de 50 años	155
Figura 116: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.36 m para un periodo de 50 años de retorno	155
Figura 117: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.02 m para un periodo de retorno de 50 años	156
Figura 118: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	156
Figura 119: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 1.84 m/s para un periodo de retorno de 50 años	157
Figura 120: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 1.84 m/s para un periodo de retorno de 50 años	157

Figura 121: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.14 m/s para un periodo de retorno de 50 años	158
Figura 122: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	158
Figura 123: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.16 m para un periodo de retorno de 100 años	159
Figura 124: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.38 m para un periodo de retorno de 100 años	159
Figura 125: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.05 m para un periodo de retorno de 100 años	160
Figura 126: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	160
Figura 127: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.24 m/s para un periodo de retorno de 100 años	161
Figura 128: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.76 m/s para un periodo de retorno de 100 años	161
Figura 129: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.65 m/s para un periodo de retorno de 100 años	162
Figura 130: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años	162
Figura 131: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.42 m para un periodo de retorno de 500 años	163
Figura 132: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 4.05 m para un periodo de retorno de 500 años	163
Figura 133: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.63 m para un periodo de retorno de 500 años	164
Figura 134: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años	164

Figura 135: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.44 m/s	
para un periodo de retorno de 500 años	165
Figura 136: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.98 m/s	
para un periodo de retorno de 500 años	165
Figura 137: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.58 m/s	
para un periodo de retorno de 500 años.....	166
Figura 138: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional	
con diques en el cauce del rio Chaman	166
Figura 139: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos	
en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	167
Figura 140: Calado máximo a la entrada del modelo es de 1.68 m	
para un periodo de retorno de 50 años	167
Figura 141: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 1.85 m	
para un periodo de retorno de 50 años	168
Figura 142: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.73 m	
para un periodo de retorno de 50 años	168
Figura 143: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas	
en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años	169
Figura 144: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.55 m/s	
para un periodo de retorno de 50 años	169
Figura 145: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.46 m/s	
para un periodo de retorno de 50 años	170
Figura 146: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.48 m/s	
para un periodo de retorno de 50 años	170
Figura 147: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos	
en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	171
Figura 148: Calado máximo a la entrada del modelo es de 1.78 m	
para un periodo de retorno de 100 años	171

Figura 149: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 1.89 m para un periodo de retorno de 100 años	172
Figura 150: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.81 m para un periodo de retorno de 100 años	172
Figura 151: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años	173
Figura 152: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 4.28 m/s para un periodo de retorno de 100 años	173
Figura 153: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.85 m/s para un periodo de retorno de 100 años	174
Figura 154: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.69 m/s para un periodo de retorno de 100 años	174
Figura 155: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años	175
Figura 156: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.91 m para un periodo de retorno de 500 años	175
Figura 157: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 2.45 m para un periodo de retorno de 500 años.....	176
Figura 158: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.39 m para un periodo de retorno de 500 años	176
Figura 159: Modelo bidimensional con diques que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años	177
Figura 160: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 4.33 m/s para un periodo de retorno de 500 años	177
Figura 161: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.95 m/s para un periodo de retorno de 500 años	178
Figura 162: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.82 m/s para un periodo de retorno de 500 años	178

Índice de Tablas

Tabla 1: Datos de Sub cuenca Chaman con periodos de retorno	68
Tabla 2: Datos Pluviométricos de Estación Live	69
Tabla 3: Tabla de registros pluviométricos de la estación lives	71
Tabla 4: Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para Distintas Frecuencias	73
Tabla 5: Datos para Cálculo de Tiempo de Concentración	73
Tabla 6: Tiempos de Concentración Promedio	76
Tabla 7: Tabla de Factores para Intensidad, SCS Tipo II - 24 Horas	77
Tabla 8: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Horas.....	80
Tabla 9: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Minutos	80
Tabla 10: Resultados de Intensidades Mediante Método de Daniel F. Campos	81
Tabla 11: Resumen de Resultados Intensidades.....	82
Tabla 12: Datos de pendiente según la Cobertura de Suelo.....	83
Tabla 13: Resumen de Datos para Cálculo de Caudal	83
Tabla 14: Coeficientes para cada Región Hidráulica	85
Tabla 15: Resultados de Datos con método de Creager	86
Tabla 16: Cálculo de Caudal Método de Creager, Tiempo de Retorno 50 Años	86
Tabla 17: Datos para Método H. U. Triangular.....	86
Tabla 18: Lluvia Efectiva	86
Tabla 19: Tabla de Datos, utilización método de UH triangular.....	87
Tabla 20: Tabla Resumen de los Métodos y sus Resultados	88
Tabla 21: Tabla de Factores para Intensidad, SCS Tipo II - 24 Horas	89
Tabla 22: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Horas.....	92
Tabla 23: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Minutos.....	92
Tabla 24: Resultados de Intensidades Mediante Método de Daniel F. Campos	93
Tabla 25: Resumen de Resultados Intensidades	94
Tabla 26: Datos de pendiente según la Cobertura de Suelo.....	95

Tabla 27: Resumen de Datos para Cálculo de Caudal	96
Tabla 28: Coeficientes para cada Región Hidráulica	97
Tabla 29: Resultados de Datos	98
Tabla 30: Cálculo de Caudal Método de Creager, Tiempo de Retorno 100 Años	98
Tabla 31: Datos para Método H. U. Triangular	98
Tabla 32: Lluvia Efectiva	98
Tabla 33: Tabla de Datos, utilización método de UH triangular	99
Tabla 34: Tabla Resumen de los Métodos y sus Resultados	100
Tabla 35: Tabla de Factores para Intensidad, SCS Tipo II - 24 Horas	101
Tabla 36: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Horas.....	104
Tabla 37: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Minutos.....	104
Tabla 38: Resultados de Intensidades Mediante Método de Daniel F. Campos	105
Tabla 39: Resumen de Resultados Intensidades	106
Tabla 40: Datos de pendiente según la Cobertura de Suelo.....	107
Tabla 41: Resumen de Datos para Cálculo de Caudal	108
Tabla 42: Coeficientes para cada Región Hidráulica	109
Tabla 43: Resultados de Datos	110
Tabla 44: Cálculo de Caudal Método de Creager, Tiempo de Retorno 500 Años	110
Tabla 45: Datos para Método H. U. Triangular	110
Tabla 46: Lluvia Efectiva	110
Tabla 47: Tabla de Datos, utilización método de UH triangular	111
Tabla 48: Tabla Resumen de los Métodos y sus Resultados	111
Tabla 49: Coeficiente del material del cauce	116
Tabla 50: Coeficiente de tipo de río.....	116
Tabla 51: Factor de fondo de río	116
Tabla 52: Factor de orilla de río	117
Tabla 53: Condiciones de Fondo de Río (K1).....	118
Tabla 54: Ancho estable, según el caudal máximo del río.....	118
Tabla 55: Coeficiente de rugosidad para cauces naturales	118

Tabla 56: Coeficiente recomendado para calcular el bordo libre del muro de encauzamiento	119
Tabla 57: Ancho de corona en función del caudal de diseño	120
Tabla 58: Selección del factor de seguridad	126
Tabla 59: Procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II – 50 años.....	226
Tabla 60: Intensidad Máxima en el minuto 432.....	227
Tabla 61: Resultados de Intensidades Mediante Método de D. Peschke – 50 años	228
Tabla 62: Resultados de Intensidades Mediante Método de F. Bell – 50 años	228
Tabla 63: Tabla Resumen de Métodos para Hallar la Intensidad en 50 Años.....	229
Tabla 64: Procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II – 100 años.....	230
Tabla 65: Intensidad Máxima en el minuto 432.....	231
Tabla 66: Resultados de Intensidades Mediante Método de D. Peschke – 100 años ...	232
Tabla 67: Resultados de Intensidades Mediante Método de F. Bell – 100 años.....	232
Tabla 68: Tabla Resumen de Métodos para Hallar la Intensidad en 100 Años.....	233
Tabla 69: Procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II – 500 años.....	234
Tabla 70: Intensidad Máxima en el minuto 432.....	235
Tabla 71: Resultados de Intensidades Mediante Método de D. Peschke – 500 años ...	236
Tabla 72: Resultados de Intensidades Mediante Método de F. Bell – 500 años.....	236
Tabla 73: Tabla Resumen de Métodos para Hallar la Intensidad en 500 Años.....	237

RESUMEN

La presente investigación “COMPARACION DE VARIABLES HIDRAULICAS OBTENIDAS CON MODELOS BIDIMENSIONALES IBER Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES, APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO PUENTE CHAMAN-CHEPEN-LA LIBERTAD”, surge de la interrogante de cuál sería la mejor opción de modelamiento bidimensional en dos de los programas más utilizados en la actualidad y cuáles serían los resultados más aceptables y precisos para su uso en los diseños de contención pertinentes en la sección del río estudiada.

En el tramo del río en estudio es de 1 km aguas arriba y 1 km aguas abajo del puente Chaman en el río Chaman, se han hecho los modelamientos hidráulicos en los programas IBER Y HEC-RAS, siendo el objetivo principal determinar cuáles son los resultados más precisos de ambos modelamientos hidráulicos para los posteriores diseños de estructuras de contención

ABSTRACT

The present research "COMPARISON OF HYDRAULIC VARIABLES OBTAINED WITH BIDIMENSIONAL IBER AND HEC-RAS MODELS IN NATURAL CHANNELS, APPLICATION TO THE CHAMAN RIVER-SECTION CHAMAN-CHEPEN-LA LIBERTAD BRIDGE" , arises from the question of which would be the best option for two-dimensional modeling in two of the most widely used programs at present and which would be the most acceptable and accurate results for use in the relevant containment designs in the section of the river studied. In the section of the study river is 1 km upstream and 1 km downstream of the Chaman bridge in the river chaman, hydraulic modeling has been done in the programs IBER and HEC-RAS, the main objective being to determine which are the most accurate results of both hydraulic modeling for later

CAPÍTULO I:

**PROBLEMA DE
INVESTIGACIÓN**

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

En la actualidad los ríos vienen siendo modelado unidimensional y bidimensionalmente para determinar las características hidráulicas. Evidenciándose que en los tramos donde existen puentes el problema es mayor, por lo que se vienen utilizando una serie de software para conocer las características hidráulicas. Los datos obtenidos permiten realizar diseños más exactos de defensas ribereñas, bocatomas, presas, puentes y otras estructuras instaladas en los cauces de los ríos.

Hoy en día en la actualidad disponemos de diversos softwares de modelamiento hidráulico, que facilitan la entrada de datos y permiten visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlos en forma de tablas. Pero de entre todo ellos, destaca sin duda el software HEC-RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers), ya que es uno de los programas de referencia dentro de su campo.

Cuando hacemos el estudio de un tramo de un determinado río para conocer hasta donde llegaría el agua, si el caudal alcanzara cierto valor, nos surgen preguntas como ¿Cuál sería la altura que alcanzará la lámina de agua? ¿Se llegarán a inundar las zonas próximas? ¿Cuál sería la extensión?, y para poder responder a estas diferentes preguntas tenemos que tener en consideración distintos factores como los son: la forma del cauce, la pendiente y su naturaleza (materiales presentes en el río, vegetación, etc.)

El programa Iber permite realizar el cálculo del flujo en ríos, delimitar las zonas inundables, evalúa las zonas de alto riesgo por desbordes e inundaciones, delimita las vías de desagüe, simula el paso del agua bajo los puentes, vertederos, compuertas, etc. Y permite simular la rotura de presas y balsas.

Los módulos de cálculo que utiliza este programa son los siguientes: hidrodinámico, turbulencia y transporte de sedimentos. Y todos estos módulos trabajan sobre una malla que está formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

En Iber se pueden crear geometrías o importar Modelos Digitales del Terreno sobre los que después se establecen las condiciones necesarias para la simulación: se establecen las condiciones iniciales, es decir, cómo se encuentra el terreno al inicio de la simulación, las condiciones de contorno (cuales son las zonas de entrada y salida del flujo de agua), las

condiciones internas u obras hidráulicas, la rugosidad y la malla de cálculo. Además, permite realizar la simulación de puentes y obstáculos. Blanca Jordán de Urries, Martín-Montalvo. ICCP (2013)

De lo contrario el HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

- Modelización de flujo en régimen permanente
- Modelización de flujo en régimen no permanente
- Modelización del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.

1.1.1 Descripción del Problema

Los ríos son elementos naturales que captan las aguas de una cuenca y las transportan a superficie libre, hasta su desembocadura. La Hidráulica Fluvial se dedica al estudio del comportamiento de ríos y estuarios. A través de ella es posible predecir la reacción y evolución de un río ante cualquier intervención del hombre (en el cauce y márgenes, llanuras de inundación y franja de ribera) ya sea para la adecuación al sistema de aprovechamientos del recurso hídrico o la disminución de riesgos de daños asociados a las avenidas (Martín Vide, 2002)

Con la propuesta hidráulica planteada se realizará la comparación de las diferencias entre los resultados de las variables hidráulicas obtenidas de los modelos bidimensionales IBER Y HEC RAS, aplicadas al río Chaman, tramo puente chaman.

Al realizar la visita en el río Chaman (distrito de la provincia de Chepén en el departamento La Libertad) se encontró en el cauce del río abundante vegetación, la cual fue sembrada por

los pobladores de la zona. **Figura 1.** Se visualizo que las defensas ribereñas construidas para contención de desborde del rio, se encontraban deterioradas y casi inexistentes. **Figura 2**



Figura 1: Abundante vegetación en el río Chaman



Figura 2: Defensas Ribereñas en laterales del río Chaman

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la diferencia entre los resultados de las variables hidráulicas del río Chaman, tramo puente Chaman en la provincia de Chepén; utilizando los modelos bidimensionales IBER y HEC RAS?

1.3 Objetivo General

Determinar cuál es la diferencia entre los resultados de las variables hidráulicas del río Chaman, tramo puente Chaman en la provincia de Chepén; utilizando los modelos bidimensionales IBER y HEC RAS.

1.4 Objetivo Especifico

- Levantar la información de campo: Topografía, tipo de suelo, catastro y observación del puente y terreno.
- Generar el modelo hidrológico: Revisar data hidrológica, modelo transformación lluvia-escorrentía y generación de caudales
- Realizar el modelamiento bidimensional comparando el modelo Iber vs Hec Ras.
- Sugerir propuestas de mejoramiento: Diques y descolmatación.

1.5 Justificación del Estudio

En el presente estudio, se va a evaluar qué factores y resultados son los más óptimos entre los modelamientos bidimensionales IBER y HEC-RAS, siendo estos los programas de modelamiento más utilizados en la actualidad, puesto que un correcto uso de las variables hidráulicas de los ríos obtenidas de estos programas significara tener un mejor enfoque de lo que realmente sucede en el cauce del río, ya sea en tiempos de sequía o en la temporada de lluvias, aportando así información esencial para un posterior diseño de estructuras de contención que ayudaran a mantener una estabilidad en el terreno, evitando desbordes he inundaciones a centros poblados aledaños.

Con un enfoque adecuado de las variables hidráulicas en el río Chaman se podrá realizar un diseño adecuado y funcional de estructuras de contención, que cumpla con todos los

requerimientos estipulados según los reglamentos y que abarque a cumplir con todas las variables y objetivos planteados en el presente estudio, teniendo en cuenta todos los aspectos de seguridad e impacto ambiental.

La importancia del proyecto es determinar cuáles son los resultados más adecuados para próximos diseños es poder salvaguardar la integridad de los pobladores en los sectores afectados y evitar el desborde del río Chaman evitando así daños materiales como la pérdida de cultivos agrícolas, ganado, erosión de los suelos y carreteras aledañas teniendo así un sector más seguro y productivo en los centros poblados ya mencionados.

Se espera poder encontrar los factores de cambio que puedan afectar al trayecto natural del río y qué posibles problemas pueda causar al puente y a las poblaciones aledañas el estrechamiento del cauce del río para así poder plantear propuestas de mejoramiento y evitar desastres mayores.

1.6 Viabilidad de la Investigación

En base al desarrollo de la presente investigación se cuentan con los recursos humanos, financieros y el tiempo para ello. Del mismo modo también por los conocimientos adquiridos durante nuestra formación académica, también con las diferentes capacitaciones en distintos programas y cursos requeridos para la siguiente investigación. Además, se incluye con el asesoramiento apropiado para el desarrollo de la investigación de dicho proyecto de la forma más impecable.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- ✓ **TITULO:** MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL, PARA LA DETERMINACIÓN DE PLANOS DE INUNDACIÓN DE QUILLACOLLO” COCHABAMBA, BOLIVIA

AUTOR: Ing. Jorge Ayala

AÑO: 2014

FUENTE: Universidad Nacional de San Simón Vicerrectorado

En la siguiente investigación se desea implementar los programas Hec-ras y Iber, las cuales son dos herramientas informáticas de modelización hidráulica, para luego evaluar su desempeño y dificultades que se presenten en su manejo, aportando a futuros trabajos de investigación en el modelamiento hidráulico bidimensional, que hoy en día ya es una demanda en la solución de problemas de flujo en ríos.

A partir de la modelación hidráulica bidimensional, este permite tener un mayor acercamiento, y ajuste a la realidad en la determinación de planos de inundación, debido a que el análisis unidimensional es solo aplicable para un estado de flujo laminar que se da en canales trapezoidales, los eventos de inundación fluvial y desborde de ríos se dan en su mayoría en un estado de flujo turbulento, que se da por efecto de la viscosidad (las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia), donde las presiones y tensiones se alejan del modelo lineal.

- ✓ **TITULO:** ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HEC-RAS E IBER EN LA EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE PUENTES

AUTORES: Ing. Jean Carlos Rincón, Ing. María Pérez
Ing. Guillermo Delfín, Ing. Carlos Freites,
Ing. Fabiana Martínez

AÑO: 2017

FUENTE: Artículo de Investigación. Revista Gaceta Técnica.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis comparativo entre los modelos Hec-RAS e IBER, en la evaluación hidráulica de ríos con estructuras como son los puentes. El caso de aplicación fue la quebrada La Guardia, ubicada en la vía que comunica las ciudades de Barquisimeto-Quíbor, Venezuela. La primera fase del estudio consistió en la comparación de los modelos desde el punto de vista conceptual y del manejo de ambos. La segunda fase se enfocó en el caso de estudio, y la comparación de los resultados obtenidos del análisis hidráulico. Se pudo observar que el comportamiento en ambos modelos presentó gran similitud en cuanto al perfil del flujo como en el régimen. Aguas arriba de los dos puentes predomina el régimen suscritico, donde se presentan las profundidades más altas y las velocidades más bajas. Lo contrario ocurre aguas abajo de los dos puentes, donde predomina el régimen supercrítico, las velocidades altas y las profundidades mínimas. Se concluye que, para ríos con geometría simple y preferiblemente con un solo puente, el software e unidimensional Hec-RAS se presenta como la mejor alternativa de uso debido a la facilidad en la introducción de datos, proporcionando resultados confiables en un menor tiempo. Mientras que el paquete IBER por ser bidimensional, representa una mejor opción para modelaciones de ríos con geometrías de mayor irregularidad, cuando se tiene especial interés en el comportamiento hidráulico del flujo a través de estribos y pilas, y al tener dos o más puentes con separación reducida.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

- ✓ **TITULO:** MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DE UN TRAMO DEL RIO PATIVILCA, EN FLUJO NO PERMANENTE

AUTOR: Sierra Lopinta, Hans Wilbert

AÑO: 2018

FUENTE: Universidad Nacional Agraria La Molina

En la presente investigación se ha desarrollado el modelamiento hidráulico bidimensional en flujo no permanente de un tramo del Rio Pativilca entre los

centros poblados de Simón Bolívar (0+000 km) y el sector denominado Estación (10+000 km) en la provincia de Barranca - Lima - Perú, para la generación de mapas de riesgo y vulnerabilidad por inundación. En primer lugar, se realizó la modelación hidrológica de máximas avenidas mediante el método del número de curva (SCS, 1964) con el modelo HEC-HMS para la obtención del hidrograma de escurrimiento directo para diferentes periodos de retorno haciendo uso de herramientas SIG. Para fines de aplicación de la metodología, se obtienen las lluvias de diseño e hidrogramas, que corresponden a 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años de periodo de retorno. Posteriormente se realizó el análisis de la modelación hidráulica unidimensional y bidimensional con el software HEC-RAS 5.0.3, considerando las condiciones de borde (hidrogramas) para tiempo de retorno de 100 años, así como el análisis del intervalo de tiempo simulación, el mallado computacional y el análisis de usos de suelos. En cuanto a la configuración del terreno, se determina en base al levantamiento topográfico del tramo de estudio, considerando en el MDT las estructuras hidráulicas existentes en el lecho fluvial para un análisis más realista. Con esta información es posible caracterizar y determinar la configuración del curso fluvial en estudio y el resultado con mapas del lecho inundable. Se revisan distintos criterios para establecer el peligro de las inundaciones usadas en varios países; consideran como base para su cálculo el tirante y la velocidad del agua.

✓ **TITULO:** ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DEL PUENTE HUANCHUY EN EL RIO CACHI, AYACUCHO-HUANCAVELICA

AUTOR: Soto León, Antonio

AÑO: 2015

FUENTE: Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga

Esta investigación propone el estudio de variables hidrológicas e hidráulicas que sirven de parámetros de diseño en puentes mediante el uso de hojas de cálculo y softwares con el objetivo de desarrollar un manual que permita establecer

caudales máximos para diferentes periodos de retorno y profundidades de agua a través de diferentes métodos, para alcanzar las metas propuestas, se preparan algoritmos para luego conformar las hojas de cálculo que requieran la introducción de datos de la cuenca a tratar y luego obtener valores de dichas variables hidrológicas e hidráulicas que representen y definan de una manera práctica e inmediata las características del río Cachi en el tramo Huanchuy en el lugar del puente. Se hará una validación de resultados con la información de las estaciones meteorológicas del Proyecto Cachi. Representativas de la cuenca del Río Cachi, de forma tal de comprobar el uso del manual. A su vez se realizó el análisis del fenómeno de la socavación general y local alrededor de obstáculos (pilas y los estribos) puede afectar significativamente la estabilidad de un puente, es por esto que la evaluación de la profundidad desarrollada permitirá tomar decisiones correctas en el diseño, construcción y mantenimiento de la estructura. El presente trabajo recopila una serie de método empíricos y semi empíricos que determinan dicha profundidad, que luego de ser comparados se ha propuesto dos relaciones para pilas (Yaroslavtziev, Laursen y Toch) y una para estribos (Artamanov) que brindan resultados confiables de una manera fácil y sencilla. Con los métodos propuestos se ha desarrollado una monografía de cálculo orientada a la aplicación de estudiantes y profesionales de Ingeniería. El procedimiento propuesto consta de las siguientes etapas:

- Introducción de los registros pluviométricos de la estación patrón
- Estudio de distribución de probabilidades para ajustar valores extremos
- Construcción de las curvas intensidad – duración - frecuencia
- Determinación de parámetros geomorfológicos de la cuenca en Argis v10
- Generación de caudales en el Hec Hms v3.5
- Simulación hidráulica con el Hec Ras 4.1
- Cálculos de la profundidad de socavación en estribos y pilas en el puente huanchuy.

✓ **TÍTULO:** MODELAMIENTO HIDRÁULICO BIDIMENSIONAL DEL RÍO RÍMAC EN EL SECTOR HUACHIPA, TRAMO KM.27+450 AL KM.28+525

AUTOR: Hurtado Mena, Enzo Pablo

AÑO: 2017

FUENTE: Universidad Nacional Agraria La Molina

Hurtado E. (2017) En su averiguación “Modelamiento Hidráulico Bidimensional del río Rímac en el Sector Huachipa, Tramo Km. 27+450 al Km. 28+525”. En esta investigación se aplicó dos herramientas de modelación matemática bidimensional (Hecras y Iber), para el área de estudio que abarca el tramo del sector Huachipa (Ate Vitarte), desde el km. 27+450 al km. 28+525 del río Rímac, ubicándose aguas abajo después del puente Huachipa; siendo una zona en cuyo ámbito los poblados y terrenos de cultivo se ubican sobre ambos márgenes en forma paralela al río Rímac. Y que, gracias al crecimiento demográfico, las zonas agrícolas se están convirtiendo en zonas de desarrollo urbano sobre la margen izquierda y con la existencia de vías de interconexión en buen estado. Es por eso que mediante el modelamiento hidráulico matemático bidimensional, en conjunto con las herramientas de SIG (Sistemas de Información Geográfica), se llevó a cabo el cálculo de áreas afectadas por eventos máximos. Además, mediante el uso de HEC-RAS 2D e IBER se pudo comparar los resultados de diversos parámetros hidráulicos obtenidos entre ambos programas. La importancia de la realización de esta tesis además de calcular, cuantificar y visualizar los efectos debido a las condiciones hidrológicas e hidráulicas de la zona de estudio; es la necesidad de analizar el comportamiento de los modelos bidimensionales mediante su aplicación en un caso donde se presentan las condiciones de un tramo corto de río con cauce irregular, como es el caso del río Rímac dentro del sector de Huachipa.

2.1.3 Antecedente Local

- ✓ **TÍTULO:** COMPARACIÓN DE LOS MODELOS HIDRÁULICOS UNIDIMENSIONAL (HEC-RAS) Y BIDIMENSIONAL (IBER) EN EL ANÁLISIS DE ROTURA EN PRESAS DE MATERIALES SUELTOS; Y APLICACIÓN A LA PRESA PALO REDONDO

AUTOR: Bach. Guarniz Muñoz, Carlos Kenyo

AÑO: 2014

FUENTE: Universidad Privada Antenor Orrego

En el presente proyecto se describe en un primer instante, normatividad que existe a nivel mundial, y su influencia en nuestro país. Se describe conceptos acerca de los modos de falla y la brecha de rotura que se desarrolla durante la rotura de una presa de materiales sueltos. Además, se pretende dar un repaso a los métodos actuales existentes para la modelación numérica del flujo en lámina libre. Puesto que el estudio se centra en la rotura en presas de tierra nos centraremos en la modelación en régimen variable, en una y dos dimensiones, y las ecuaciones que describen dicho fenómeno.

Se utilizan los modelos HEC-RAS (Unidimensional) e Iber (Bidimensional), simulando el proceso de rotura por desbordamiento en una presa de materiales sueltos ocurrido por la falla de esta. Para la comparación de ambos modelos se modeló una serie de pruebas antes de aplicarlo a un caso real como es la Presa Palo Redondo, se relacionaron los resultados con ambos modelos. Se concluye que el flujo durante un evento de rotura de presa está muy alejado de ser unidimensional, por lo que Iber resulta más fiable y efectivo en cuanto a este evento se refiere.

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Levantamiento de cause utilizando Topografía

En el Manual de Ingeniería de Ríos, Cap. 2; cuando se trate de levantar los márgenes del río para su estabilización, se hará el levantamiento topográfico de un tramo recto y uniforme del cauce, apropiado para ese objeto. Para este caso conviene que el tramo se extienda lo suficiente, tanto aguas arriba como aguas abajo, con la finalidad de estudiar el río en forma integral y no local, procediendo de esta manera se logra una mejor solución. Los datos obtenidos serán organizados teniendo especial cuidado en las poligonales adoptadas de ambos márgenes, las líneas correspondientes a las secciones transversales, el perfil longitudinal de los márgenes, del fondo del cauce y las huellas máximas del escurrimiento, así como la dirección de la corriente.

Los métodos del levantamiento varían según sea la extensión de la cuenca, de la que ya se tiene una idea aproximada por medio de las cartas geográficas, vuelos aéreos y fotogramétricos y el reconocimiento efectuado para localizar el parteaguas. (Jaime Euclides Camargo Hernández y Víctor Franco 1996, p.8)

2.2.2 Flujo Bidimensional

Es un flujo en el que el vector velocidad sólo depende de dos variables espaciales, en este tipo de flujo se supone que todas las partículas fluyen sobre planos paralelos a lo largo de trayectorias que resultan idénticas si se comparan los planos entre sí, no existiendo; por tanto, cambio alguno en dirección perpendicular a los planos. (Flores A., 2013)

2.2.3 Modelamiento Hidráulico

El modelamiento se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos antiguos, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se llevaba a cabo

habitualmente a escala real ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas construidas sobre el terreno.

Los principios en que se basa este procedimiento incluyen las teorías de similitud hidráulica. El análisis de las relaciones básicas de las diversas cantidades físicas incluidas en el movimiento y la acción dinámica del fluido denominada análisis dimensional. En la actualidad, se diseñan y construyen pocas o ninguna estructura hidráulica importante, sin estudios preliminares de modelos, más o menos extensos. (Aguilera O., 2017)

2.2.3.1 Modelo Hidráulico HEC-RAS 2D

Hec-Ras es un software libre para la modelación hidráulica permitiéndonos visualizar el comportamiento del flujo a través del paso en un cauce natural o artificial y así poder obtener tirantes, velocidades y en algunos casos analizar un estudio de inundación. De la misma manera permite realizar sistemas hidráulicos unidimensionales de flujo continuo, unidimensional y bidimensional, transporte de sedimentos/cálculos de lechos móviles, modelado de la temperatura del agua y modelado generalizado de la calidad del agua (destino y transporte de nutrientes).

Hec-ras es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos: (Hydraulic Reference Manual, 2016)

- ✓ Modelización de flujo en régimen permanente
- ✓ Modelización de flujo en régimen no permanente
- ✓ Modelización del transporte de sedimentos
- ✓ Análisis de calidad de aguas

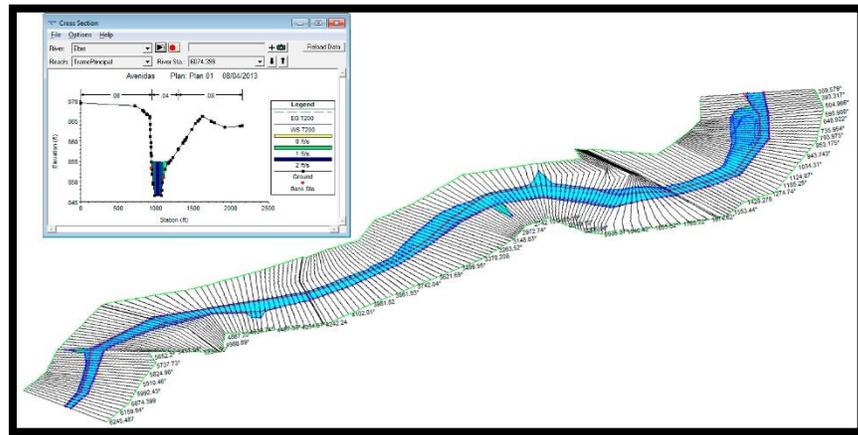


Figura 3: Demostración de un modelamiento hidráulico y sección Transversal utilizando Hec-Ras. (Rebeca M. 2014)

- **Sistema Hidráulico Bidimensional**

Los modelos bidimensionales (2D) consideran las variaciones en las dos dimensiones del plano horizontal. Las variaciones de la velocidad u otra magnitud de interés en la columna vertical de agua se promedian y se asumen como un único valor. Estos modelos son especialmente útiles en flujos muy extendidos (como ríos, lagos, etc.) donde la variación vertical de velocidad es pequeña, por eso suelen llamarse modelos de aguas someras o poco profundas. Estrictamente no son aplicables a casos en que la variación vertical de la velocidad es apreciable, como por ejemplo el flujo sobre un vertedero o a través de un orificio sumergido; sin embargo mediante uso de expresiones empíricas o similares pueden incorporar estas singularidades dentro de la modelación. (Hydraulic Reference Manual, 2016)

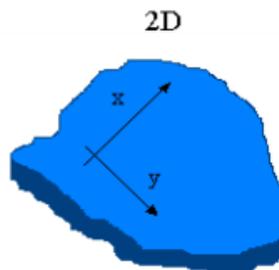


Figura 4: Esquema de modelo hidráulico Bidimensional (X, Y)

- **Hidrodinámica de Flujo Inestable 2D**

Las ecuaciones de Navier-Stokes describen el movimiento de los fluidos en tres dimensiones. En el contexto del modelado de canales e inundaciones, se imponen simplificaciones adicionales. Un conjunto simplificado de ecuaciones es el Agua Superficial (SW) ecuaciones. Flujo incompresible, densidad uniforme y presión hidrostática se asumen y las ecuaciones son Reynolds promediado de modo que el movimiento turbulento se aproxima utilizando viscosidad de Foucault. También se supone que la escala de longitud vertical es mucho más pequeña que la escala de longitud horizontal. Como consecuencia, la velocidad vertical es pequeña y la presión es hidrostática, lo que conduce a la forma diferencial de las ecuaciones de SW derivadas en secciones posteriores. (Hydraulic Reference Manual, 2016)

En algunos flujos superficiales el gradiente de presión barotrópica (gravedad) término y los términos de fricción inferior son los términos dominantes en las ecuaciones de momento inestable, advección, y los términos viscosos pueden ser ignorados. La ecuación de momento entonces se convierte en la forma bidimensional de la Aproximación de Ondas de Difusión. Combinando esta ecuación con la conservación de masa se obtiene un modelo de ecuación, conocido como la Aproximación de Ondas Difusivas de las ecuaciones de Aguas Poco Profundas (DSW). (Hydraulic Reference Manual, 2016)

Además, con el fin de mejorar el tiempo de cálculo, se puede utilizar un enfoque batimétrico de subcuadrícula. La idea detrás de este enfoque es utilizar una cuadrícula computacional relativamente gruesa e información de escala más fina sobre la topografía subyacente (Casulli, 2008). La ecuación de conservación de masa se discretiza utilizando una técnica de volumen finito. Los detalles finos de la cuadrícula se factorizan como parámetros que representan múltiples integrales sobre volúmenes y áreas faciales. Como resultado, el transporte de masa fluida explica la topografía de escala fina dentro de cada célula discreta. Dado que esta idea se relaciona

sólo con la ecuación de masa, se puede utilizar independientemente de la versión de la ecuación de momento. En las secciones siguientes, las ecuaciones de batimetría de subcuadrícula se derivan en el contexto de ambas; ecuaciones completas de agua superficial (SW)

En una sección posterior, se establecen los requisitos de cuadrícula y se define una notación adicional para desarrollar un algoritmo de solución numérica.

La sección sobre métodos numéricos describe los detalles de la implementación de volúmenes finitos. Esa sección detalla la forma en que los diferentes términos de las ecuaciones se discretizan y cómo el problema no lineal se transforma en un sistema de ecuaciones con coeficientes variables. El algoritmo global para resolver el problema general de inestabilidad también se explica en detalle. (Hydraulic Reference Manual, 2016)

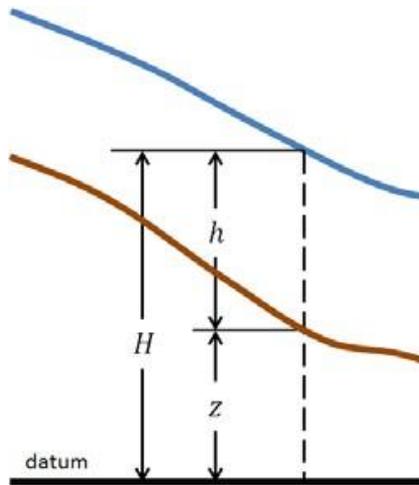


Figura 5: Demostración de una superficie inferior que está dada por $z(x, y)$; la profundidad del agua es $h(x, y, t)$

La elevación de la superficie del agua es:

$$\mathbf{H(x, y, t) = z(x, y) + h(x, y, t)}$$

2.2.3.2 Modelo Hidráulico IBER

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios.

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D). El módulo de turbulencia permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico, pudiéndose utilizar para ello diferentes modelos de turbulencia para aguas someras con diferente grado de complejidad. En la versión actual se incluyen un modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y un modelo k- ϵ . El módulo de transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión, calculando a partir del balance de masa de sedimento la evolución de la cota de fondo. (Manual de referencia hidráulico 2014)

- **Modelización bidimensional del flujo en aguas poco profundas**

El módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como 2D Shallow Water Equations (2D-SWE) o ecuaciones de St. Venant bidimensionales. Dichas ecuaciones asumen una distribución de presión hidrostática y una distribución relativamente uniforme de la velocidad en profundidad. La hipótesis de presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo en ríos, así como en las corrientes generadas por la marea en estuarios. Asimismo, la hipótesis de distribución uniforme de velocidad en profundidad se cumple habitualmente

en ríos y estuarios, aunque pueden existir zonas en las que dicha hipótesis no se cumpla debido a flujos locales tridimensionales o a cuñas salinas. En estos casos es necesario estudiar la extensión de dichas zonas y su posible repercusión en los resultados del modelo. En la actualidad, los modelos numéricos basados en las ecuaciones de aguas someras bidimensionales son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial y litoral, evaluación de zonas inundables, y cálculo de transporte de sedimentos y contaminantes.

- **Fricción de Fondo**

El fondo ejerce una fuerza de rozamiento sobre el fluido que es equivalente al rozamiento con una pared, con la particularidad de que, en general, en ingeniería hidráulica la rugosidad del fondo es elevada, como ocurre en ríos y estuarios. La fricción del fondo tiene un doble efecto en las ecuaciones de flujo. Por un lado produce una fuerza de fricción que se opone a la velocidad media, y por otro lado, produce turbulencia. Ambos efectos se pueden caracterizar por la velocidad de fricción u_f , que no es más que una forma de expresar la tensión tangencial de fondo con unidades de velocidad:

$$u_f = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}}$$

Donde τ_b es el módulo de la fuerza de fricción de fondo, y ρ es la densidad del agua.

En los modelos promediados en profundidad no es posible calcular la velocidad de fricción por medio de funciones de pared estándar, tal y como se hace en los contornos tipo pared, ya que las ecuaciones no se resuelven en la dirección vertical. Por lo tanto, es necesario relacionar la velocidad de fricción u_f con la velocidad media promediada en profundidad

mediante un coeficiente de fricción. La tensión de fondo se puede expresar como:

$$\tau_b = \rho u_f^2 = \rho C_f |U|^2$$

En donde C_f es el coeficiente de fricción de fondo. Existen diferentes expresiones que permiten aproximar el coeficiente de fricción C_f . La mayor parte de ellas asumen flujo uniforme en canal con un perfil logarítmico de velocidad en profundidad.

La fricción de fondo se evalúa mediante la fórmula de Manning, la cual utiliza el coeficiente de Manning n como parámetro. La fórmula de Manning utiliza el siguiente coeficiente de rugosidad:

$$C_f = g \frac{n^2}{h^{1/3}}$$

- **Malla de Cálculo**

Para resolver una ecuación diferencial por el método de volúmenes finitos es necesario realizar previamente una discretización espacial del dominio a estudiar. Para ello se divide el dominio de estudio en celdas de tamaño relativamente pequeño (malla de cálculo). Iber trabaja con mallas no estructuradas formadas por elementos que pueden tener 3 o 4 lados. Se pueden combinar elementos irregulares de 3 y 4 lados dentro de la misma malla. La principal ventaja de trabajar con mallas no estructuradas es la facilidad con que se adaptan a cualquier geometría, ya que no es necesario que la malla tenga ningún tipo de organización o estructura interna. Esta característica las hace especialmente indicadas para su utilización en hidráulica fluvial.

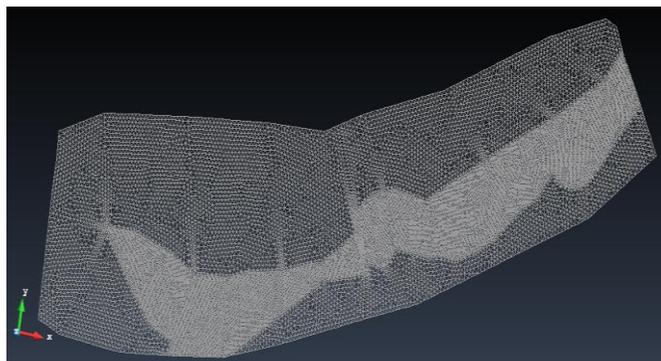


Figura 6: Ejemplo de malla no estructurada formada por elementos triangulares.

- **Discretización en Volúmenes Finitos de las Ecuaciones 2D-SWE**

Para su discretización por el método de volúmenes finitos, en Iber se trabaja con las ecuaciones de aguas someras bidimensionales escritas en forma conservativa y vectorial como:

$$\frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{F}_y}{\partial y} = \sum_k \mathbf{G}_k$$

en donde el vector de variables conservadas w y el vector de los términos de flujo F_x, F_y vienen dados por:

$$\mathbf{w} = \begin{pmatrix} h \\ q_x \\ q_y \end{pmatrix} \quad \mathbf{F}_x = \begin{pmatrix} q_x \\ \frac{q_x^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \\ \frac{q_x q_y}{h} \end{pmatrix} \quad \mathbf{F}_y = \begin{pmatrix} q_y \\ \frac{q_x q_y}{h} \\ \frac{q_y^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \end{pmatrix}$$

Para realizar la discretización espacial de las ecuaciones de conservación de masa y movimiento por el método de volúmenes finitos se realiza la integral de las ecuaciones diferenciales en cada celda de la malla de cálculo. Esta forma de proceder es especialmente ventajosa para la resolución de ecuaciones de conservación, ya que se resuelven las ecuaciones en forma integral, lo que permite formular de forma sencilla métodos conservativos. La discretización temporal y espacial de las ecuaciones de aguas someras bidimensionales en forma vectorial viene dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\mathbf{w}_i^{n+1} - \mathbf{w}_i^n}{\Delta t} A_i + \oint_{L_i} (\mathbf{F}_x \tilde{\mathbf{n}}_x + \mathbf{F}_y \tilde{\mathbf{n}}_y) dL = \sum_k \mathbf{G}_{k,i} A_i$$

2.3 Definición Conceptual

- **MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL:** son modelos numéricos aplicados a simulaciones en programas de diseño (estructural, fluvial, etc.) que se proyectan en los ejes X y Y.
- **CURVAS:** referentes al radio de curvatura y el ancho del cauce en ríos.
- **CAUCES NATURALES:** depresión del terreno que contiene el agua. Puede decirse que el cauce es el lugar físico donde fluye el agua en su curso, entre las orillas o riberas.
- **ESTRECHAMIENTO:** el estrechamiento del cauce del río se puede dar en forma localizada por algunas docenas de metros, o puede darse en un tramo relativamente largo.
- **MALLA DE CALCULO:** Las mallas de cálculo sirven para el desarrollo de un estudio de simulación numérica de flujo en ríos. Normalmente un río tiene una geometría irregular y la construcción de una malla eficiente no es evidente. Es favorable que la malla sea irregular, con el fin de minimizar el número de elementos con transiciones suaves. Para ello son muy adecuados los métodos de mallado basados en el error cordal (máxima distancia entre el terreno original y la malla). Por ello Iber incorpora las capacidades estándar de mallado de GiD, como la creación de mallas estructuradas y no estructuradas, de triángulos y de cuadriláteros, mediante el uso de diversos algoritmos de mallado. Adicionalmente se han desarrollado herramientas de creación y edición de mallas que se adaptan a las necesidades de los estudios de hidráulica fluvial.
- **RIO:** Es un curso de agua que se mantiene en permanente movimiento (no estancada) y que se conecta con otros cursos de agua mayores como lagos, mares, océanos u otros ríos, en los que precisamente desemboca.

2.4 Hipotesis

Mediante los estudios realizados al cauce del río Chaman, se ha planteado el realizar la comparación de los resultados de las variables hidráulicas del río Chaman utilizando los modelos bidimensionales IBER y HEC RAS, y considerar los resultados más óptimos según las diferencias entre los resultados.

2.5 Variables

Variable independiente

- Caudal del río
- Topografía

Variable dependiente

- Calado
- Velocidad

2.6 Operacionalización de las variables

Variables independientes

- Caudal del río
- Topografía

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA MEDICIONAL
Caudal del Río	<p>El caudal es el volumen de agua que circula por el cauce de un río, y se mide en m³/seg. Según la temporada o estación del año, los caudales pueden variar. En temporada de lluvias o en invierno, aumentan mientras que durante el verano o temporadas secas disminuyen.</p>	<p>Se calculará a través del volumen</p> <p>A través de modelamientos bidimensionales y observación</p>	<p>Método Volumétrico</p>	<p>✓ Caudal m³/s</p> <p>✓ Volumen en m³</p> <p>✓ Tiempo en segundos</p>	<p>Muy buena</p> <p>Buena</p> <p>Regular</p> <p>Malo</p> <p>Muy Malo</p>

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA MEDICIONAL
Topografía	Levantamiento topográfico técnico y descriptivo para examinar las características geográficas y geológicas del terreno.	Se realizará el Levantamiento topográfico de un tramo uniforme del cauce. Se presume que el tramo de estudio se extienda 2km (1km aguas arriba y 1km aguas abajo) de la ubicación del puente chaman). Teniendo como objetivo principal estudiar el rio en forma integral para lograr una solución adecuada	Los datos obtenidos serán estructurados teniendo en consideración las poligonales adaptadas en ambos márgenes, las líneas de sección transversal, el perfil longitudinal y la dirección de la corriente	Esquematación en la realidad hecha con fines de estudio	Planos y/o gráficos topográficos

Variable Dependiente

- Calado
- Velocidad

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA MEDICIONAL
Calado	Es la Profundidad del flujo o la distancia vertical del punto más bajo de la sección del canal a la superficie libre del agua.	Se obtendrán los resultados a través de análisis documentarios plasmados en los programas de modelamiento hidráulicos bidimensional Hec-ras e Iber	Los datos obtenidos serán desarrollados en función a los caudales máximos y la intensidad de diseño en el tramo del río.	Flujos arriba aguas	Muy bueno Bueno Regular Malo Muy Malo

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA MEDICIONAL
Velocidad	Es la rapidez con la que se desplaza el agua del río, que varía dependiendo del ancho del río, rugosidad (topografía del cauce del río), vegetación existente, etc.	Se medirá a través de la visualización directa, del mismo modo se hará un análisis documental.	Se procederá a su desarrollo teniendo en consideración los caudales máximos, el tramo del río en estudio y el ancho se las secciones del río.	Flujos aguas arriba	Muy bueno Bueno Regular Malo Muy Malo

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA DE LA

INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación, Enfoque y Alcance

3.1.1 Tipo de investigación:

Descriptivo

3.1.2 Enfoque y alcance de la investigación:

- Investigación de campo, porque se realizará una recopilación de datos de la zona de estudio para poder desarrollar un proyecto optimo, luego se realizará visitas al área de estudio para poder realizar el levantamiento topográfico.
- Investigación documental, porque vamos obtener información de registros históricos de los caudales proporcionados por la junta de usuarios del centro poblado de Pacanga, y documentos de las precipitaciones proporcionados de SENAMHI.



OG: Objetivo general

CF: Conclusión final

3.2 Población y Muestra

3.2.1 Población

Se considerará la sección del rio que comprende el tramo: 1 kilómetro aguas arriba y 1 kilómetro aguas abajo del puente Chaman.

3.2.2 Muestra

Se considerará el tramo que comprende la sección del Puente Chaman, que se encuentra ubicada en la zona central del total del área de estudio.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Investigación

- ✓ Se realizó una visita técnica al sector para poder describir la situación actual del cauce del río Chaman sector del puente Chaman en una extensión de 1 km (1000 m aguas arriba) y 1km (1000m aguas abajo) de dicho puente, se hizo un recorrido a pie de la zona de estudio identificando los puntos más estratégicos para tener una mejor vista para hacer el levantamiento del terreno, ya que el terreno se encontraba con abundante vegetación. Además de la observación de algunos factores externos como defensas ribereñas en mal estado que pueden causar a problemas futuros desbordes del cauce del río, perjudicando a los pobladores de la zona.
- ✓ Se realizó el modelo digital de elevación para lo cual fue necesario realizar el levantamiento topográfico, Se utilizó un dron **figura 7**. El levantamiento topográfico del cauce del río Chaman tiene una extensión aproximada de 2 km empezando 1000m aguas arriba del puente Chaman y terminando 1000m aguas abajo, El primer paso identificar y precisar la zona, luego procedimos a identificar las coordenadas de la zona en un software de planificación, la altura (60m) y el vuelo (a criterio del técnico), luego de haber culminado de ingresar los datos solicitados anteriormente se pone a ser uso del dron. No obstante, existe otro factor a considerar, el cual fue la utilización de una estación total **figura 8**, de la misma manera se empleó 4 prismas **figura 9** los cuales sirvieron para proyectar la señal EMD de la estación total, la aplicación de estos prismas en campo fue distribuidas en el cauce del río aguas arriba y aguas abajo. Se digitaron puntos estratégicos y transitorios **figura 10** para la precisión y optimización de la estación total y de los prismas.

Así obtuvimos un mejor levantamiento del terreno, determinando las coordenadas de ubicación, los tramos con exactitud del río, las variables del terreno y la forma de este, junto con las cotas que determinaran las profundidades en los distintos tramos del área que nos servirá para saber la forma del cauce, las velocidades y el sentido del río.



Figura 7. Drone empleado para el levantamiento topográfico.



Figura 8. Estación Total utilizado para el levantamiento topográfico.



Figura 9. Prismas utilizados en puntos estratégicos para una mejor visualización con la Estación Total



Figura 10. Digitación de puntos estratégicos, marcados con corrector

- Se realizó un análisis comparativo entre los modelos bidimensionales realizado en los softwares HEC-RAS 5.0.7 y IBER 2.5.1 en la evaluación hidráulica del cauce actual con los caudales de los periodos de retorno (50, 100, 500 años), primero se iniciará con el modelamiento del modelo digital de elevación generado por levantamiento topográfico del terreno.
- Se realizó el cálculo de intensidad de diseño utilizando los métodos de Dick Peshke, James S. Bell, Daniel F. Campos y SCS (Soil conservation service) para luego tomar como dato el promedio de estos 4 métodos para así obtener un resultado lo más preciso posible.
- Con el cálculo de la intensidad de diseño y el tiempo de concentración, se procede al desarrollo del cálculo de los caudales máximos para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años empleando los métodos: Método racional, método envolvente de descargas máximas de Criger y el hidrograma SCS.
- Habiendo hallado los caudales máximos con los métodos ya mencionados para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años ; se procede a las simulaciones en los programas IBER y HEC-RAS, de los cuales tendremos 6 modelamientos en cada uno de los programas siendo los 3 primeros modelamientos (para 50,100 y 500 años de retorno) se aran de acuerdo a la topografía del terreno y los últimos 3 modelamientos se harán planteando un modelo de contención (defensa ribereña) para finalmente analizar las variables hidráulicas en cada modelamiento de los 2 programas(IBER Y HEC-RAS)

3.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

- **AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA):** Es una página web del ministerio de agricultura y riego. Que nos sirvió para identificar la estación lives más cercana y favorable al rio chaman la cual descargamos para obtener su información y adaptarlas a la investigación.

- **MICROSOFT EXCEL 2013:** Se hicieron hojas de cálculos para el modelamiento y simulación hidráulica del cauce del río.
- **CIVIL3D 2014 AUTOCAD 2019:** Nos permitió medir los niveles del terreno en estudio, también dibujar geometría de los puentes para su medición y exportación.
- **GOOGLE MAPS:** Es una herramienta de búsqueda de ubicaciones que permite geolocalizar un punto concreto, calcular rutas, encontrar los lugares de interés más cercanos, en este caso se utiliza para identificar la zona donde se encuentra el río Chaman.
- **GOOGLE EARTH PRO:** Es un programa informático que está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos SIG de todo el mundo y modelos creados por computadora.
- **ARCMAP:** Permite realizar mapas a partir de capas o datos espaciales, elegir colores y simbología, interrogar a las bases de datos, analizar relaciones espaciales y diseñar mapas o salidas impresas. La interfaz de ArcMap se compone de una tabla de contenidos donde se listan todas las capas que forman el mapa, una ventana donde se muestra el mapa, y una serie de menús y herramientas para trabajar con las capas y mapas (Orduña, 2007).
- **HEC-RAS 5.0.7:** herramienta de modelamiento bidimensional que nos permitirá realizar el análisis del terreno para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años primero sin el modelo de contención y luego con el modelo de contención propuesto (defensa ribereña).
- **IBER 2.5.1:** Herramienta de modelamiento bidimensional que cumple funciones similares a las del programa HEC-RAS, que nos permitirá analizar el mismo tramo del río y poder apreciar las diferencias y similitudes en cuanto a funcionalidad, precisión y parentesco con el programa anteriormente mencionado

3.5 Procesamiento y Análisis de Datos

3.5.1 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Topografía

- **Ubicación.**
 - Distrito: San José de Moro
 - Provincia: Chepén
 - Departamento: La Libertad

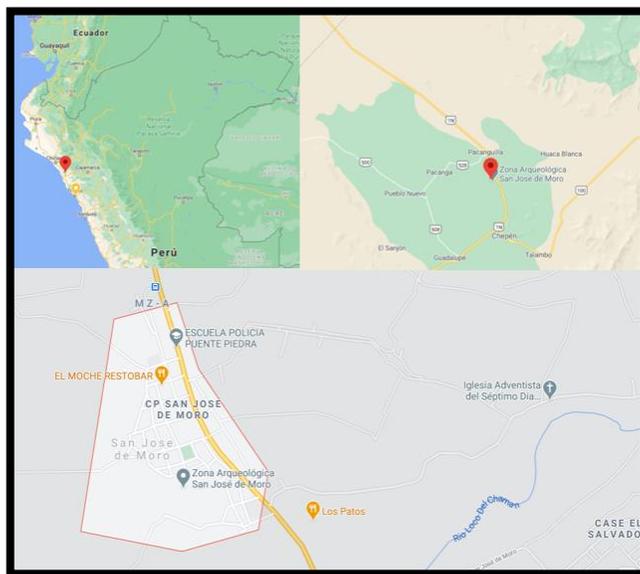


Figura 11: Ubicación Geográfica Distrito San José de Moro

- **Ubicación Geográfica de la Provincia de Chepén:**

La Provincia de Chepén, es una de las doce que conforman el departamento de La Libertad en el Noroeste del Perú. Está situada en el extremo Noroeste del departamento de departamento de La Libertad y limita por el Norte con la provincia de Chiclayo (Lambayeque); por el Este con las provincias de San Miguel y Contumazá (Cajamarca); por el Sur con la provincia de Pacasmayo; y, por el Oeste con el océano Pacífico. Las coordenadas geográficas de la provincia

de Chepén son: Latitud: -7.22722, Longitud: -79.4297 7° 13' 38" Sur, 79° 25' 47" Oeste, y tiene una altitud media de 135 m s. n. m.

- **Ubicación del Distrito:**

El distrito de San José de Moro se ubica en las siguientes Coordenadas: 7°10'42"S 79°26'20"O a una distancia aproximada de 135 km al norte de la ciudad de Trujillo.

- **Ubicación del área de estudio:**

La cuenca del río Chamán tiene una extensión de 1.569 km², El subsistema hidrográfico del río Chamán está conformado por las confluencias del río San José y la quebrada San Gregorio. Sus coordenadas son: 7°12'14.87" S, 79°39'57.78" O, y las coordenadas UTM: 9203470 647284 17M



Figura 12. Imagen de la ubicación en Google Maps



Figura 13. Imagen recortada de la ubicación del cauce del rio

- **Reconocimiento del Terreno**

Antes de realizar el levantamiento topográfico, se realizó un estudio y reconocimiento previo del terreno. Para determinar las condiciones en las que se encontraba el área del río en estudio y determinar que método de levantamiento topográfico sería el más adecuado. En las observaciones más importantes se pudo apreciar que gran parte del cauce del río había sido invadido por agricultores, con áreas de cultivo de arroz y otras partes estaban cubiertas de una vegetación muy espesa. Con estas condiciones se llegó a la conclusión de que la mejor opción sería un levantamiento topográfico con dron por las dificultades de acceso y también se hizo una parte con estación total.

- **Levantamiento Planimétrico (fotogrametría)**

Planimetría es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que son dirigidos a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana (plano geometría). La **fotogrametría** es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto

- **Trabajo de Campo**

Para el levantamiento topográfico usamos el método de levantamiento con dron, esto nos permitió abarcar el área total del tramo del río en estudio, permitiéndonos obtener un plano completo con mayor rapidez y visualizar las partes del río que estaban cubiertas con mucha maleza la cual no se podía obtener una imagen clara del terreno para la lectura de los puntos, posteriormente se utilizó una estación total para tomar la lectura de esos puntos.

- **Trabajo de Gabinete**

Para la elaboración del plano topográfico del tramo del río 1km aguas arriba y 1 km aguas abajo del puente chaman en el río Chaman, se procesaron los datos

obtenidos con el levantamiento con dron con el programa LIDAR (acrónimo del inglés lidar, Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging), que es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. En este programa también se realizó la limpieza de la maleza en la ortofoto para así obtener una topografía del terreno mucho mas prolija y se puedan apreciar las cotas correctas.

3.5.2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA:

La delimitación de una cuenca hidrográfica consiste en definir la línea de divortium aquarum (divisoria de aguas), la cual es una línea curva definida por las altitudes y que tiene su punto de cierre en la zona más baja de la cuenca, esto nos servirá para poder tener una visión clara del área de la cuenca en la que se encuentra nuestro tramo del rio y poder apreciar las estaciones de precipitación que se encuentren dentro de la misma, o si no es el caso, ubicar las estaciones más cercanas para la obtención de datos más precisa posible. Para obtener información de la cuenca en la que se encuentra ubicada nuestro tramo del rio, tomamos la información de la NASA que se encuentra a disposición del ministerio del ambiente

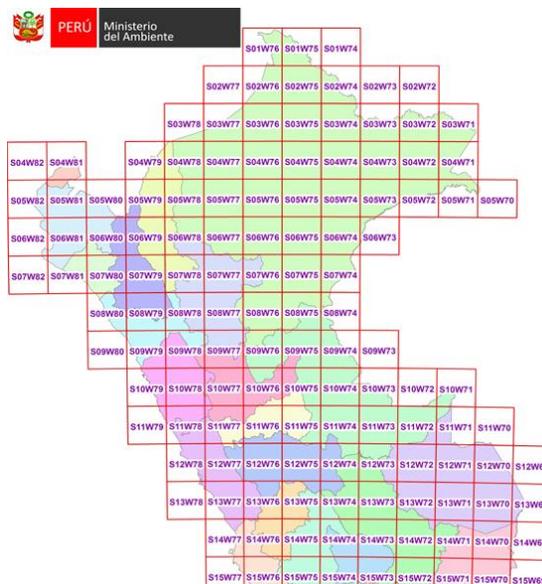


Figura 14: Ubicación de los datos Ráster en la página del Ministerio del Ambiente

- Con esta información procedemos la descarga de datos del ministerio del ambiente-información G-DEM ASTER-GEOSERVIDOR MINAM – archivos en formato TIF siendo el formato donde se encuentra la información de nuestra cuenca el archivo **S08W80**

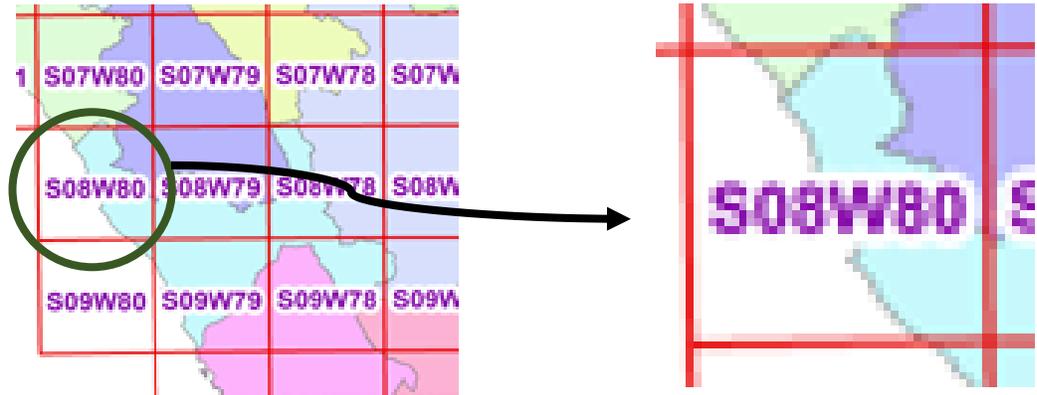


Imagen 15: Selección del raster S08W80 donde se ubica nuestra cuenca

3.5.2.1 Análisis de Raster

Para analizar el archivo raster que hemos descargado utilizamos el programa ArcMap para procesarlo. Cargamos el archivo DEM en el programa y tenemos la cuenca de esta forma:

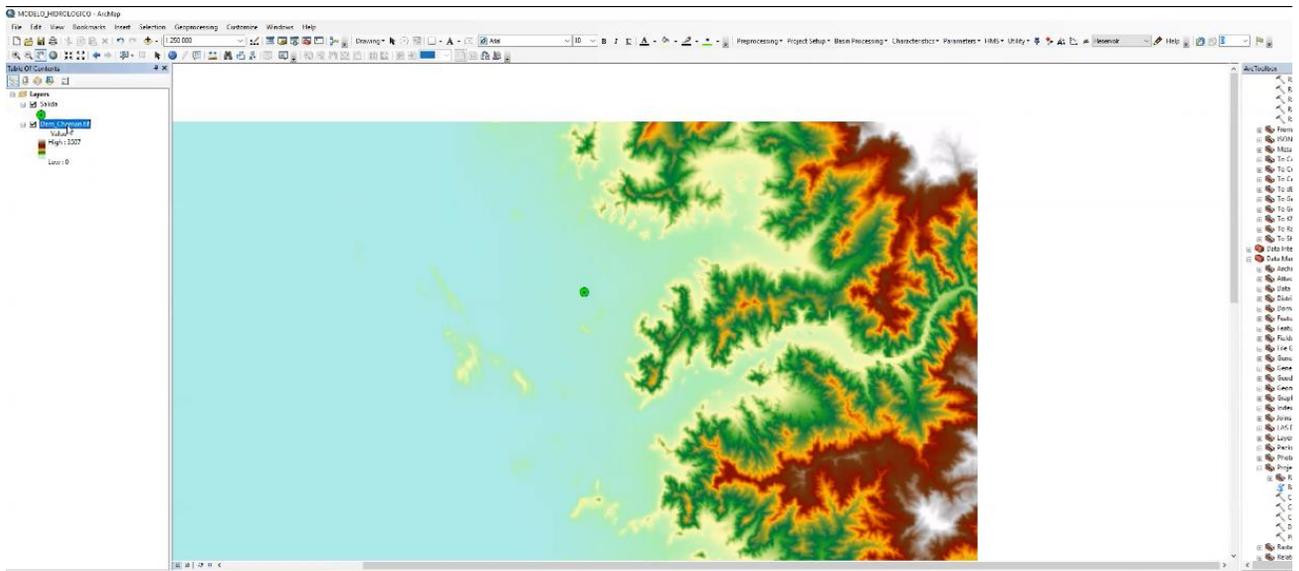


Figura 16. Forma de la cuenca luego del proceso del archivo raster

Si bien es cierto el DEM tenía algunos vacíos e imperfecciones, nosotros rellenamos los vacíos encontrados con la herramienta FILL SINKS en Preprocesing de la extensión Hec GeoHMS.

- **Fil Sink:**

Esta función llena los lavabos en una rejilla. Si las celdas con mayor elevación rodean una celda, el agua es atrapado en esa celda y no puede fluir. La función Llenar lavabos modifica el valor de elevación para eliminar estos problemas. Antes de usar la operación de dirección de flujo, es posible que desee limpiar su modelo de elevación digital (DEM), de modo que las depresiones locales (sumideros) se eliminen de su DEM.

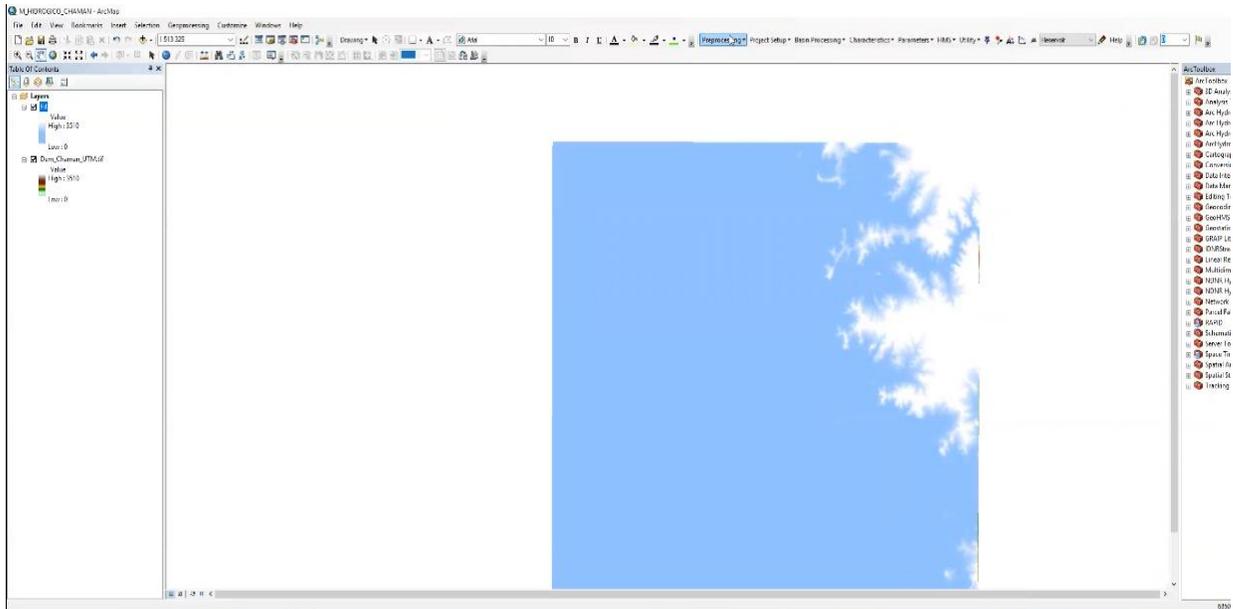


Figura 17. Proceso fil sink aplicado al raster

Continuando con el proceso se utilizó la herramienta **FLOW DIRECTION**, que indica a la dirección del flujo siempre en Preprocesing.

- **Flow Direction:**

Esta función calcula la dirección del flujo para una cuadrícula determinada. Los valores en las celdas del flujo. La cuadrícula de dirección indica la dirección del descenso más pronunciado desde esa celda.

Es una de las características hidrológicas de una superficie, es la capacidad de determinar la dirección de flujo desde cada celda en el ráster. Esto se hace con la herramienta Dirección de flujo.

Esta herramienta toma una superficie como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda. Si se elige la opción Ráster de caída de salida, se crea un ráster que muestra una proporción del cambio máximo en la elevación desde cada celda a lo largo de la dirección del flujo hasta la longitud de la ruta entre los centros de celda y se expresa en porcentajes. Si se elige la opción Forzar todas las celdas de eje para que se desplacen hacia fuera, todas las celdas del borde del ráster de superficie fluirán hacia fuera del ráster de superficie. (Merwade 2012).

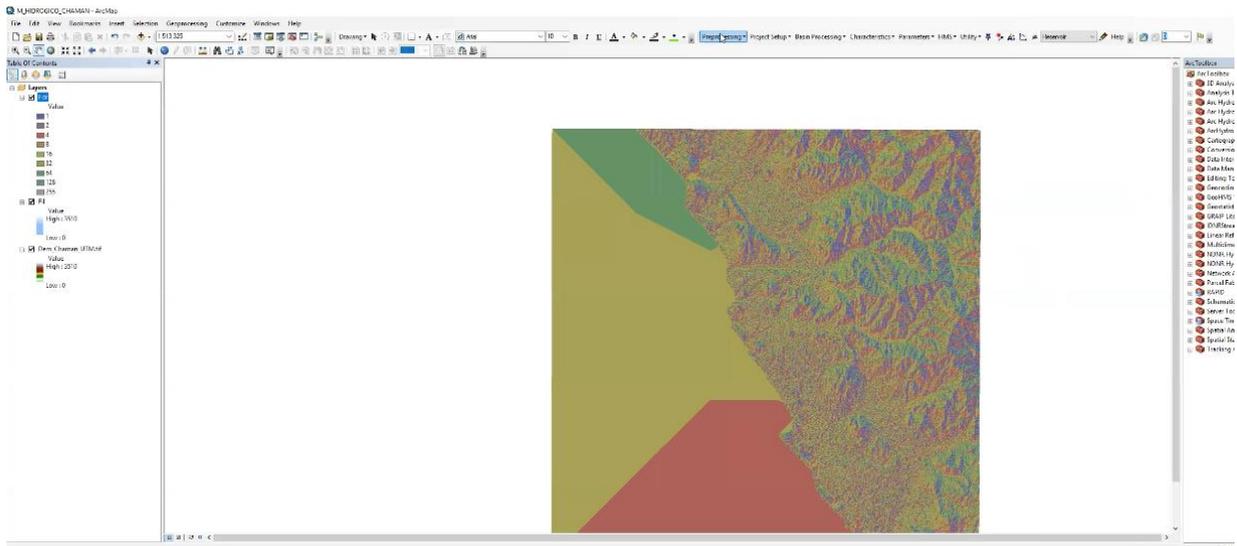


Figura 18. Proceso de herramienta flow direction aplicado al raster

- Proseguimos con la herramienta **FLOW ACCUMULATION**, que se refiere a la formación de cauces debido a la escorrentía, continuamos en el Preprocessing.

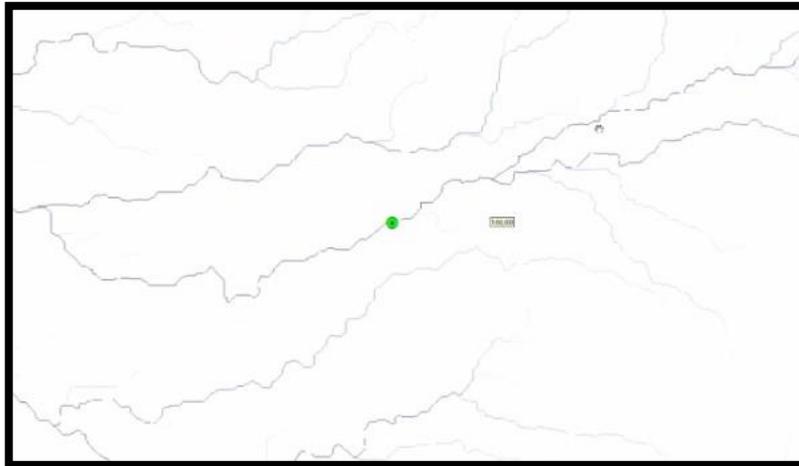


Figura 19. Proceso flow accumulation aplicado al raster

- Seguidamente emplearemos la herramienta **STREAM DEFINITION**, que significa la definición del orden de los afluentes, continuamos en el Preprocessing.

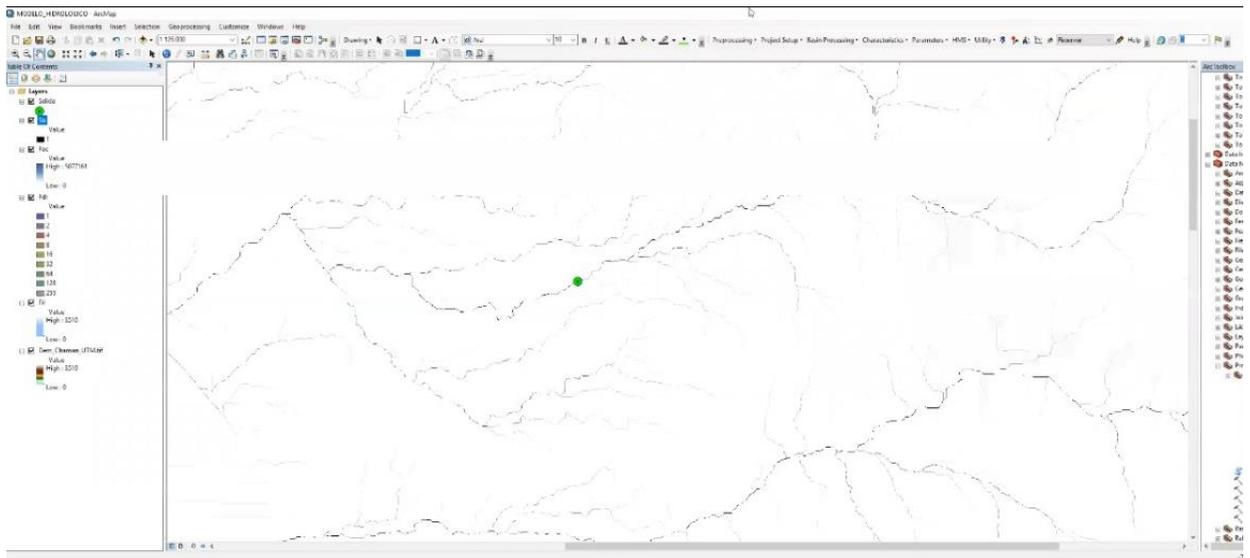


Figura 20. Proceso Stream definition aplicado al raster

- Seguimos con en el Preprocessing utilizando la herramienta **STREAM SEGMENTATION**, que disgrega y atribuye diferentes colores en función del orden del río.

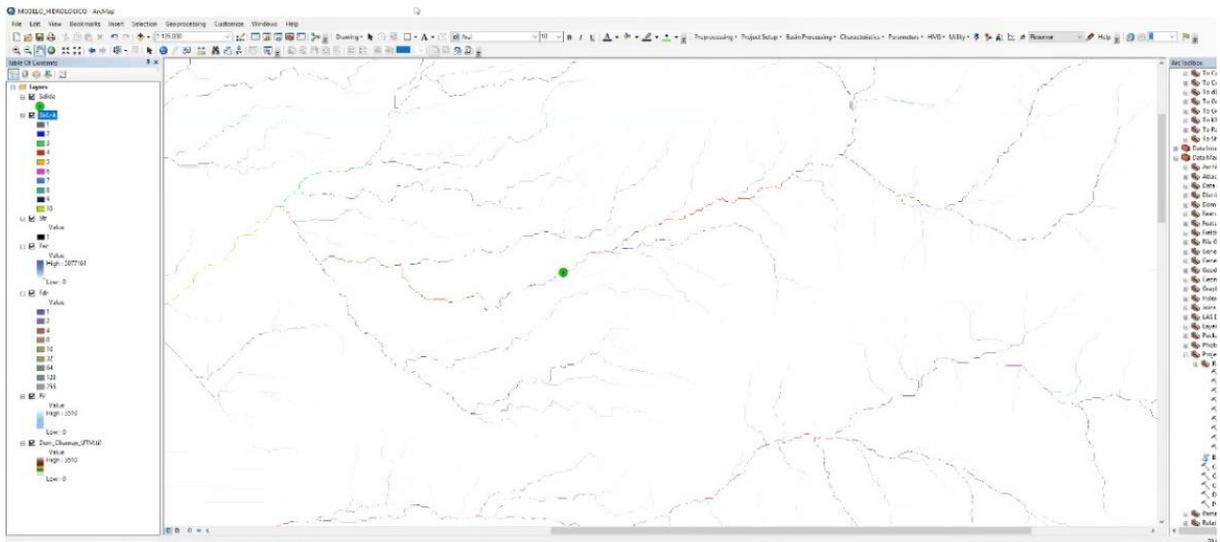


Figura 21. Proceso Stream Segmentation aplicado al raster

- Continuamos con el Preprocessing procediendo a utilizar la herramienta **CATCHMENT GRID DELINEATION**, que disgrega a toda el área en sus microcuencas a nivel de Raster.

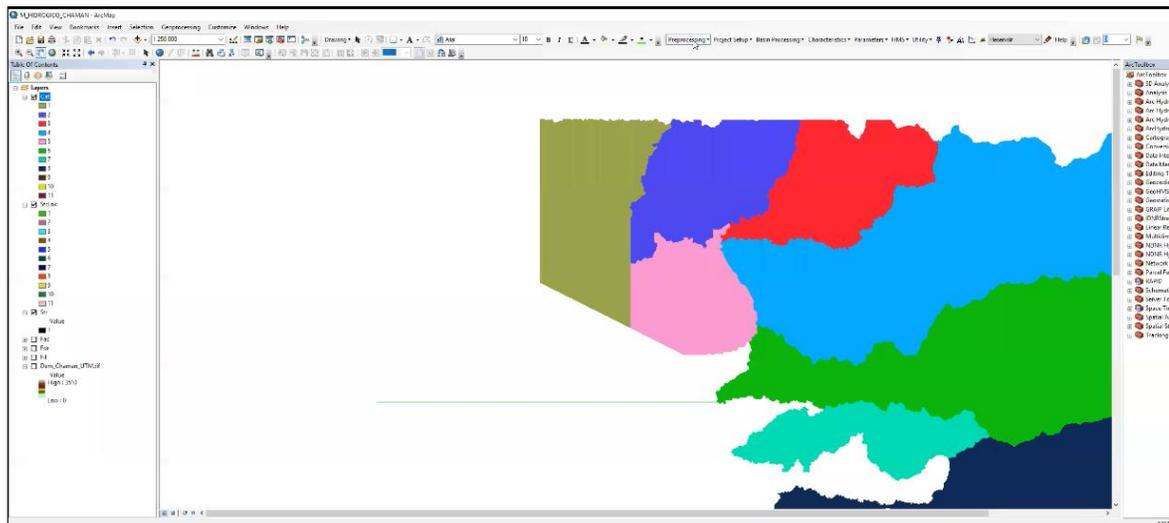


Figura 22. Proceso Catchment Grind Delineation aplicado al raster

- Siguiendo con el Preprocessing utilizaremos la herramienta **CATCHMENT POLYGON PROCESSING**, para transformar el raster anterior y lo convertiremos en polígonos.

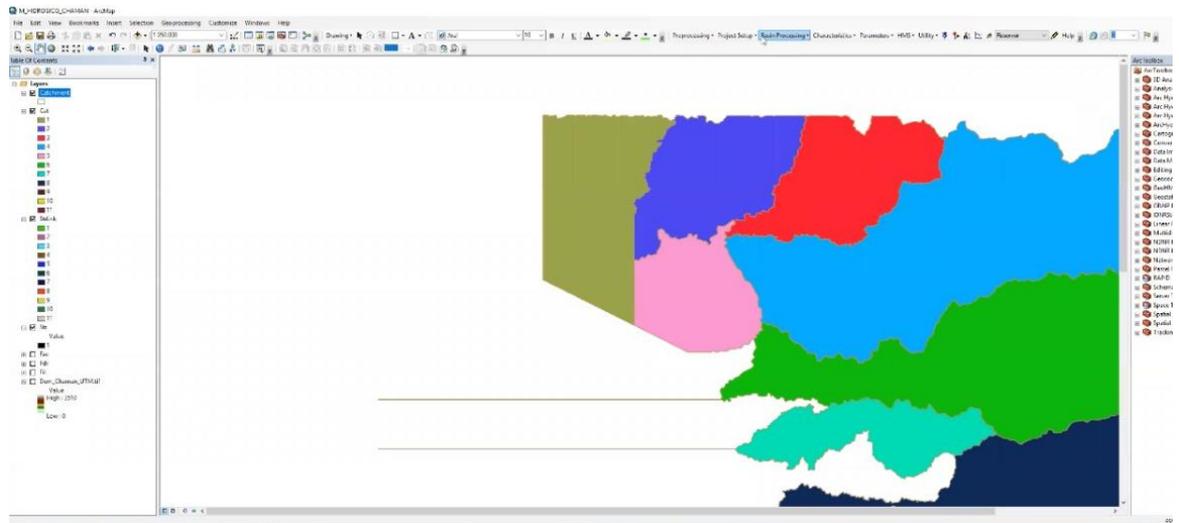


Figura 23. Proceso Catchment Polygon Processing aplicado al raster, formación de las Microcuencas mediante Polígonos

- Continuamos en el Preprocessing con la herramienta **DRAINAGE LINE PROCESSING**, donde obtenemos la red fluvial y la aparición de los ríos en formato SHAPE.

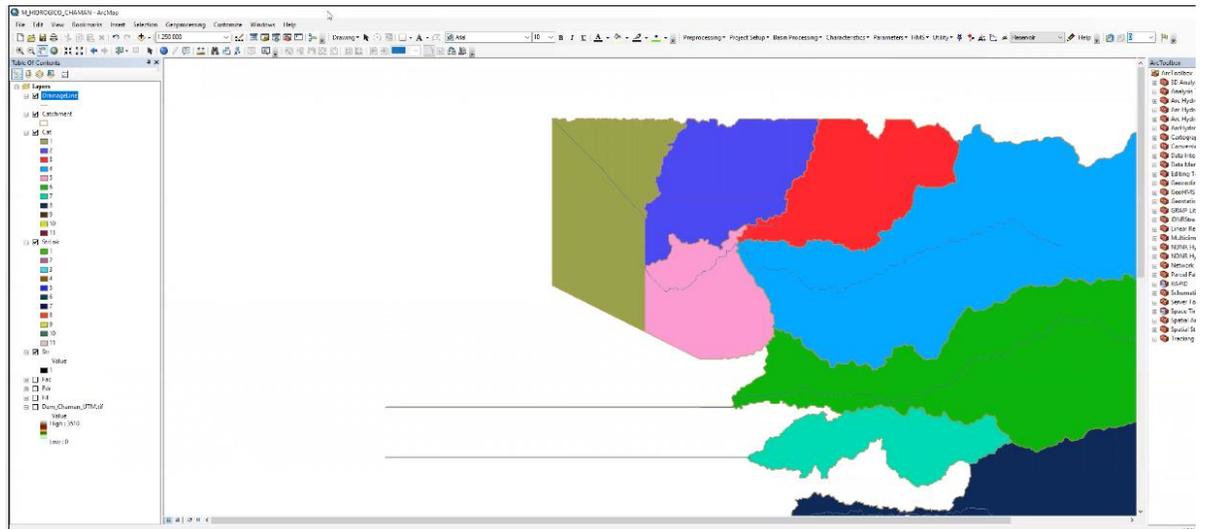


Figura 24. Proceso Drenaje Lind Processing aplicado al raster, formación de la red fluvial

- Finalmente, en el Preprocessing empleamos la herramienta **ADJOINT CATCHMENT PROCESSING**, precisamente la cual simboliza sus áreas aportantes desde un enfoque global; negativamente al detalle, de lo contrario disgrega por medio de sus corrientes principales.

Así hemos finalizado con todo el proceso de la formación vectorial de los elementos de una cuenca en Preprocessing.

Luego de todo, creamos un nuevo proyecto con un punto referencial al cauce del río y obtenemos nuestra cuenca del Río Chaman.

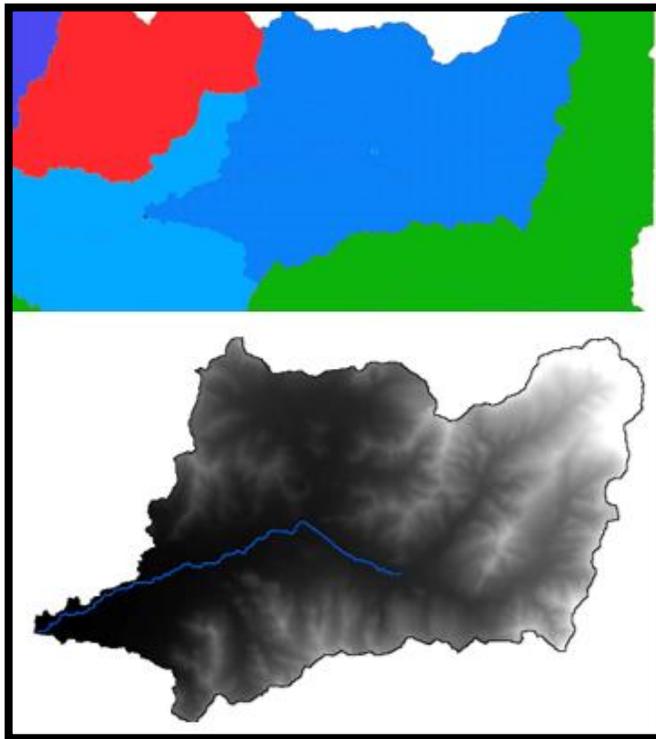


Figura 25. Proceso Adjoint Catchment Processing aplicado al raster, junto con el proyecto del punto referencial

3.5.3 CREACIÓN DE MODELO DE ELEVACIÓN:

- Se creó un modelo de elevación para poder realizar el modelamiento en los programas IBER y HEC-RAS. Posteriormente se generaron geometrías con la capa Land use, las cuales se representan en las zonas existentes en la topografía realizada **figura 26** a las que proyectaremos un valor de Mannig.



Figura 26. Modelo digital con geometrías para distinguir las zonas.

- Luego trazaremos el eje del río y las secciones tratando que estas secciones tengan un ángulo de 90° con relación al eje del río Chaman, tal y como se muestra en la **figura 27**, es indispensable contar con este paso para poder lograr un correcto modelamiento del río, teniendo en cuenta que tenemos que tener cuidado para colocar las secciones y las distancias entre ellas. Uno de los aspectos más importantes es la colocación de las secciones que se encuentran en el tramo del Puente, puesto que las secciones se trazaran más juntas al inicio y al final del tablero para que la estructura sea lo más precisa posible.

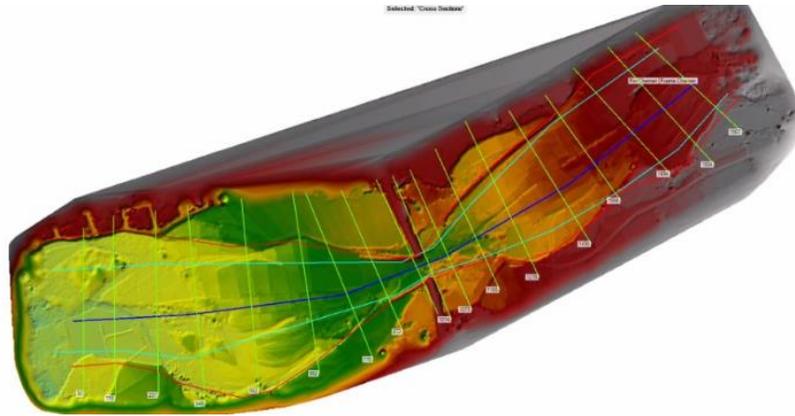


Figura 27. Secciones trazadas de margen derecho a margen izquierdo

3.5.4 DATOS ESTACIÓN LIVES EXTRAÍDOS DE LA WEB DEL ANA

Definida la cuenca donde se encuentra nuestro tramo del río Chaman que se está analizando, buscamos las estaciones hidrológicas que se encuentren dentro de nuestra cuenca o que estén cerca de esta.

Acudimos al sitio Web del ANA (autoridad nacional del agua), luego vamos a la opción información hídrica para buscar la cantidad de agua en el visor de estaciones (Jequetepeque-Zarumilla), identificando 2 estaciones cercanas a la cuenca del río Chaman con los datos suficientes para trabajarlos.

De preferencia se toma la estación que se encuentre aguas arriba de la cuenca.

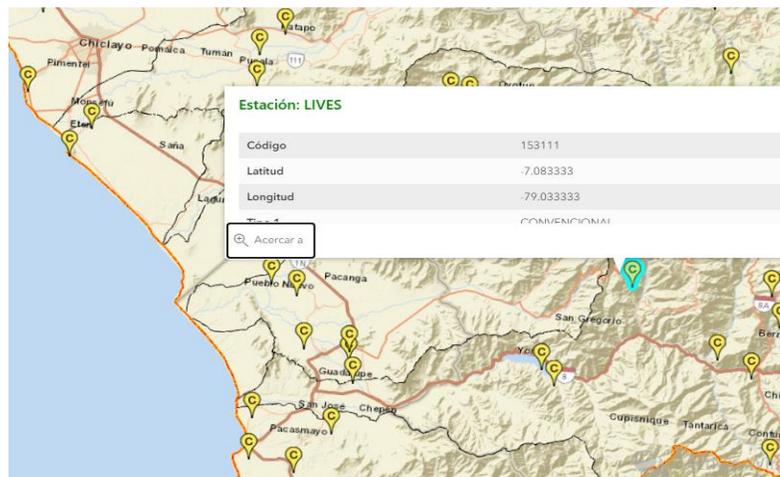


Figura 28: Identificación de estación lives en la página de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)

- ✓ Se identifica la estación lives que se encuentra aguas arriba de la cuenca del Rio Chaman que cuenta con n registro que consta desde el año 1963 hasta el año 2018.

Estacion	Cuenca	Latitud	Longitud	Periodo de registro
Lives	Chaman	-7,083333	-79,033333	1963-2018

Figura 29. Registros pluviométricos de la estación lives

3.5.5 CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 50, 100 Y 500 AÑOS

Primero mostraremos los datos de la subcuenca y de la estación que le corresponde para su respectivo estudio **tabla 1**

Luego colocaremos la información de la superficie de los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años para luego seguir con el proceso de ingresar los datos de máxima precipitación.

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	CN	LONGITUD (m)	Cota superior (m)	Cota inferior (m)	AREA (km2)	PERIMETRO (km)
CHAMAN	50	74.00	57033.35	2942.00	107.00	592.30	175.920
CHAMAN	100	74.00	57033.35	2942.00	107.00	592.30	175.920
CHAMAN	500	74.00	57033.35	2942.00	107.00	592.30	175.920

Tabla 1: Datos de Sub cuenca Chaman con periodos de retorno

- Asi que iniciamos con la estación pluviométrica que se encuentra aguas arriba de la cuenca del rio chaman, denominada estación Lives.

DATOS ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA							
Estación: Lives	Coordenadas UTM WGS 1984 Zone 17S				Latitud	-7.083333	Cota = 294
Denominación:					Longitud	-79.033333	

DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo	
1963									0.20	2.10	7.90		7.90	Noviembre
1964	12.30	13.20	15.30	13.40	4.80	0.00	2.50	5.00	4.00	6.00	9.90	7.00	15.30	Marzo
1965	9.60	13.40	38.00	9.30	1.30	13.00	3.10	3.10	8.00	8.40	5.00	8.50	38.00	Marzo
1966	17.50	35.00	19.00	11.40	6.00	0.00	0.00	1.30	5.00	10.20	1.20	3.20	35.00	Febrero
1967	20.00	36.00	25.00	7.00	12.00	2.50	5.00	7.50	0.60	31.00	3.00	4.50	36.00	Febrero
1968	3.00	15.00	13.50	6.00	14.00	6.00	0.50	6.00	8.00	10.00	10.00	6.00	15.00	Febrero
1969	10.00	13.50	18.00	10.00	0.00	4.50	0.00	5.50	0.00	5.00	8.00	9.30	18.00	Marzo
1970	12.00	13.00	15.00	13.00	11.30	10.10	0.00	0.50	11.00	14.00	7.30	5.50	15.00	Marzo
1971	10.00	12.00	35.50	15.00	5.60	3.50	4.70	3.50	5.90	5.80	10.00	10.80	35.50	Marzo
1972	17.00	26.20	63.00	18.00	8.00	0.00	0.00	0.80	7.00	3.00	21.00	12.00	63.00	Marzo
1973	17.20	27.30	16.00	28.00	4.00	6.80	2.70	2.50	6.80	5.20	4.00	7.60	28.00	Abril
1974	12.00	18.40	6.20	9.00	0.40	6.40	6.00	7.60	6.50	16.50	5.20	4.20	18.40	Febrero
1975	24.00	30.70	40.00	28.50	8.50	8.50	6.50	5.80	6.80	8.00	7.50	0.00	40.00	Marzo
1976	28.60	24.00	23.00	28.50	8.50	8.50	6.50	3.00	0.00	4.20	2.50	3.00	28.60	Enero
1977	27.00	31.00	38.00	22.00	6.50	0.00	0.00	0.00	12.00	4.20	22.50	12.50	38.00	Marzo
1978	7.00	19.00	27.00	3.60	11.10	0.00	0.00	0.00	10.80	3.00	6.00	13.20	27.00	Marzo
1979	8.00	18.00	29.00	7.00	0.00	0.00	2.80	4.50	3.20	0.00	0.00	14.00	29.00	Marzo
1980	3.20	9.00	9.20	6.20	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	24.20	10.10	9.80	24.20	Octubre
1981	14.50	19.00	41.20	11.50	2.20	0.00	1.50	3.00	0.00	9.80	12.00	12.00	41.20	Marzo
1982	12.00	12.60	12.00	9.20	7.50	4.00	2.20	0.00	9.00	6.60	17.00	18.00	18.00	Diciembre
1983	24.20	18.00	38.00	39.70	6.20	4.90	0.00	2.20	7.50	8.50	7.20	28.00	39.70	Abril
1984	28.20	31.50	47.50	18.00	10.10	8.50	3.50	3.20	3.00	9.00	27.00	9.00	47.50	Marzo
1985	7.80	11.00	44.50	10.50	7.00	8.50	0.00	0.00	13.00	4.50	0.00	9.00	44.50	Marzo
1986	22.50	11.20	8.90	23.40	0.00	0.00	0.00	9.20	0.00	2.20	15.10	9.10	23.40	Abril
1987	34.20	37.00	16.00	0.00	0.00	0.00	3.60	1.60	6.00	2.60	12.00	2.00	37.00	Febrero
1988	21.30	15.00	9.50	13.00	1.80	0.00	0.00	0.00	9.60	3.50	12.40	4.30	21.30	Enero
1989	22.30	37.00	22.60	17.10	4.60	1.50	0.00	2.50	3.90	14.30	2.50	0.00	37.00	Febrero
1990	18.00	14.00	19.00	7.00	2.00	7.40	0.00	0.00	5.00	17.50	12.80	13.80	19.00	Marzo
1991	0.00	8.80	36.00	13.00	6.50	0.00	0.00	0.00	6.00	28.50	12.80	7.50	36.00	Marzo
1992	19.00	27.50	27.50	29.50	33.00	3.50	0.00	0.00	5.00	6.00	7.80	3.10	33.00	Mayo
1993	17.00	70.70	35.80	18.10	7.70	0.00	0.40	0.40	3.10	6.10	6.90	5.30	70.70	Febrero
1994	16.40	27.00	63.00	13.60	6.70	6.80	2.50	0.00	2.60	4.40	28.00	11.80	63.00	Marzo
1995	9.40	38.50	12.10	8.80	4.70	6.30	1.10	0.00	2.70	7.50	3.10	11.60	38.50	Febrero
1996	11.80	41.10	23.50	10.90	0.40	0.00	0.00	2.30	2.10	6.50	2.60	5.70	41.10	Febrero
1997	3.90	16.20	18.80	9.70	1.00	4.50	0.00	0.00	5.80	11.30	17.00	37.70	37.70	Diciembre
1998	50.50	59.30	52.90	40.80	6.90	0.00	0.00	0.50	5.20	11.80	3.10	18.90	59.30	Febrero
1999	15.20	29.40	27.00	10.50	5.70	4.30	3.70	0.00	6.00	2.50	3.70	9.70	29.40	Febrero
2000	11.30	20.60	17.50	8.90	10.20	4.10	0.00	0.00	1.20	0.00	7.90	12.10	20.60	Febrero
2001	11.90	14.10	68.80	23.10	13.20	1.80	0.00	0.00	6.20	1.70	4.60	4.80	68.80	Marzo
2002	13.40	52.10	35.50	27.50	5.70	0.00	0.60	0.00	1.60	7.20	18.50	8.70	52.10	Febrero
2003	11.50	20.50	16.20	8.80	1.00	4.40	0.00	0.00	3.90	0.80	11.90	10.40	20.50	Febrero
2004	6.90	12.70	28.20	3.60	3.00	1.80	0.50	0.90	1.90	5.10	4.00	9.50	28.20	Marzo
2005	5.70	10.20	23.10	2.90	0.60	0.00	0.00	0.00	0.40	3.50	1.60	5.70	23.10	Marzo
2006	22.90	20.70	37.00	5.60	1.50	2.10	0.00	6.30	0.60	0.50	5.20	13.90	37.00	Marzo
2007	20.80	6.10	12.40	6.50	1.90	0.00	0.00	0.60	1.10	7.80	6.80	3.50	20.80	Enero
2008	13.10	40.90	49.30	57.10	1.80	0.00	0.00	0.70	3.30	6.60	12.10	7.60	57.10	Abril
2009	16.70	19.90	12.70	2.90	7.30	1.80	0.60	0.00	0.60	4.10	10.40	3.80	19.90	Febrero
2010	6.50	30.10	36.10	15.60	6.80	0.00	0.00	0.60	0.30	12.20	2.90	4.60	36.10	Marzo
2011	9.30	18.20	14.90	17.30	1.60	0.00	2.50	0.00	4.30	4.80	4.30	14.00	18.20	Febrero
2012	14.60	32.40	26.80	11.60	4.00	1.20	0.00	0.00	4.30	4.50	9.50	16.60	32.40	Febrero
2013	9.30	24.00	25.60	2.00	22.40	4.50	2.00	0.80	0.80	4.80	0.00	6.40	25.60	Marzo
2014	18.80	13.40	11.30	6.00	3.70	0.00	0.90	0.00	5.60	7.10	9.50	6.80	18.80	Enero
2015	5.80	17.30	97.20	22.90	12.40	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40	10.40	13.90	97.20	Marzo
2016	41.00	15.40	16.90	15.40	0.10	3.30	0.20	0.00	0.90	5.00	1.40	4.80	41.00	Enero
2017	18.60	33.80	25.90	6.80	5.70	1.40	0.00	0.80	4.20	25.60	3.10	13.20	33.80	Febrero
2018	14.90	19.50	18.20										19.50	Febrero
MAX	50.50	70.70	97.20	57.10	33.00	13.00	6.50	9.20	13.00	31.00	28.00	37.70	70.70	

Tabla 2: Datos Pluviométricos de Estación Live

Después efectuamos el cálculo de las precipitaciones máximas probables en distintos tiempos de retorno por medio de distribución de probabilidades Gumbel.

La siguiente formula que utilizamos en dicho método fue:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

- **Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel**

En teoría de probabilidad y estadística la distribución de Gumbel (1891-1966) es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. Por ejemplo, sería muy útil para representar la distribución del máximo nivel de un río a partir de los datos de niveles máximos durante 10 años. Es por esto que resulta muy útil para predecir terremotos, inundaciones o cualquier otro desastre natural que pueda ocurrir.

La aplicabilidad potencial de la distribución de Gumbel para representar los máximos se debe a la teoría de valores extremos que indica que es probable que sea útil si la muestra de datos tiene una distribución normal o exponencial.

Gumbel ha mostrado que la distribución del valor máximo en una muestra de un variable que sigue la distribución exponencial se aproxima a la distribución de Gumbel con más precisión al incrementar el tamaño de la muestra.

En la hidrología, por ello, se utiliza la distribución de Gumbel para analizar variables aleatorias como valores máximos de la precipitación y la descarga de ríos,⁵ y además para describir épocas de sequía.

Gumbel también ha mostrado que el estimador $r/(n+1)$ para la probabilidad acumulativa de un evento — donde r en el número del rango de un valor observado en una serie de datos clasificados por su magnitud y n es el número total de observaciones — es un tesador imparcial (es decir sin sesgo) de la probabilidad acumulada alrededor de la moda de la distribución. Por lo tanto, este estimador a menudo se emplea como marcador de posición.

- Exponemos a la data que nos sirvió para este cálculo

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1963	Noviembre	7.90	553.257602
2	1964	Febrero	15.30	259.9004592
3	1965	Febrero	38.00	43.27760204
4	1966	Marzo	35.00	12.80617347
5	1967	Marzo	36.00	20.96331633
6	1968	Marzo	15.00	269.6633163
7	1969	Marzo	18.00	180.1347449
8	1970	Abril	15.00	269.6633163
9	1971	Febrero	35.50	16.6347449
10	1972	Marzo	63.00	997.2061735
11	1973	Enero	28.00	11.70617347
12	1974	Marzo	18.40	169.557602
13	1975	Marzo	40.00	73.59188776
14	1976	Marzo	28.60	7.960459184
15	1977	Octubre	38.00	43.27760204
16	1978	Marzo	27.00	19.54903061
17	1979	Diciembre	29.00	5.863316327
18	1980	Abril	24.20	52.14903061
19	1981	Marzo	41.20	95.62045918
20	1982	Marzo	18.00	180.1347449
21	1983	Abril	39.70	68.5347449
22	1984	Febrero	47.50	258.5204592
23	1985	Enero	44.50	171.0490306
24	1986	Febrero	23.40	64.34331633
25	1987	Marzo	37.00	31.12045918
26	1988	Marzo	21.30	102.4433163
27	1989	Mayo	37.00	31.12045918
28	1990	Febrero	19.00	154.2918878
29	1991	Marzo	36.00	20.96331633
30	1992	Febrero	33.00	2.491887755
31	1993	Febrero	70.70	1542.806173
32	1994	Diciembre	63.00	997.2061735
33	1995	Febrero	38.50	50.10617347
34	1996	Febrero	41.10	93.6747449
35	1997	Febrero	37.70	39.42045918
36	1998	Marzo	59.30	777.2147449
37	1999	Febrero	29.40	4.086173469
38	2000	Febrero	20.60	117.1033163
39	2001	Marzo	68.80	1397.157602
40	2002	Marzo	52.10	427.6033163
41	2003	Marzo	20.50	119.277602
42	2004	Enero	28.20	10.37760204
43	2005	Abril	23.10	69.24617347
44	2006	Febrero	37.00	31.12045918
45	2007	Marzo	20.80	112.8147449
46	2008	Febrero	57.10	659.3890306
47	2009	Febrero	19.90	132.7433163
48	2010	Marzo	36.10	21.88903061
49	2011	Febrero	18.20	174.8061735
50	2012	Febrero	32.40	0.957602041
51	2013	Marzo	25.60	33.88903061
52	2014	Enero	8.00	548.5633163
53	2015	Marzo	1.20	913.3347449
54	2016	Enero	4.60	719.3890306
55	2017	Febrero	9.00	502.7204592
56	2018	Febrero	27.20	17.82045918
56		Suma	1759.6	13702.5

Tabla 3. Tabla de registros pluviométricos de la estación lives

Cálculo Variables Probabilísticas	
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 31.42 \text{ mm}$	
$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 15.78 \text{ mm}$	
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 12.31 \text{ mm}$	
$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 24.32 \text{ mm}$	

Figura 30. Fórmulas para cálculo de variables probabilísticas

Periodo Retorno	Variable Reducida	Precip. (mm)	Prob. de Ocurrencia	Corrección intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	28.8285	0.5000	32.5763
5	1.4999	42.7774	0.8000	48.3384
10	2.2504	52.0127	0.9000	58.7744
25	3.1985	63.6816	0.9600	71.9602
50	3.9019	72.3383	0.9800	81.7422
100	4.6001	80.9310	0.9900	91.4520
500	6.2136	100.7875	0.9980	113.8898

Tabla 4. Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para Distintas Frecuencias

Seguidamente hallaremos el Tiempo de Concentración, para luego emplear siete fórmulas de las cuales se encontró el dato apropiado. Posteriormente, revelaremos los datos con los que calculamos dicho Tiempo de Concentración.

Área Aportante	Longitud del Afluente (m)	Cota Máxima (m.s.n.m.)	Cota mínima (m.s.n.m.)	Pendiente (m/m)	Pendiente (%)	Área (Km2)	Perímetro (Km.)
RIO CHAMAN	57033.35	2942.00	107.00	0.050	5 - 20	592.30	175.920

Tabla 5. Datos para Cálculo de Tiempo de Concentración

Por consiguiente, mostraremos las siguientes fórmulas que se emplearon para encontrar dichos resultados.

- **Ecuación de Retardo SCS (1973)**

$$t_c = \frac{0.0136 * L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

L: Longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo, m.

CN: Número de curva SCS.

S: Pendiente promedio de la cuenca, m/m.

- **Federal Aciation Administration (1970):**

$$t_c = 0.7035 * \frac{(1.1 - C) * L^{0.50}}{S^{0.333}}$$

C: Coeficiente de escorrentía del método racional.

L: Longitud del flujo superficial, m.

S: Pendiente de la superficie, m/m.

- **California Culverts Practice (1942)**

$$t_c = 0.0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

L: Longitud del curso de agua mas largo, m.

H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.

- **Método de Hathaway**

$$T_c = 0.606 \frac{(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

T_c: Tiempo de concentración (horas)

S: Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

Ln: Longitud del cauce principal (n)

n : Coeficiente de rugosidad del cauce

- **Método de Ven Te Chow**

$$T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64}$$

Siendo:

T_c: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal, en metros

S: Pendiente promedio del cauce principal (m/m)

- **Método de Kirpich**

$$Tc = 0.06628 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Siendo:

L: longitud del cauce más largo en Km.

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m).

Tc: tiempo de concentración expresado en horas.

- **Método de Témez**

$$Tc = 0.3L^{0.76}S^{-0.19}$$

Siendo:

L: longitud del cauce más largo en Km.

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m).

Tc: tiempo de concentración expresado en horas

Donde los valores de rugosidad (n) recomendados son los siguientes:

Tipo de superficie	Valor de n
Suelo liso impermeable	0,02
Suelo desnudo	0,10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso	0,20
Pastizales	0,40
Bosques de frondosas	0,60
Bosque de coníferas, o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped.	0,80

Continuado con el proceso, exponemos los siguientes resultados que nos proporciona cada una de las fórmulas expresadas anteriormente, adicionando algunas fórmulas de la sección vista, las cuales constituimos como más confiables para este cálculo.

SUBCUENCA	LONGITUD (m)	ElevUP	ElevDS	SLOPE	n	C	CN	TEMEZ	KIRPICH	VEN TE CHOW	HATHAWAY	CALIFORNIA	FAA	SCS	PROMEDIO
								TC (horas)	TC (horas)	TC (horas)	TC (horas)	TC (horas)	TC (horas)	TC (horas)	TC (horas)
CHAMAN	57,033.35	2,942.00	107.00	0.050	0.10	0.35	74.00	11.47	4.74	9.49	2.76	4.74	5.71	18.63	8.22

Tabla 6. Tiempos de Concentración Promedio

Mas adelante se efectuó el cálculo de las intensidades de precipitaciones en 50, 100 y 500 años utilizando cuatro métodos que presentamos a continuación:

3.5.5.1 Cálculo De Intensidad De Precipitación En 50 Años

Para calcular la intensidad, utilizamos los métodos de Dick Peschke, F.C. Bell y SCS (Soil Conservation Service) y Daniel F. Campos para tener un resultado lo más preciso posible con el promedio de estos 4 métodos:

- **Método Perfil SCS Tipo II**

También llamado del “número de curva” consta de dos partes. En la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escorrentía resultante de una precipitación - escurrimiento directo, en la segunda se determina el tiempo de distribución del escurrimiento, incluyendo el caudal de punta. (Hidrograma Unitario Sintetico)

Para determinar el volumen de escurrimiento, debe hacerse una estimación del valor de CN, el cual depende de características de la cuenca tales como uso de la tierra, condiciones del suelo y condiciones de humedad de la cuenca en el momento de ocurrir, la precipitación.

name=Type II 24-hr Tabular
timeunits=hours
depthunits=inches
duration=24
comment=Type II 24-hour tabular mass curve 1982
smoothing=false
depth=.0000 .0010 .0020 .0030 .0041 .0051 .0062 .0072 .0083 .0094
depth=.0105 .0116 .0127 .0138 .0150 .0161 .0173 .0184 .0196 .0208
depth=.0220 .0232 .0244 .0257 .0269 .0281 .0294 .0306 .0319 .0332
depth=.0345 .0358 .0371 .0384 .0398 .0411 .0425 .0439 .0452 .0466

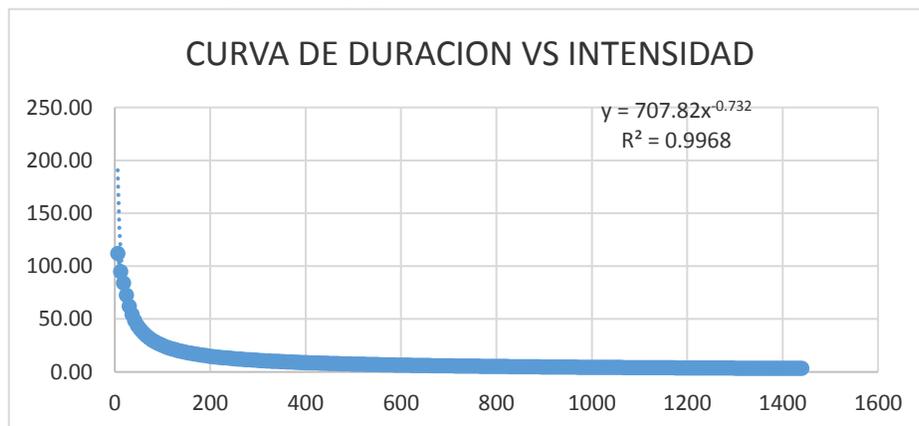
depth=.0480 .0494 .0508 .0523 .0538 .0553 .0568 .0583 .0598 .0614
depth=.0630 .0646 .0662 .0679 .0696 .0712 .0730 .0747 .0764 .0782
depth=.0800 .0818 .0836 .0855 .0874 .0892 .0912 .0931 .0950 .0970
depth=.0990 .1010 .1030 .1051 .1072 .1093 .1114 .1135 .1156 .1178
depth=.1200 .1222 .1246 .1270 .1296 .1322 .1350 .1379 .1408 .1438
depth=.1470 .1502 .1534 .1566 .1598 .1630 .1663 .1697 .1733 .1771
depth=.1810 .1851 .1895 .1941 .1989 .2040 .2094 .2152 .2214 .2280
depth=.2350 .2427 .2513 .2609 .2715 .2830 .3068 .3544 .4308 .5679
depth=.6630 .6820 .6986 .7130 .7252 .7350 .7434 .7514 .7588 .7656
depth=.7720 .7780 .7836 .7890 .7942 .7990 .8036 .8080 .8122 .8162
depth=.8200 .8237 .8273 .8308 .8342 .8376 .8409 .8442 .8474 .8505
depth=.8535 .8565 .8594 .8622 .8649 .8676 .8702 .8728 .8753 .8777
depth=.8800 .8823 .8845 .8868 .8890 .8912 .8934 .8955 .8976 .8997
depth=.9018 .9038 .9058 .9078 .9097 .9117 .9136 .9155 .9173 .9192
depth=.9210 .9228 .9245 .9263 .9280 .9297 .9313 .9330 .9346 .9362
depth=.9377 .9393 .9408 .9423 .9438 .9452 .9466 .9480 .9493 .9507
depth=.9520 .9533 .9546 .9559 .9572 .9584 .9597 .9610 .9622 .9635
depth=.9647 .9660 .9672 .9685 .9697 .9709 .9722 .9734 .9746 .9758
depth=.9770 .9782 .9794 .9806 .9818 .9829 .9841 .9853 .9864 .9876
depth=.9887 .9899 .9910 .9922 .9933 .9944 .9956 .9967 .9978 .9989
depth=1.000

Tabla 7. Tabla de Factores para Intensidad, SCS Tipo II - 24 Horas

La precipitación máxima en 24 Horas que utilizaremos es **81.742 mm**.

Posteriormente digitaremos en las tablas correspondientes utilizando el procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II las cuales se visualizarán en la **tabla 49** de los anexos.

Pmax 24h = **81.7422 mm**



Resultados:

TIEMPO	
CONCENTRACION	8.219 horas
TIEMPO	
CONCENTRACION	493.166 minutos
INTENSIDAD	7.608 mm/h

Interpolamos:

	Tiempo	Intensidad
	492	7.62
Tc	493.17	7.61
	498	7.55

- **Método de Dick Peschke**

Con este método se puede calcular la precipitación así no cuente con registros pluviógrafos que permiten obtener las intensidades máximas, donde relaciona la duración de una tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente: (Guevara, 1991)

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P24h = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

Se utilizará la precipitación máxima del periodo de retorno de 50 años para hallar la intensidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). Luego se generó una tabla en excel donde se tomó en cuenta el tiempo y la precipitación total dando como resultado la intensidad **tabla 51** se encuentra en los anexos.

- **Método de F. Bell**

Con este método no siempre dispone de datos de intensidades para precipitaciones máximas de corta duración, por lo que es común el uso de registros pluviométricos para determinar las intensidades por medio de ecuaciones diseñadas para tal fin. Este estudio presenta la aplicación de las ecuaciones de precipitación propuestas tanto por Bell (1969).

Encontró cocientes estables entre la lluvia de una hora y un período de retorno de 10 años y la lluvia de igual duración, pero con diferente período de retorno; posteriormente, combinó las relaciones duración-lluvia con los cocientes frecuencia-lluvia, para obtener una relación general de precipitación duración-período de retorno, definida por la ecuación siguiente:

$$P_t^T = (0.21 \operatorname{Ln} T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

si $2 \leq T \leq 100$ años
 $5 \leq t \leq 120$ minutos

Donde:

P_t^T = Precipitación de duración t minutos y período de retorno T años, en milímetros.

P_{60}^{10} = Precipitación de duración 60 minutos y período de retorno 10 años, en milímetros.

Factores:

a =	0.4602
b =	0.8760
Pmax 24h =	84.7422 mm
I = P (10,60) =	21.79 mm
T =	50 años

Luego generamos una tabla en excel haciendo la utilización de la precipitación máxima del periodo de retorno de 50 años para hallar como resultado la intensidad **tabla 52**.

- **Método de Daniel F. Campos**

Duración (hr)	Factor
1	0.30
2	0.39
3	0.46
4	0.52
5	0.57
6	0.61
8	0.68
12	0.80
18	0.91
24	1.00

Tabla 8. Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Horas

Durac (min)	Factor
60	0.30
120	0.39
180	0.46
240	0.52
300	0.57
360	0.61
480	0.68
720	0.80
1080	0.91
1440	1.00

Tabla 9. Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Minutos

Durac (min)	Factor	Pd (mm)	i (mm/h)
6	0.241	19.72	197.15
12	0.249	20.39	101.96
18	0.258	21.06	70.21
24	0.266	21.73	54.32
30	0.274	22.39	44.78
36	0.282	23.04	38.40
42	0.290	23.69	33.84
48	0.298	24.33	30.41
54	0.305	24.96	27.73
60	0.313	25.59	25.59
66	0.321	26.21	23.83
72	0.328	26.83	22.36
78	0.336	27.44	21.11
84	0.343	28.04	20.03
90	0.350	28.64	19.09
96	0.358	29.23	18.27
102	0.365	29.82	17.54
108	0.372	30.40	16.89
114	0.379	30.97	16.30
120	0.386	31.54	15.77
126	0.393	32.10	15.29
132	0.400	32.66	14.85
138	0.406	33.21	14.44
144	0.413	33.76	14.07
150	0.420	34.30	13.72
156	0.426	34.83	13.40
162	0.433	35.36	13.10
168	0.439	35.88	12.82
174	0.445	36.40	12.55
180	0.452	36.91	12.30
186	0.458	37.42	12.07
192	0.464	37.92	11.85
198	0.470	38.42	11.64
204	0.476	38.91	11.44
210	0.482	39.40	11.26
216	0.488	39.88	11.08
222	0.494	40.35	10.91
228	0.499	40.82	10.74
234	0.505	41.29	10.59
240	0.511	41.75	10.44
246	0.516	42.20	10.29
252	0.522	42.65	10.15
258	0.527	43.09	10.02
264	0.533	43.53	9.89
270	0.538	43.97	9.77
276	0.543	44.40	9.65
282	0.548	44.82	9.54
288	0.553	45.24	9.42
294	0.559	45.65	9.32
300	0.564	46.06	9.21
306	0.568	46.47	9.11
312	0.573	46.87	9.01
318	0.578	47.26	8.92
324	0.583	47.66	8.83
330	0.588	48.04	8.73
336	0.592	48.42	8.65
342	0.597	48.80	8.56
348	0.602	49.17	8.48
354	0.606	49.54	8.40
360	0.610	49.90	8.32
366	0.615	50.26	8.24
372	0.619	50.62	8.16
378	0.623	50.97	8.09
384	0.628	51.31	8.02
390	0.632	51.65	7.95
396	0.636	51.99	7.88
402	0.640	52.32	7.81
408	0.644	52.65	7.74
414	0.648	52.97	7.68
420	0.652	53.29	7.61
426	0.656	53.61	7.55
432	0.660	53.92	7.49
438	0.663	54.23	7.43
444	0.667	54.53	7.37
450	0.671	54.83	7.31
456	0.674	55.12	7.25
462	0.678	55.42	7.20
468	0.681	55.70	7.14
474	0.685	55.99	7.09
480	0.688	56.27	7.03
486	0.692	56.54	6.98
492	0.695	56.81	6.93
493.17	0.696	56.87	6.92

Tabla 10. Resultados de Intensidades Mediante Método de Daniel F. Campos

Por último, hemos reunido los datos para luego procesarlos y seleccionar la intensidad para el estudio **tabla 53**, los resultados se encontrarán en los anexos. Para la observación de esta cuenca se empleó la Estación Lives y después el análisis del registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas, se especificó que la precipitación de diseño relacionada a un periodo de retorno de 50 años es **84.7422** Para el cálculo de las intensidades se utilizó varios métodos, descartando SCS y Daniel F. Campos por tener resultados alejados.

METODO	INTENSIDAD
SCS	7.61
D.PESCHKE	7.61
F. BELL	7.27
DF CAMPOS	6.92
INTENSIDAD DE DISEÑO	7.35

Tabla 11. Resumen de Resultados Intensidades

Seguimos calculando los caudales utilizando tres métodos que presentaremos a continuación:

Cálculo De Caudales

- **Método Racional**

Normalmente la fórmula racional tiene aplicación para cuencas pequeñas, de hasta 10 o 20 km² según señalan algunos autores. Ello hace de este método un procedimiento ideal para la determinación del caudal Q_{max} en el diseño de sistemas de drenaje pluvial o en el proyecto de las obras de drenaje de carreteras. Cuando se aplica la fórmula racional a cuencas de mayor tamaño, usualmente se obtiene valores del caudal bastante elevados.

El caudal se expresa de esta manera

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q : Caudal máximo [m³/s]

C : Coeficiente de escorrentía, (se considerará como dato 0.30 según los valores de cuenca rurales y urbana)

I : Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h.

A: Área de la cuenca, en Ha.

Con respecto al tiempo de concentración se empleará la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 * \left(\frac{L^{0.77}}{50.385} \right)$$

Visualizando la **tabla 12** encontraremos la pendiente según la cobertura de suelo:

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 12. Datos de pendiente según la Cobertura de Suelo

Hallamos el caudal por medio del método Racional.

SUBCUENCA	Area (km ²)	Periodo de retorno (Tr)	INTENSIDAD (mm/h)	COBERTURA DE SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)	C	k	Q max (m ³ /seg)
CHAMAN	592.30	50	7.35	Sin vegetación	Permeable	5- 20	0.30	1.50	543.75

Tabla 13. Resumen de Datos para Cálculo de Caudal

- **Método Envolvente de Descargas máximas de Creager**

Este método, originalmente desarrollado por Creager, fue adaptado para el territorio peruano por Wolfgang Trau y Raúl Gutiérrez Yrigoyen. La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos.

La fórmula efectuada es la siguiente:

$$Q_{max} = (C1 + C2) * \log(T) * A^{mA^{-n}}$$

Donde:

Q_{max} : Caudal máximo para un periodo de retorno T seleccionado, en m³/s.

A : Área de la cuenca aportante, en Km².

T : Periodo de retorno, en años.

C1, C2: Coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas

M, n : Exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas

Tomamos en cuenta según los distintos autores, el territorio peruano que esta subdividido en siete regiones hidráulicas diferenciables, tal como se muestra en el mapa **figura 31**.

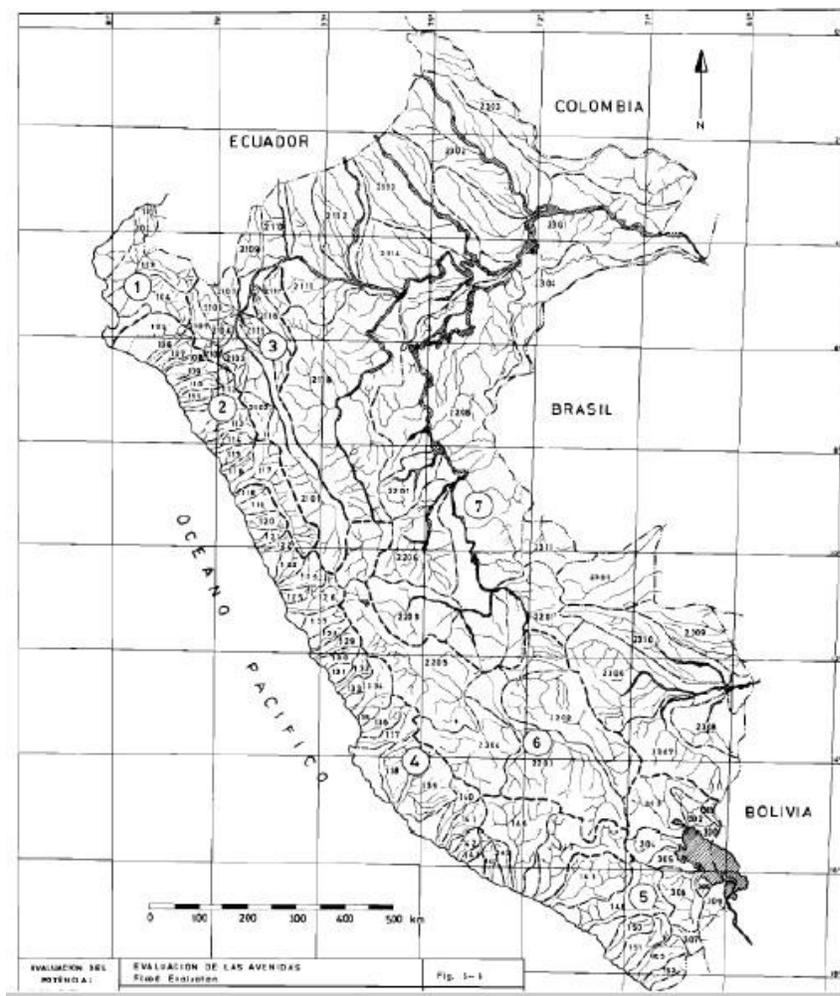


Figura 31. Mapa de Regiones Hidráulicas Diferenciales

Procederemos a identificar cada una de las zonas, luego estableceremos el conjunto de coeficientes y exponentes indicados según la tabla a continuación:

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Tabla 14: Coeficientes para cada Región Hidráulica

SUBCUENCA	AREA (km2)	REGIÓN	C1	C2	m	n	T (años)	Q max (m ³ /seg)
CHAMAN	592.30	2	0.1	1.28	1.02	0.04	50.00	363.69

Tabla 15: Resultados de Datos con método de Creager

T (años)	Q max (m ³ /seg)
50.00	363.69

Tabla 16: Cálculo de Caudal Método de Creager, Tiempo de Retorno 50 Años

- **Método Hidrograma Unitario Triangular**

Este método fue originalmente desarrollado por Mockus y posteriormente adoptado por el Soil Conservation Service (S.C.S.)

Periodo de retorno (Tr)	Pmax 24 hrs
50	81.742

Tabla 17: Datos para Método H. U. Triangular

Cálculo de la duración de la lluvia efectiva (**de**):

Para cuencas grandes:

$$d_e = 2\sqrt{t_c}$$

Para cuencas pequeñas:

$$d_e = t_c$$

Posteriormente obtenemos la fórmula de las cuencas grandes

PROMEDIO TC (horas)	De 2 raíz Tc (hrs)
8.22	5.734 Hrs

Tabla 18: Lluvia Efectiva

Luego calculamos el **Tr** utilizando la fórmula para el tiempo de retraso:

$$t_r = 0.6t_c$$

Seguidamente calculamos el **Tp** tiempo para alcanzar el pico del hidrograma.

$$t_p = \frac{de}{2} + t_r$$

Después procederemos a hallar la precipitación efectiva, pero primero debemos hallar el **S** el cual se efectúa utilizando esta formula

$$\text{Donde: } S = \frac{1000}{CN} - 10 ; I_a = 0.20s$$

Ya obteniendo el dato de **S** procederemos a hallar la **Pe**, precipitación efectiva donde utilizaremos la siguiente formula

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0.80 S} = \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S}$$

Finalmente luego de haber procesado todos los datos , hallaremos el **Qp** caudal máximo o pico, donde la expresaremos mediante esta fórmula.

$$Qp = 0.208 \frac{A * Pe}{tp}$$

Como resultado obtuvimos los siguientes datos utilizando el método del UH triangular, teniendo como **Qmax = 421.132**.

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	AREA (km2)	CN	PROMEDIO	de (hrs)	tr (hrs)	tp (hrs)	Pmax 24h (mm)	S (mm)	Pe (mm)	Qmax (m3/s)
				TC (horas)							
CHAMAN	50	592.30	74.00	8.22	5.734	4.93	7.80	81.742	89.243	26.66	421.132

Tabla 19: Tabla de Datos, utilización método de UH triangular

Concluimos el análisis de los caudales por 3 métodos F. Racional, Creager y H.U.SCS, dando como resultado un promedio de **442.858**

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	AREA (km2)	CAUDAL (m3/seg)			
			F. Racional	Creager	H.U.SCS	Promedio
CHAMAN	50	592.30	543.75	363.69	421.13	442.858

Tabla 20: Tabla Resumen de los Métodos y sus Resultados

3.5.5.2 Cálculo De Intensidad De Precipitación en 100 Años

Para calcular la intensidad, utilizamos los métodos de Dick Peschke, F.C. Bell y SCS (Soil Conservation Service) y Daniel F. Campos para tener un resultado lo más preciso posible con el promedio de estos 4 métodos:

- **Método Perfil SCS Tipo II**

También llamado del “número de curva” consta de dos partes. En la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escorrentía resultante de una precipitación - escurrimiento directo, en la segunda se determina el tiempo de distribución del escurrimiento, incluyendo el caudal de punta. (Hidrograma Unitario Sintetico)

Para determinar el volumen de escurrimiento, debe hacerse una estimación del valor de CN, el cual depende de características de la cuenca tales como uso de la tierra, condiciones del suelo y condiciones de humedad de la cuenca en el momento de ocurrir, la precipitación.

name=Type II 24-hr Tabular
timeunits=hours
depthunits=inches
duration=24
comment=Type II 24-hour tabular mass curve 1982
smoothing=false
depth=.0000 .0010 .0020 .0030 .0041 .0051 .0062 .0072 .0083 .0094
depth=.0105 .0116 .0127 .0138 .0150 .0161 .0173 .0184 .0196 .0208
depth=.0220 .0232 .0244 .0257 .0269 .0281 .0294 .0306 .0319 .0332
depth=.0345 .0358 .0371 .0384 .0398 .0411 .0425 .0439 .0452 .0466
depth=.0480 .0494 .0508 .0523 .0538 .0553 .0568 .0583 .0598 .0614
depth=.0630 .0646 .0662 .0679 .0696 .0712 .0730 .0747 .0764 .0782
depth=.0800 .0818 .0836 .0855 .0874 .0892 .0912 .0931 .0950 .0970
depth=.0990 .1010 .1030 .1051 .1072 .1093 .1114 .1135 .1156 .1178
depth=.1200 .1222 .1246 .1270 .1296 .1322 .1350 .1379 .1408 .1438

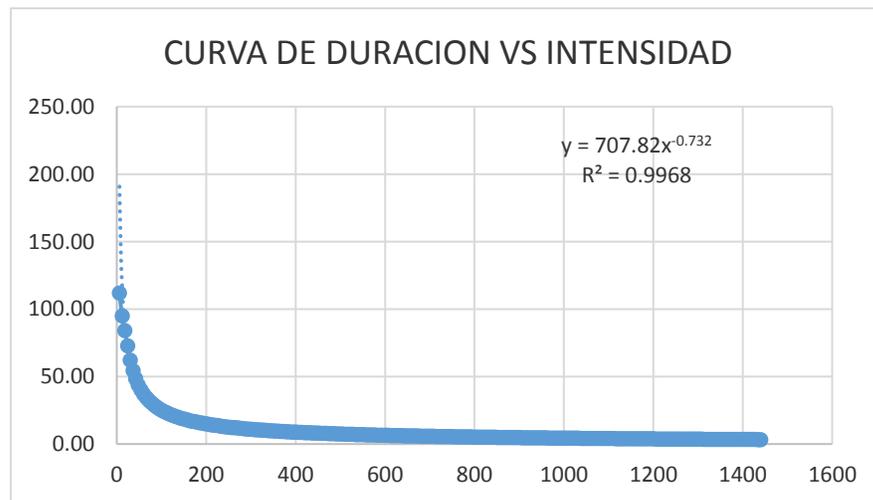
depth=.1470 .1502 .1534 .1566 .1598 .1630 .1663 .1697 .1733 .1771
depth=.1810 .1851 .1895 .1941 .1989 .2040 .2094 .2152 .2214 .2280
depth=.2350 .2427 .2513 .2609 .2715 .2830 .3068 .3544 .4308 .5679
depth=.6630 .6820 .6986 .7130 .7252 .7350 .7434 .7514 .7588 .7656
depth=.7720 .7780 .7836 .7890 .7942 .7990 .8036 .8080 .8122 .8162
depth=.8200 .8237 .8273 .8308 .8342 .8376 .8409 .8442 .8474 .8505
depth=.8535 .8565 .8594 .8622 .8649 .8676 .8702 .8728 .8753 .8777
depth=.8800 .8823 .8845 .8868 .8890 .8912 .8934 .8955 .8976 .8997
depth=.9018 .9038 .9058 .9078 .9097 .9117 .9136 .9155 .9173 .9192
depth=.9210 .9228 .9245 .9263 .9280 .9297 .9313 .9330 .9346 .9362
depth=.9377 .9393 .9408 .9423 .9438 .9452 .9466 .9480 .9493 .9507
depth=.9520 .9533 .9546 .9559 .9572 .9584 .9597 .9610 .9622 .9635
depth=.9647 .9660 .9672 .9685 .9697 .9709 .9722 .9734 .9746 .9758
depth=.9770 .9782 .9794 .9806 .9818 .9829 .9841 .9853 .9864 .9876
depth=.9887 .9899 .9910 .9922 .9933 .9944 .9956 .9967 .9978 .9989
depth=1.000

Tabla 21: Tabla de Factores para Intensidad, SCS Tipo II - 24 Horas

La precipitación máxima en 24 Horas que utilizaremos es **91.452mm**.

Posteriormente digitaremos en las tablas correspondientes utilizando el procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II las cuales se visualizarán en la **tabla 54** de los anexos.

$$P_{\max} 24h = 91.452\text{mm}$$



Resultados:

TIEMPO	
CONCENTRACION	8.219 horas
TIEMPO	
CONCENTRACION	493.166 minutos
INTENSIDAD	8.512 mm/h

Interpolamos:

	Tiempo	Intensidad
	492	8.53
Tc	493.17	8.51
	498	8.45

- **Método de Dick Peschke**

Con este método se puede calcular la precipitación así no cuente con registros pluviógrafos que permiten obtener las intensidades máximas, donde relaciona la duración de una tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente: (Guevara, 1991)

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P24h = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

Se utilizará la precipitación máxima del periodo de retorno de 100 años para hallar la intensidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). Luego se generó una tabla en excel donde se tomó en cuenta el tiempo y la precipitación total dando como resultado la intensidad **tabla 56** se encuentra en los anexos.

- **Método de F. Bell**

Con este método no siempre dispone de datos de intensidades para precipitaciones máximas de corta duración, por lo que es común el uso de registros pluviométricos para determinar las intensidades por medio de ecuaciones diseñadas para tal fin. Este estudio presenta la aplicación de las ecuaciones de precipitación propuestas tanto por Bell (1969).

Encontró cocientes estables entre la lluvia de una hora y un período de retorno de 10 años y la lluvia de igual duración, pero con diferente período de retorno; posteriormente, combinó las relaciones duración-lluvia con los cocientes frecuencia-lluvia, para obtener una relación general de precipitación duración-período de retorno, definida por la ecuación siguiente:

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

$$\begin{aligned} &\text{si } 2 \leq T \leq 100 \text{ años} \\ &5 \leq t \leq 120 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Donde:

P_t^T = Precipitación de duración t minutos y período de retorno T años, en milímetros.

P_{60}^{10} = Precipitación de duración 60 minutos y período de retorno 10 años, en milímetros.

Factores:

a =	0.4602
b =	0.8760
Pmax 24h =	91.4520 mm
I = P (10,60) =	24.04 mm
T =	100 años

Luego generamos una tabla en excel haciendo la utilización de la precipitación máxima del periodo de retorno de 100 años para hallar como resultado la intensidad **tabla 57**.

- **Método de Daniel F. Campos**

Duración (hr)	Factor
1	0.30
2	0.39
3	0.46
4	0.52
5	0.57
6	0.61
8	0.68
12	0.80
18	0.91
24	1.00

Tabla 22: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Horas

Durac (min)	Factor
60	0.30
120	0.39
180	0.46
240	0.52
300	0.57
360	0.61
480	0.68
720	0.80
1080	0.91
1440	1.00

Tabla 23: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Minutos

Durac (min)	Factor	Pd (mm)	i (mm/h)
6	0.241	22.06	220.57
12	0.249	22.82	114.08
18	0.258	23.57	78.55
24	0.266	24.31	60.78
30	0.274	25.05	50.09
36	0.282	25.78	42.96
42	0.290	26.50	37.86
48	0.298	27.22	34.02
54	0.305	27.93	31.03
60	0.313	28.63	28.63
66	0.321	29.32	26.66
72	0.328	30.01	25.01
78	0.336	30.70	23.61
84	0.343	31.37	22.41
90	0.350	32.04	21.36
96	0.358	32.70	20.44
102	0.365	33.36	19.62
108	0.372	34.01	18.89
114	0.379	34.65	18.24
120	0.386	35.29	17.64
126	0.393	35.92	17.10
132	0.400	36.54	16.61
138	0.406	37.16	16.15
144	0.413	37.77	15.74
150	0.420	38.37	15.35
156	0.426	38.97	14.99
162	0.433	39.56	14.65
168	0.439	40.15	14.34
174	0.445	40.73	14.04
180	0.452	41.30	13.77
186	0.458	41.87	13.51
192	0.464	42.43	13.26
198	0.470	42.98	13.03
204	0.476	43.53	12.80
210	0.482	44.08	12.59
216	0.488	44.61	12.39
222	0.494	45.14	12.20
228	0.499	45.67	12.02
234	0.505	46.19	11.84
240	0.511	46.70	11.68
246	0.516	47.21	11.52
252	0.522	47.72	11.36
258	0.527	48.21	11.21
264	0.533	48.70	11.07
270	0.538	49.19	10.93
276	0.543	49.67	10.80
282	0.548	50.14	10.67
288	0.553	50.61	10.54
294	0.559	51.08	10.42
300	0.564	51.54	10.31
306	0.568	51.99	10.19
312	0.573	52.44	10.08
318	0.578	52.88	9.98
324	0.583	53.32	9.87
330	0.588	53.75	9.77
336	0.592	54.17	9.67
342	0.597	54.60	9.58
348	0.602	55.01	9.48
354	0.606	55.42	9.39
360	0.610	55.83	9.31
366	0.615	56.23	9.22
372	0.619	56.63	9.13
378	0.623	57.02	9.05
384	0.628	57.41	8.97
390	0.632	57.79	8.89
396	0.636	58.16	8.81
402	0.640	58.54	8.74
408	0.644	58.90	8.66
414	0.648	59.27	8.59
420	0.652	59.62	8.52
426	0.656	59.98	8.45
432	0.660	60.32	8.38
438	0.663	60.67	8.31
444	0.667	61.01	8.24
450	0.671	61.34	8.18
456	0.674	61.67	8.11
462	0.678	62.00	8.05
468	0.681	62.32	7.99
474	0.685	62.64	7.93
480	0.688	62.95	7.87
486	0.692	63.26	7.81
492	0.695	63.56	7.75
493.17	0.696	63.62	7.74

Tabla 24: Resultados de Intensidades Mediante Método de Daniel F. Campos

Por último, hemos reunido los datos para luego procesarlos y seleccionar la intensidad para el estudio **tabla 58**, los resultados se encontrarán en los anexos.

Para la observación de esta cuenca se empleó la Estación Lives y después el análisis del registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas, se especificó que la precipitación de diseño relacionada a un periodo de retorno de 100 años es **91.4520** Para el cálculo de las intensidades se utilizó varios métodos, descartando SCS y Daniel F. Campos por tener resultados alejados.

METODO	INTENSIDAD
SCS	8.51
D.PESCHKE	8.51
F. BELL	8.02
DF CAMPOS	7.74
INTENSIDAD DE DISEÑO	8.20

Tabla 25: Resumen de resultados intensidades

Seguimos calculando los caudales utilizando tres métodos que presentaremos a continuación:

Cálculo De Caudales

- **Método Racional**

Normalmente la fórmula racional tiene aplicación para cuencas pequeñas, de hasta 10 o 20 km² según señalan algunos autores. Ello hace de este método un procedimiento ideal para la determinación del caudal Q_{max} en el diseño de sistemas de drenaje pluvial o en el proyecto de las obras de drenaje de carreteras. Cuando se aplica la fórmula racional a cuencas de mayor tamaño, usualmente se obtiene valores del caudal bastante elevados.

El caudal se expresa de esta manera

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q : Caudal máximo [m3/s]

C : Coeficiente de escorrentía, (se considerará como dato 0.30 según los valores de cuenca rurales y urbana)

I : Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h.

A: Área de la cuenca, en Ha.

Con respecto al tiempo de concentración se empleará la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 * \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Visualizando la **tabla 26** encontraremos la pendiente según la cobertura de suelo:

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 26: Datos de pendiente según la Cobertura de Suelo

Hallamos el caudal por medio del método Racional.

SUBCUENCA	Area (km ²)	Periodo de retorno (Tr)	INTENSIDAD (mm/h)	COBERTURA DE SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)	C	k	Q max (m ³ /seg)
CHAMAN	592.30	100	8.20	Sin vegetación	Permeable	5 - 20	0.30	1.50	606.26

Tabla 27. Resumen de Datos para Cálculo de Caudal

- **Método Envolvente de Descargas máximas de Creager**

Este método, originalmente desarrollado por Creager, fue adaptado para el territorio peruano por Wolfgang Trau y Raúl Gutiérrez Yrigoyen. La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos.

La fórmula efectuada es la siguiente:

$$Q_{max} = (C1 + C2) * \log(T) * A^{mA^{-n}}$$

Donde:

Qmax : Caudal máximo para un periodo de retorno T seleccionado, en m³/s.

A : Área de la cuenca aportante, en Km².

T : Periodo de retorno, en años.

C1, C2: Coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas

M, n : Exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas

Tomamos en cuenta según los distintos autores, el territorio peruano que esta subdividido en siete regiones hidráulicas diferenciables, tal como se muestra en el mapa **imagen 32**.

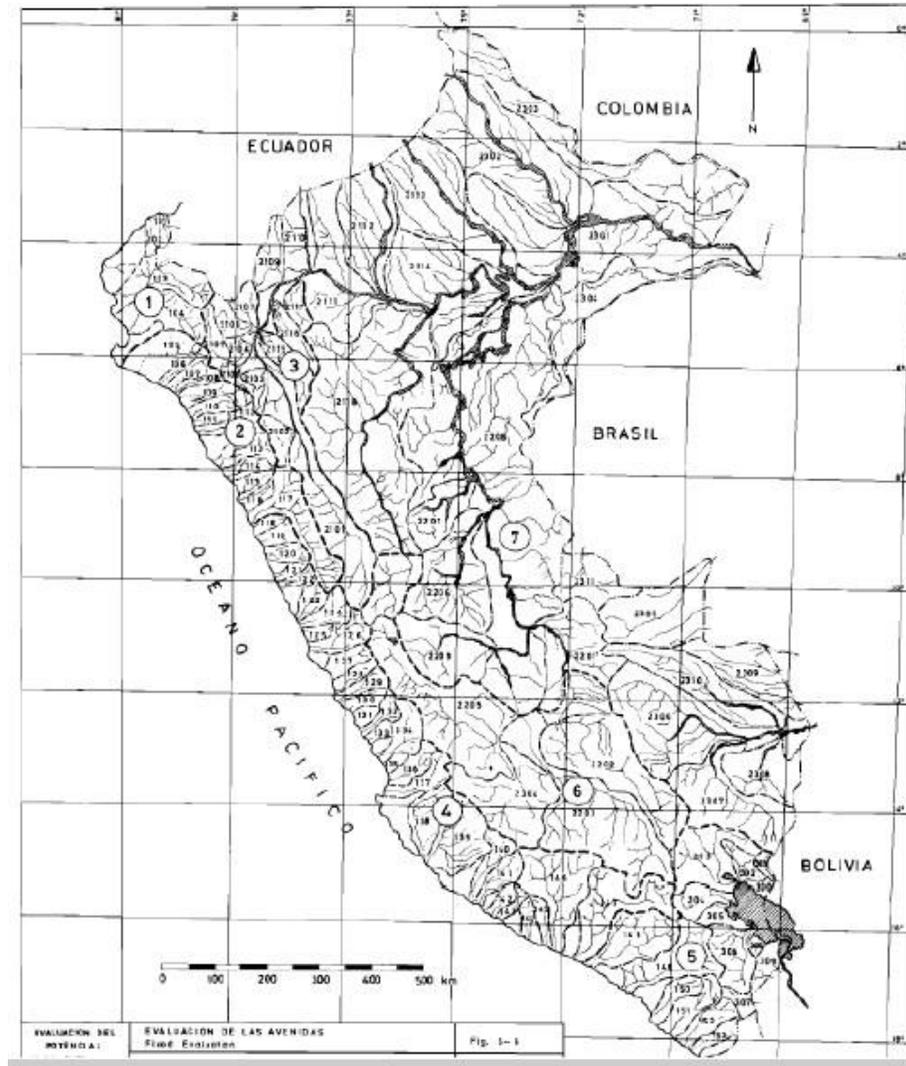


Imagen 32. Mapa de Regiones Hidráulicas Diferenciales

Procederemos a identificar cada una de las zonas, luego estableceremos el conjunto de coeficientes y exponentes indicados según la tabla a continuación:

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Tabla 28: Coeficientes para cada Región Hidráulica

SUBCUENCA	AREA (km2)	REGIÓN	C1	C2	m	n	T (años)	Q max (m ³ /seg)
CHAMAN	592.30	2	0.1	1.28	1.02	0.04	100	428.13

Tabla 29: Resultados de Datos

T (años)	Q max (m ³ /seg)
100	428.13

Tabla 30: Cálculo de Caudal Método de Creager, Tiempo de Retorno 100 Años

- **Método Hidrograma Unitario Triangular**

Este método fue originalmente desarrollado por Mockus y posteriormente adoptado por el Soil Conservation Service (S.C.S.)

Periodo de retorno (Tr)	Pmax 24 hrs
100	91.452

Tabla 31: Datos para Método H. U. Triangular

Cálculo de la duración de la lluvia efectiva (**de**):

Para cuencas grandes:

$$d_e = 2\sqrt{t_c}$$

Para cuencas pequeñas:

$$d_e = t_c$$

Posteriormente obtenemos la fórmula de las cuencas grandes

PROMEDIO TC (horas)	De 2 raíz Tc (hrs)
8.22	5.734 Hrs

Tabla 32: Lluvia Efectiva

Luego calculamos el **Tr** utilizando la fórmula para el tiempo de retraso:

$$t_r = 0.6t_c$$

Seguidamente calculamos el **Tp** tiempo para alcanzar el pico del hidrograma.

$$t_p = \frac{de}{2} + t_r$$

Después procederemos a hallar la precipitación efectiva, pero primero debemos hallar el **S** el cual se efectúa utilizando esta formula

$$\text{Donde: } S = \frac{1000}{CN} - 10 ; I_a = 0.20s$$

Ya obteniendo el dato de **S** procederemos a hallar la **Pe**, precipitación efectiva donde utilizaremos la siguiente formula

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0.80 S} = \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S}$$

Finalmente luego de haber procesado todos los datos , hallaremos el **Qp** caudal máximo o pico, donde la expresaremos mediante esta fórmula.

$$Qp = 0.208 \frac{A * Pe}{t_p}$$

Como resultado obtuvimos los siguientes datos utilizando el método del UH triangular, teniendo como **Qmax = 525.534**.

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	AREA (km2)	CN	PROMEDIO	de (hrs)	tr (hrs)	tp (hrs)	Pmax 24h (mm)	S (mm)	Pe (mm)	Qmax (m3/s)
				TC (horas)							
CHAMAN	100	592.30	74.00	8.22	5.734	4.93	7.80	91.450	89.243	33.27	525.534

Tabla 33: Tabla de Datos, utilización método de UH triangular

Concluimos el análisis de los caudales por 3 métodos F. Racional, Creager y H.U.SCS, dando como resultado un promedio de **519.97**

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	AREA (km2)	CAUDAL (m3/seg)			
			F. Racional	Creager	H.U.SCS	Promedio
CHAMAN	100	31.44	606.26	428.13	525.53	519.97

Tabla 34: Tabla Resumen de los Métodos y sus Resultados

3.5.5.3 Cálculo De Intensidad De Precipitación en 500 Años

Para calcular la intensidad, utilizamos los métodos de Dick Peschke, F.C. Bell y SCS (Soil Conservation Service) y Daniel F. Campos para tener un resultado lo más preciso posible con el promedio de estos 4 métodos:

- **Método Perfil SCS Tipo II**

También llamado del “número de curva” consta de dos partes. En la primera de ellas se hace una estimación del volumen de escorrentía resultante de una precipitación - escurrimiento directo, en la segunda se determina el tiempo de distribución del escurrimiento, incluyendo el caudal de punta. (Hidrograma Unitario Sintetico)

Para determinar el volumen de escurrimiento, debe hacerse una estimación del valor de CN, el cual depende de características de la cuenca tales como uso de la tierra, condiciones del suelo y condiciones de humedad de la cuenca en el momento de ocurrir, la precipitación.

name=Type II 24-hr Tabular
timeunits=hours
depthunits=inches
duration=24
comment=Type II 24-hour tabular mass curve 1982
smoothing=false
depth=.0000 .0010 .0020 .0030 .0041 .0051 .0062 .0072 .0083 .0094
depth=.0105 .0116 .0127 .0138 .0150 .0161 .0173 .0184 .0196 .0208
depth=.0220 .0232 .0244 .0257 .0269 .0281 .0294 .0306 .0319 .0332
depth=.0345 .0358 .0371 .0384 .0398 .0411 .0425 .0439 .0452 .0466
depth=.0480 .0494 .0508 .0523 .0538 .0553 .0568 .0583 .0598 .0614
depth=.0630 .0646 .0662 .0679 .0696 .0712 .0730 .0747 .0764 .0782
depth=.0800 .0818 .0836 .0855 .0874 .0892 .0912 .0931 .0950 .0970
depth=.0990 .1010 .1030 .1051 .1072 .1093 .1114 .1135 .1156 .1178
depth=.1200 .1222 .1246 .1270 .1296 .1322 .1350 .1379 .1408 .1438

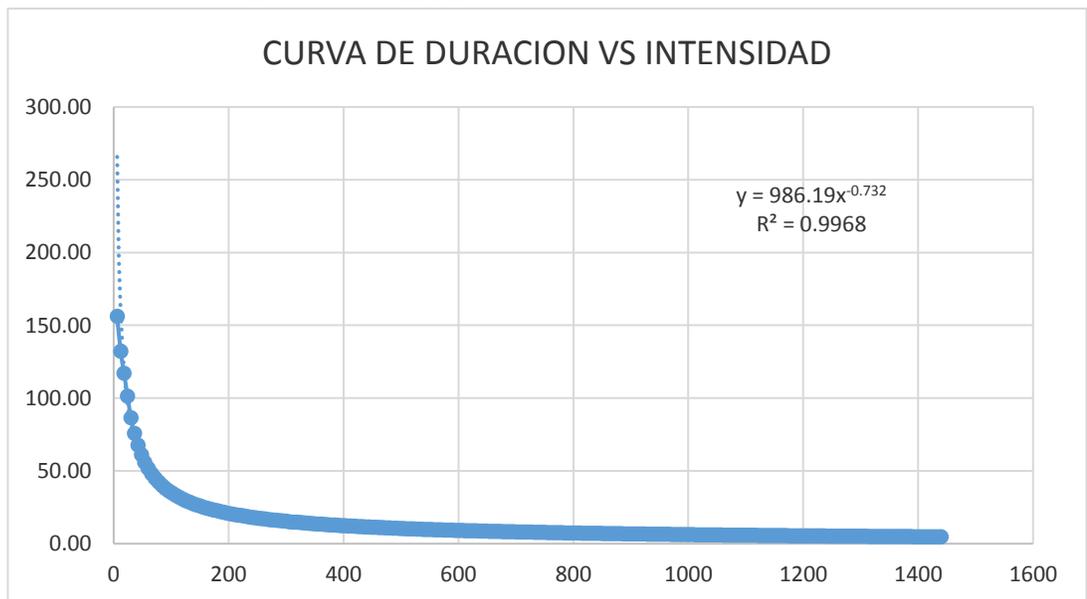
depth=.1470 .1502 .1534 .1566 .1598 .1630 .1663 .1697 .1733 .1771
depth=.1810 .1851 .1895 .1941 .1989 .2040 .2094 .2152 .2214 .2280
depth=.2350 .2427 .2513 .2609 .2715 .2830 .3068 .3544 .4308 .5679
depth=.6630 .6820 .6986 .7130 .7252 .7350 .7434 .7514 .7588 .7656
depth=.7720 .7780 .7836 .7890 .7942 .7990 .8036 .8080 .8122 .8162
depth=.8200 .8237 .8273 .8308 .8342 .8376 .8409 .8442 .8474 .8505
depth=.8535 .8565 .8594 .8622 .8649 .8676 .8702 .8728 .8753 .8777
depth=.8800 .8823 .8845 .8868 .8890 .8912 .8934 .8955 .8976 .8997
depth=.9018 .9038 .9058 .9078 .9097 .9117 .9136 .9155 .9173 .9192
depth=.9210 .9228 .9245 .9263 .9280 .9297 .9313 .9330 .9346 .9362
depth=.9377 .9393 .9408 .9423 .9438 .9452 .9466 .9480 .9493 .9507
depth=.9520 .9533 .9546 .9559 .9572 .9584 .9597 .9610 .9622 .9635
depth=.9647 .9660 .9672 .9685 .9697 .9709 .9722 .9734 .9746 .9758
depth=.9770 .9782 .9794 .9806 .9818 .9829 .9841 .9853 .9864 .9876
depth=.9887 .9899 .9910 .9922 .9933 .9944 .9956 .9967 .9978 .9989
depth=1.000

Tabla 35: Tabla de Factores para Intensidad, SCS Tipo II - 24 Horas

La precipitación máxima en 24 Horas que utilizaremos es **113.889 mm**.

Posteriormente digitaremos en las tablas correspondientes utilizando el procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II las cuales se visualizarán en la **tabla 59** de los anexos.

$P_{max\ 24h} = 113.889\ mm$



Resultados:

TIEMPO	
CONCENTRACION	8.219 horas
TIEMPO	
CONCENTRACION	493.166 minutos
INTENSIDAD	10.601 mm/h

Interpolamos:

	Tiempo	Intensidad
	492	10.62
Tc	493.17	10.60
	498	10.52

- **Método de Dick Peschke**

Con este método se puede calcular la precipitación así no cuente con registros pluviógrafos que permiten obtener las intensidades máximas, donde relaciona la duración de una tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. La expresión es la siguiente: (Guevara, 1991)

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd = precipitación total (mm)

d = duración en minutos

P24h = precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

Se utilizará la precipitación máxima del periodo de retorno de 500 años para hallar la intensidad (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). Luego se generó una tabla en excel donde se tomó en cuenta el tiempo y la precipitación total dando como resultado la intensidad **tabla 61** se encuentra en los anexos.

- **Método de F. Bell**

Con este método no siempre dispone de datos de intensidades para precipitaciones máximas de corta duración, por lo que es común el uso de registros pluviométricos para determinar las intensidades por medio de ecuaciones diseñadas para tal fin. Este estudio presenta la aplicación de las ecuaciones de precipitación propuestas tanto por Bell (1969).

Encontró cocientes estables entre la lluvia de una hora y un período de retorno de 10 años y la lluvia de igual duración, pero con diferente período de retorno; posteriormente, combinó las relaciones duración-lluvia con los cocientes frecuencia-lluvia, para obtener una relación general de precipitación duración-período de retorno, definida por la ecuación siguiente:

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{60}^{10}$$

$$\begin{aligned} &\text{si } 2 \leq T \leq 100 \text{ años} \\ &5 \leq t \leq 120 \text{ minutos} \end{aligned}$$

Donde:

P_t^T = Precipitación de duración t minutos y período de retorno T años, en milímetros.

P_{60}^{10} = Precipitación de duración 60 minutos y período de retorno 10 años, en milímetros.

Factores:

a =	0.4602
b =	0.8760
Pmax 24h =	113.889 mm
I = P (10,60) =	29.14 mm
T =	500 años

Luego generamos una tabla en excel haciendo la utilización de la precipitación máxima del periodo de retorno de 500 años para hallar como resultado la intensidad **tabla 62**.

- **Método de Daniel F. Campos**

Duración (hr)	Factor
1	0.30
2	0.39
3	0.46
4	0.52
5	0.57
6	0.61
8	0.68
12	0.80
18	0.91
24	1.00

Tabla 36: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Horas

Durac (min)	Factor
60	0.30
120	0.39
180	0.46
240	0.52
300	0.57
360	0.61
480	0.68
720	0.80
1080	0.91
1440	1.00

Tabla 37: Factores del Método Daniel F. Campos Duración en Minutos

Durac (min)	Factor	Pd (mm)	i (mm/h)
6	0.241	27.47	274.69
12	0.249	28.41	142.06
18	0.258	29.35	97.83
24	0.266	30.27	75.69
30	0.274	31.19	62.39
36	0.282	32.10	53.50
42	0.290	33.00	47.15
48	0.298	33.89	42.37
54	0.305	34.78	38.64
60	0.313	35.65	35.65
66	0.321	36.52	33.20
72	0.328	37.38	31.15
78	0.336	38.23	29.41
84	0.343	39.07	27.91
90	0.350	39.90	26.60
96	0.358	40.73	25.45
102	0.365	41.54	24.44
108	0.372	42.35	23.53
114	0.379	43.15	22.71
120	0.386	43.94	21.97
126	0.393	44.73	21.30
132	0.400	45.50	20.68
138	0.406	46.27	20.12
144	0.413	47.03	19.60
150	0.420	47.79	19.11
156	0.426	48.53	18.67
162	0.433	49.27	18.25
168	0.439	50.00	17.86
174	0.445	50.72	17.49
180	0.452	51.43	17.14
186	0.458	52.14	16.82
192	0.464	52.84	16.51
198	0.470	53.53	16.22
204	0.476	54.21	15.94
210	0.482	54.89	15.68
216	0.488	55.56	15.43
222	0.494	56.22	15.19
228	0.499	56.88	14.97
234	0.505	57.52	14.75
240	0.511	58.16	14.54
246	0.516	58.80	14.34
252	0.522	59.42	14.15
258	0.527	60.04	13.96
264	0.533	60.65	13.78
270	0.538	61.26	13.61
276	0.543	61.86	13.45
282	0.548	62.45	13.29
288	0.553	63.03	13.13
294	0.559	63.61	12.98
300	0.564	64.18	12.84
306	0.568	64.74	12.69
312	0.573	65.30	12.56
318	0.578	65.85	12.43
324	0.583	66.40	12.30
330	0.588	66.94	12.17
336	0.592	67.47	12.05
342	0.597	67.99	11.93
348	0.602	68.51	11.81
354	0.606	69.02	11.70
360	0.610	69.53	11.59
366	0.615	70.03	11.48
372	0.619	70.52	11.37
378	0.623	71.01	11.27
384	0.628	71.49	11.17
390	0.632	71.97	11.07
396	0.636	72.43	10.97
402	0.640	72.90	10.88
408	0.644	73.35	10.79
414	0.648	73.81	10.70
420	0.652	74.25	10.61
426	0.656	74.69	10.52
432	0.660	75.12	10.43
438	0.663	75.55	10.35
444	0.667	75.98	10.27
450	0.671	76.39	10.19
456	0.674	76.80	10.11
462	0.678	77.21	10.03
468	0.681	77.61	9.95
474	0.685	78.00	9.87
480	0.688	78.39	9.80
486	0.692	78.78	9.73
492	0.695	79.16	9.65
493.17	0.696	79.23	9.64

Tabla 38: Resultados de Intensidades Mediante Método de Daniel F. Campos

Por último, hemos reunido los datos para luego procesarlos y seleccionar la intensidad para el estudio **tabla 63**, los resultados se encontrarán en los anexos.

Para la observación de esta cuenca se empleó la Estación Lives y después el análisis del registro histórico de precipitaciones máximas en 24 horas, se especificó que la precipitación de diseño relacionada a un periodo de retorno de 500 años es **113.889** Para el cálculo de las intensidades se utilizó varios métodos, descartando SCS y Daniel F. Campos por tener resultados alejados.

METODO	INTENSIDAD
SCS	10.60
D.PESCHKE	10.60
F. BELL	9.72
DF CAMPOS	9.64
INTENSIDAD DE DISEÑO	10.14

Tabla 39: Resumen de Resultados Intensidades

Seguimos calculando los caudales utilizando cuatro métodos que presentaremos a continuación:

Cálculo De Caudales

- **Método Racional**

Normalmente la fórmula racional tiene aplicación para cuencas pequeñas, de hasta 10 ó 20 km² según señalan algunos autores. Ello hace de este método un procedimiento ideal para la determinación del caudal Q_{max} en el diseño de sistemas de drenaje pluvial o en el proyecto de las obras de drenaje de carreteras. Cuando se aplica la fórmula racional a cuencas de mayor tamaño, usualmente se obtiene valores del caudal bastante elevados.

El caudal se expresa de esta manera

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q : Caudal máximo [m3/s]

C : Coeficiente de escorrentía, (se considerará como dato 0.30 según los valores de cuenca rurales y urbana)

I : Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h.

A: Área de la cuenca, en Ha.

Con respecto al tiempo de concentración se empleará la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 * \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Visualizando la **tabla 40** encontraremos la pendiente según la cobertura de suelo:

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla 40: Datos de pendiente según la Cobertura de Suelo

Hallamos el caudal por medio del método Racional.

SUBCUENCA	Area (km2)	Periodo de retorno (Tr)	INTENSIDAD (mm/h)	COBERTURA DE SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)	C	k	Q max (m ³ /seg)
CHAMAN	592.30	500	10.14	Sin vegetación	Permeable	5 - 20	0.30	1.50	750.05

Tabla 41. Resumen de Datos para Cálculo de Caudal

- **Método Envolvente de Descargas máximas de Creager**

Este método, originalmente desarrollado por Creager, fue adaptado para el territorio peruano por Wolfgang Trau y Raúl Gutiérrez Yrigoyen. La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos.

La fórmula efectuada es la siguiente:

$$Q_{max} = (C1 + C2) * \log(T) * A^{mA^{-n}}$$

Donde:

Q_{max} : Caudal máximo para un periodo de retorno T seleccionado, en m³/s.

A : Área de la cuenca aportante, en Km².

T : Periodo de retorno, en años.

C1, C2: Coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas

M, n : Exponentes adimensionales, por regiones hidráulicas

Tomamos en cuenta según los distintos autores, el territorio peruano que esta subdividido en siete regiones hidráulicas diferenciables, tal como se muestra en el mapa **imagen 33**.

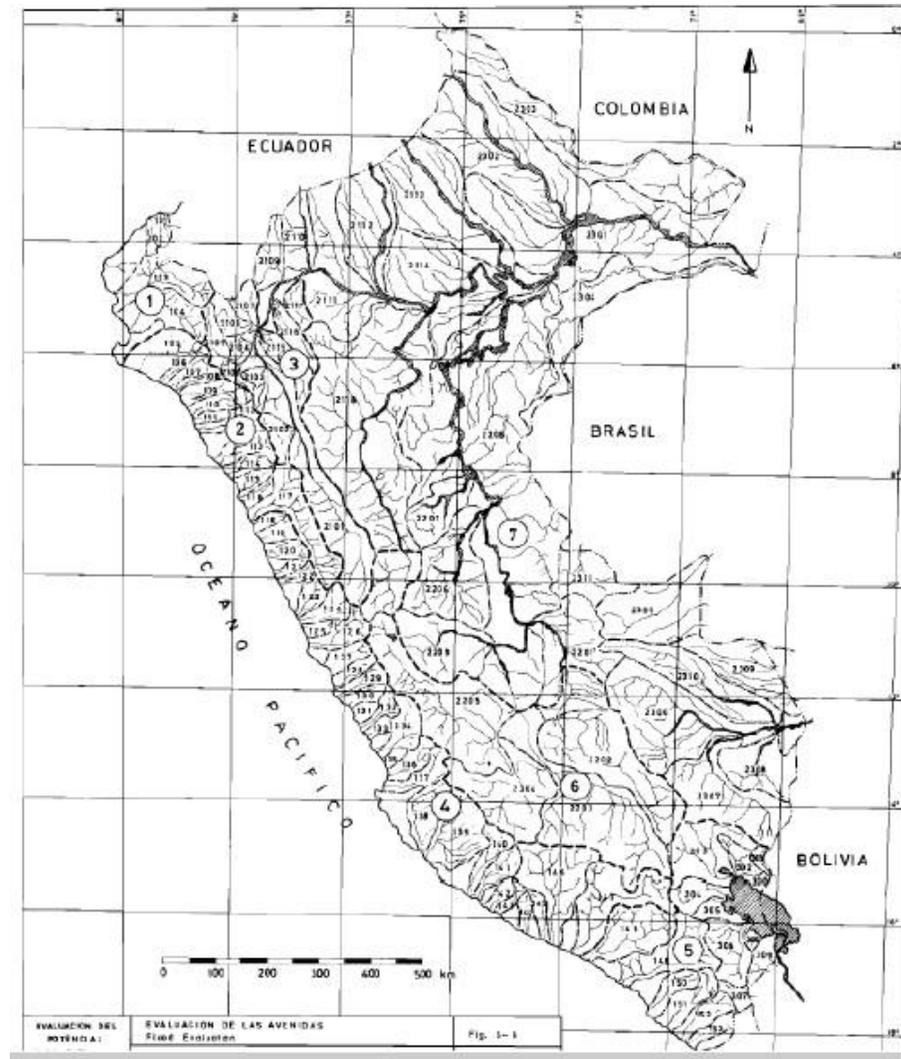


Figura 33. Mapa de Regiones Hidráulicas Diferenciales

Procederemos a identificar cada una de las zonas, luego estableceremos el conjunto de coeficientes y exponentes indicados según la tabla a continuación:

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Tabla 42: Coeficientes para cada Región Hidráulica

SUBCUENCA	AREA (km2)	REGIÓN	C1	C2	m	n	T (años)	Q max (m ³ /seg)
CHAMAN	592.30	2	0.1	1.28	1.02	0.04	500	577.75

Tabla 43: Resultados de Datos

T (años)	Q max (m ³ /seg)
500	577.75

Tabla 44: Cálculo de Caudal Método de Creager, Tiempo de Retorno 500 Años

- **Método Hidrograma Unitario Triangular**

Este método fue originalmente desarrollado por Mockus y posteriormente adoptado por el Soil Conservation Service (S.C.S.)

Periodo de retorno (Tr)	Pmax 24 hrs
500	113.89

Tabla 45: Datos para Método H. U. Triangular

Cálculo de la duración de la lluvia efectiva (**de**):

Para cuencas grandes:

$$d_e = 2\sqrt{t_c}$$

Para cuencas pequeñas:

$$d_e = t_c$$

Posteriormente obtenemos la fórmula de las cuencas grandes

PROMEDIO TC (horas)	De 2 raíz Tc (hrs)
8.22	5.734 Hrs

Tabla 46: Lluvia Efectiva

Luego calculamos el **Tr** utilizando la fórmula para el tiempo de retraso:

$$t_r = 0.6t_c$$

Seguidamente calculamos el **Tp** tiempo para alcanzar el pico del hidrograma.

$$t_p = \frac{de}{2} + t_r$$

Después procederemos a hallar la precipitación efectiva, pero primero debemos hallar el **S** el cual se efectúa utilizando esta formula

$$\text{Donde: } S = \frac{1000}{CN} - 10 ; I_a = 0.20s$$

Ya obteniendo el dato de **S** procederemos a hallar la **Pe**, precipitación efectiva donde utilizaremos la siguiente formula

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P + 0.80 S} = \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S}$$

Finalmente luego de haber procesado todos los datos , hallaremos el **Qp** caudal máximo o pico, donde la expresaremos mediante esta fórmula.

$$Qp = 0.208 \frac{A * Pe}{tp}$$

Como resultado obtuvimos los siguientes datos utilizando el método del UH triangular, teniendo como **Qmax = 786.430**.

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	AREA (km2)	CN	PROMEDIO	de (hrs)	tr (hrs)	tp (hrs)	Pmax 24h (mm)	S (mm)	Pe (mm)	Qmax (m3/s)
				TC (horas)							
CHAMAN	50	592.30	74.00	8.22	5.734	4.93	7.80	113.890	89.243	49.78	786.430

Tabla 47: Tabla de Datos, utilización método de UH triangular

Concluimos el análisis de los caudales por 3 métodos F. Racional, Creager y H.U.SCS, dando como resultado un promedio de **704.74**

SUBCUENCA	Periodo de retorno (Tr)	AREA (km2)	CAUDAL (m3/seg)			
			F. Racional	Creager	H.U.SCS	Promedio
CHAMAN	500	96.98	750.05	577.75	786.43	704.74

Tabla 48: Tabla Resumen de los Métodos y sus Resultados

CAPÍTULO

IV:

RESULTADOS

4.1 MODELAMIENTOS BIDIMENSIONALES EN HEC-RAS Y IBER

4.1.1 Modelamiento bidimensional con Diques

Para generar el proyecto con diques y defensas ribereñas primero emplearemos la herramienta 2D Área Break Lines **figura 34**, dibujaremos el break line que representara a nuestro dique propuesto. Luego procederemos a refinar el break line, por último, situar la estructura con una altura de 1.5 metros y un ancho de 3 metros **figura 36** después de haber realizado estas modificaciones procedemos a realizar el cálculo con el mismo periodo del modelo bidimensional sin dique. Luego procederemos a generar el proyecto con las defensas ribereñas para obtener un flujo del agua considerando los periodos de retorno de 50,100 y 500 años **Figura 37**, de la misma manera de genero la sección de la rasante del cauce del rio **figura 38**

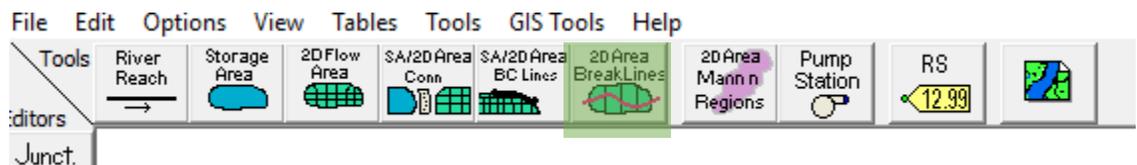


Figura 34: Figura 31. Herramienta 2D Area Break Lines

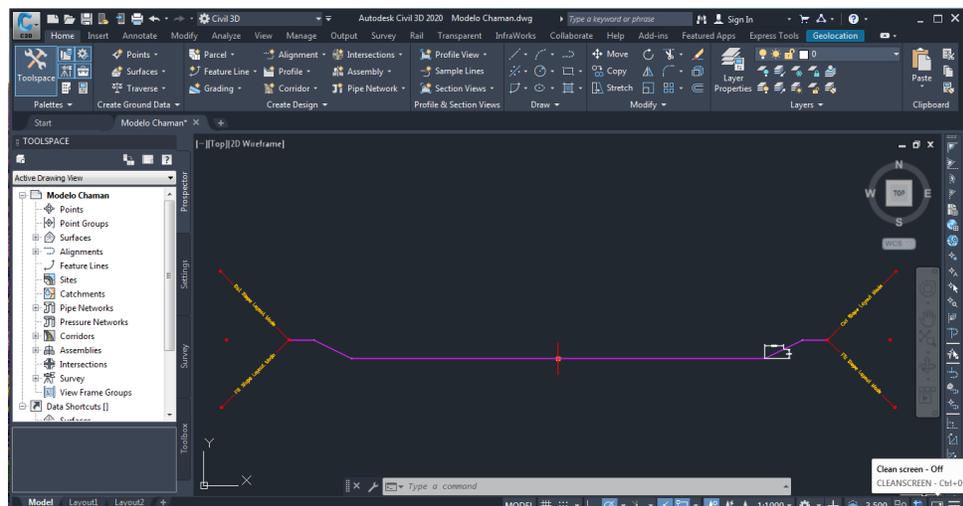


Figura 35: Sesión típica de la formación de diques

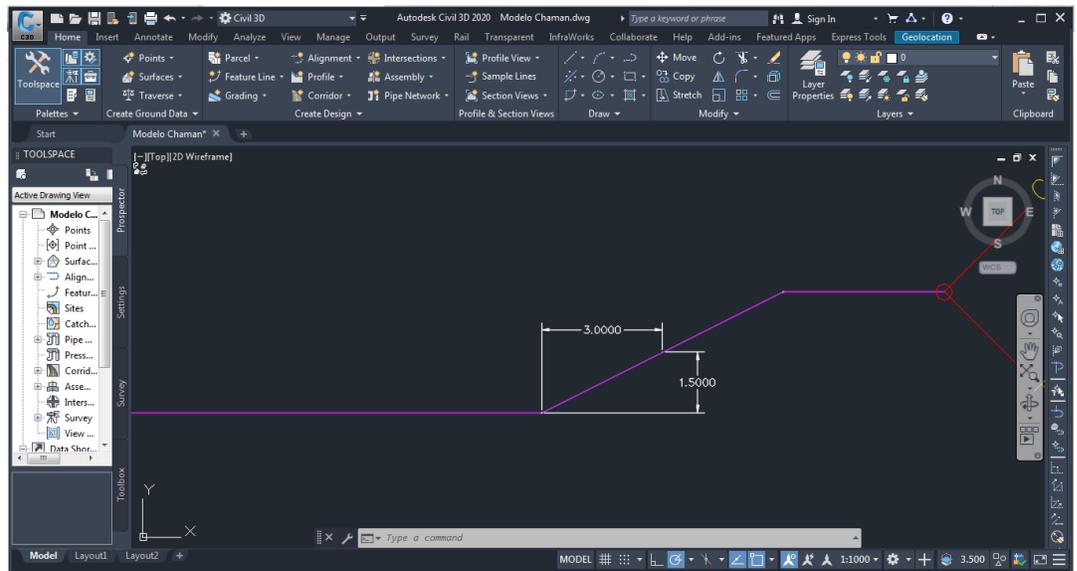


Figura 36: Dimensiones alto y ancho para la estructura

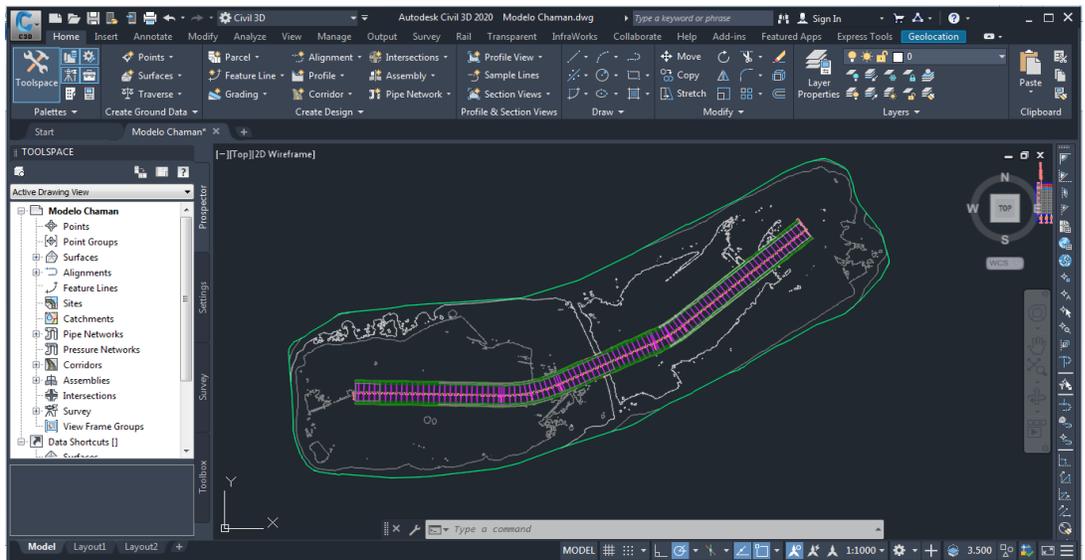


Figura 37: Proyecto generado para la modelación bidimensional

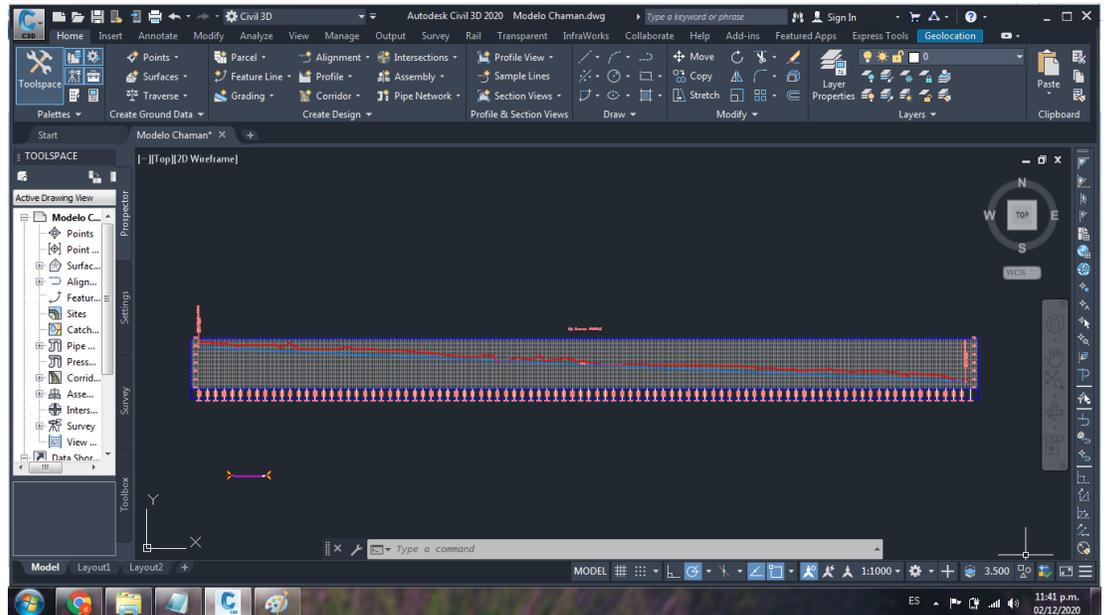


Figura 38: Sección del río Chaman aguas arriba y aguas abajo

4.1.2 Diseño de Enrocado de Protección

Calculo Hidráulico:

4.1.2.1 Ancho Estable

- Método de Altunin – Manning

$$B = A * \sqrt[0.2]{Q}$$

$$A = \frac{5}{nK^3} (3 + 5m)^3$$

Donde:

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

A: Coeficiente

Q: Caudal (m³/s)

S: Pendiente

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

K: Coeficiente que depende de las resistencias de las orillas.

m: Coeficiente de tipo de río.

Tabla 49: Coeficiente del material del cauce

Coeficiente del material del cauce	K
Material de cauce muy resistente	De, 3 a 4
Material fácilmente erosionable	16 a 20
Material aluvial	8 a 12
En los problemas de Ingeniería(Valor Practico)	10

Fuente: Rubén Terán,1998

Tabla 50: Coeficiente de tipo de rio (m)

Coeficiente de tipo de Río	M
Para ríos de montaña	0.5
Para cauces arenosos	0.7
Para cauces aluviales	1.0

Fuente: Rubén Terán, 1998

- **Método de Blench**

$$B=1.81* \frac{\sqrt{Q*Fb}}{Fs}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s) **Fb:**

Factor de fondo **Fs :**

Factor de orilla

Tabla 51: Factor de fondo de rio (Fb)

Factor de Fondo	Fb
Para material fino	0.8
Para material grueso	1.2

Fuente: Rubén Terán,1998

Tabla 52: Factor de orilla de río (FS)

Factor de Orilla	Fs
Para materiales sueltos	0.1
Para materiales ligeramente Cohesivos	0.2
Para materiales cohesivos	0.3

Fuente: Rubén Terán, 1998

- **Método de Simons y Henderson**

$$B = K_1 \cdot Q^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

K1: Condición de fondo de río

Tabla N° 53: Condiciones de Fondo de Río (K1)

Condiciones de Fondo de Río	K1
Fondo arena y orillas de material	4.20
Fondo y orillas de material	3.60
Fondo y orillas de grava	2.90
Fondo arena y orillas material no Cohesivo	2.80

Fuente: Rubén Terán 1998

- **Método de Pettit**

$$B = 4.44 \cdot \sqrt{Q}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección

Q: Caudal de diseño (m³/s)

- **Recomendación Práctica**

Tabla 54: Ancho estable, según el caudal máximo del río

Caudal Máximo Q(m ³ /s)	Ancho estable B (m)
2400 – 3000	200
1000 – 2400	190
500 – 1000	100
≤ 500	70

Fuente: Rubén Terán, 1998

4.1.2.2 Tirante de Máxima Avenida

$$t = \sqrt[3]{\frac{Q}{K_s \cdot B \cdot S^2}}$$

Donde

Q: Caudal de diseño (m³/s)

B: ancho medio de la sección (m)

S: Pendiente del río

Ks: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural.

t: Tirante máximo de avenida

Tabla 55: Coeficiente de rugosidad para cauces naturales

Tipo de cauce natural	Ks
Cauce con fondo sólido sin irregularidades	40
Cauces de río con acarreo irregular (33 – 35)	33
Cauces de Ríos con Vegetación (30 – 35)	35
Cauces naturales con derrubio e Irregularidades	30
Cauces naturales con derrubio e Irregularidades	28
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza (25 – 28)	25
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil (19 – 22)	20

Fuente: Rubén Terán 1998

4.2.1.3 Altura de Encauzamiento (H)

$$H = t + BL$$

Donde:

H : altura de encauzamiento

t: Tirante máximo de avenida

BL : Borde Libre, definido por: $BL = \phi * e$

Con:

$$e = \frac{v^2}{2 * g}$$

ϕ : Coeficiente de corrección que depende del caudal de diseño.

g: Aceleración de la gravedad (m/s²)

Tabla 56: Coeficiente recomendado para calcular el bordo libre del muro de encauzamiento

Caudal de diseño Q(m ³ /s)	Coeficiente ϕ
3000-4000	2
2000-3000	1.7
1000-2000	1.4
500-1000	1.2
100-500	1.1

Fuente: Rubén Terán 1998

4.2.1.4 Ancho de Corona

Tabla 57: Ancho de corona en función del caudal de diseño

Caudal de diseño Q(m³/s)	Ancho de Corona (m)
500-2000	4-6
Menos de 500	3-4

Fuente: Rubén Terán 1998

4.2.1.5 Profundidad de Socavación

- **Método de Lischtván - Levediev**

Según Lischtván-Levediev (Maza,1967) las fórmulas para evaluar la socavación general son las siguientes:

Para suelos granulares:

$$H_s = \frac{\alpha h^{\frac{5}{3}}}{0.68 \beta \mu \phi D_m^{0.28}} \frac{1}{1+z}$$

Para suelos cohesivos:

$$H_s = \frac{\alpha h^{\frac{5}{3}}}{0.60 \beta \mu \phi s^{1.18}} \frac{1}{1+x}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{(H_m)^{\frac{5}{3}} B \mu \phi}$$

Donde:

Hs-h: Profundidad de socavación, m.

h: Tirante de agua, m.

Dm: Diámetro característico del lecho, m.

B,μ,φ: Factores.

4.2.1.6 Profundidad de Uña

Se adquiere la siguiente expresión para el cálculo de la profundidad de uña. (TERÁN, 1998)

$$\mathbf{Puña = FS * HS}$$

Donde:

FS: Factor de seguridad.

HS: Profundidad de socavación

4.2.1.7 Dimensionamiento del Enrocado

- **Para el fondo del río**

Maza y García

$$\frac{\mathbf{H}}{\mathbf{D}} = [1.93/\mathbf{Fr}]^{2.36}$$

$$\mathbf{Fr} = \frac{\mathbf{V}}{\sqrt{\mathbf{g} * \mathbf{H}}}$$

Donde:

H: Tirante. (m)

V: Velocidad media del flujo. (m/s)

D. Diámetro de la roca. (m)

Fr: Número de Froude.

g: Aceleración Gravedad: 9.81 m/s²

Neill

$$\frac{H}{D} = \frac{5.99}{Fr^3}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * H}}$$

Donde:

H: Tirante. (m)

V: Velocidad media del flujo. (m/s)

D. Diámetro de la roca. (m)

Fr: Número de Froude.

g: Aceleración Gravedad: 9.81 m/s²

Straub

$$\frac{H}{D} = \frac{6.97}{Fr^3}$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * H}}$$

Donde:

H: Tirante. (m)

V: Velocidad media del flujo. (m/s)

D. Diámetro de la roca. (m)

Fr: Número de Froude.

g: Aceleración Gravedad: 9.81 m/s

Método de Maynord

Maynord propone las siguientes relaciones para obtener el diámetro medio de las rocas a realizarse en la protección. (TERÁN, 1998)

$$d_{50} = C_1(yF^3)$$

$$F = C_2 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)$$

Donde:

d50 : Diámetro medio de las rocas

y : Profundidad de flujo

V : Velocidad media de flujo.

F : Número de Froude

C1 y C2 : Coeficientes de corrección

Los valores recomendados de C1 y C2 se muestran a continuación:

C1 {	0.28	Fondo plano
	0.28	Talud 1V:3H
	0.32	Talud 1V:2H
C2 {	1.50	Tramos en Curva
	1.25	Tramos Rectos
	2.00	Extremos de Espigones

▪ Para el Talud

Método del Lopardo-Estellé

$$\frac{u}{\sqrt{g * \Delta * D}} = 1.3 * (H/D)^6 * \left(1 - \left(\frac{\sin \theta}{\sin \phi} \right)^2 \right)$$

Donde:

Δ : Densidad Relativa del material.

ρ_s : Densidad de la roca. (Kg/m³)

ρ : Densidad del agua. (Kg/m³)

u : Velocidad media del flujo. (m/s).

H : Tirante. (m)

g : Aceleración Gravedad: 9.81 m/s²

ϕ : Angulo de reposo del material

θ : Ángulo del talud respecto a la horizontal

D : Diámetro de la roca. (m)

Método de California División of Highways

$$\frac{u}{\sqrt{g * \Delta * D}} = 1.92 * [\sin(\phi - \theta)]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

u : Velocidad media el flujo. (m/s) **Δ** :

Densidad Relativa del material. **D** :

Diámetro. (m)

ρ_s : Densidad de la roca. (Kg/m³)

ρ : Densidad del agua. (Kg/m³)

g : Aceleración Gravedad: 9.81 m/s²

θ : Ángulo de talud.

ϕ : Ángulo de Fricción Interna del material.

Método del U.S. Department of Transportation

$$d_{50} = \frac{0.001V^3}{\gamma^{0.5} K_1^{1.5}} ; \text{ en sistema ingles}$$

$$K_1 = \left[1 - \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi} \right)^{0.5} \right]$$

$$C = C_{sg} C_{sf}$$

$$C_{sg} = \frac{2.12}{(S_s - 1)^{1.5}}$$

$$C_{sf} = \left(\frac{FS}{1.2} \right)^{1.5}$$

$$d_{50} = C d_{50}$$

Donde:

d₅₀: Diámetro medio de las rocas. (m)

V: Velocidad media del Flujo. (m/s)

y: Tirante. (m)

K₁: Factor de corrección.

θ : Ángulo de inclinación del talud.

φ : Angulo de reposo del material del enrocado.

C: Factor de corrección

Δ : Densidad Relativa del material.

F_s: Factor de seguridad.

Tabla 58: Selección del factor de seguridad

CONDICIÓN	RANGO DEL FS
Flujo uniforme, tramos rectos o medianamente curvos (radio de la curva/ancho del cauce > 30). Mínima influencia de impacto de sedimentos y material flotante.	1.0 – 1.2
Flujo gradualmente variado, curvatura moderada (10 < radio de la curva/ancho del cauce < 30). Moderada de impacto de sedimentos y material flotante.	1.3 – 1.6
Flujo rápidamente variado, curvas cerradas (radio de la curva/ancho del cauce < 10), flujos de alta turbulencia, flujo de turbulencia mixta en estribos de puentes. Efecto significativo de impacto de sedimentos y material flotante.	1.6 – 2.0

Fuente: Elaboración Propia

4.2.1.8 Estabilidad del Terraplén

La fuerza que se opone al deslizamiento del terraplén está definida .

$$R = W \tan \Phi$$

$$P = \frac{\rho H^2}{2}$$

Donde:

P: Presión del agua. (kgf/m²)

R: Fuerza Resistente. (Kg/m)

W=Adique***ρ**material: Peso Terraplén (kg/m)

Φ: Angulo de fricción interna.

ρm : Densidad del material. (kg/m³)

ρ : Densidad del agua. (Kg/m³)

H: Tirante de agua (m).

Entonces:

R>P El dique es estable a la presión del agua

R<P El dique no es estable a la presión del agua

4.2.1.9 Estabilidad del Revestimiento del enrocado en el fondo

- **Esfuerzo Cortante de Fondo**

$$\tau = \gamma * h * S$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante de fondo. (N/m²)

γ : Peso específico del agua . (N/m³)

h: Tirante. (m)

g : Aceleración Gravedad: 9.81 m/s²

S: Pendiente del río.

- **Esfuerzo cortante crítico del enrocado en el fondo**

$$\tau_c: \rho V *^2$$

$$V * = \sqrt{\Delta g D \tau_c}$$

Donde:

τ_c : Esfuerzo cortante crítico del enrocado en el fondo.
(N/m²)

ρ : Densidad del agua . (Kg/m³)

V*: Velocidad de corte. (m/s)

Entonces:

$\tau_c > \tau$ El revestimiento es estable.

$\tau_c < \tau$ El revestimiento es estable, se necesita aumentar el diámetro de la roca.

4.2.1.10 Estabilidad del Revestimiento del enrocado en el talud

- **Esfuerzo Cortante en el Talud**

$$\tau_{talud} = 0.78 * \gamma * h * S$$

Donde:

τ_{talud} : Esfuerzo cortante en el talud. (N/m²)

h: Tirante. (m)

γ : Peso específico del agua . (N/m³)

g: Aceleración Gravedad: 9.81 m/s² **S**:
Pendiente del río.

- **Esfuerzo Cortante Crítico del Enrocado en el Talud**

$$\tau_{ct} = K * \tau_c$$

$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta}}$$

Donde:

τ_{ct} : Esfuerzo cortante crítico del enrocado en el talud.
(N/m²)

τ_c : Esfuerzo cortante crítico del enrocado en el fondo.
(N/m²)

K: Factor del talud.

$\tau_{ct} > \tau_{talud}$ El revestimiento es estable.

$\tau_{ct} < \tau_{talud}$ El revestimiento es estable, se necesita
aumentar el diámetro de la roca.

4.2.1.11 Diseño del Filtro

La protección del talud donde el enrocado descansará, es fundamental para la estabilidad del revestimiento, ya que cuida al suelo de la erosión debido a la corriente de agua, ataque de olas y de flujos subterráneos; evitando el movimiento de las partículas finas que conforma el suelo protegido. (TERÁN, 1998)

- **Determinación de la velocidad en el espacio entre enrocado y material base**

$$V_a = \frac{(D_{50}/2)^3 * S^2}{nf}$$

Donde:

V_a : Velocidad de agua entre enrocado y el fondo (m/s)

D₅₀: Diámetro medio de la roca (m).

S: Pendiente del tramo en estudio.

nf: Condición de filtro (0.020 cuando se tiene filtro de geotextil o no hay filtro; 0.025 para filtro de grava)

4.2.1.12 Determinación de la velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado

$$V_e = 16.1 * D_m^2$$

Donde:

V_e: Velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado (m/s)

D₅₀: Diámetro medio de partículas del suelo base (m).

V_a > V_e Hay erosión, se usa filtro de grava.

$V_a < V_e$ No hay erosión no es necesario el uso de filtro o se usa un filtro de geotextil.

- **Determinación del Tamaño de Filtro de Grava.**

El filtro a usarse debe estar constituido por gravilla, cuyo criterio granulométrico para tener el espesor correspondiente será

$$e = (20 \text{ a } 25) * D_{50} \text{ filtro}$$

1. El D50 de la gravilla (obtenido en laboratorio) generalmente se encuentra entre 1 cm a 1.5 cm; por lo cual asumimos $D_{50} \text{ filtro} = 1.5 \text{ cm}$.
2. En la selección del espesor del filtro se debe tener en cuenta, lo siguiente:

Si **$e_{\text{filtro}} > 30 \text{ cm}$** , (El filtro usado se desliza o Chorrea)

Si **$e_{\text{filtro}} < 30 \text{ cm}$** , (El filtro usado, es ESTABLE)

4.1.3 Modelamiento con HEC-RAS

Definido el número de la malla, le damos las condiciones de borde en los datos de flujo, desde el margen aguas arriba de nuestra sección del río. Aguas abajo se le coloca un normal deph con una pendiente de 0,005 y aguas arriba se aplica el hidrograma con los datos de la estación que habíamos escogido (estación LIVES) que cuenta con datos desde el año 1963 hasta el año 2018. Es necesario correr el programa con las fechas y horas en el formato de inglés- EE. UU para que no nos salgan datos de error.

Con todos los datos anteriores procedemos a correr programa con el caudal máximo que hemos hallado anteriormente para cada periodo de retorno (50,100 y 500 años).

No hay que olvidar que en medio del tramo de estudio hay un puente de 69,92 metros (Puente Chaman) que tiene un pilar de 0000m que afecta en las velocidades del cauce del río ya que divide el flujo del río en 2 direcciones, y que también debe estar presente en el modelamiento.

Ahora presentaremos el modelo bidimensional con los siguientes periodos de retorno con modelo sin proyecto y con proyecto.

- Modelamiento 50 Años De Retorno:
- Modelamiento 100 Años De Retorno:
- Modelamiento 500 Años De Retorno:

- **Proceso de Malla de Calculo**

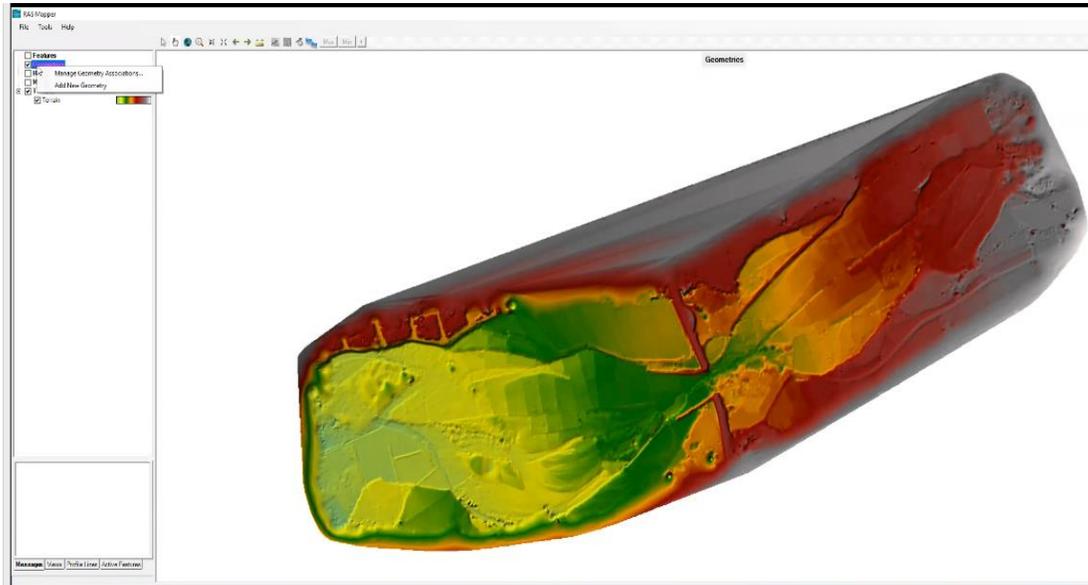


Figura 39: Archivo DEM de la sección del puente Chaman en el programa RAS Mapper.

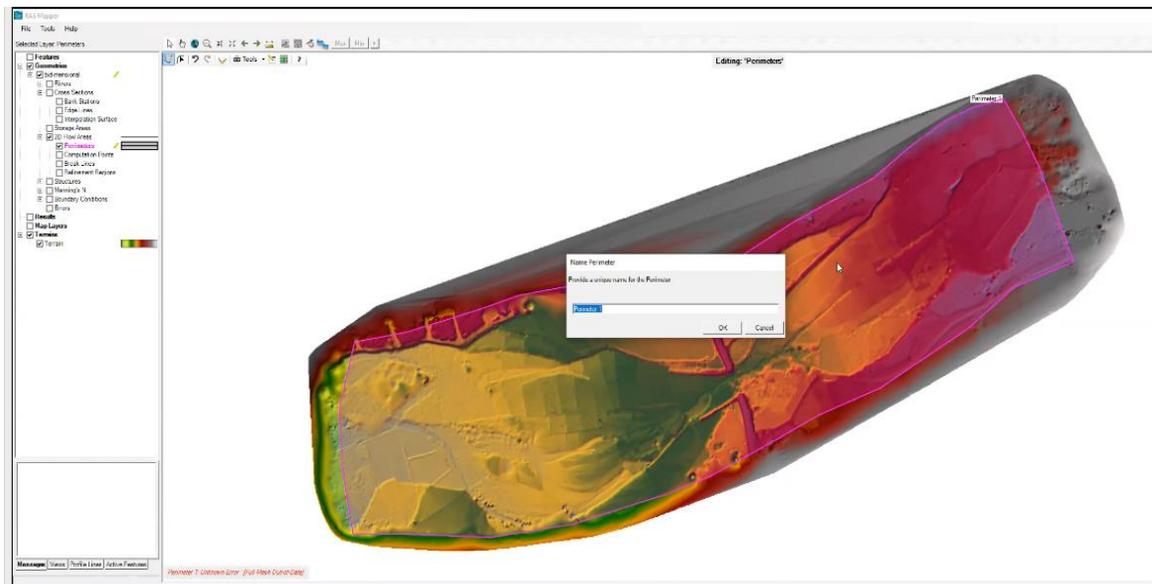


Figura 40: Creación de perímetro en área 2d

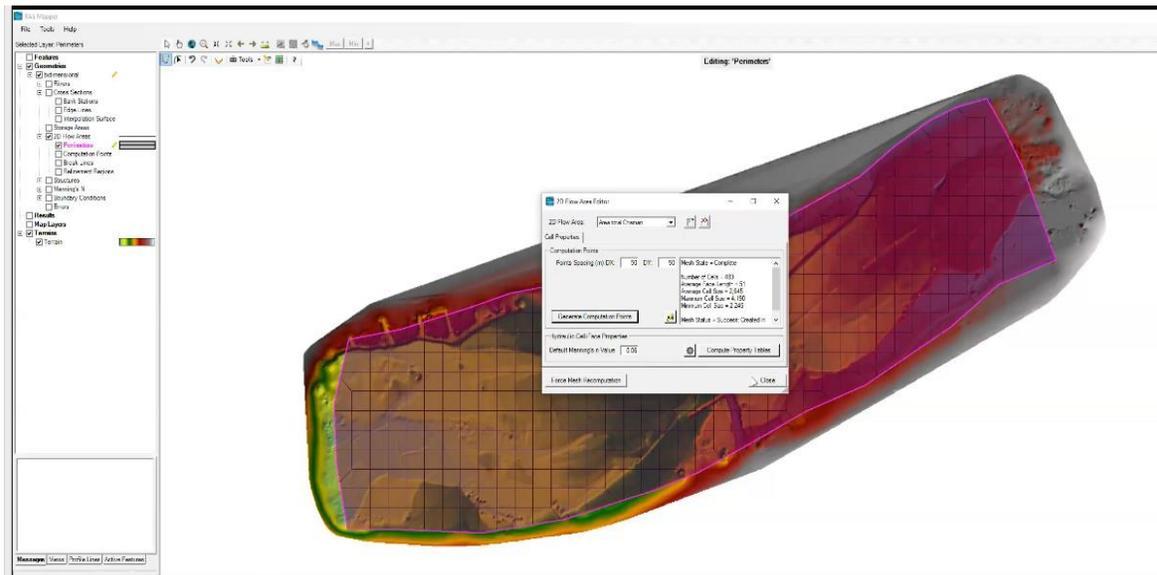


Figura 41: Edición de perímetro y asignación de malla (comando: 2d final área edition)

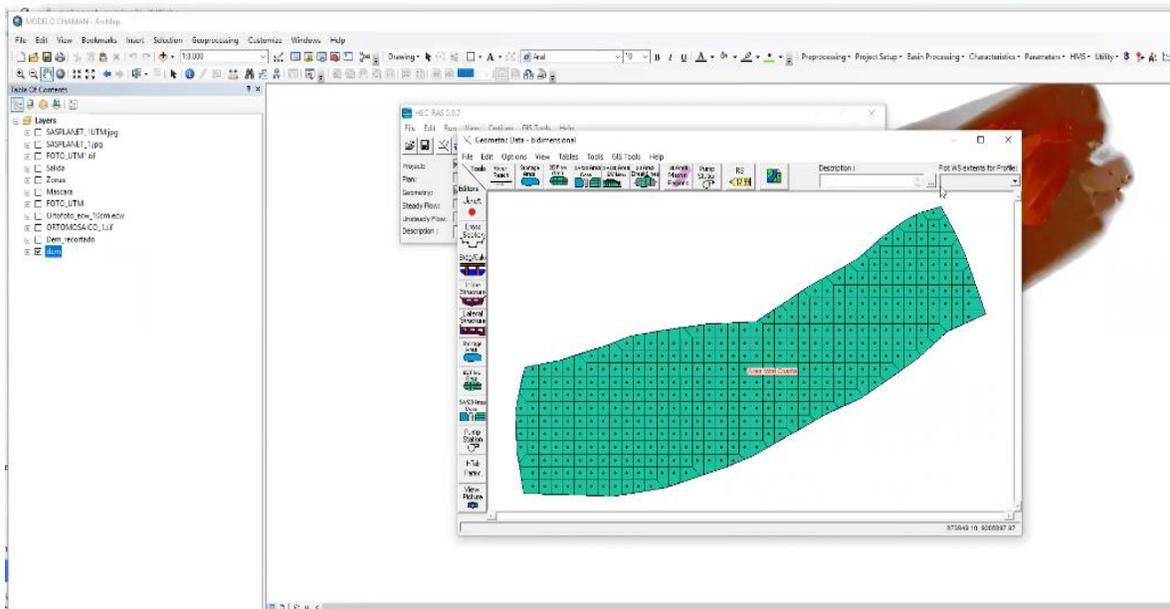


Figura 42: Archivo editado abierto en el programa Hec Ras

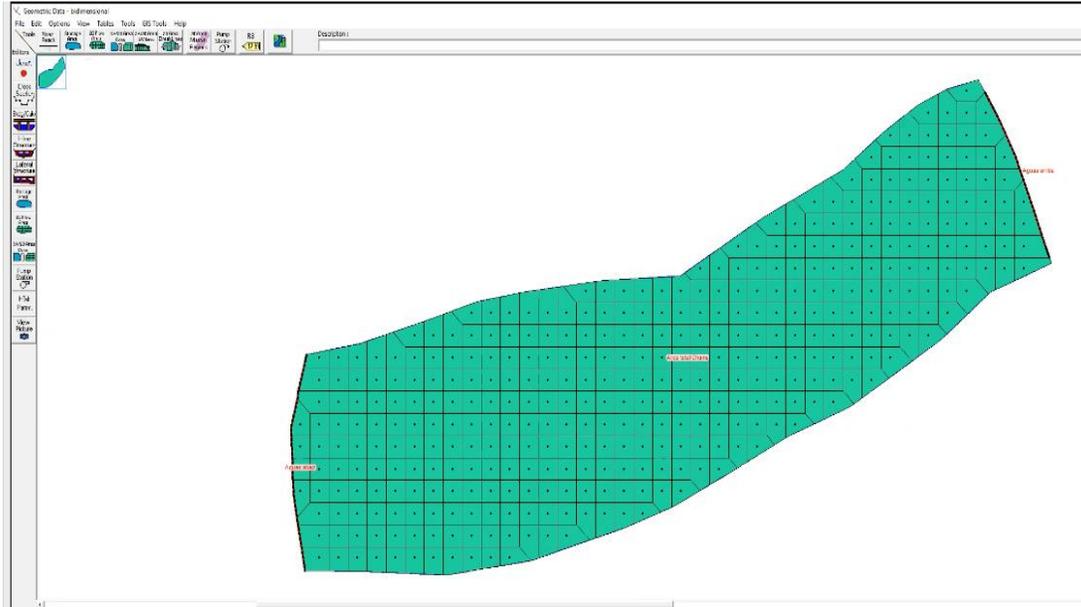


Figura 43: Se le dan condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo del margen izquierdo al derecho

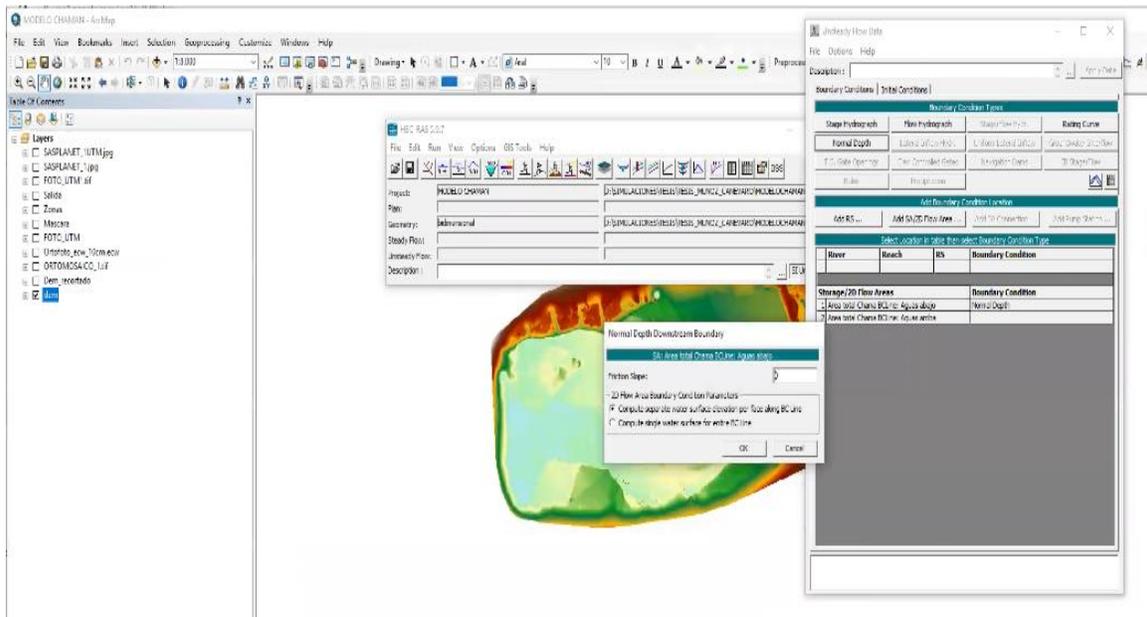


Figura 44: Edición de condiciones de borde aguas abajo con un normal Depth y una pendiente de 0.005

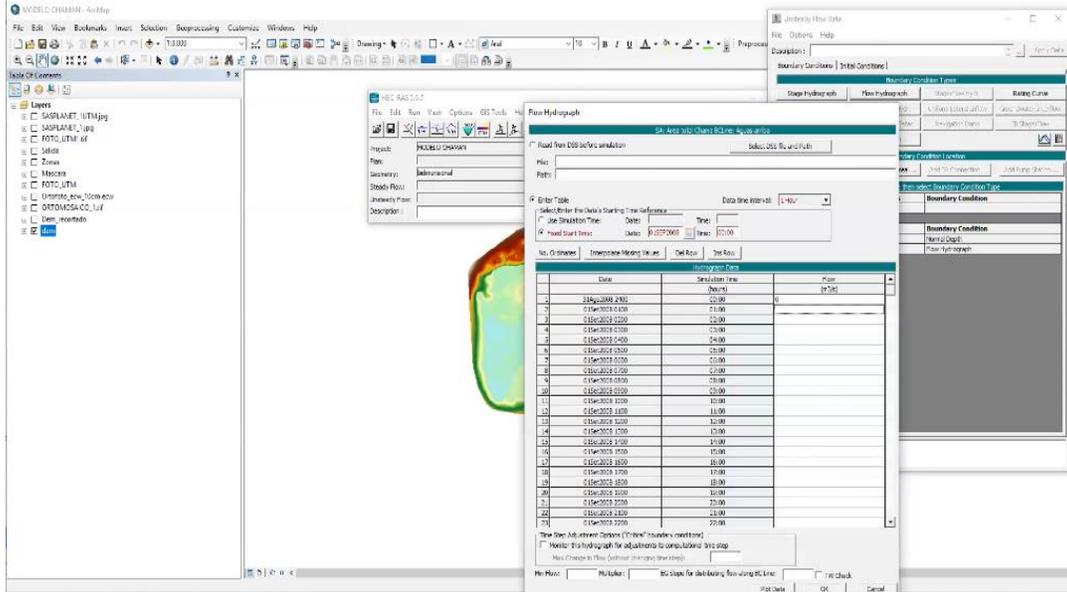


Figura 45: Edición de condiciones de borde aguas arriba en el hidrograma asignando los datos de la data hidrológica y el caudal máximo correspondiente a cada año de retorno.

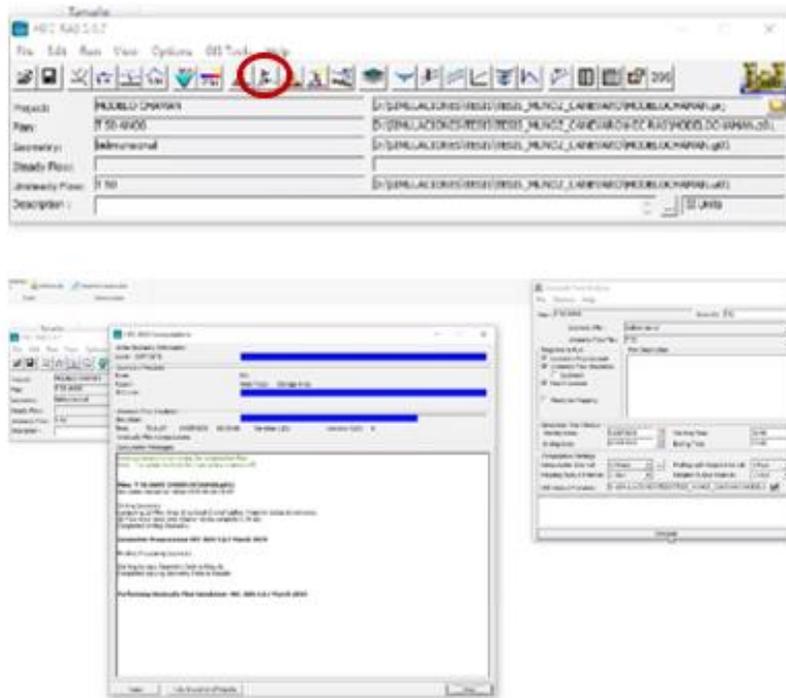
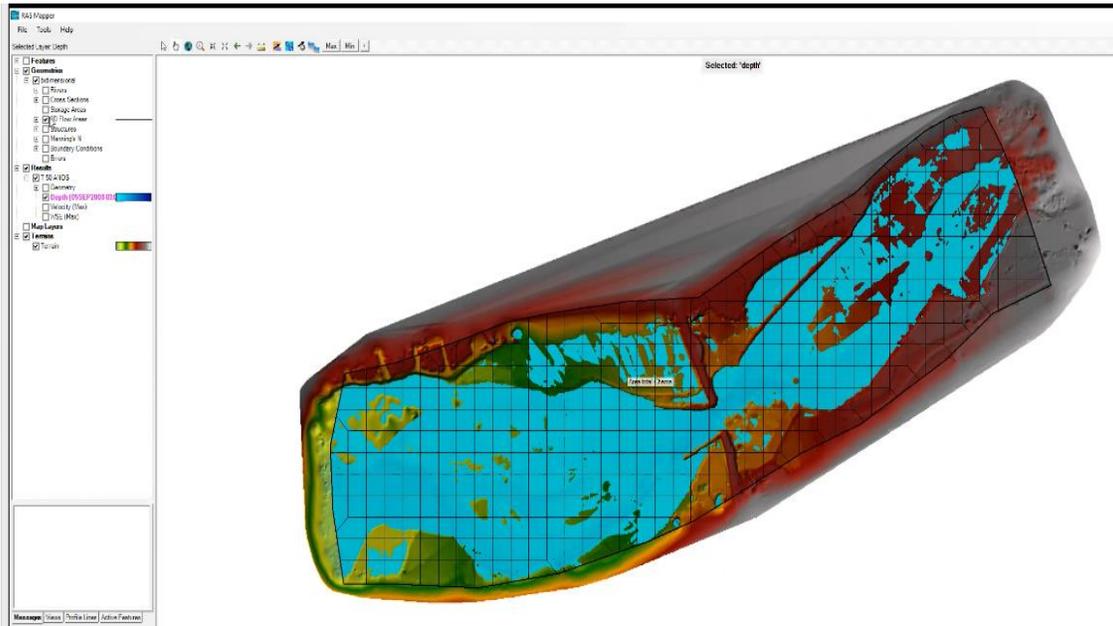
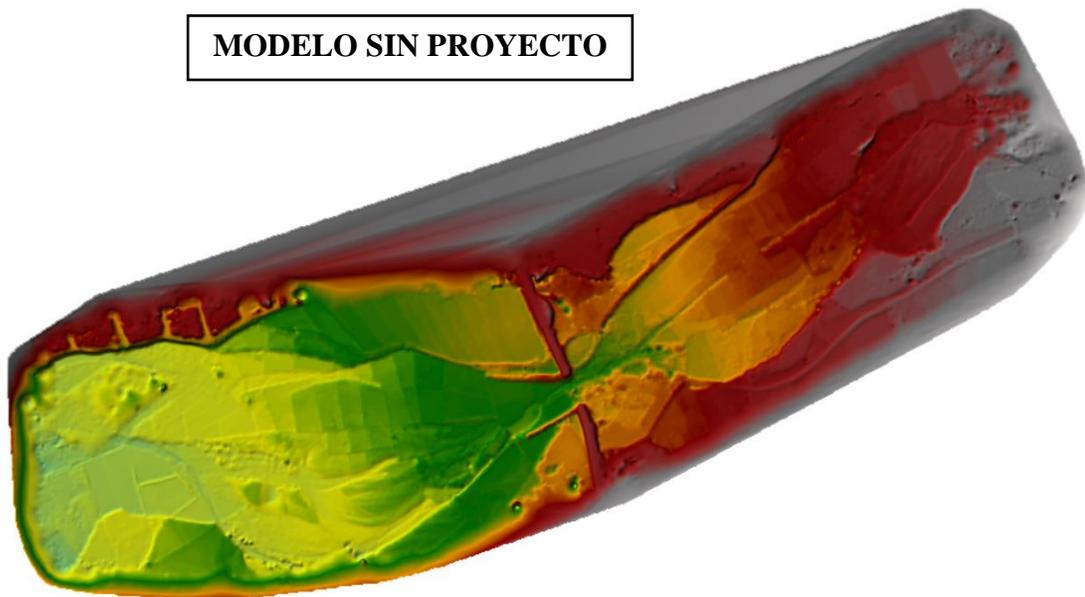


Figura 46. Corremos el programa Hec Ras.



**Figura 47: Visualización de variables hidráulicas en áreas coloreadas
Modelo Bidimensional Hec-Ras**



**Figura 48: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional en el
cauce del rio Chaman.**

- PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS

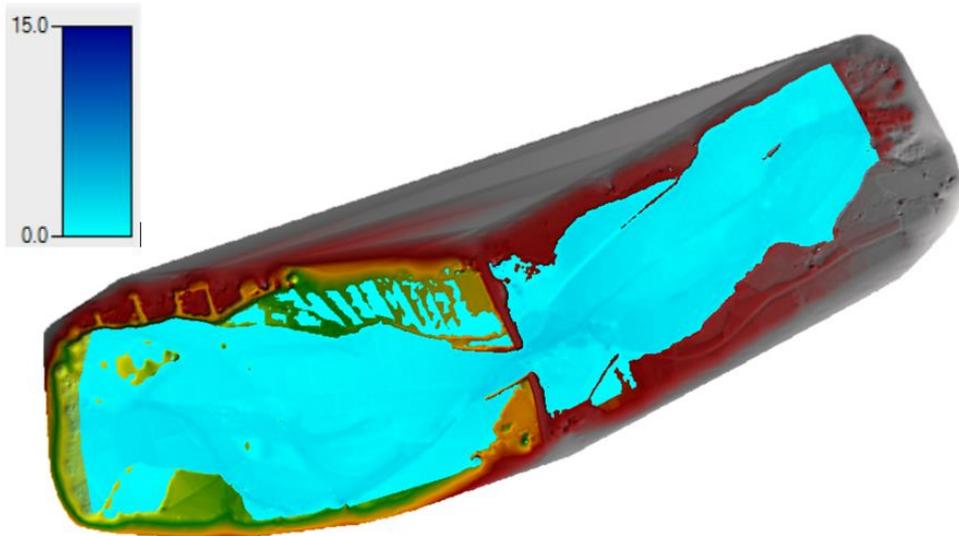


Figura 49: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años

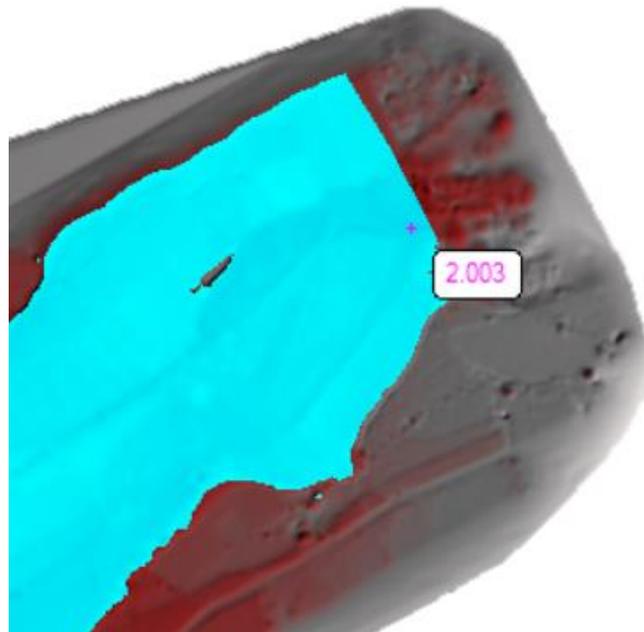


Figura 50: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.003 m para un periodo de retorno de 50 años

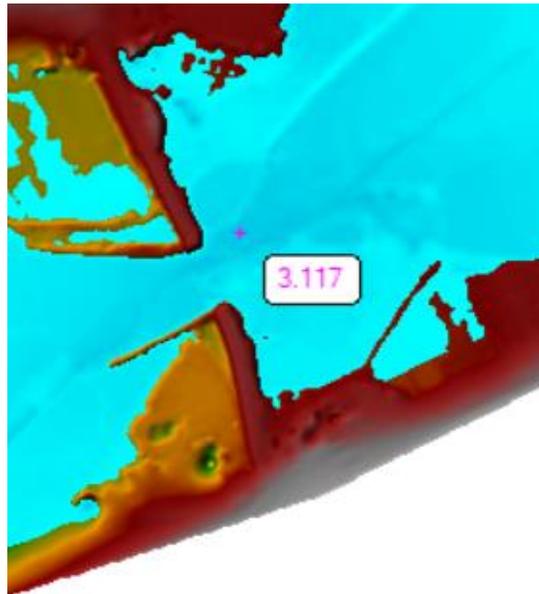


Figura 51: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.117 m para un periodo de retorno de 50 años

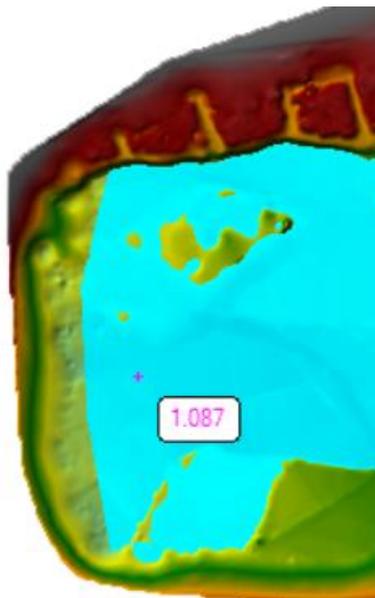


Figura 52: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.087 m para un periodo de retorno de 50 años

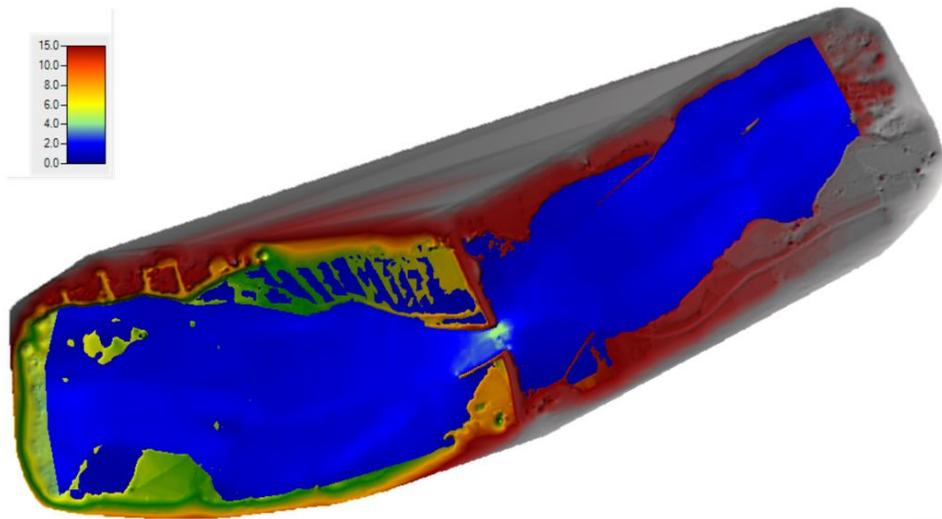


Figura 53: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 50 años.

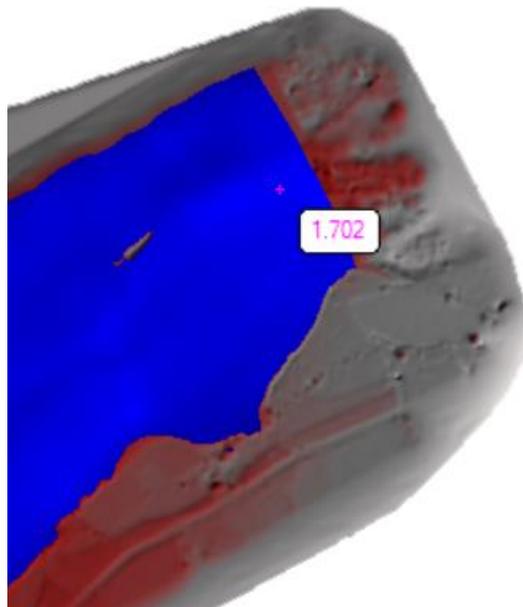


Figura 54: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 1.702 m/s para un periodo de retorno de 50 años

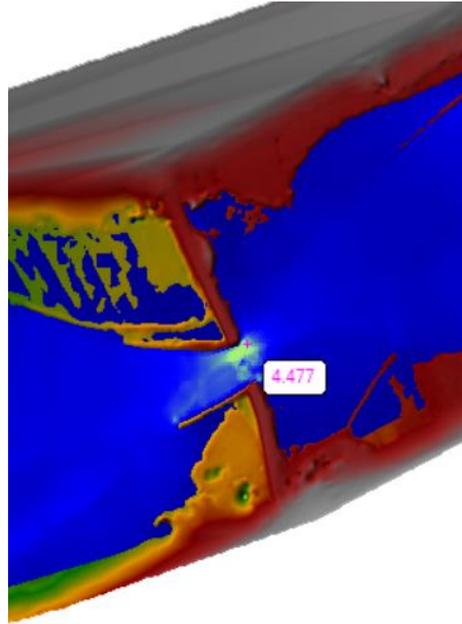


Figura 55: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.477 m/s para un periodo de retorno de 50 años

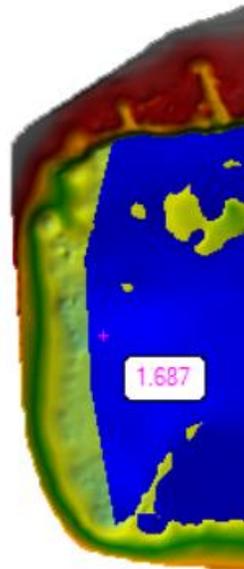


Figura 56: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.687 m/s para un periodo de retorno de 50 años

- PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS

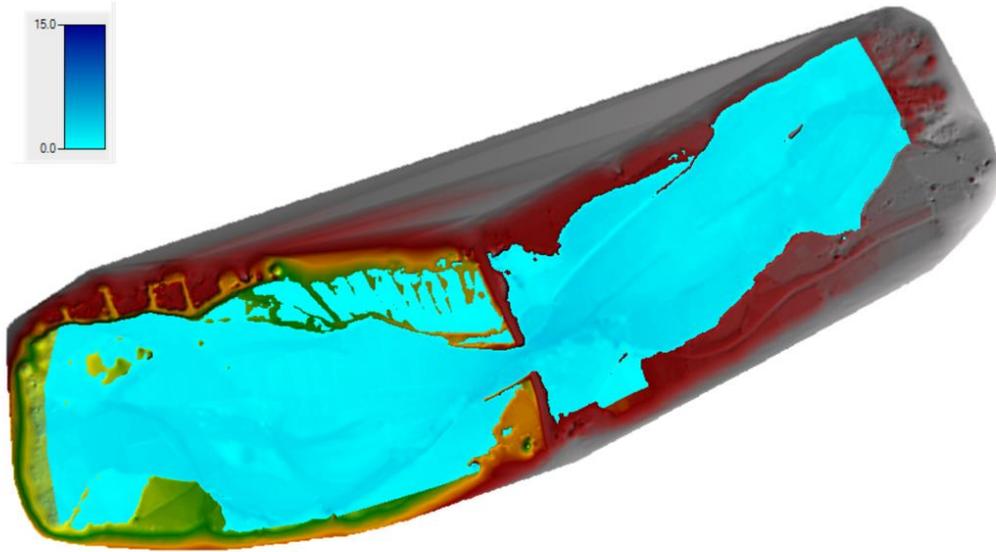


Figura 57: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años

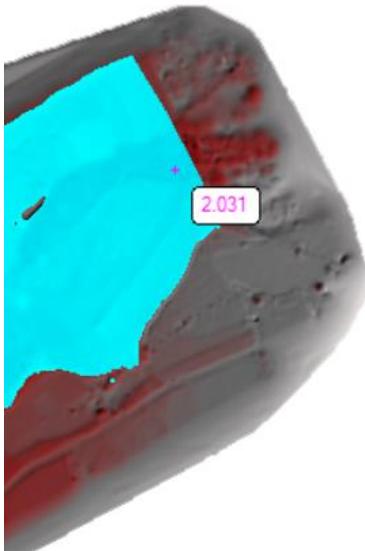


Figura 58: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.031 m para un periodo de retorno de 100 años

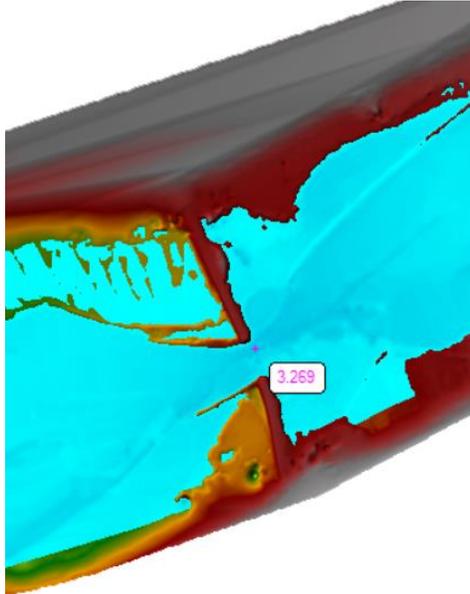


Figura 59: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.269 m para un periodo de retorno de 100 años.

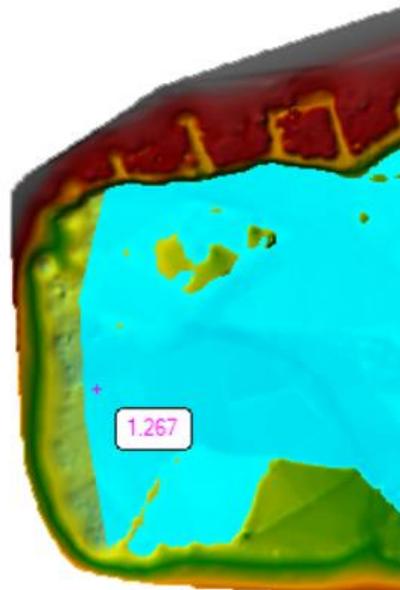


Figura 60: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.267 m para un periodo de retorno de 100 años

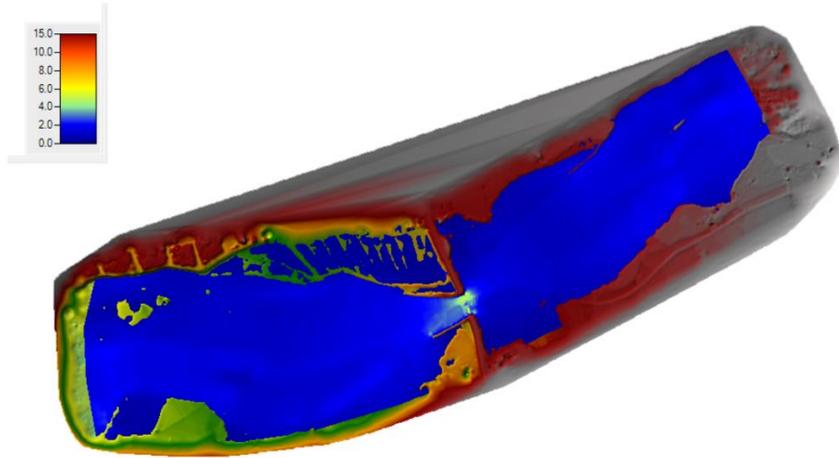


Figura 61: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años.

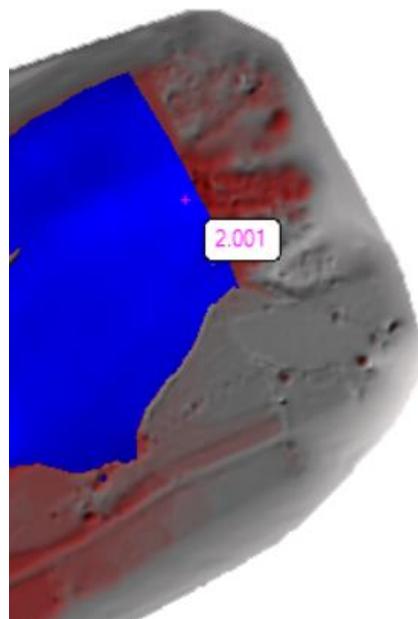


Figura 62: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.001 m/s para un periodo de retorno de 100 años.

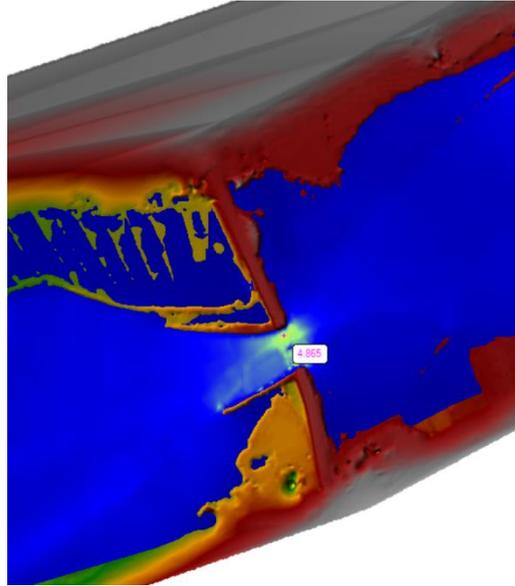


Figura 63: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.865 m/s para un periodo de retorno de 100 años

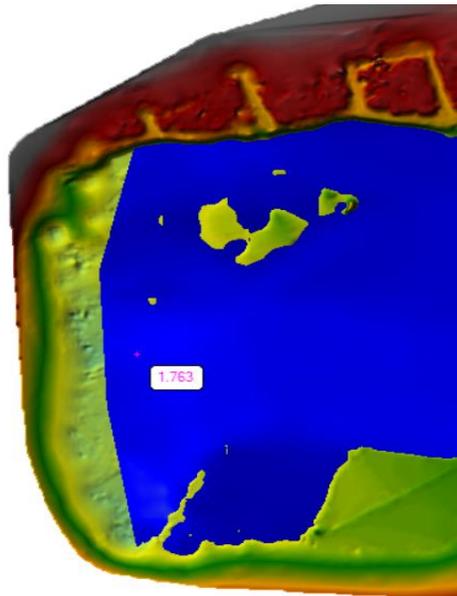


Figura 64: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.763 m/s para un periodo de retorno de 100 años

- PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS

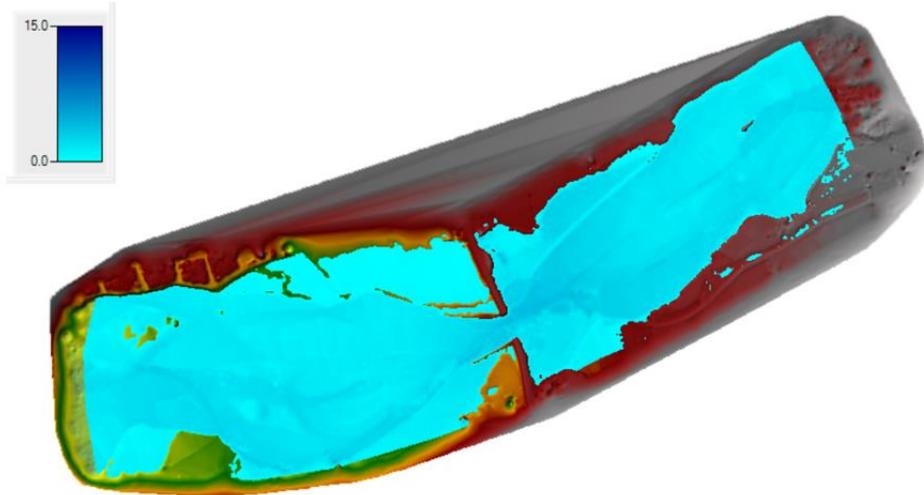


Figura 65: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años.

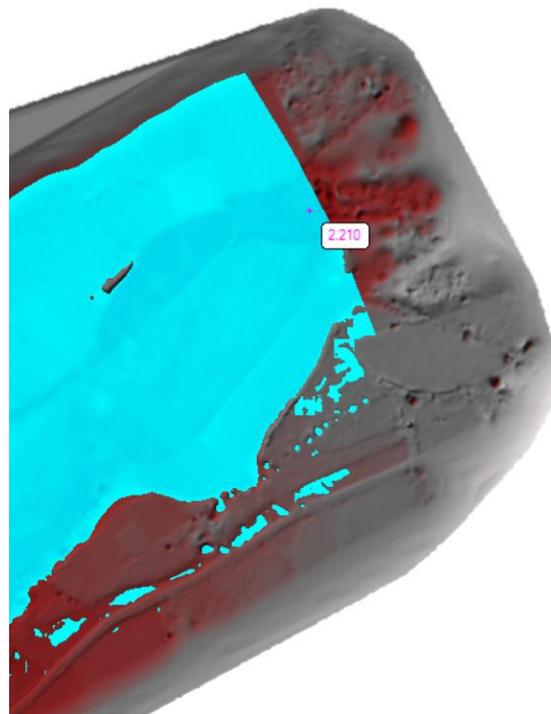


Figura 66: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.210 m para un periodo de retorno de 500 años

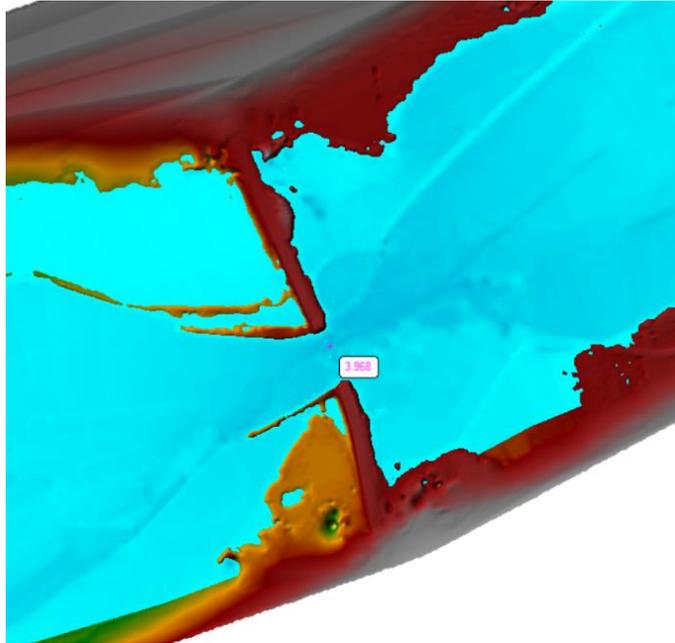


Figura 67: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.968 m para un periodo de retorno de 500 años.

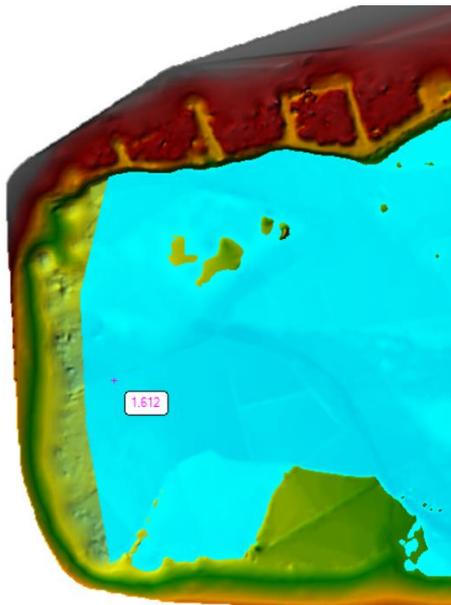


Figura 68: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.612 m para un periodo de retorno de 500 años

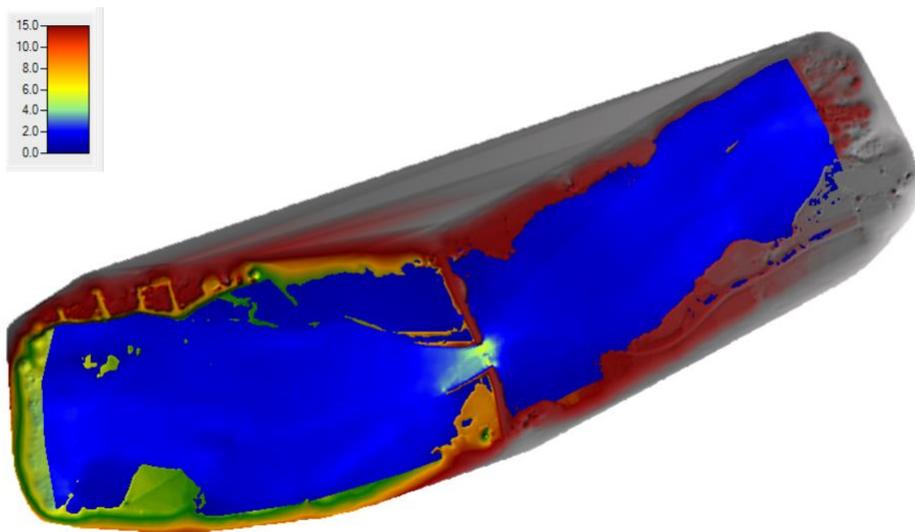


Figura 69: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años

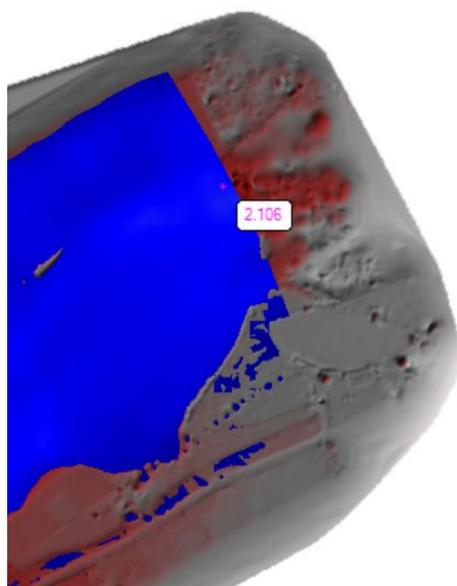


Figura 70: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.106 m/s para un periodo de retorno de 500 años.

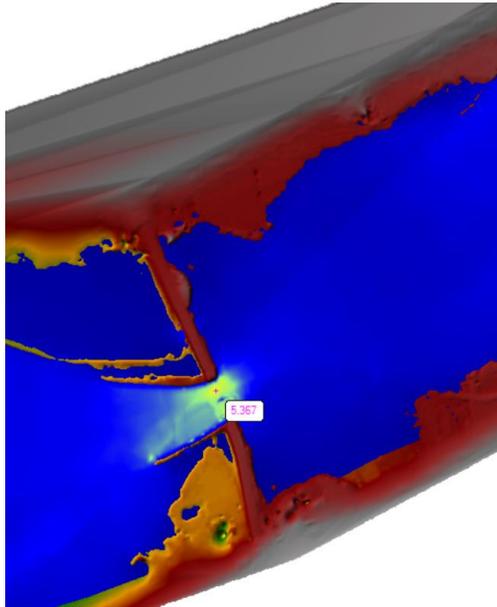


Figura 71: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 5.367m/s para un periodo de retorno de 500 años

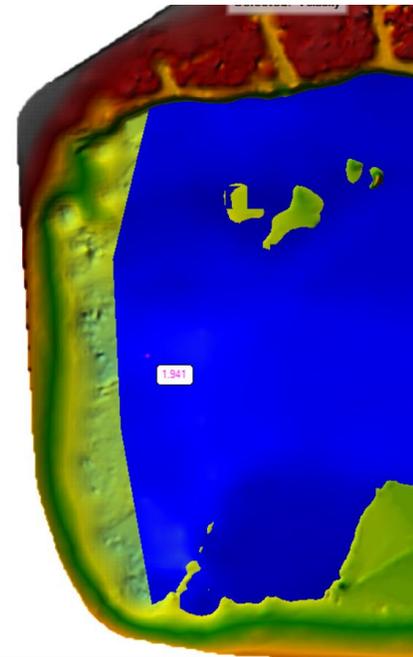


Figura 72: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.941 m/s para un periodo de retorno de 500 años

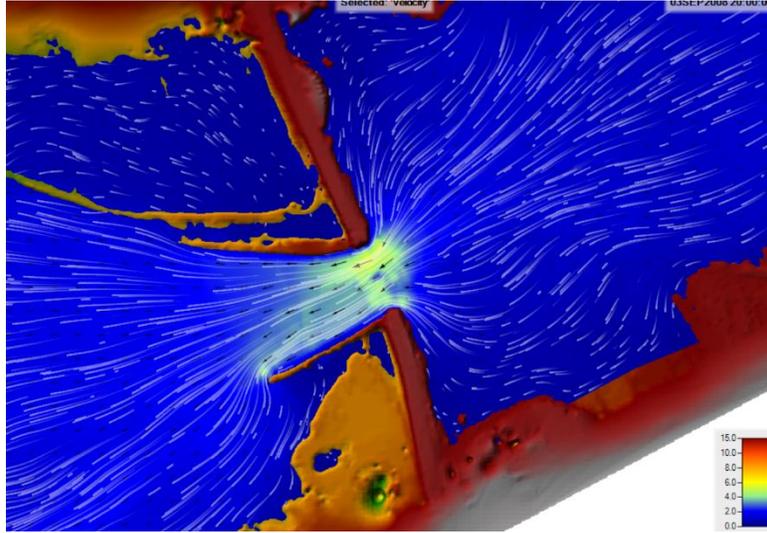


Figura 73: Flechas de velocidad estática y Rastreo de partículas en la sección del puente Chaman para un periodo de retorno de 500 años

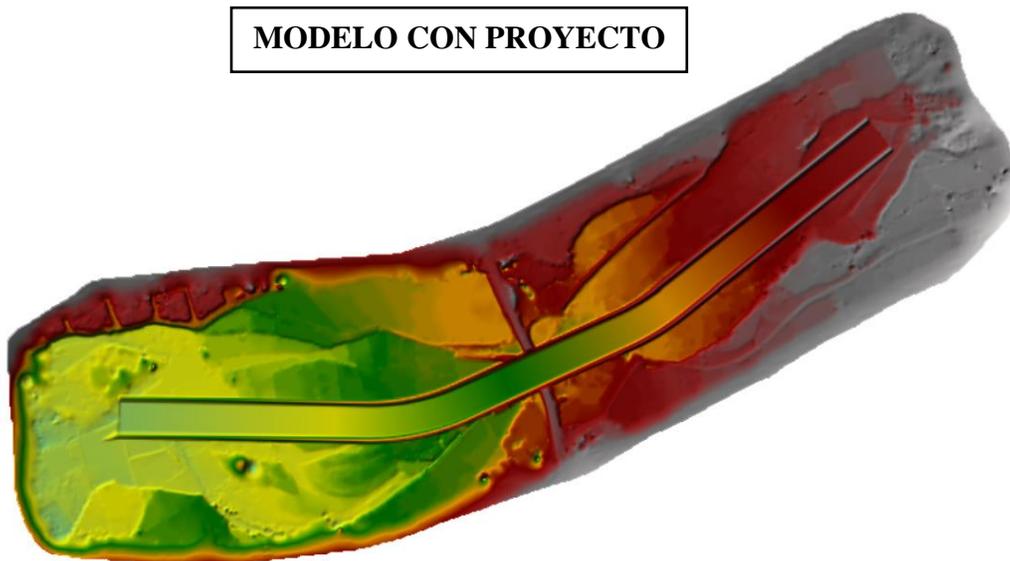


Figura 74: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional con diques en el cauce del rio Chaman

- PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS

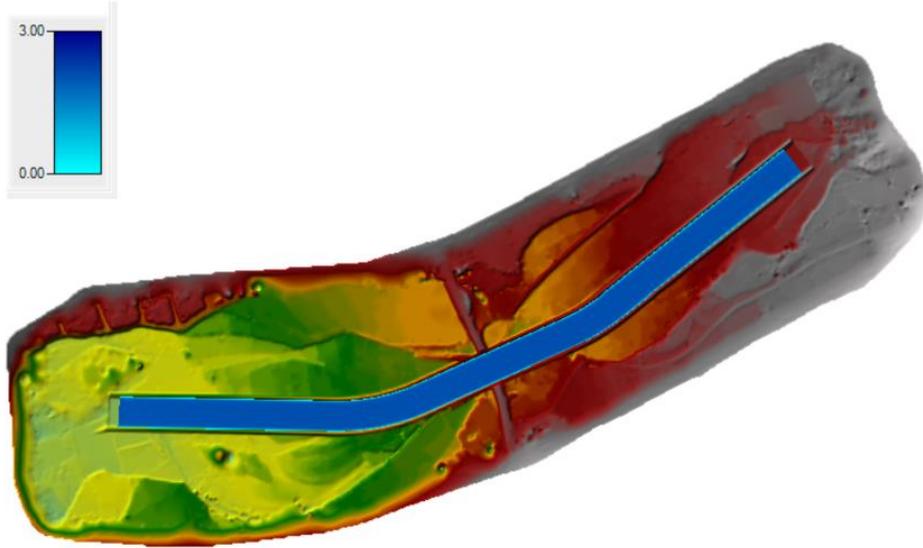


Figura 75: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 50 años

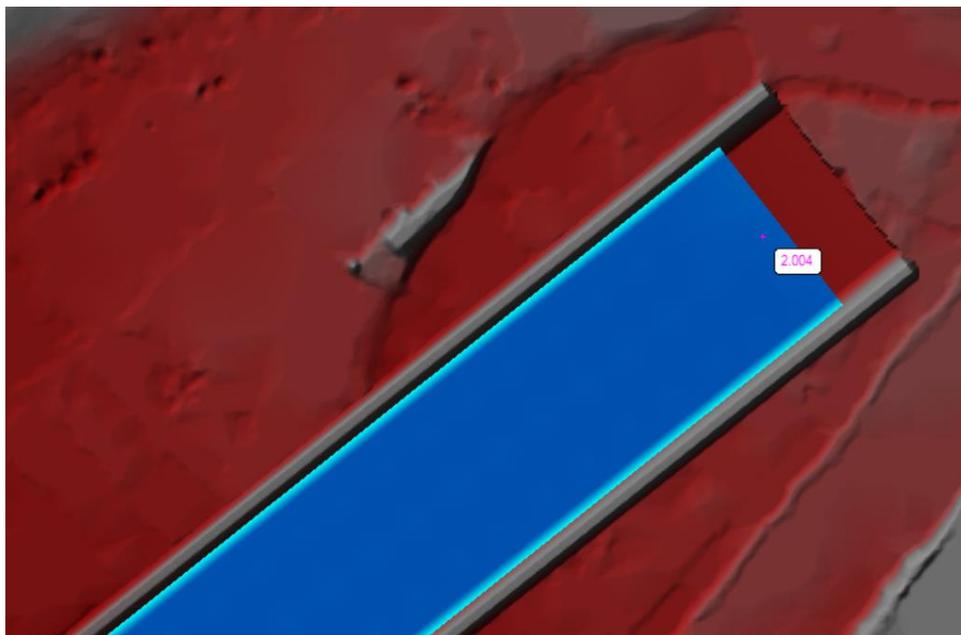


Figura 76: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.004 m para un periodo de retorno de 50 años

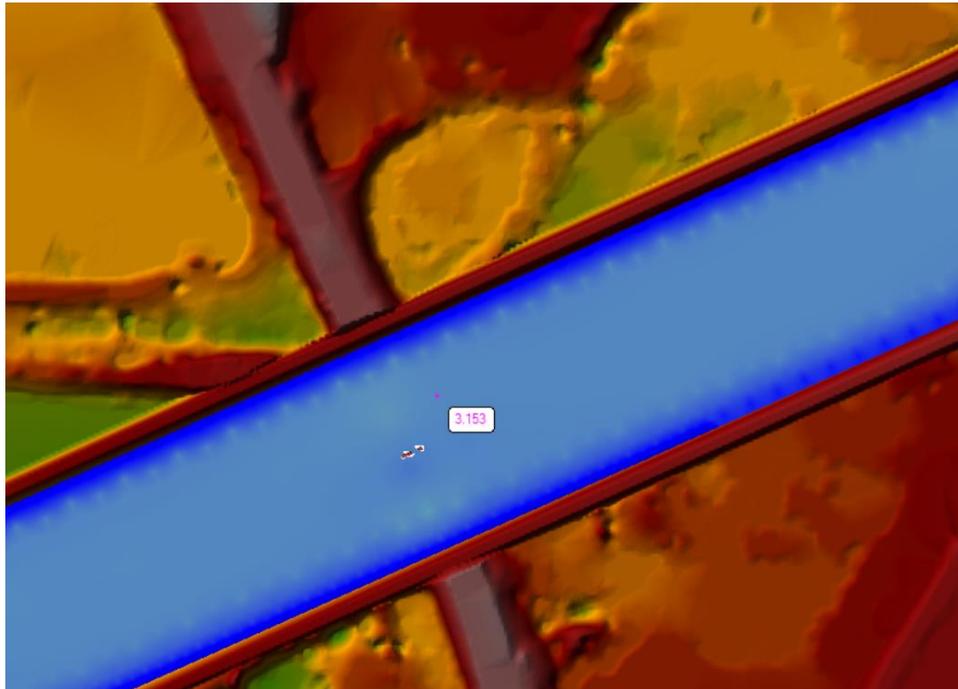


Figura 77: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.153 m para un periodo de retorno de 50 años

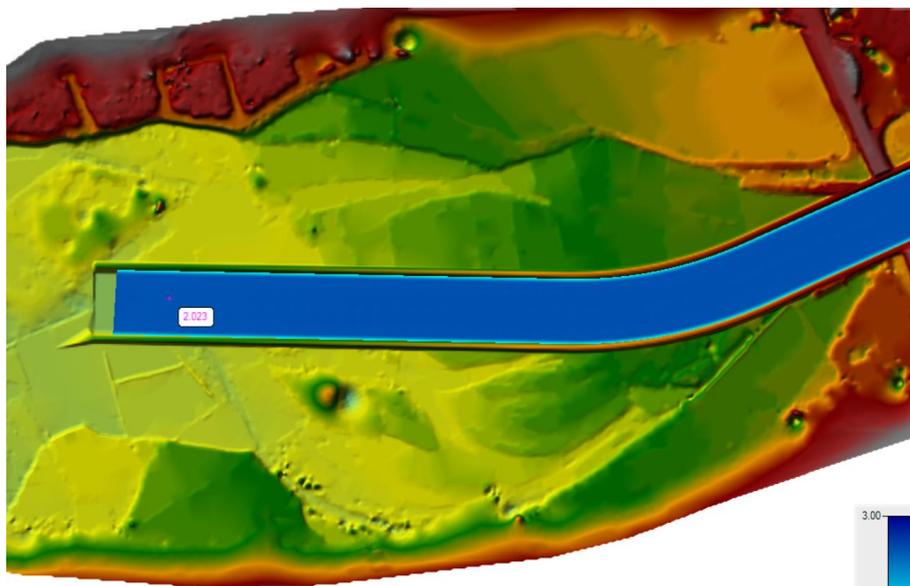


Figura 78: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.023 m para un periodo de retorno de 50 años

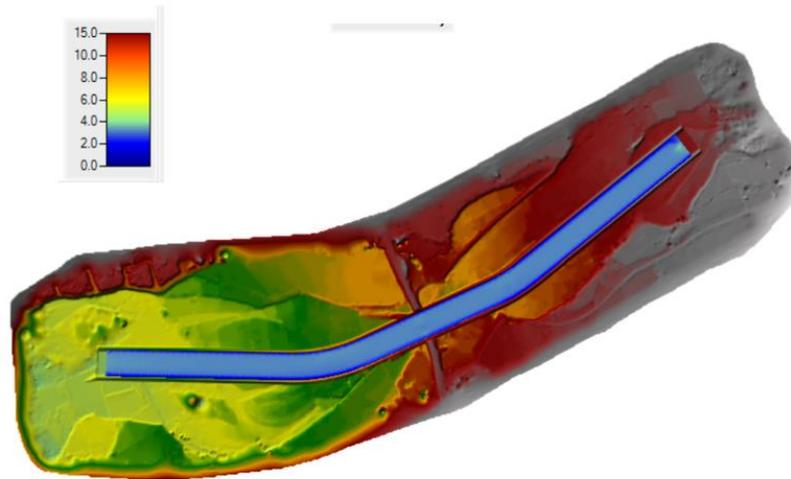


Figura 79: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años

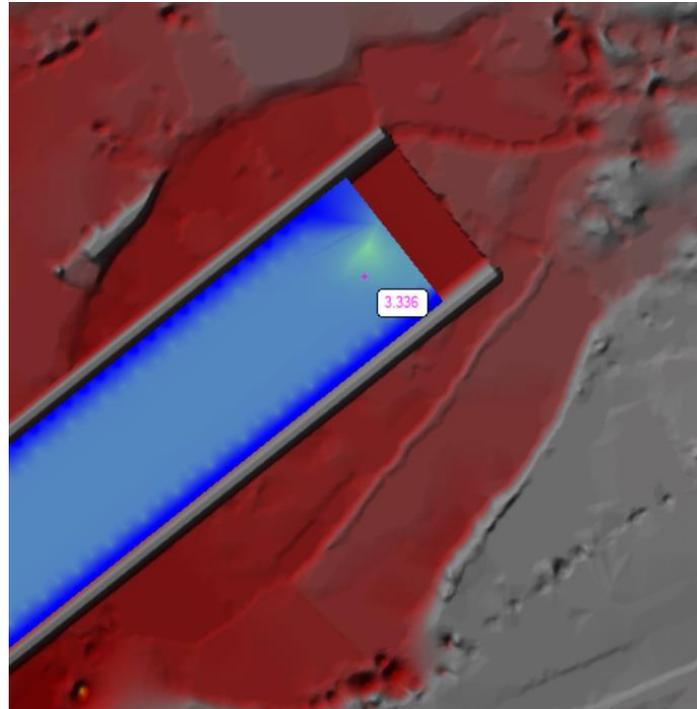


Figura 80: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.336 m/s para un periodo de retorno de 50 años

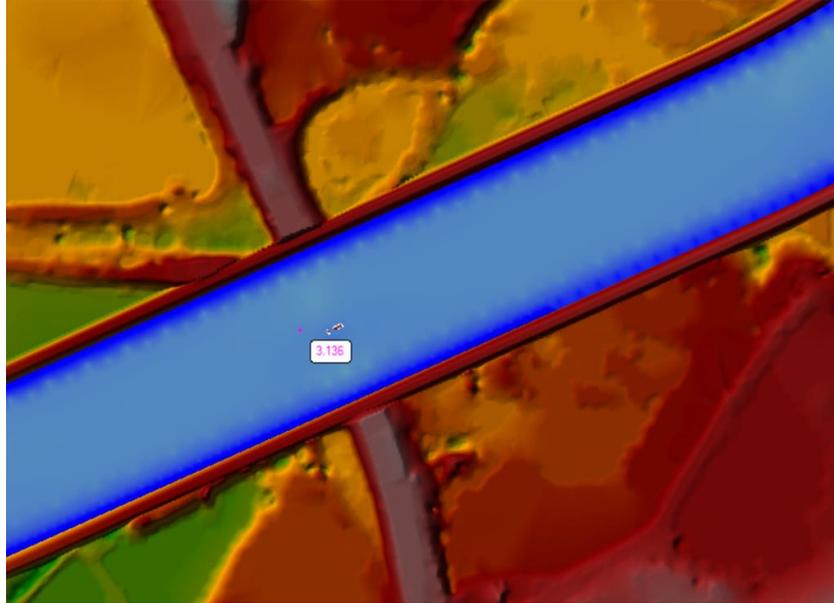


Figura 81: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.136 m/s para un periodo de retorno de 50 años.

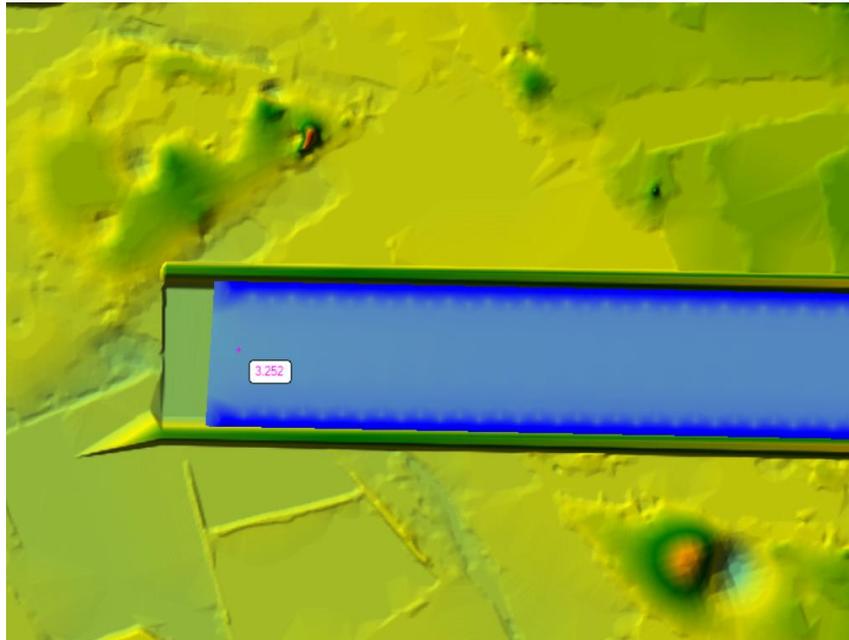


Figura 82: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.252 m/s para un periodo de retorno de 50 años

- PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS

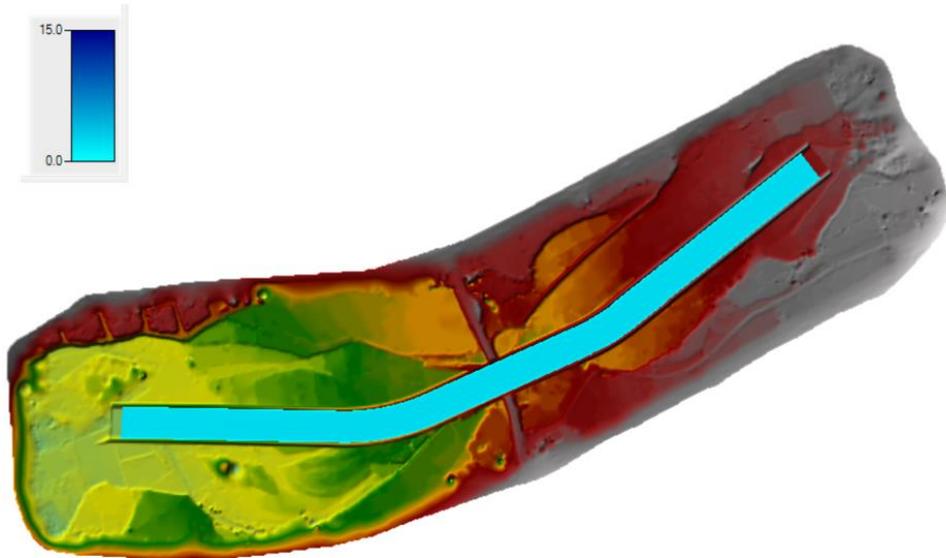


Figura 83: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 100 años

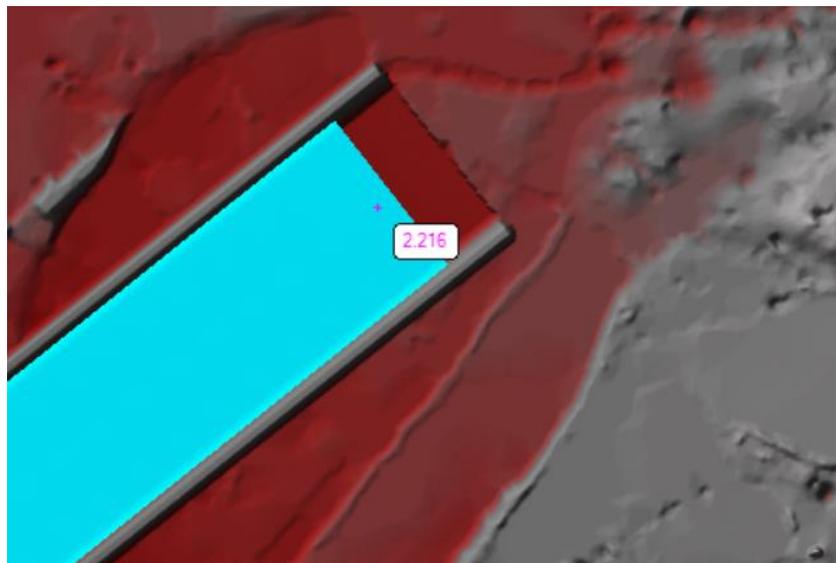


Figura 84: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.216 m para un periodo de retorno de 100 años

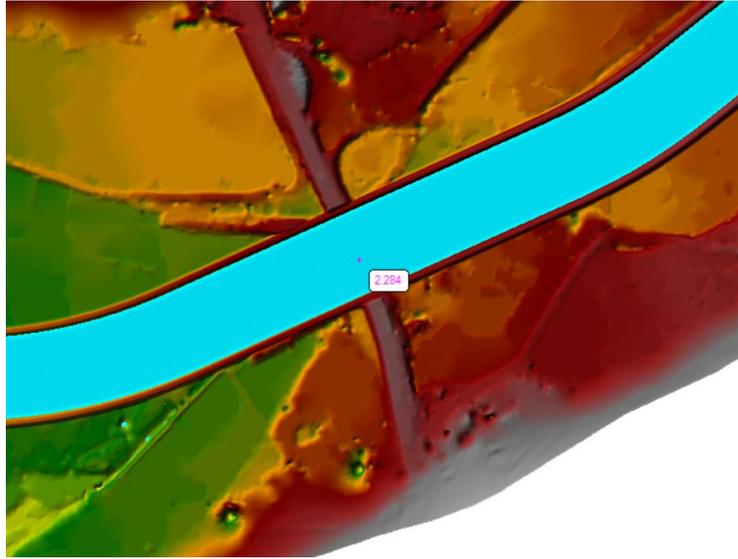


Figura 85: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 2.284 m para un periodo de retorno de 100 años

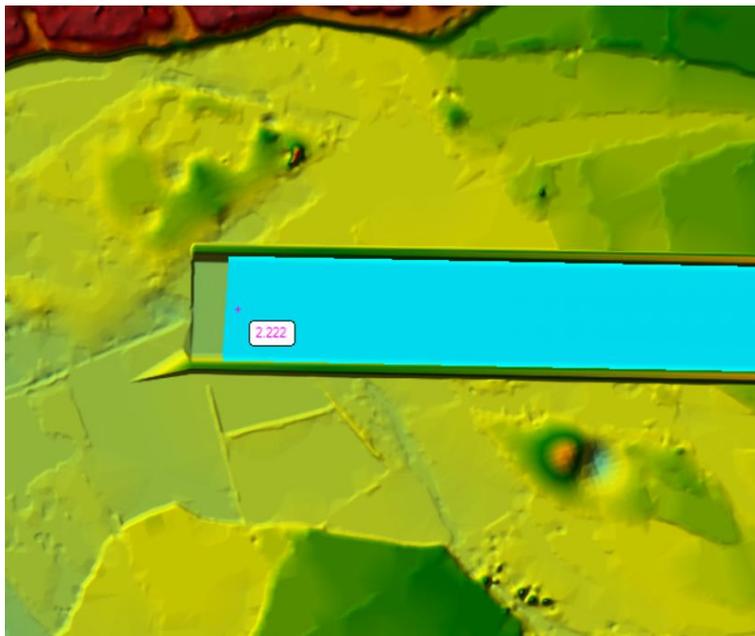


Figura 86: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.222 m para un periodo de retorno de 100 años

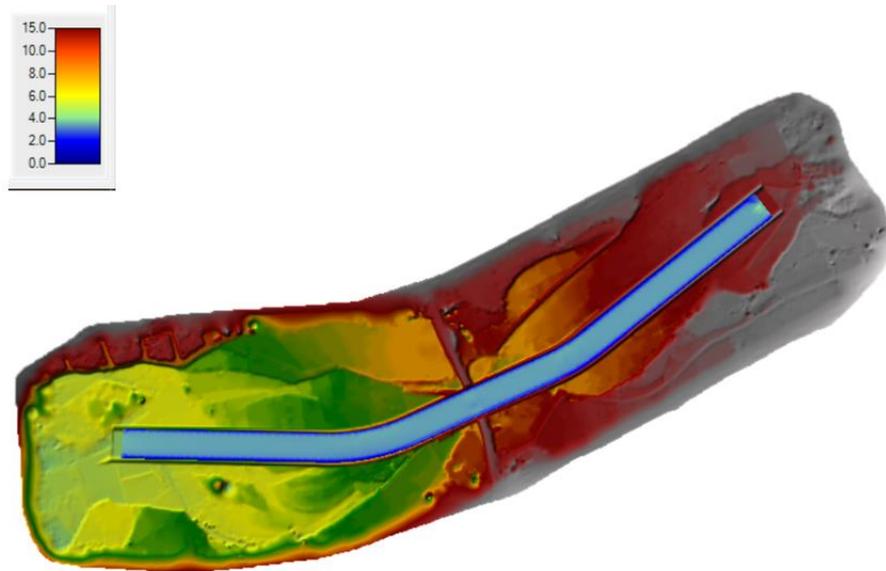


Figura 87: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años

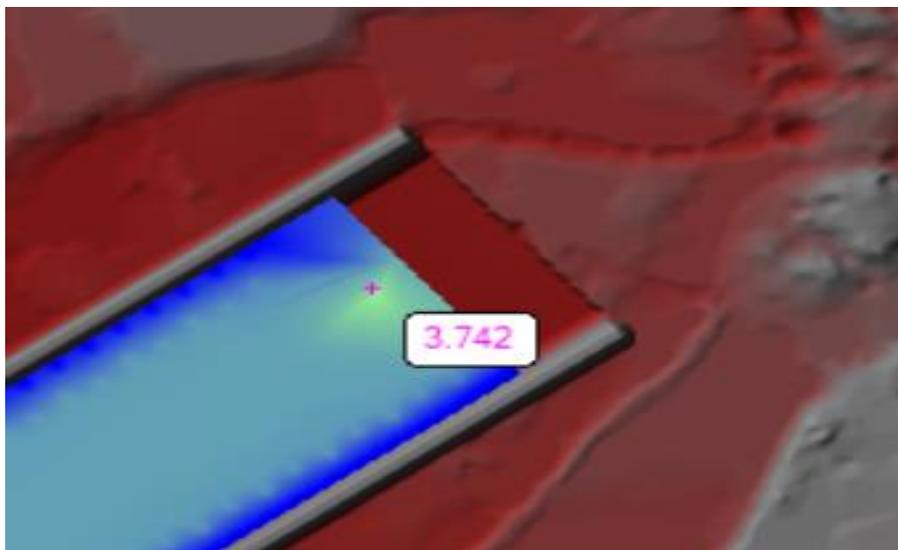


Figura 88: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.742 m/s para un periodo de retorno de 100 años

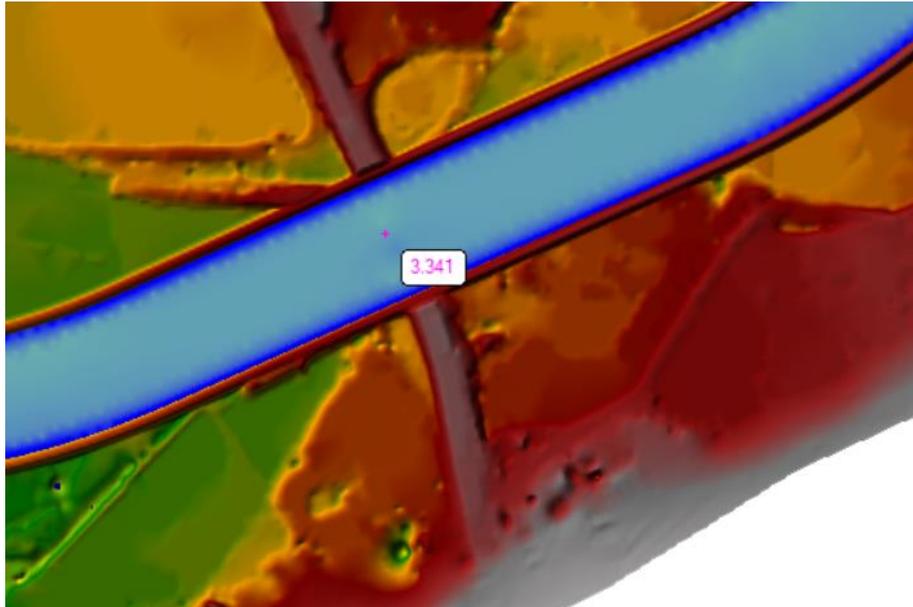


Figura 89: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.341 m/s para un periodo de retorno de 100 años

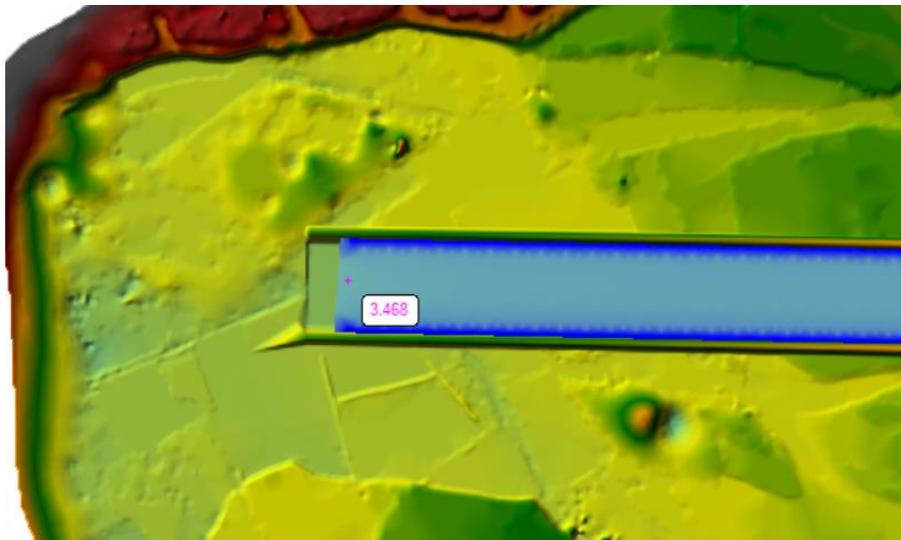


Figura 90: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.468 m/s para un periodo de retorno de 100 años

- PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS.

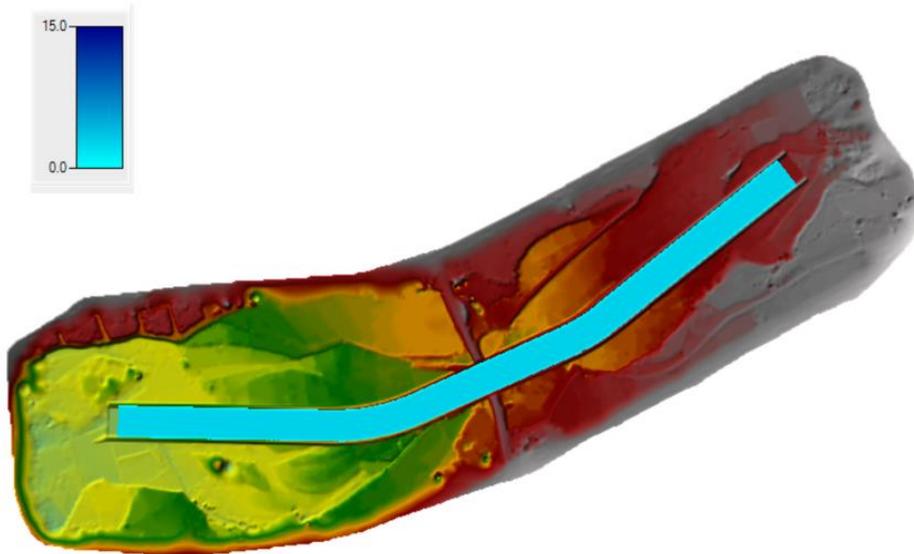


Figura 91: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años

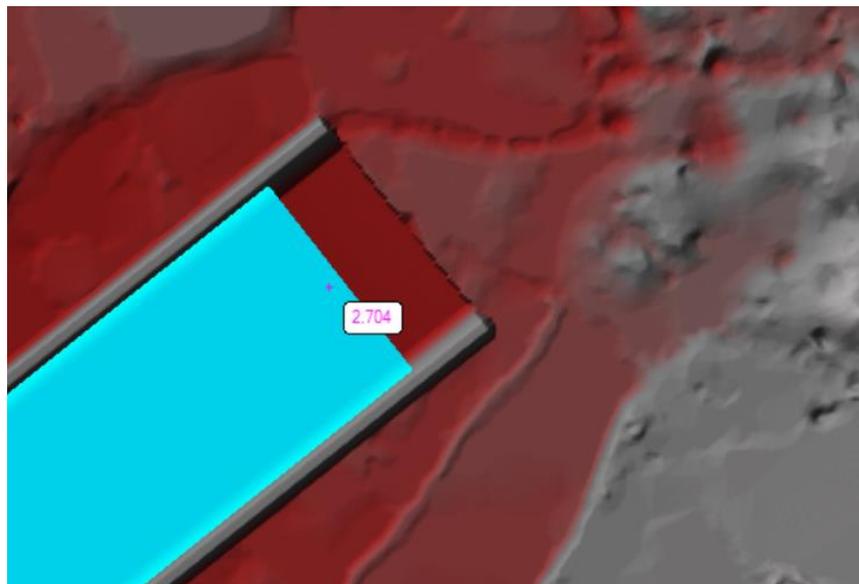


Figura 92: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.704 m para un periodo de retorno de 500 años

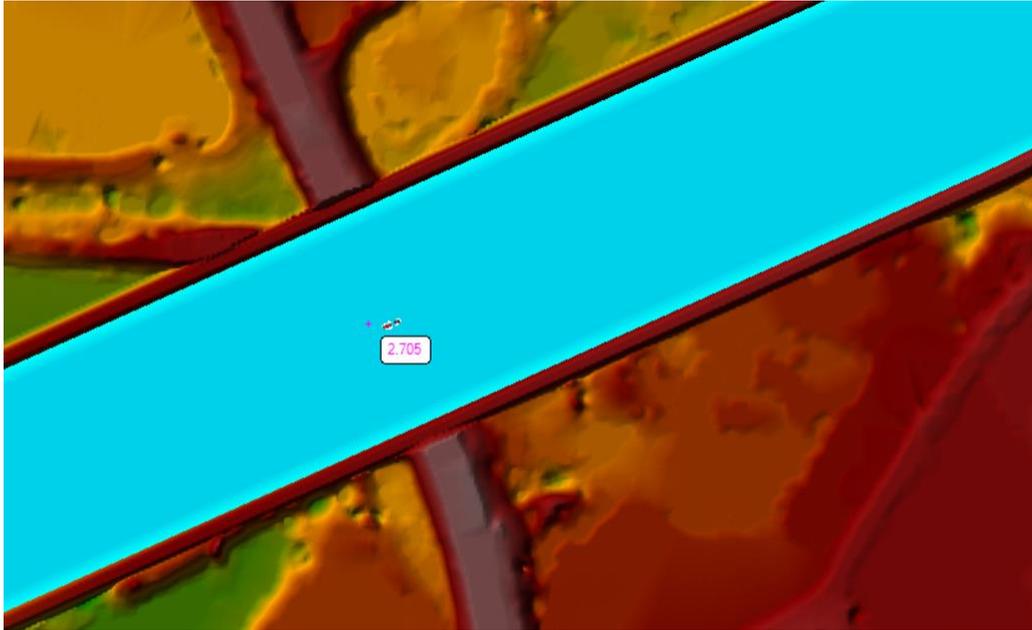


Figura 93: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 2.705 m para un periodo de retorno de 500 años

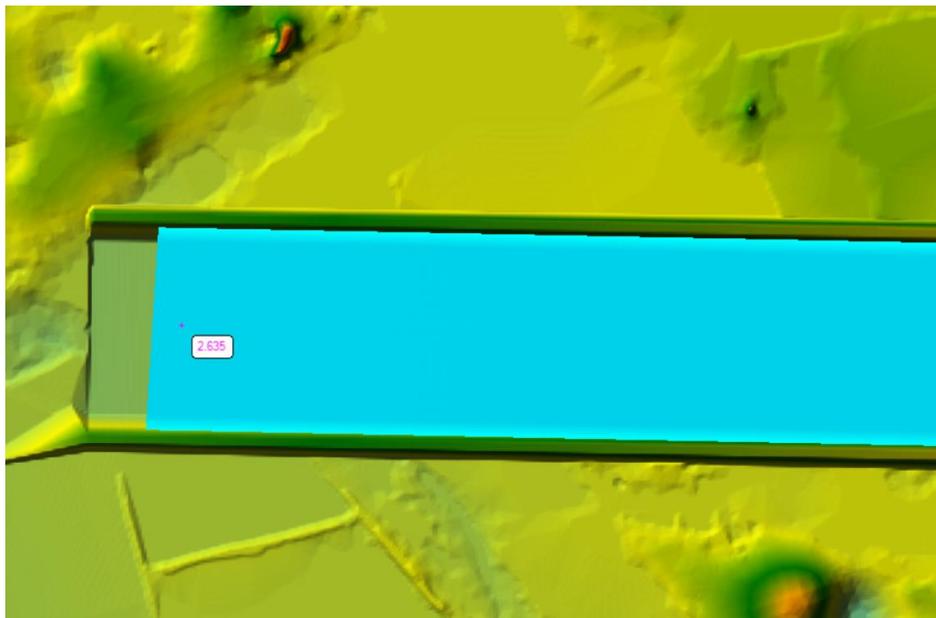


Figura 94: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.635 m para un periodo de retorno de 500 años

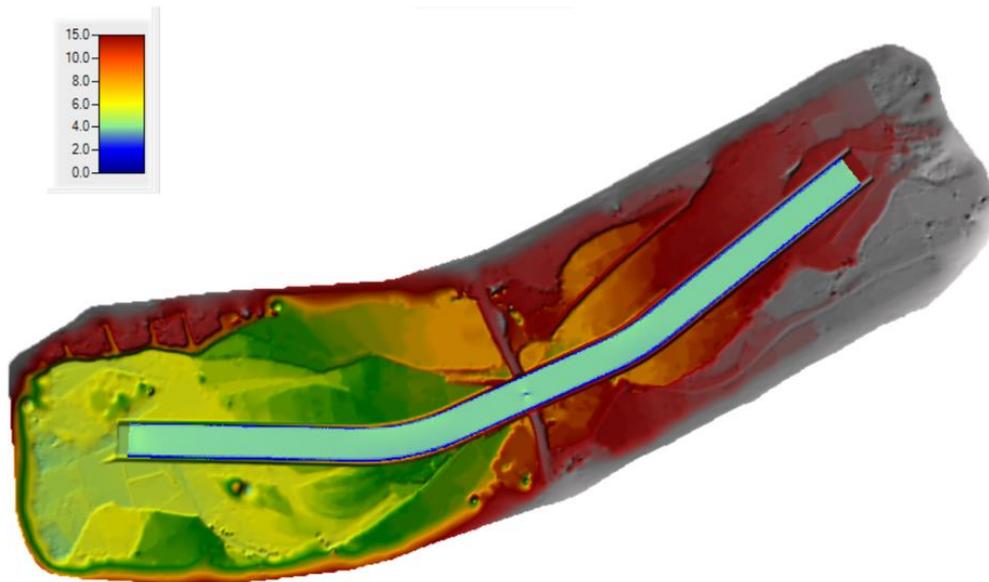


Figura 95: Modelo bidimensional con diques que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 500 años

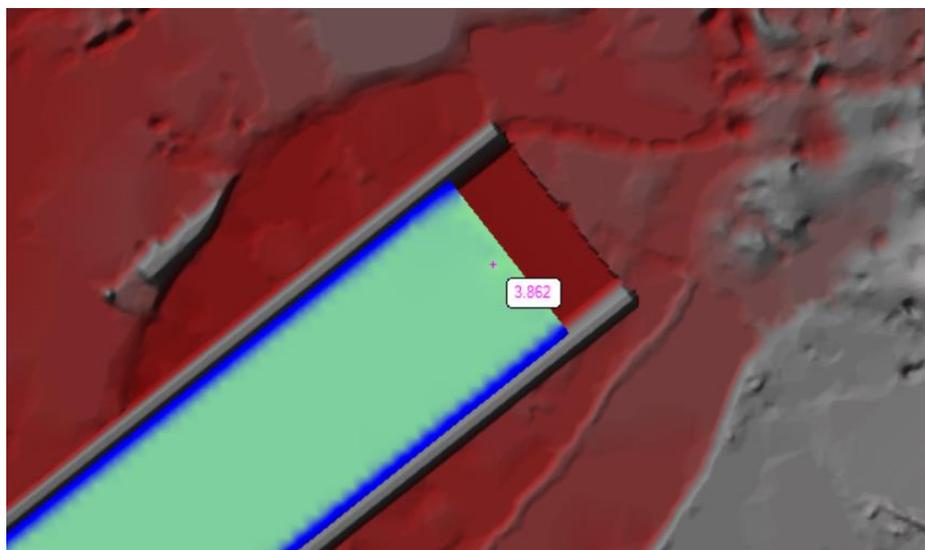


Figura 96: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.862 m/s para un periodo de retorno de 500 años

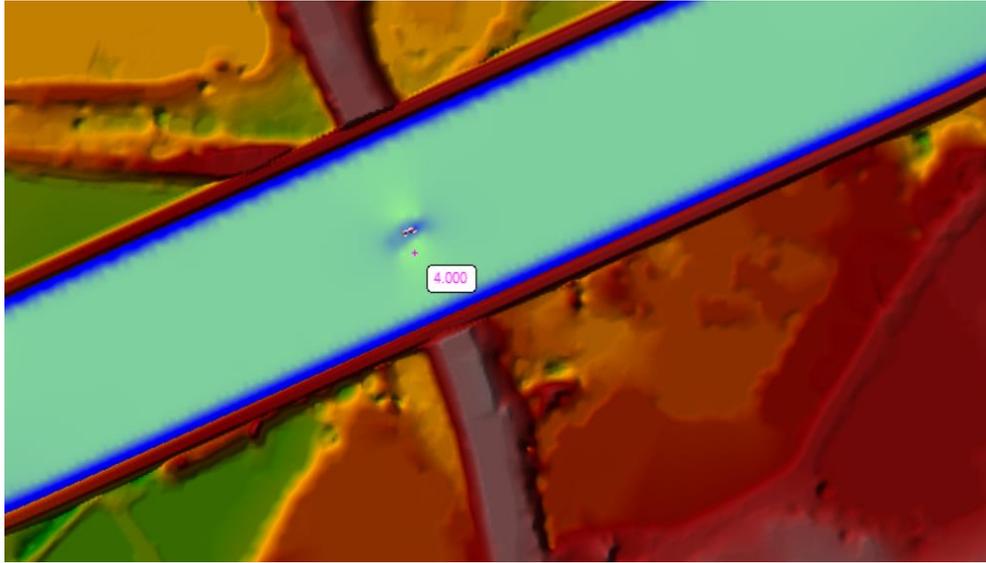


Figura 97: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.000 m/s para un periodo de retorno de 500 años

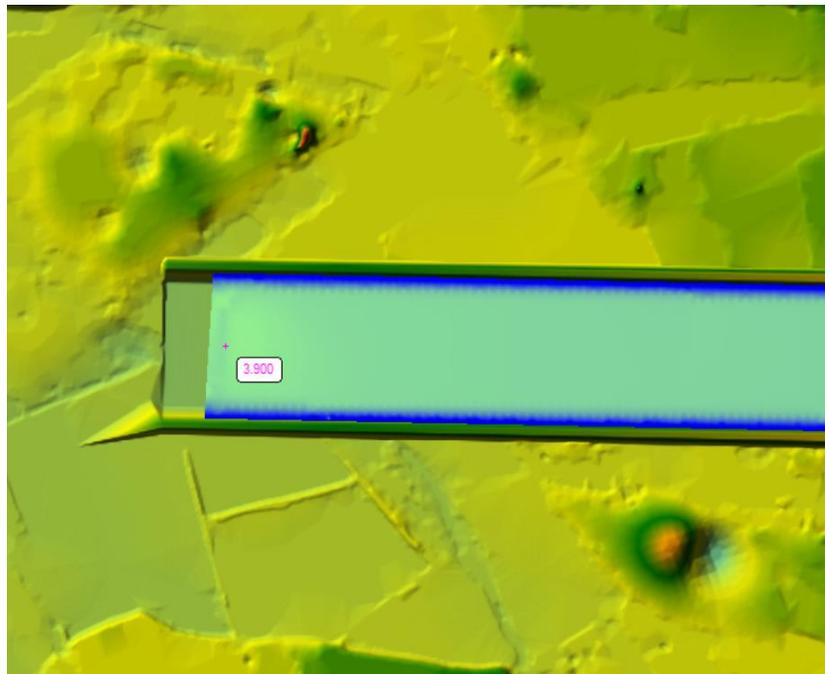


Figura 98: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.900 m/s para un periodo de retorno de 500 años

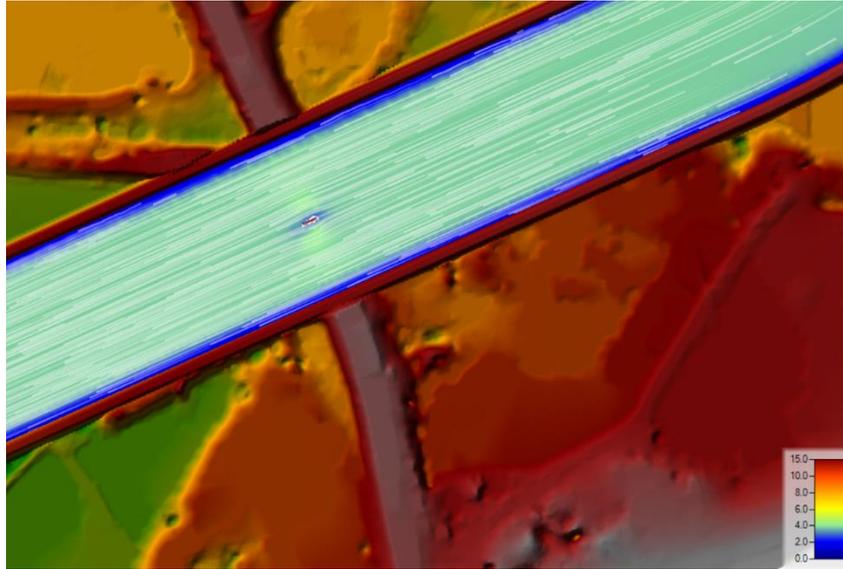


Figura 99: Flechas de velocidad estática y Rastreo de partículas en la sección del puente Chaman para un periodo de retorno de 500 años

4.4.2 Modelo Bidimensional IBER:

Para el modelamiento en el programa Iber, lo primero que haremos es preparar la data topografica que la tenemos como un archivo DEM. Luego haremos el segmentado del área del levantamiento topográfico para un mejor desarrollo del modelamiento, poder visualizar de forma más precisa y ordenada las secciones de ingreso y salida del cauce del rio, y tener bien definidas las áreas que se encuentren en el cauce del rio.

Definido el número de la malla, volvemos hacer los mismos pasos que en los que hicimos en hec- ras; le daremos las condiciones de borde en los datos de flujo, desde el margen aguas arriba de nuestra sección del rio. Aguas abajo se le coloca un normal deph con una pendiente de 0,005 y aguas arriba se aplica el hidrograma con los datos de la estación que habíamos escogido (estación LIVES) que cuenta con datos desde el año 1963 hasta el año 2018. Es necesario correr el programa con las fechas y horas en el formato de inglés- EE. UU para que no nos salgan datos de error.

Con todos los datos anteriores procedemos a correr programa con el caudal máximo que hemos hallado anteriormente para cada periodo de retorno (50,100 y 500 años).

No hay que olvidar que en medio del tramo de estudio hay un puente de 69,92 metros (Puente Chaman) que tiene un pilar de 0000m que afecta en las velocidades del cauce del rio ya que divide el flujo del rio en 2 direcciones, y que también debe estar presente en el modelamiento.

Ahora presentaremos el modelo bidimensional utilizando los siguientes periodos de retorno con modelo sin proyecto y con proyecto.

- Modelamiento 50 Años De Retorno:
 - Modelamiento 100 Años De Retorno:
 - Modelamiento 500 Años De Retorno:
-
- **Proceso de Malla de Calculo**

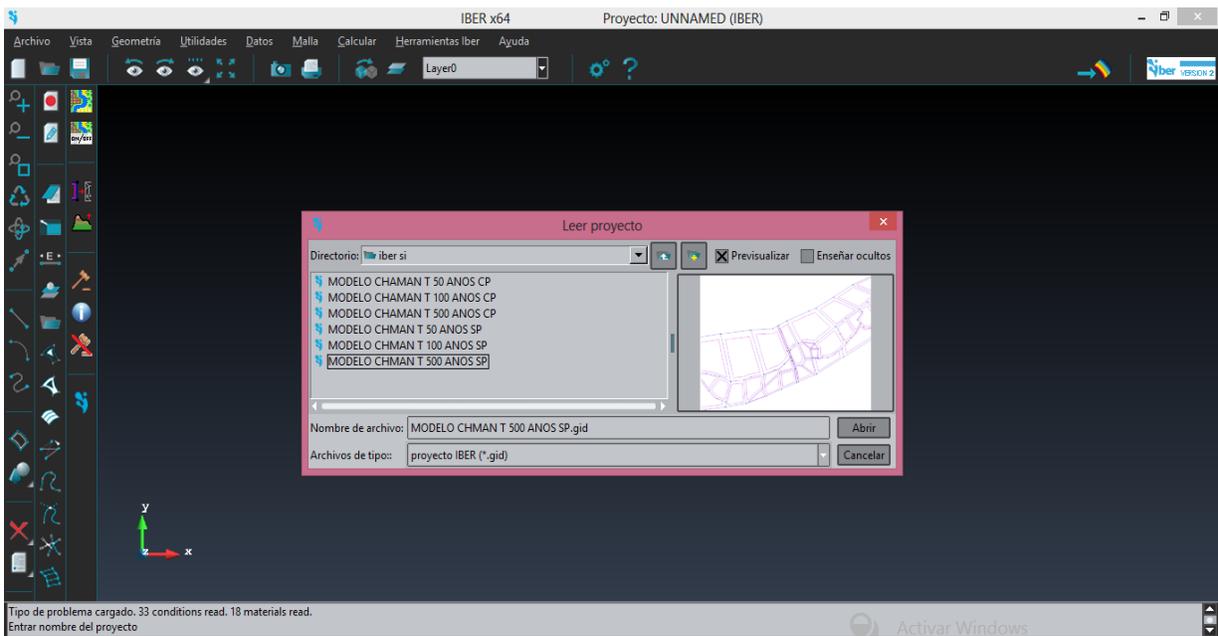


Figura 100: Selección del modelo contorneado en el programa AutoCAD Civil 3d

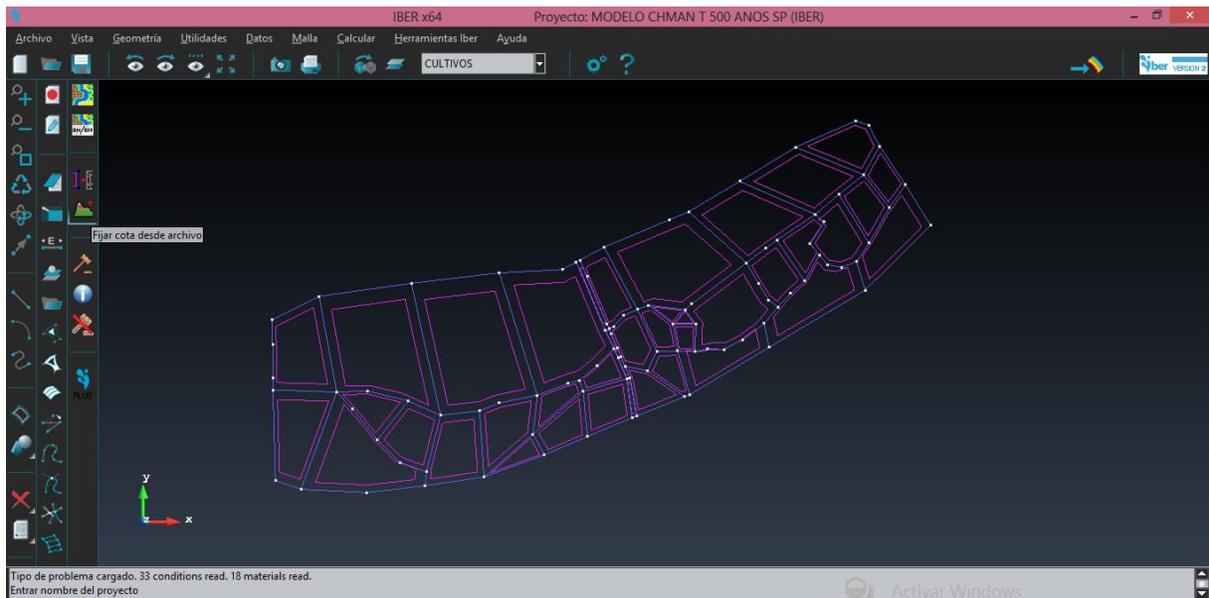


Figura 101: Modelo contorneado en el programa AutoCAD Civil3d

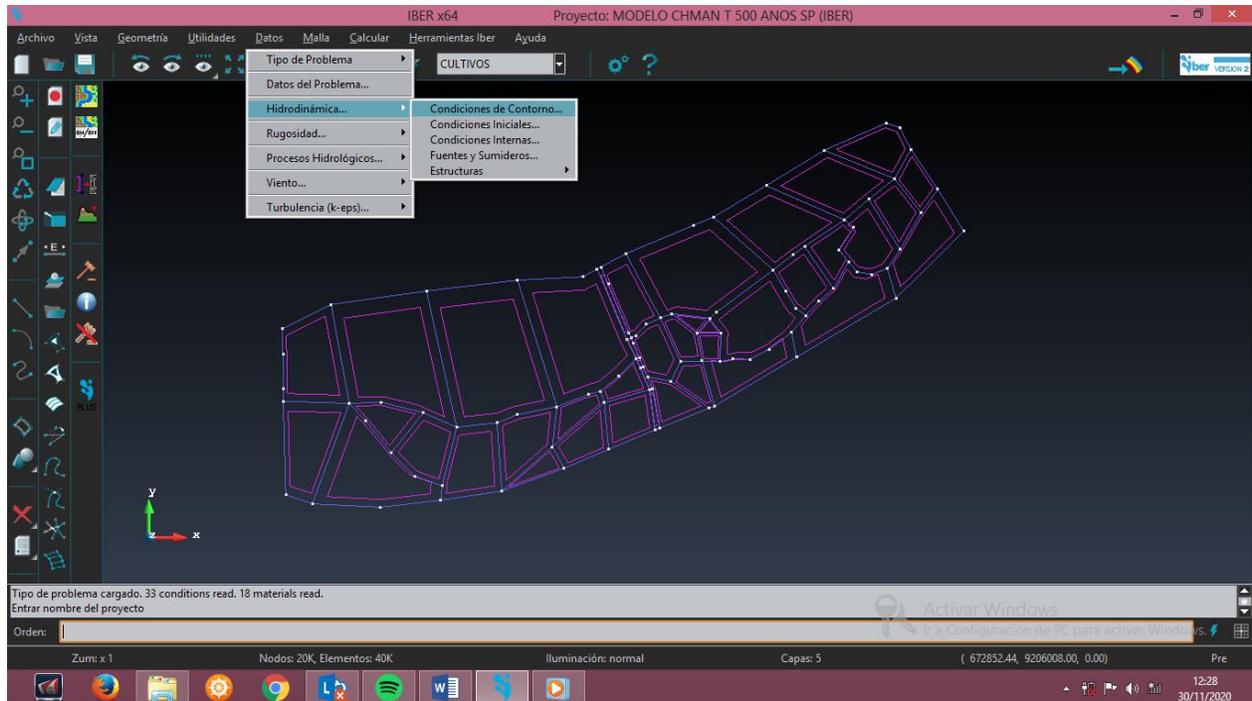


Figura 102: Asignación de condiciones de contorno

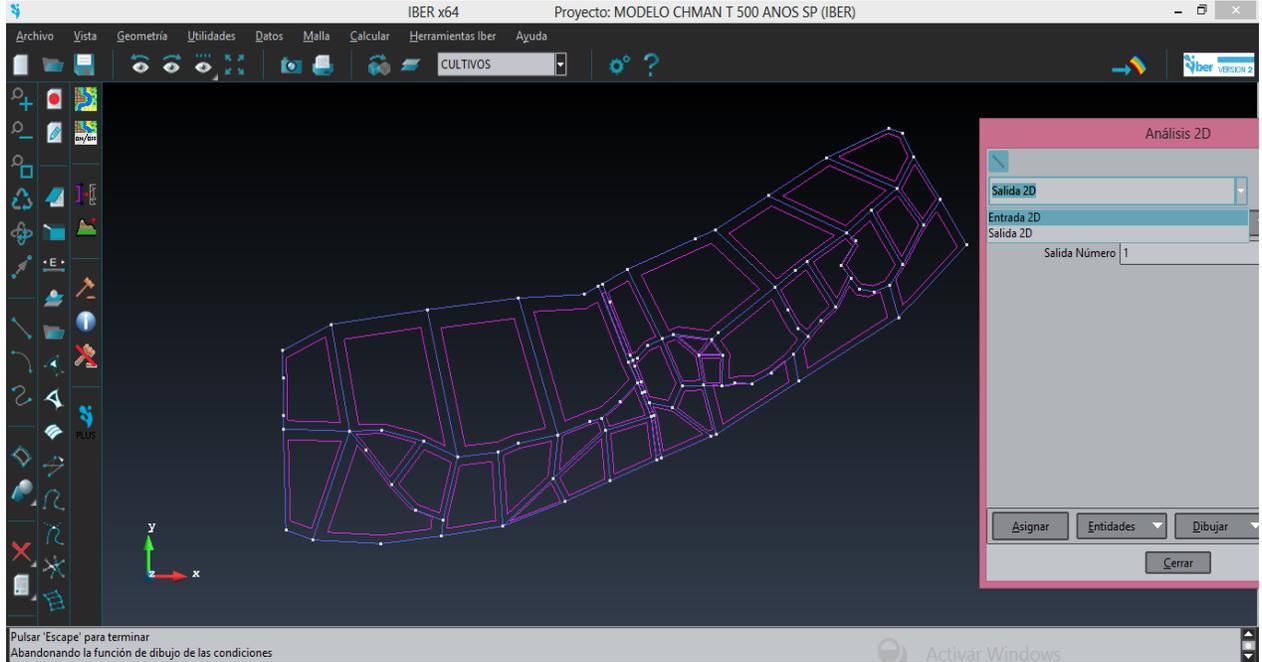


Figura 103: Asignación de condiciones de entrada y salida del agua según el flujo del río

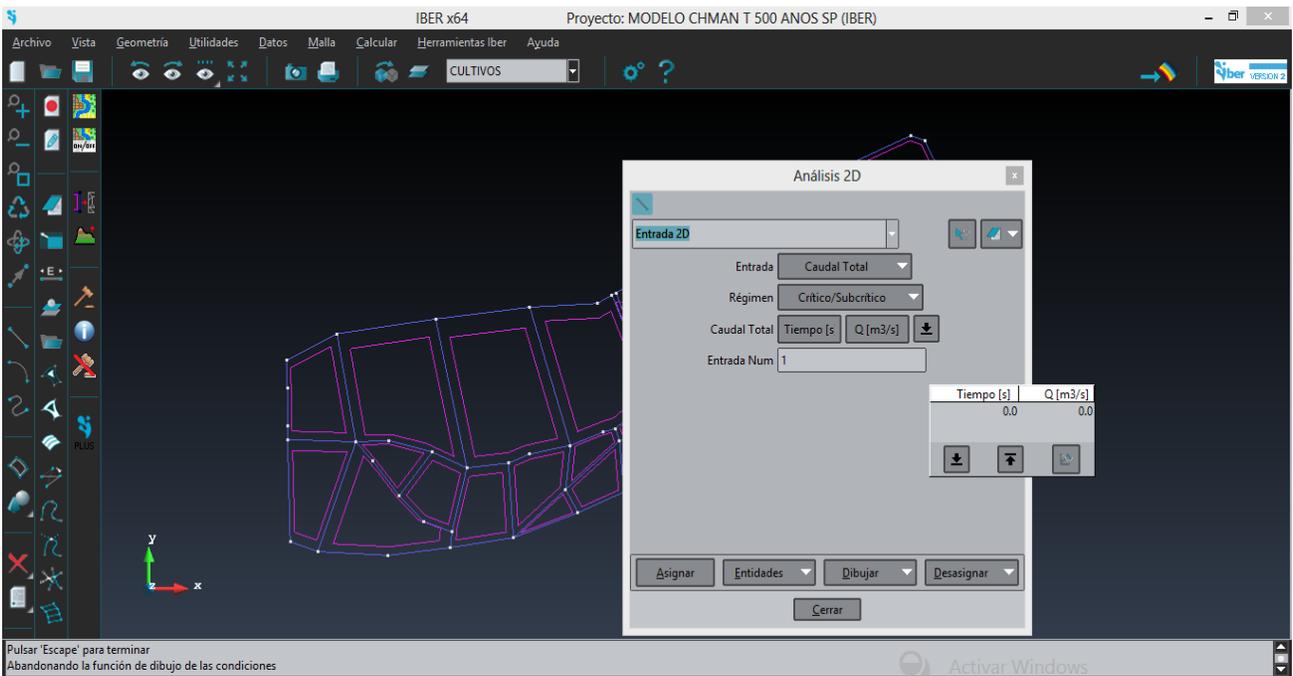


Figura 104: Asignación del caudal máximo (Q_{max}) correspondiente al año de retorno en la condición de entrada

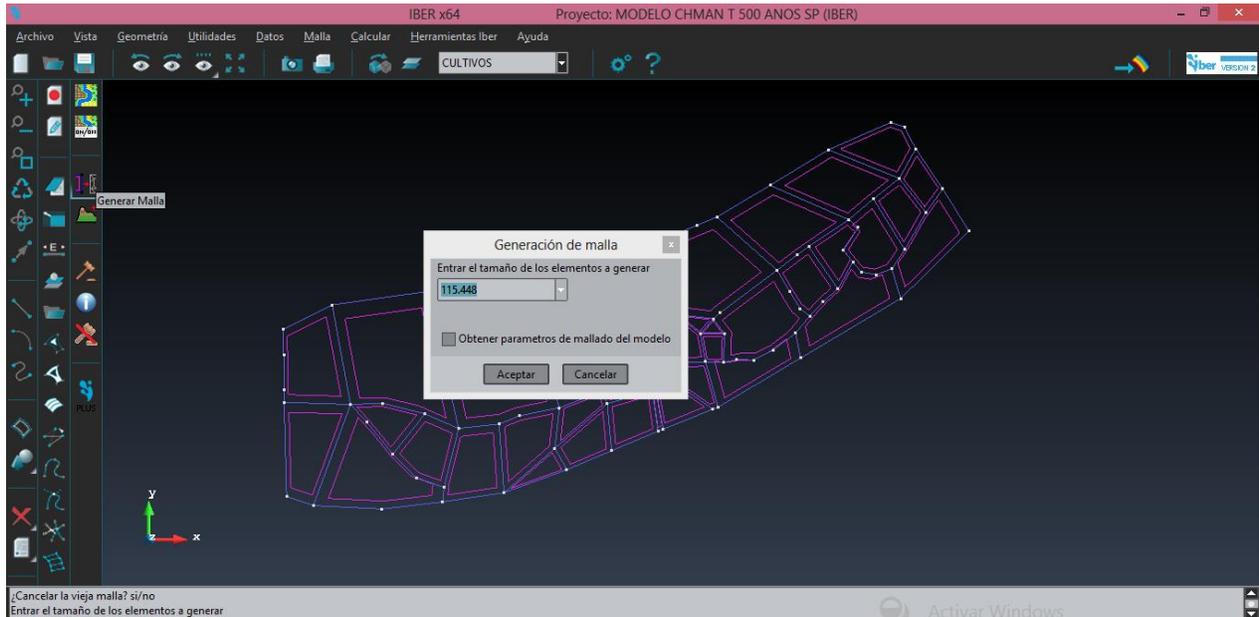


Figura 105: Generación de malla con el tamaño de entrada de 115.448

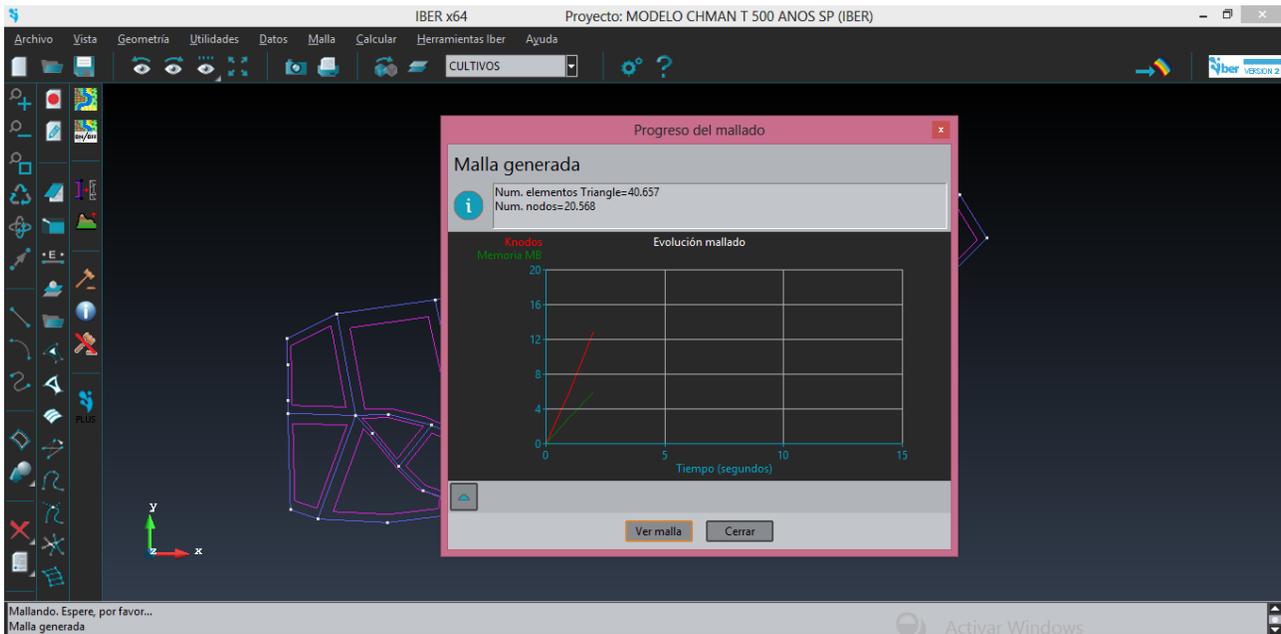


Figura 106: Proceso de generación de la malla

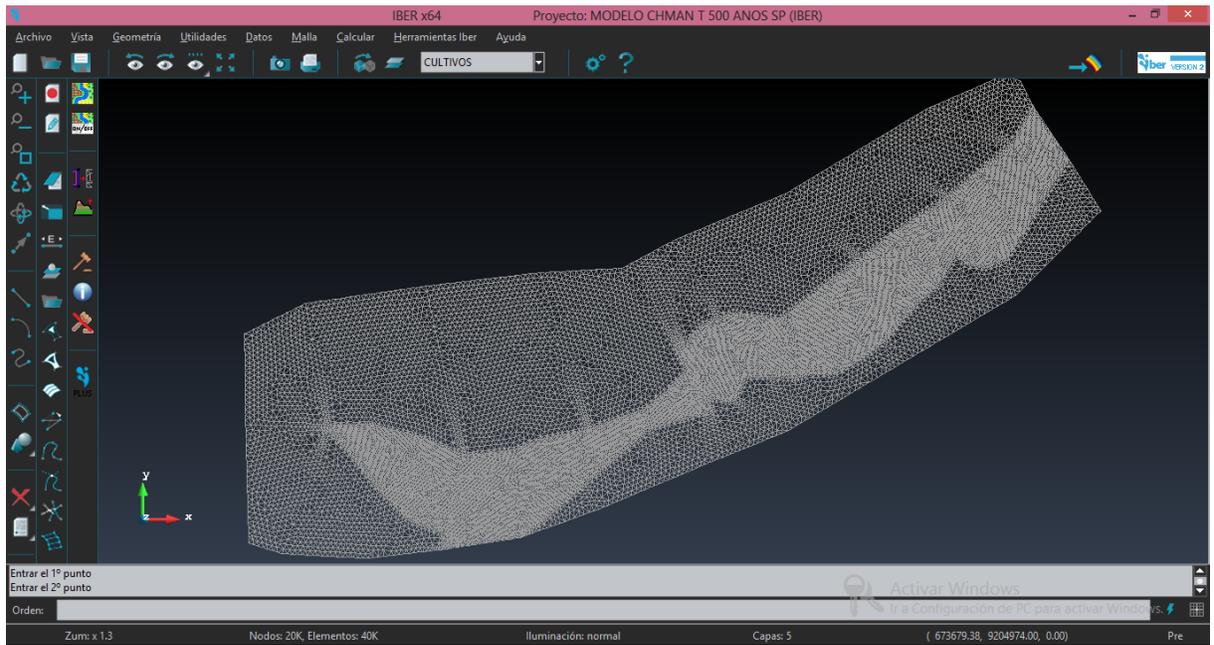


Figura 107: Malla generada con las condiciones de contorno antes mencionadas

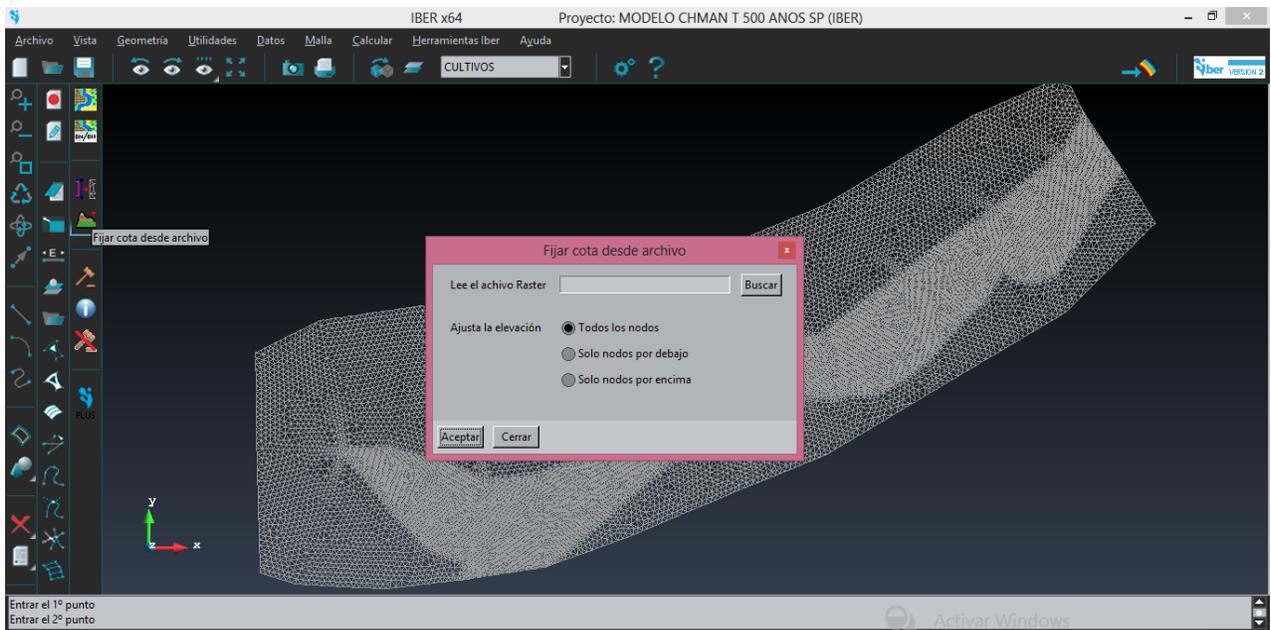


Figura 108: Fijación de cota (subimos topografía del terreno)

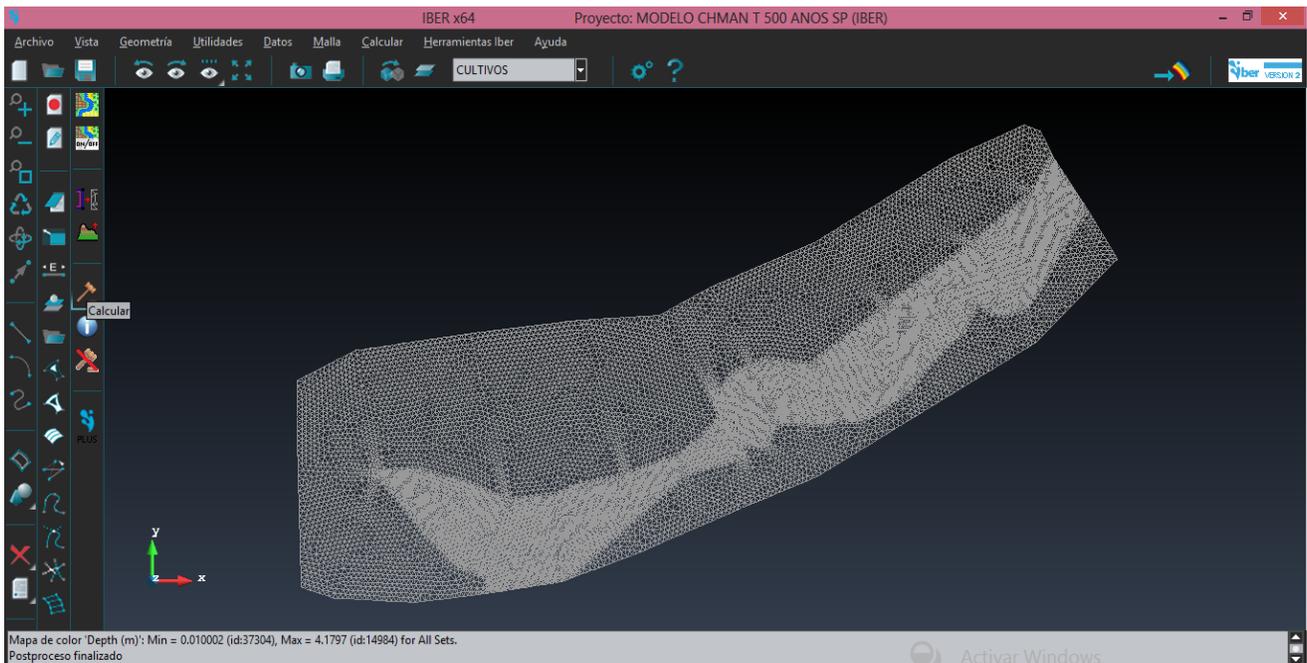


Figura 109: Cálculo del Post Proceso

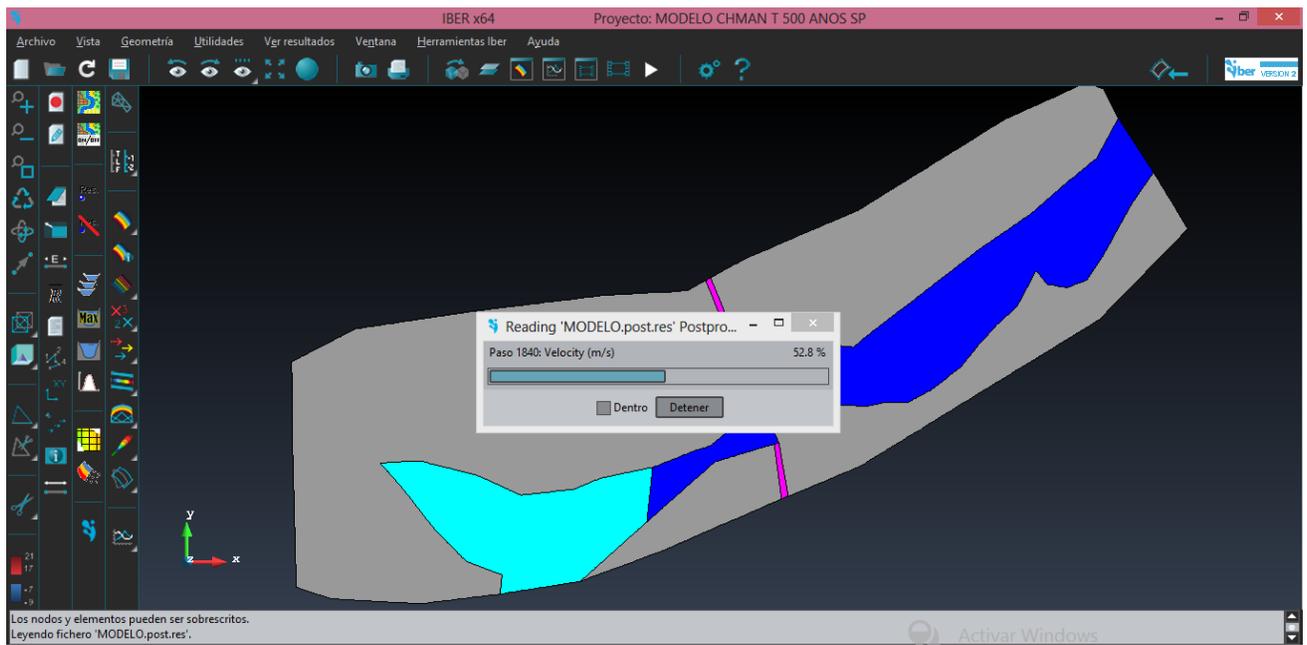


Figura 110: Procesamiento del modelo

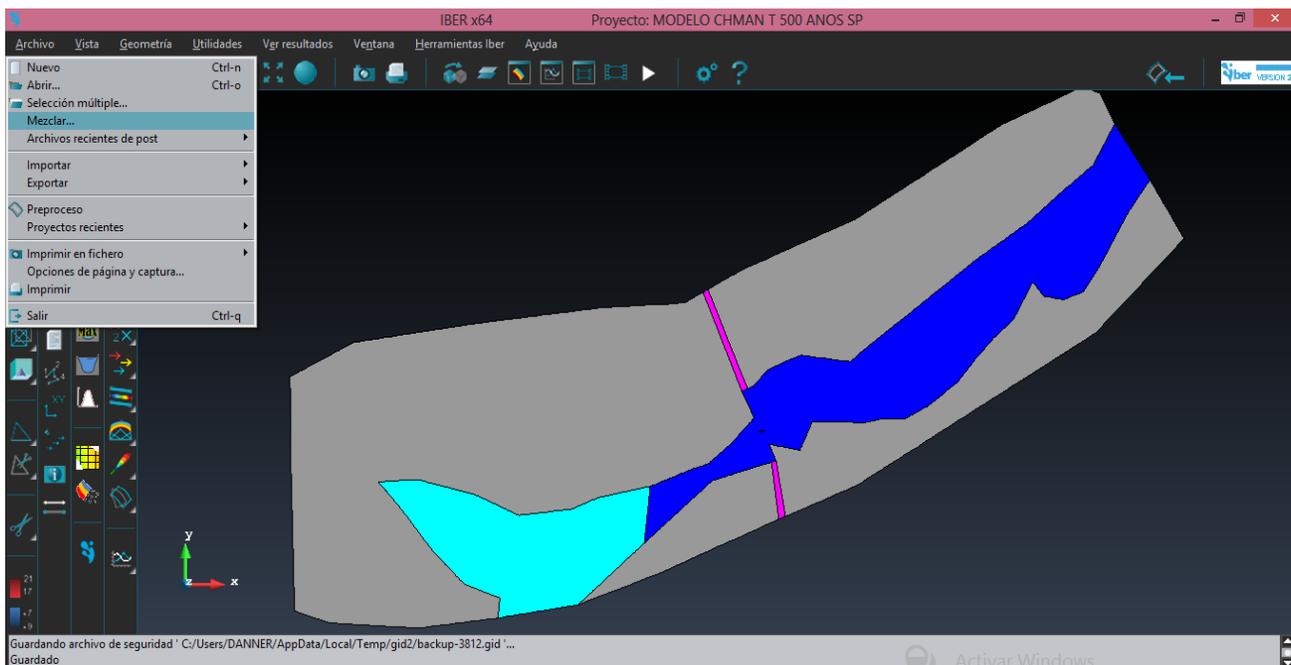


Figura 111: Función mezclar

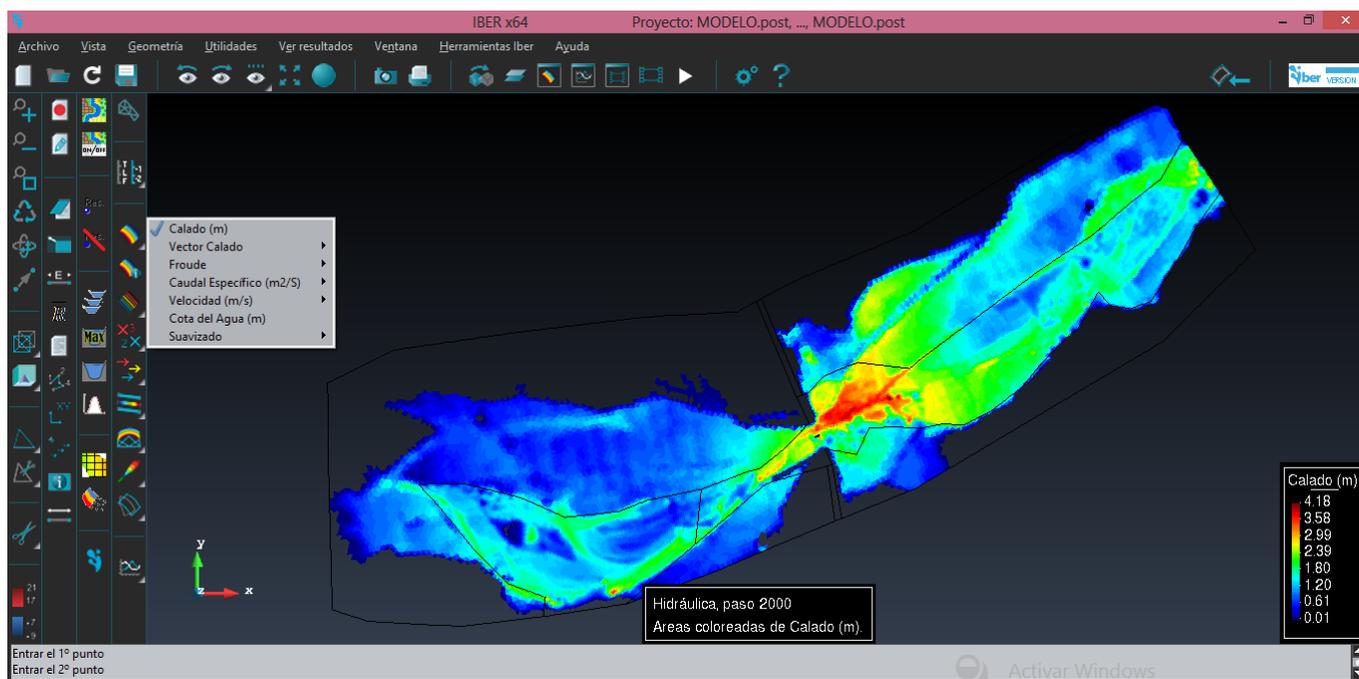


Figura 112: Visualización de variables hidráulicas en áreas coloreadas

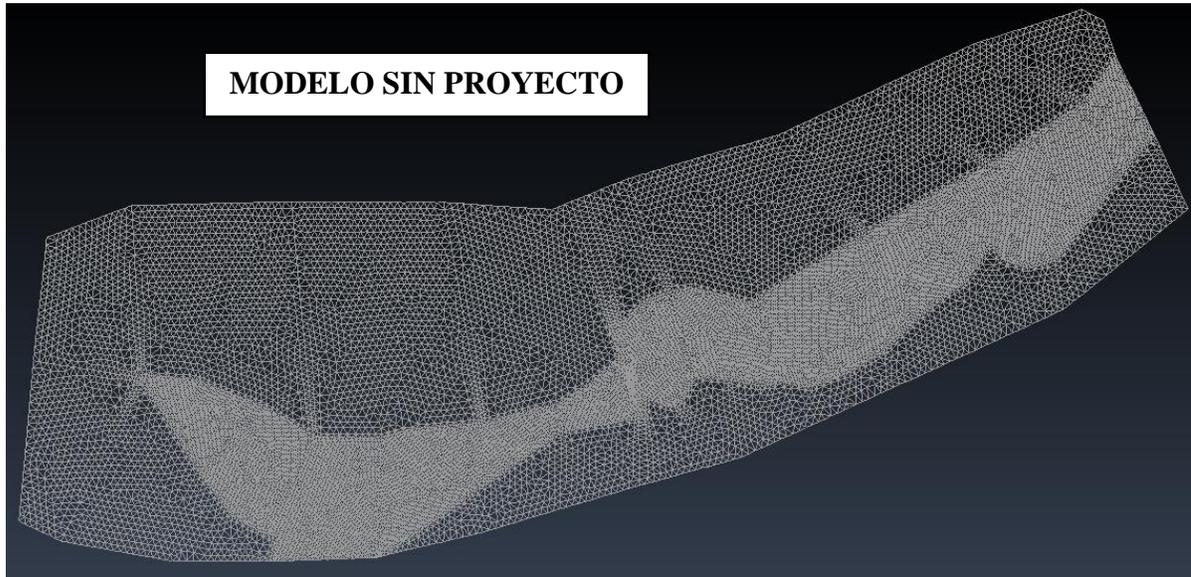


Figura 113: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional en el cauce del río Chaman

- **PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.**

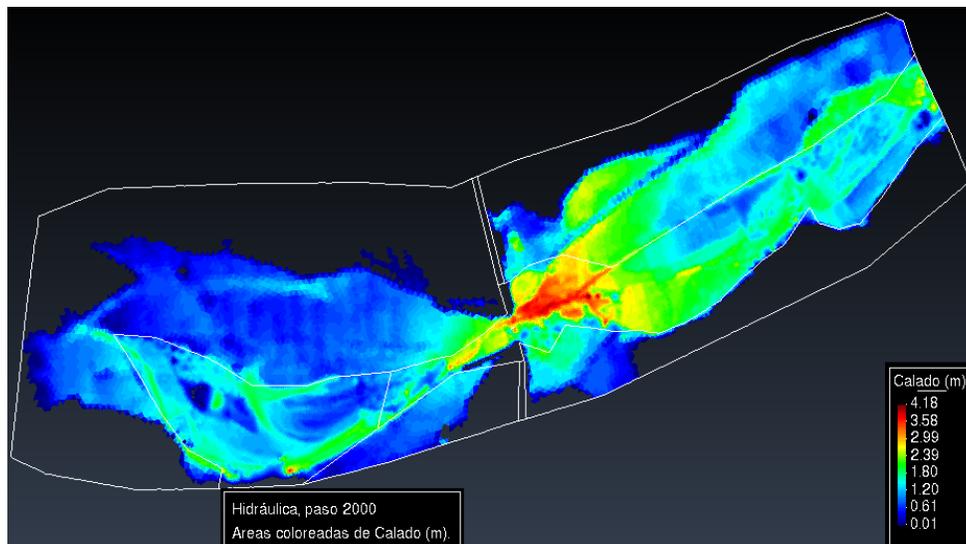


Figura 114: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 50 años

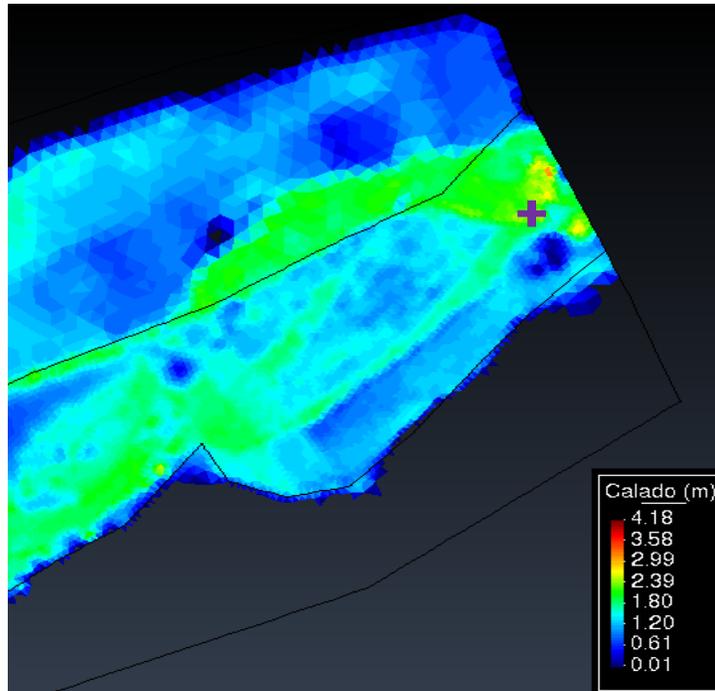


Figura 115: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.15 m para un periodo de retorno de 50 años

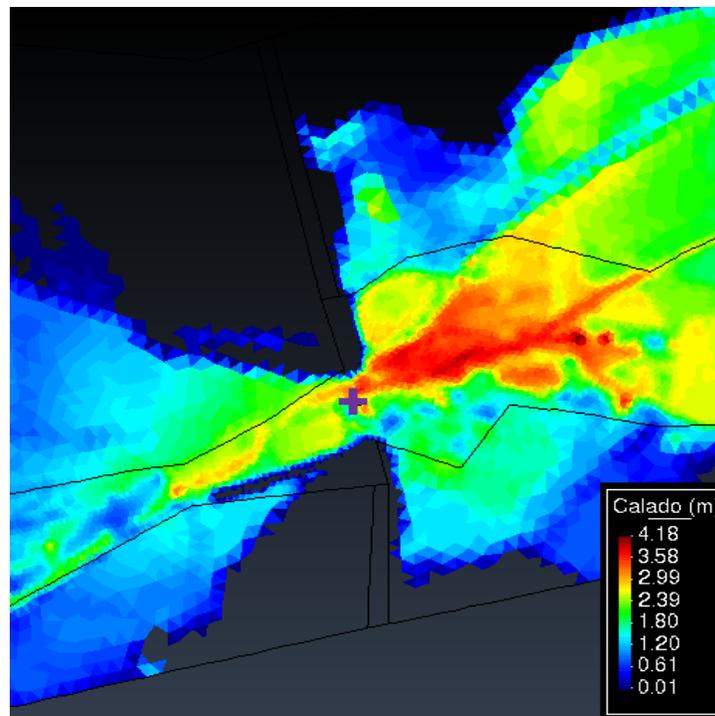


Figura 116: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.36 m para un periodo de 50 años de retorno

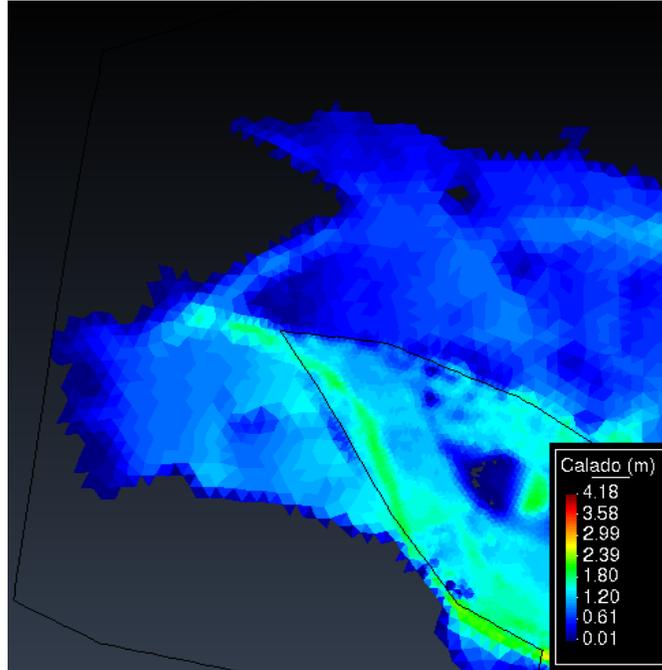


Figura 117: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.02 m para un periodo de retorno de 50 años

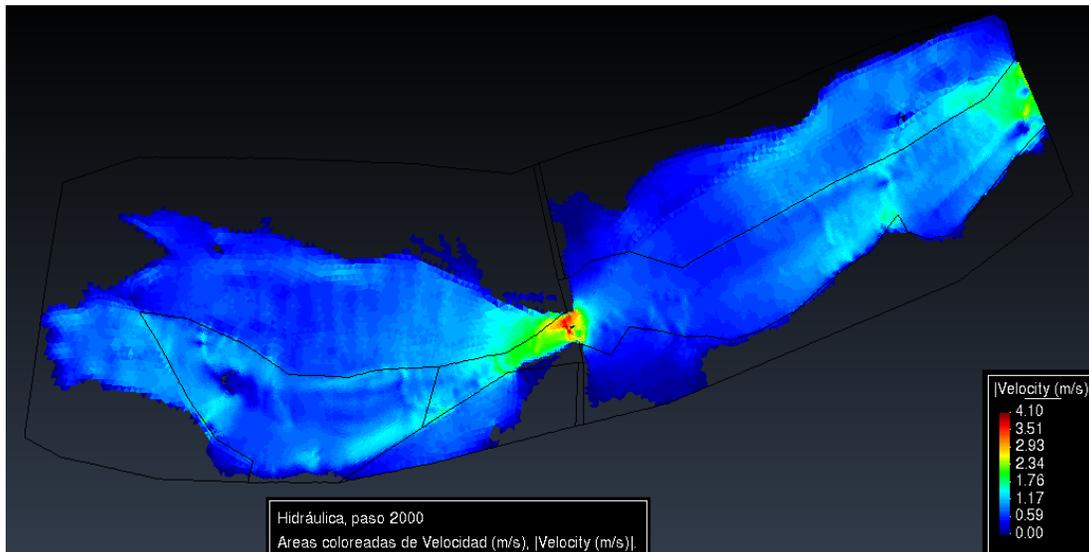


Figura 118: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 50 años

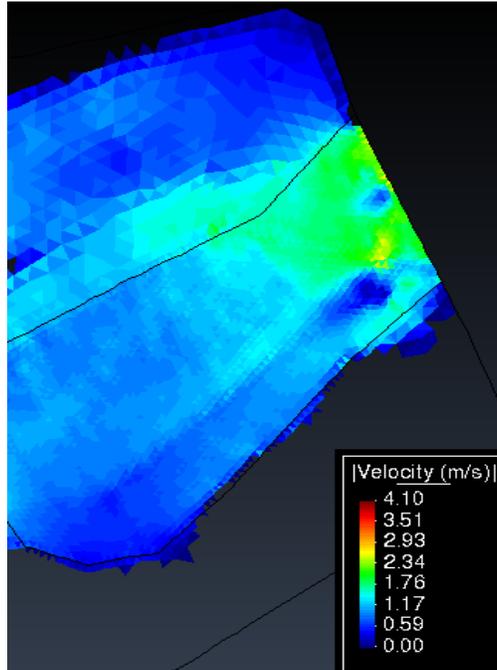


Figura 119: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 1.84 m/s para un periodo de retorno de 50 años

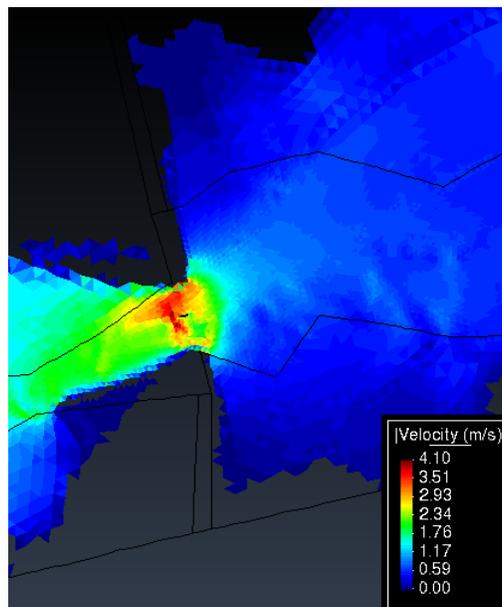


Figura 120: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.95 m/s para un periodo de retorno de 50 años

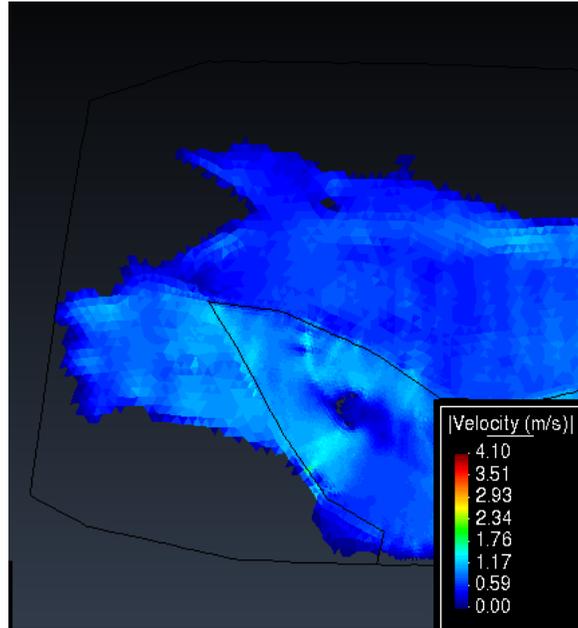


Figura 121: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.14 m/s para un periodo de retorno de 50 años

- **PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS**

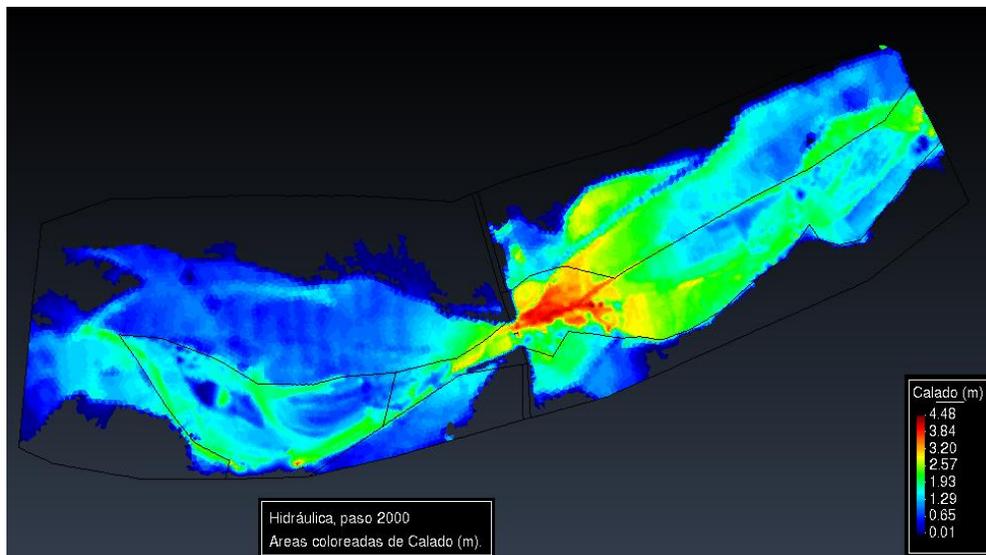


Figura 122: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 100 años

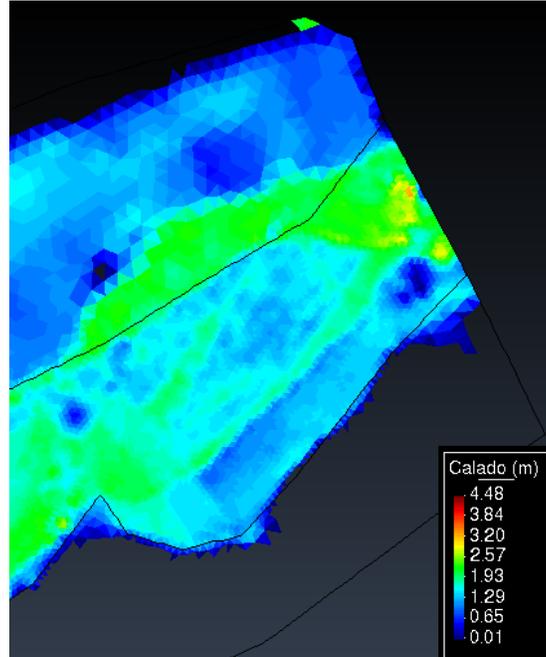


Figura 123: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.16 m para un periodo de retorno de 100 años

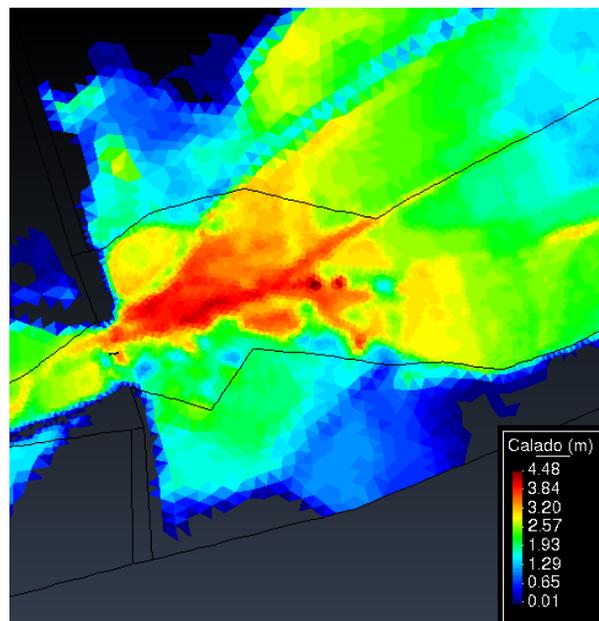


Figura 124: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 3.38 m para un periodo de retorno de 100 años

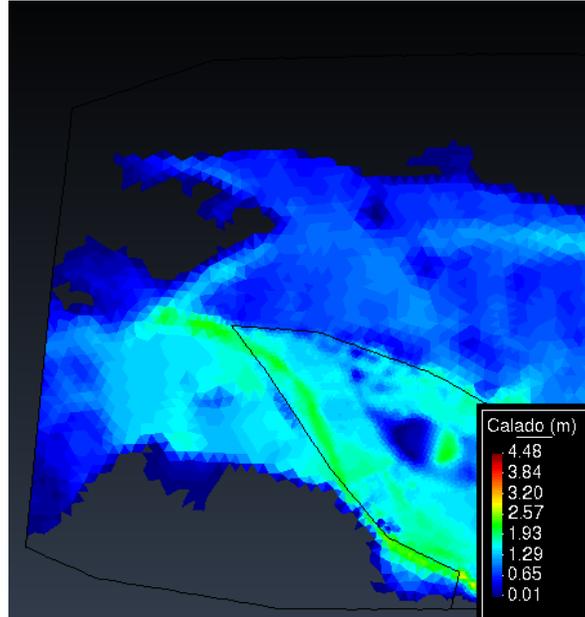


Figura 125: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.05 m para un periodo de retorno de 100 años

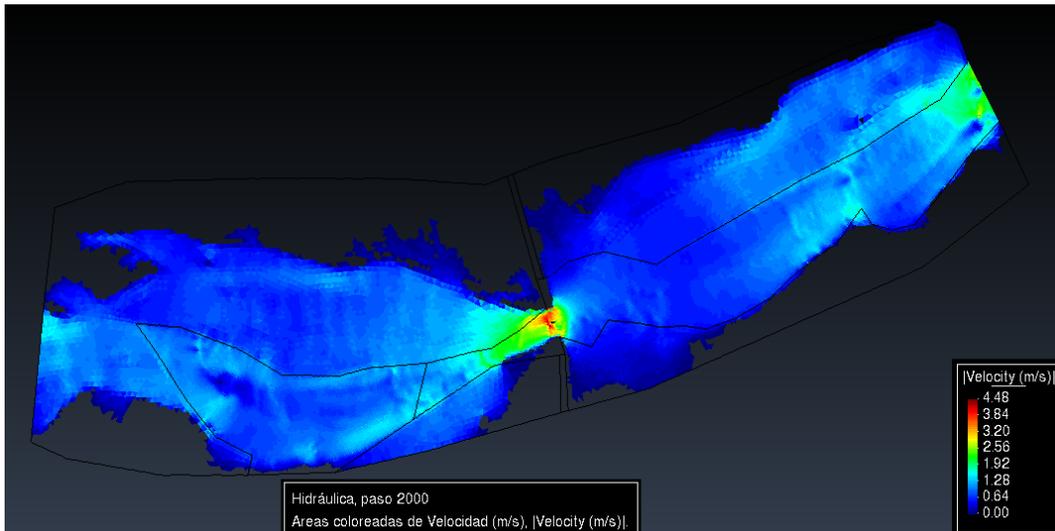


Figura 126: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 100 años

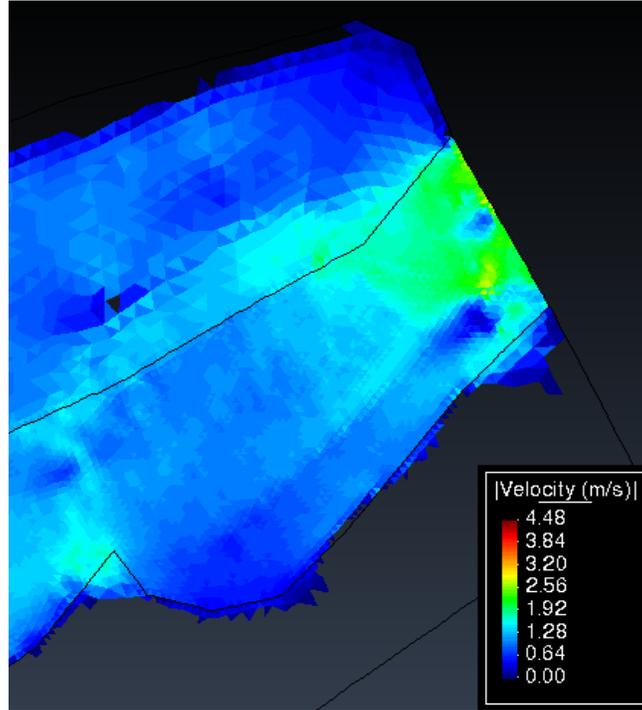


Figura 127: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.24 m/s para un periodo de retorno de 100 años

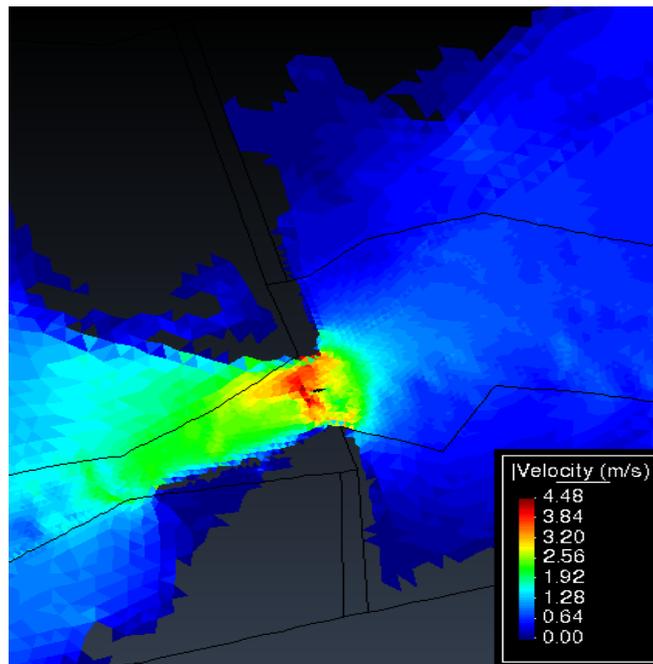


Figura 128: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.76 m/s para un periodo de retorno de 100 años

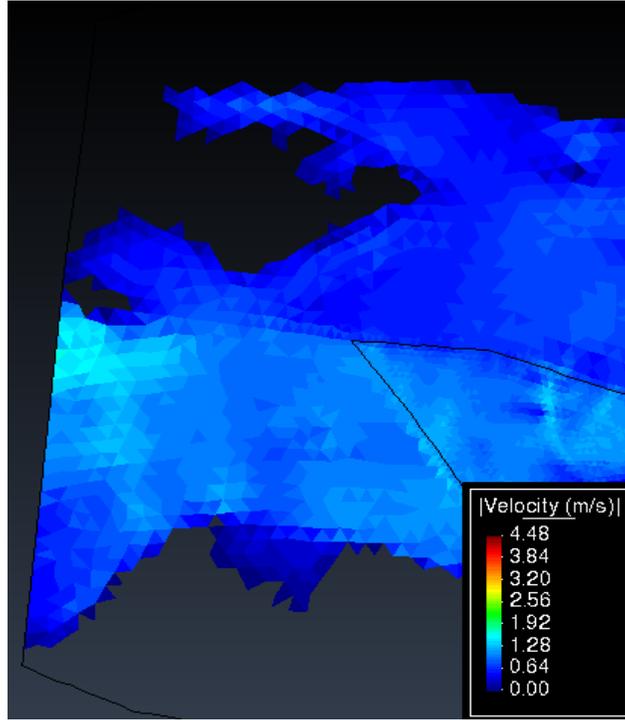


Figura 129: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.65 m/s para un periodo de retorno de 100 años

- **PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS**

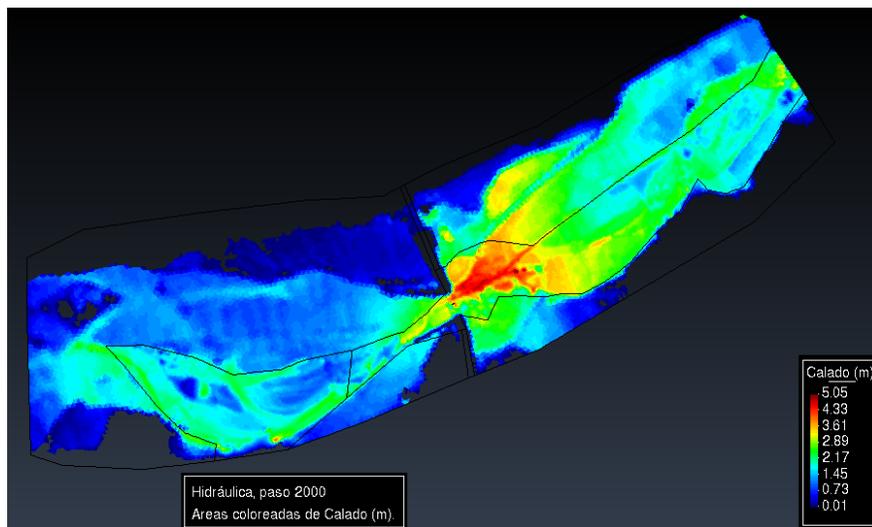


Figura 130: Modelo bidimensional que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 500 años

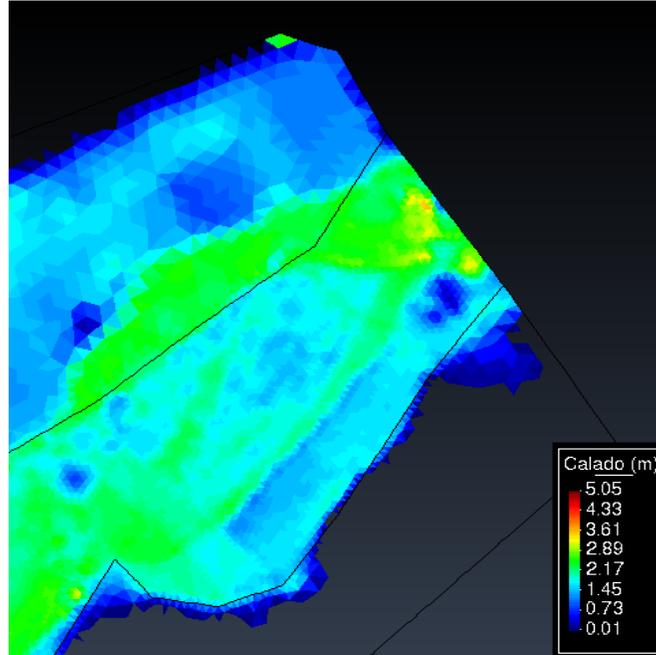


Figura 131: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.42 m para un periodo de retorno de 500 años

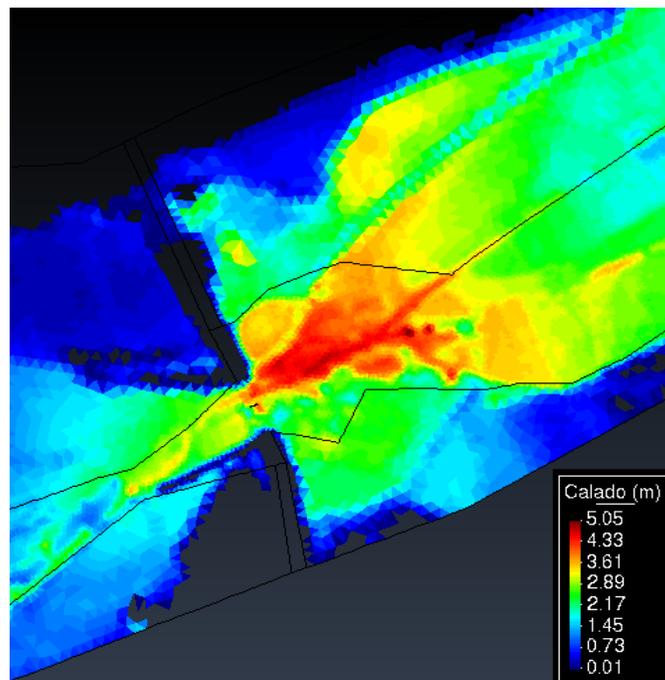


Figura 132: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 4.05 m para un periodo de retorno de 500 años

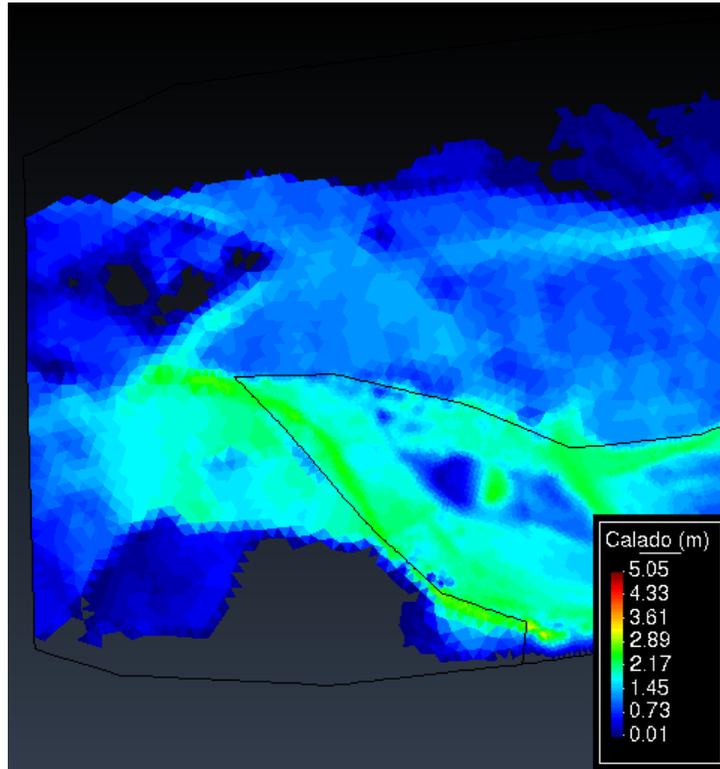


Figura 133: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.63 m para un periodo de retorno de 500 años

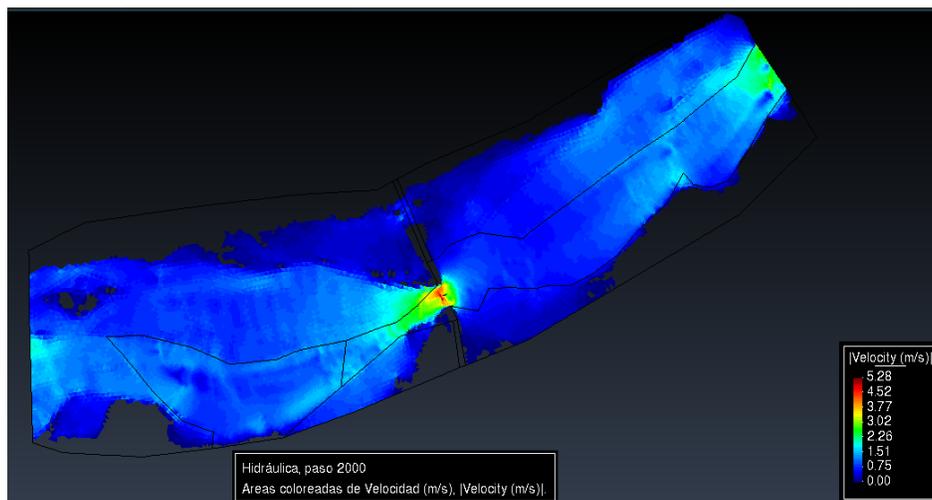


Figura 134: Modelo bidimensional que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 500 años

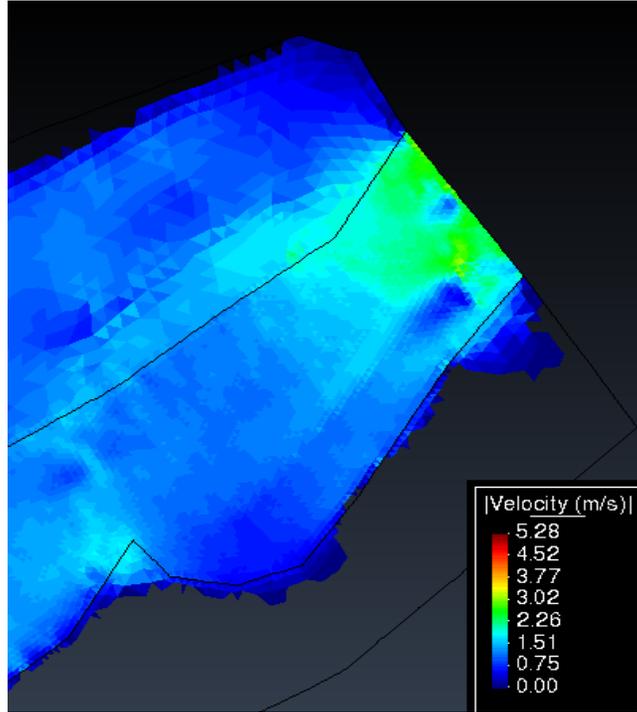


Figura 135: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 2.44 m/s para un periodo de retorno de 500 años

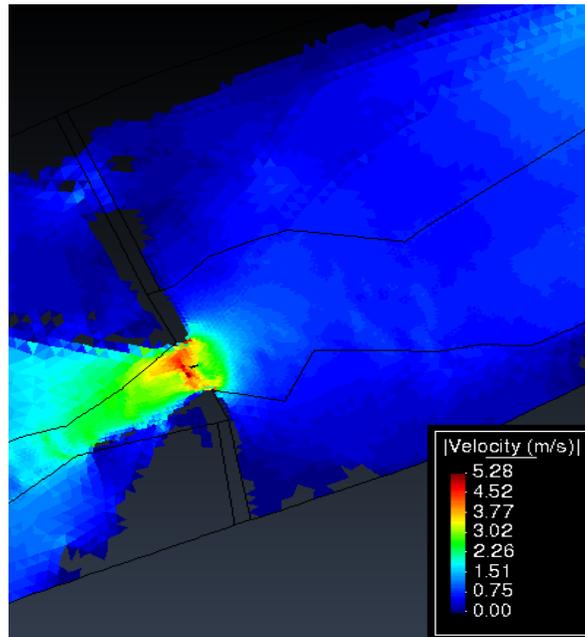


Figura 136: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 4.98 m/s para un periodo de retorno de 500 años

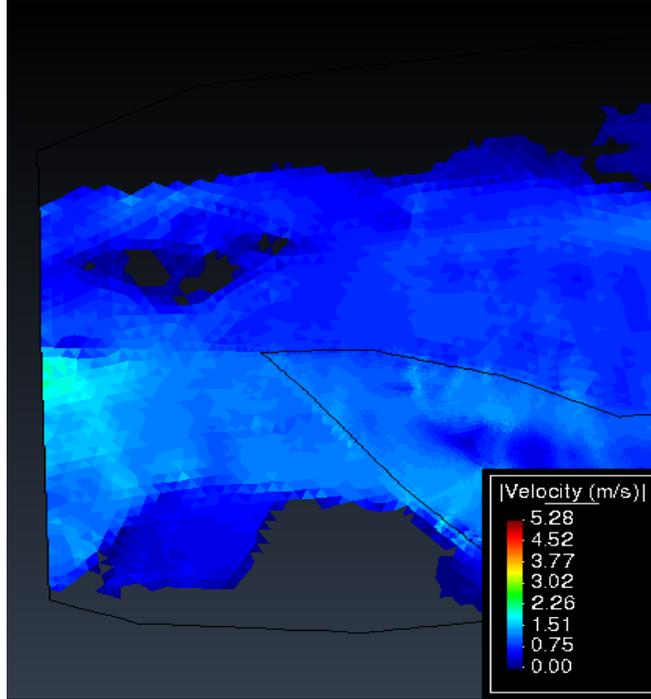


Figura 137: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 1.58 m/s para un periodo de retorno de 500 años

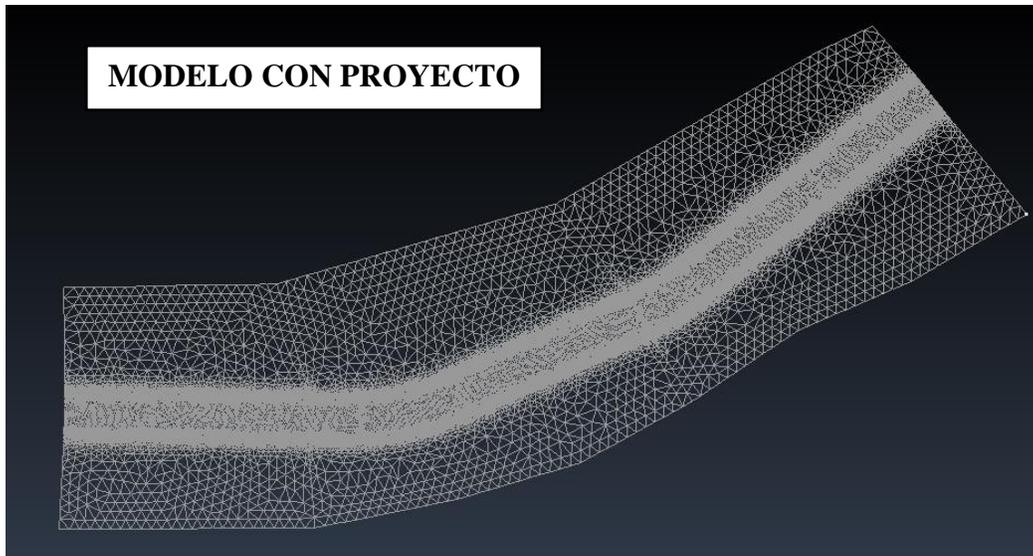


Figura 138: Modelo digital del terreno para el proceso bidimensional con diques en el cauce del rio Chaman

- PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS

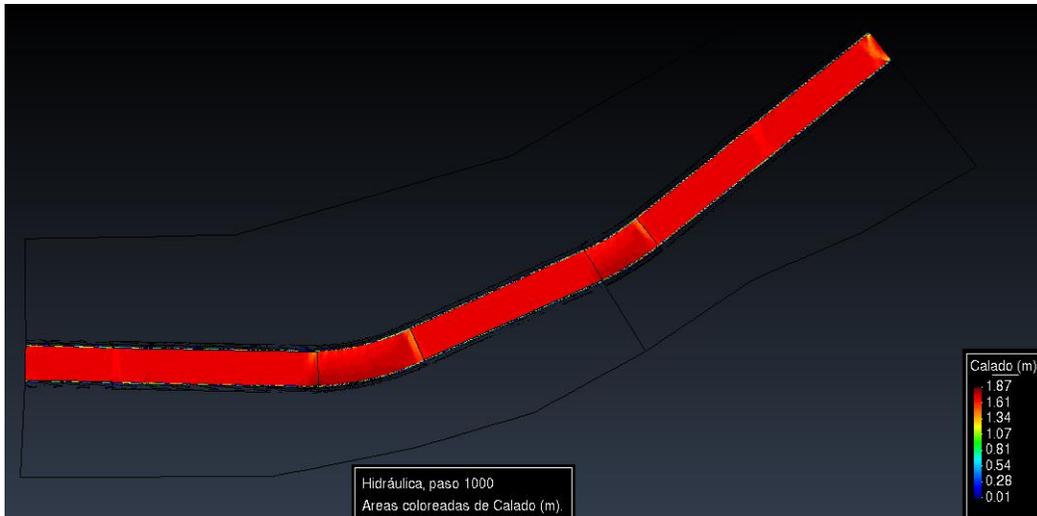


Figura 139: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 50 años

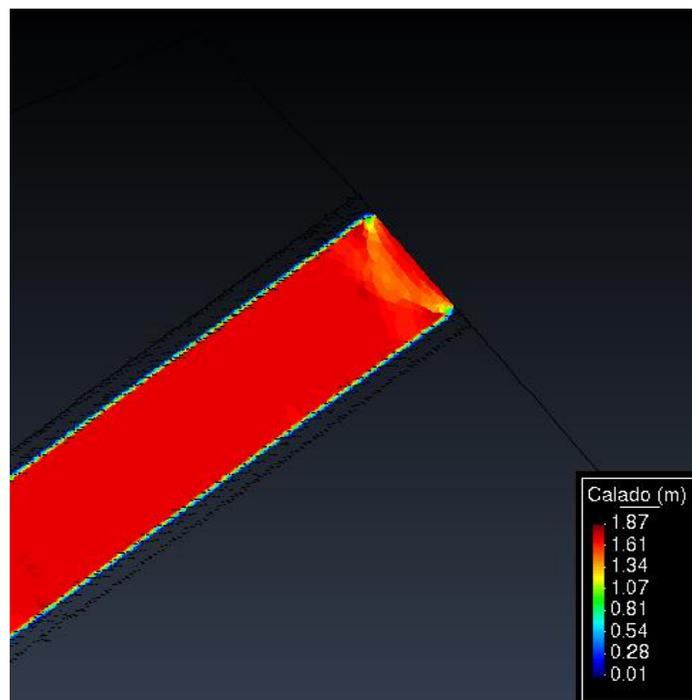


Figura 140: Calado máximo a la entrada del modelo es de 1.68 m para un periodo de retorno de 50 años

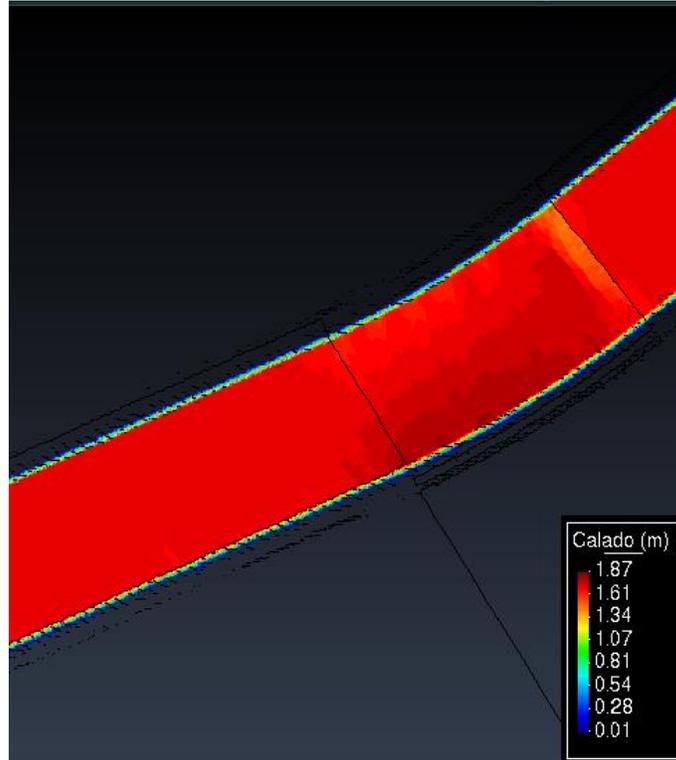


Figura 141: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 1.85 m para un periodo de retorno de 50 años

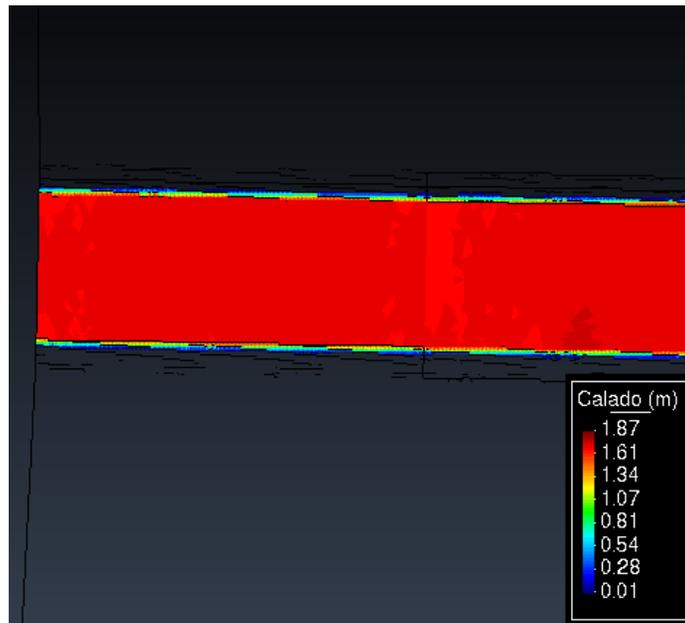


Figura 142: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.73 m para un periodo de retorno de 50 años

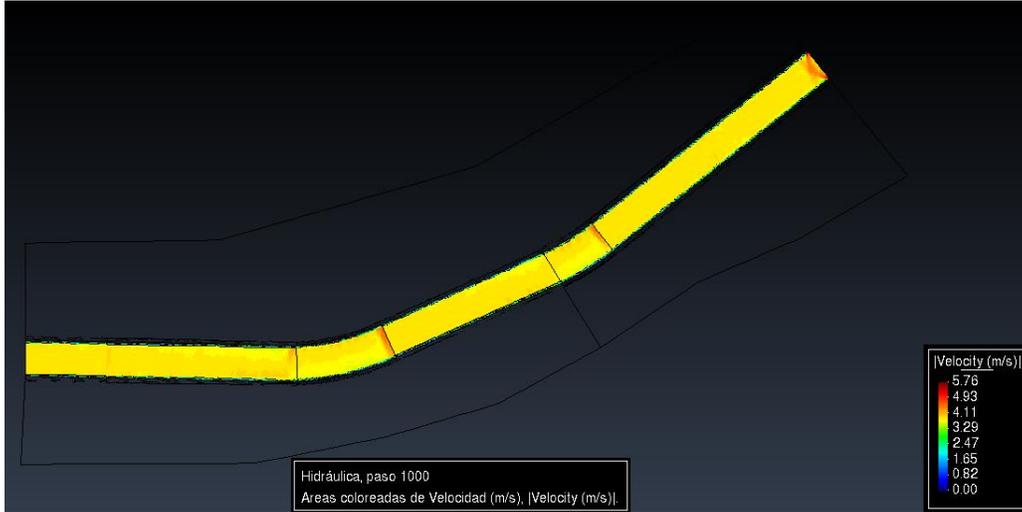


Figura 143: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del rio Chaman para un periodo de retorno de 50 años

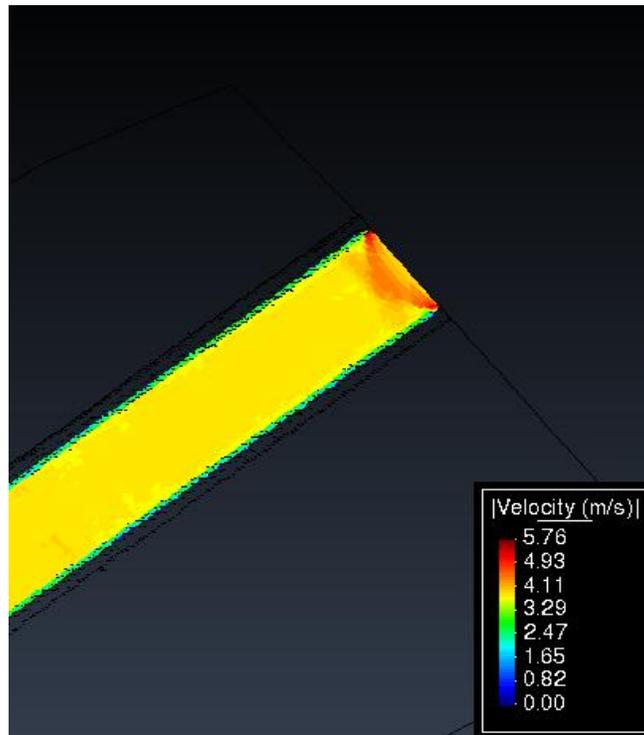


Figura 144: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 3.55 m/s para un periodo de retorno de 50 años

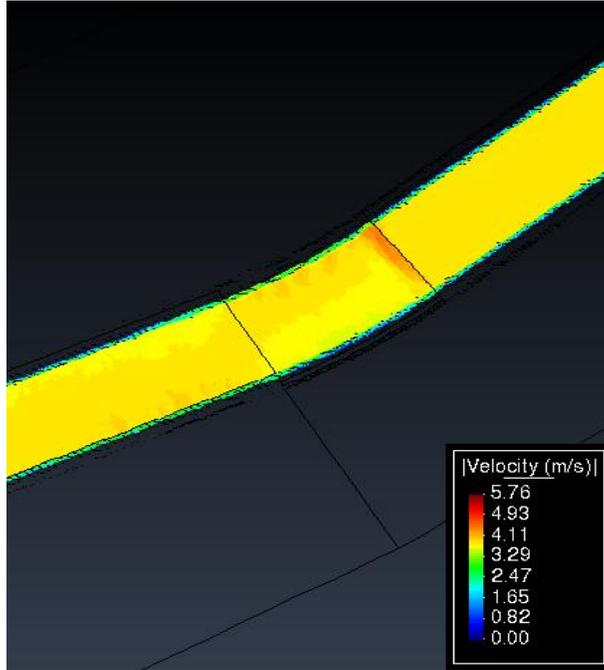


Figura 145: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.46 m/s para un periodo de retorno de 50 años

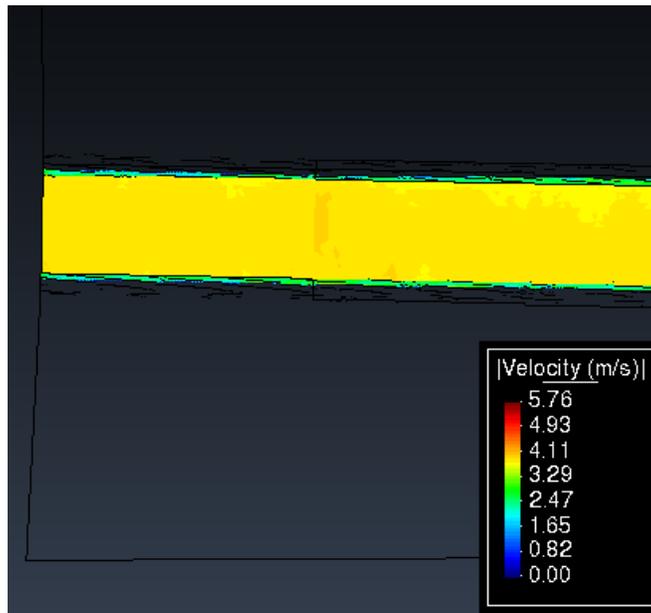


Figura 146: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.48 m/s para un periodo de retorno de 50 años

- PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS



Figura 147: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 100 años

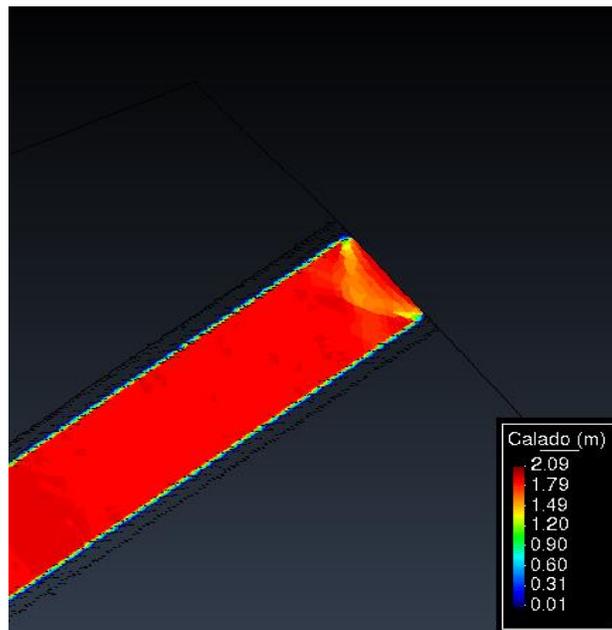


Figura 148: Calado máximo a la entrada del modelo es de 1.78 m para un periodo de retorno de 100 años

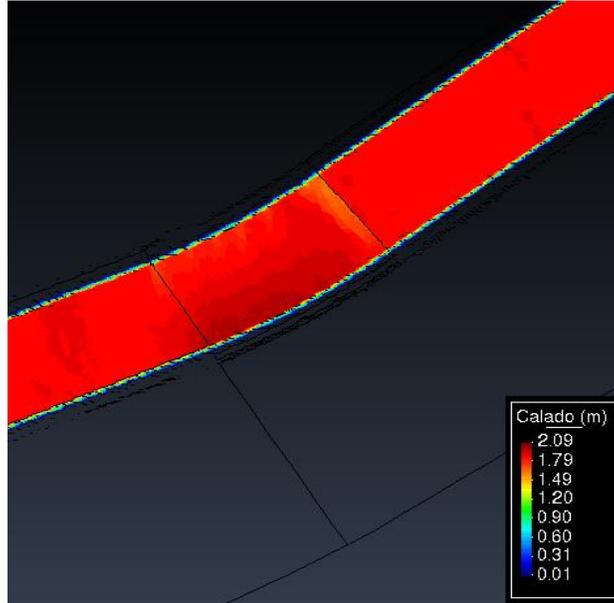


Figura 149: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 1.89 m para un periodo de retorno de 100 años

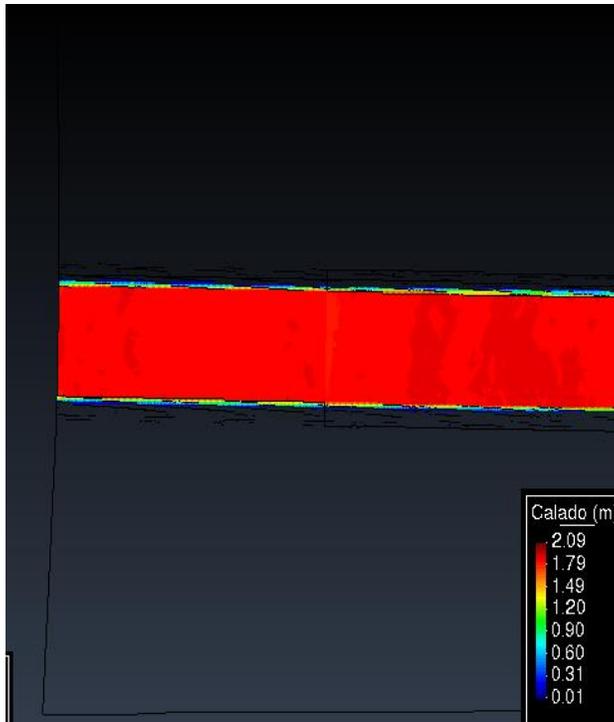


Figura 150: Calado máximo en la salida del modelo es de 1.81 m para un periodo de retorno de 100 años

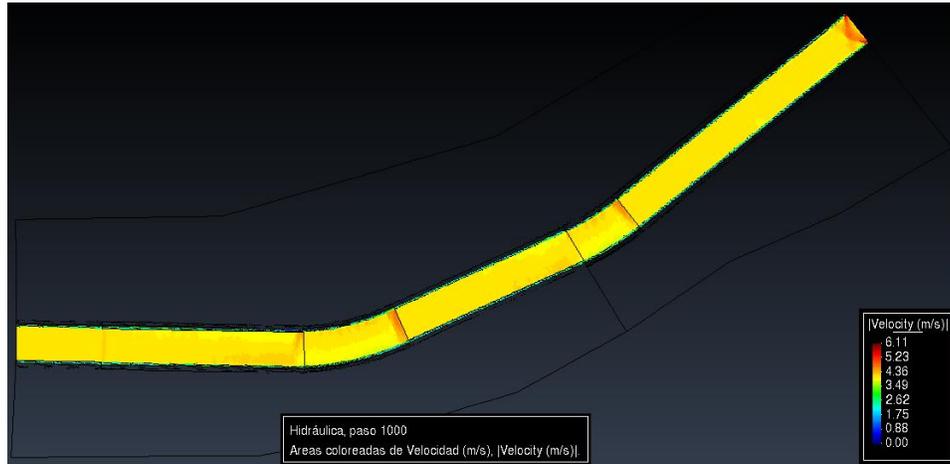


Figura 151: Modelo bidimensional con dique que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 100 años

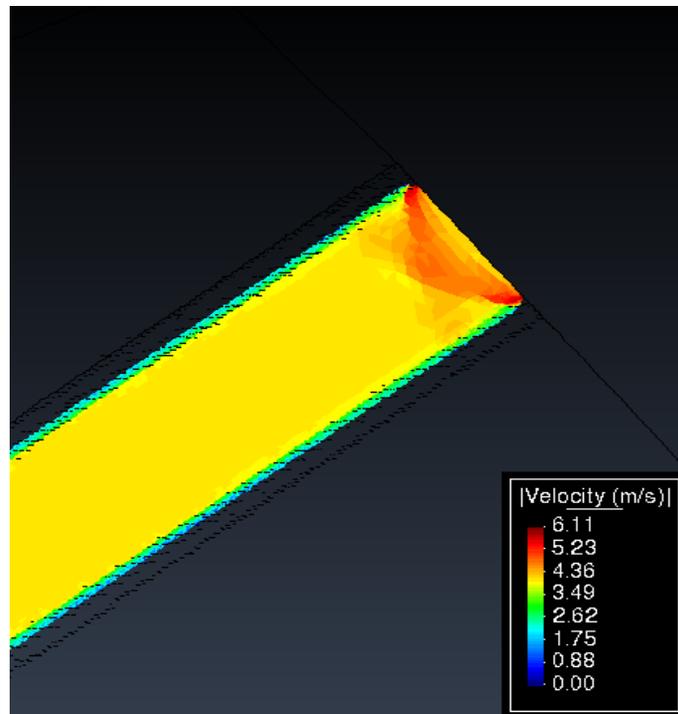


Figura 152: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 4.28 m/s para un periodo de retorno de 100 años

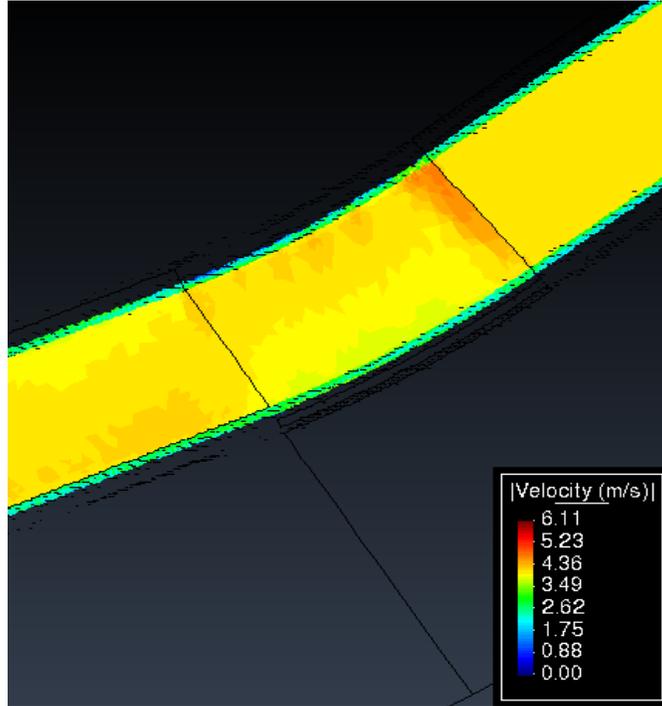


Figura 153: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.85 m/s para un periodo de retorno de 100 años

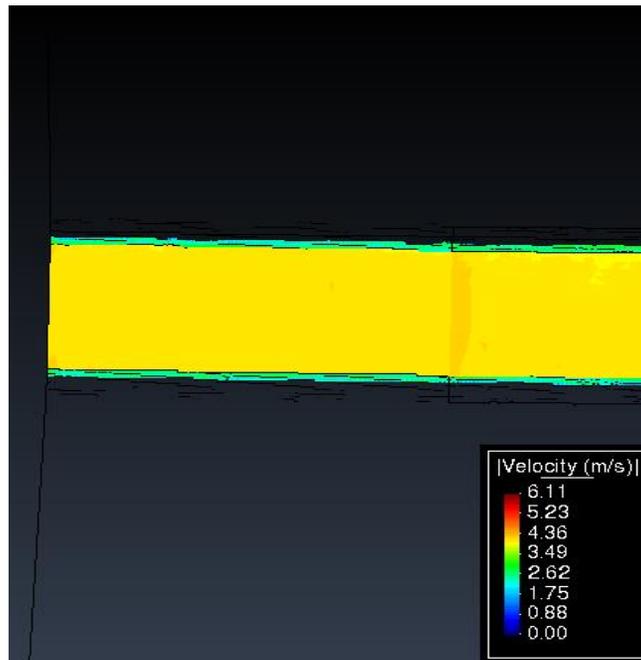


Figura 154: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.69 m/s para un periodo de retorno de 100 años

- PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS.

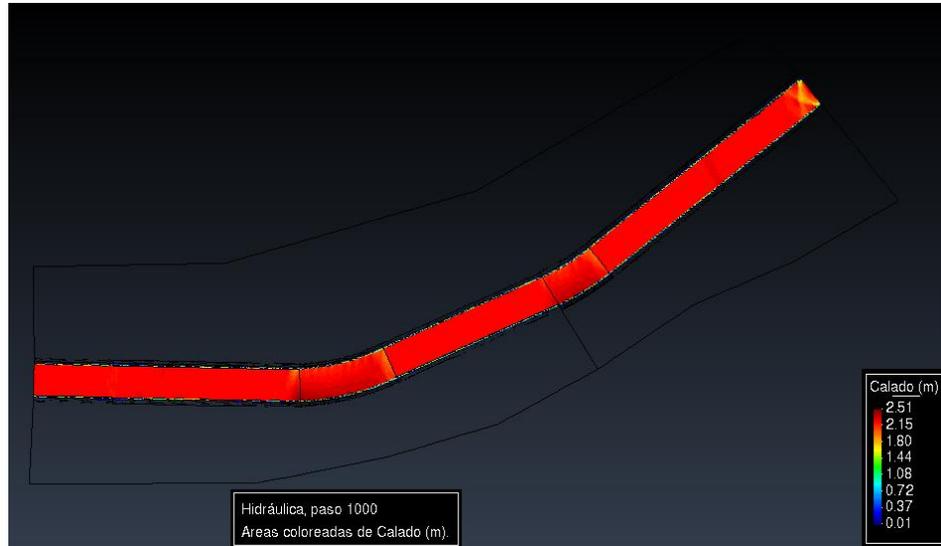


Figura 155: Modelo bidimensional con dique que muestra los calados máximos en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 500 años

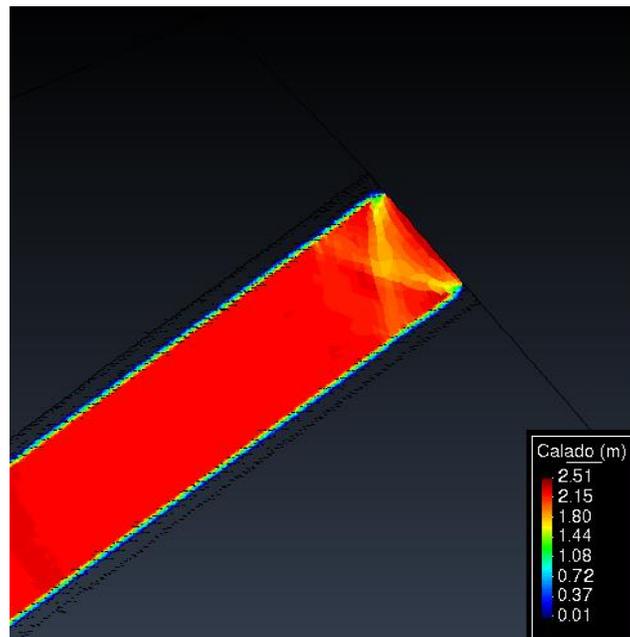


Figura 156: Calado máximo a la entrada del modelo es de 2.91 m para un periodo de retorno de 500 años

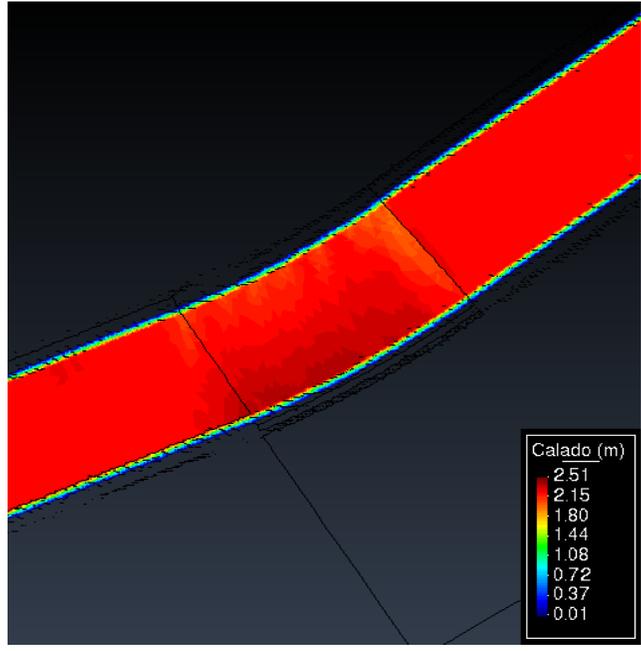


Figura 157: Calado máximo en la sección del puente Chaman es de 2.45 m para un periodo de retorno de 500 años

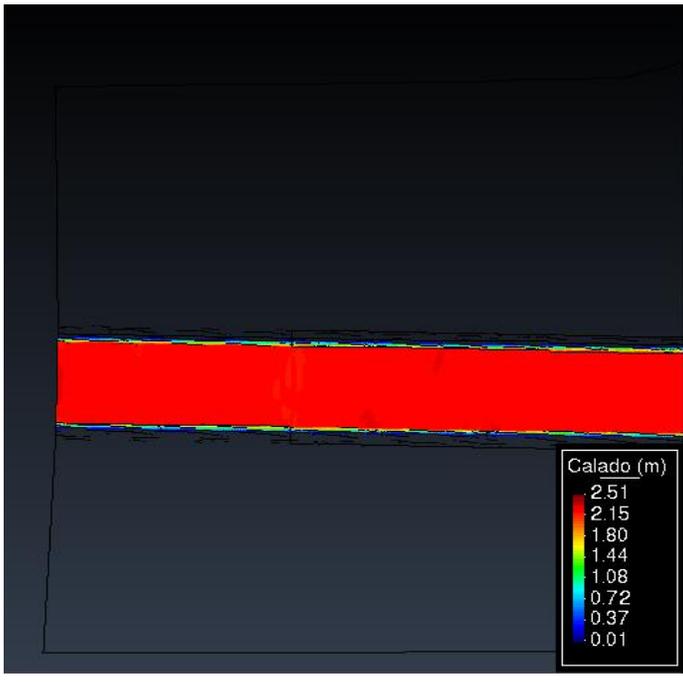


Figura 158: Calado máximo en la salida del modelo es de 2.39 m para un periodo de retorno de 500 años

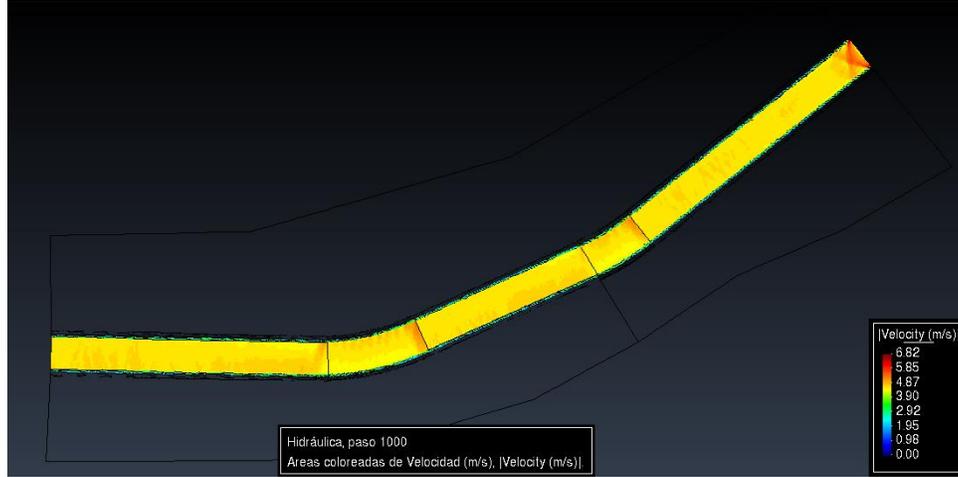


Figura 159: Modelo bidimensional con diques que muestra las velocidades máximas en el cauce del río Chaman para un periodo de retorno de 500 años

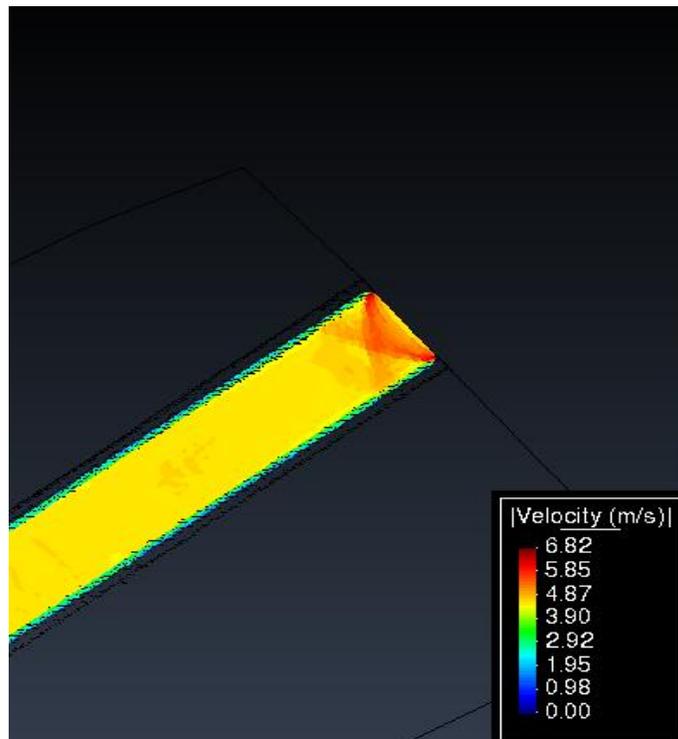


Figura 160: Velocidad máxima a la entrada del modelo es de 4.33 m/s para un periodo de retorno de 500 años

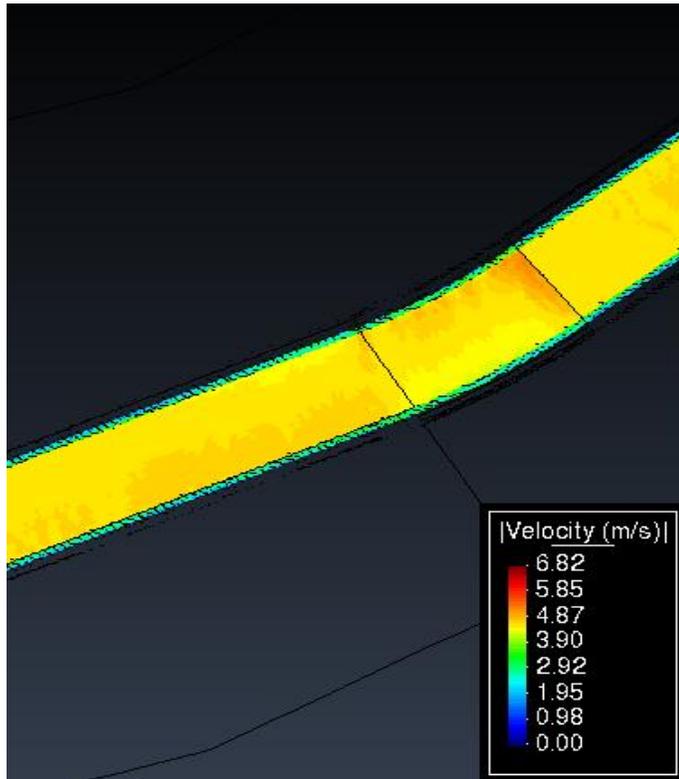


Figura 161: Velocidad máxima en la sección del puente Chaman es de 3.95 m/s para un periodo de retorno de 500 años

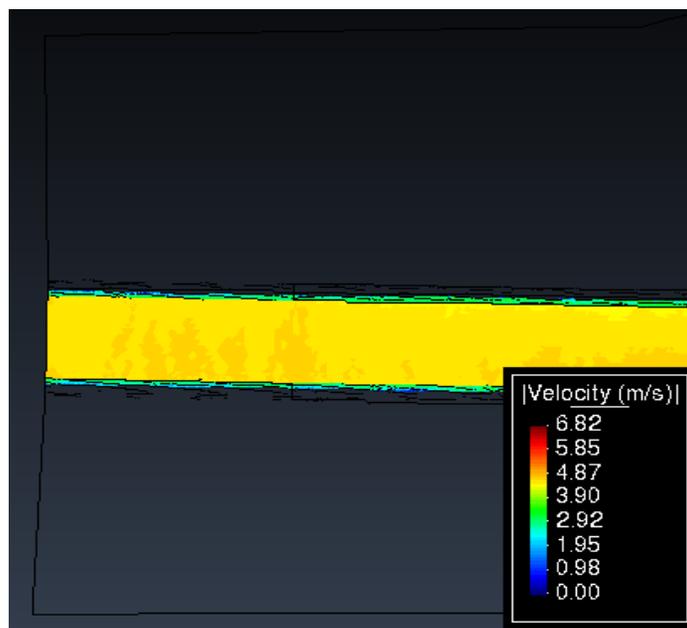


Figura 162: Velocidad máxima en la salida del modelo es de 3.82 m/s para un periodo de retorno de 500 años

CAPÍTULO V:

DISCUSIÓN DE

RESULTADOS

5.1 Modelo Bidimensional:

Del modelo bidimensional **figura 43** podemos sacar resultados de cualquier punto del tramo estudiado, para este modelamiento trabajamos con periodos de retorno de 50,100 y 500 años donde podremos observar los valores de la velocidad las cuáles serán las máximas que nos brinde el programa.

5.2 Modelo Bidimensional HEC-RAS

5.2.1 Periodo de retorno 50 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 50**, con velocidades de 3.95 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 51** que tiene la velocidad de 1.14 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 46 y 47**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 3.36 m y 1.02 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 44 y 48** .

5.2.2 Periodo de retorno 100 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 58**, con velocidades de 3.76 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 59** que tiene la velocidad de 1.65 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 54 y 55**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 3.38 m y 1.05 m donde podemos observar que las velocidades son menores

al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 52 y 56**.

5.2.3 Periodo de retorno 500 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 66**, con velocidades de 4.98 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 67** que tiene la velocidad de 1.58 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 62 y 63**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 4.05 m y 1.63 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 60 y 64**.

5.3 Modelo bidimensional HEC-RAS con Proyecto:

5.3.1 Periodo de retorno 50 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 76**, con velocidades de 3.46 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 77** que tiene la velocidad de 3.48 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 72 y 73**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 1.85 m y 1.73 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 70 y 74**.

5.3.2 Periodo de retorno 100 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 84**, con velocidades de 3.85 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 85** que tiene la velocidad de 3.69 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 80 y 81**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 1.89 m y 1.81 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 78 y 82**.

5.3.3 Periodo de retorno 500 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 92**, con velocidades de 3.95 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 93** que tiene la velocidad de 3.82 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 88 y 89**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 2.45 m y 2.39 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 86 y 90**.

5.4 Modelo bidimensional IBER:

Del modelo bidimensional **figura108** podemos sacar resultados de cualquier punto del tramo estudiado, para este modelamiento trabajamos con periodos de retorno de 50,100 y 500 años donde podremos observar los valores de la velocidad las cuáles serán las máximas que nos brinde el programa.

5.4.1 Periodo de retorno 50 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 115**, con velocidades de 3.95 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 116** que tiene la velocidad de 1.14 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 111 y 112**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 3.36 m y 1.02 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 109 y 113** .

5.4.2 Periodo de retorno 100 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 123**, con velocidades de 3.76 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 124** que tiene la velocidad de 1.65 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 119 y 120**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 3.38 m y 1.05 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 117 y 121**.

5.4.3 Periodo de retorno 500 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 24**, con velocidades de 4.98 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 25** que tiene la velocidad de 1.58 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 20 y 21**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 4.05 m y 1.63 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 18 y 22** .

5.5 Modelo bidimensional IBER con Proyecto:

5.5.1 Periodo de retorno 50 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 140**, con velocidades de 3.46 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 141** que tiene la velocidad de 3.48 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 136 y 137**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 1.85 m y 1.73 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 134 y 138** .

5.5.2 Periodo de retorno 100 años

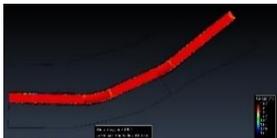
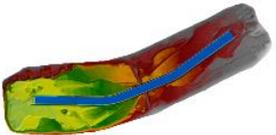
En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 148**, con velocidades de 3.85 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 149** que tiene la velocidad de 3.69 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 144 y 145**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 1.89 m y 1.81 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 142 y 146**.

5.5.3 Periodo de retorno 500 años

En lo que concierne a velocidades podemos observar que las máximas se encuentran en el ramo donde cruza el puente Chaman, en donde observamos la reducción del ancho del cauce del río, **figura 156**, con velocidades de 3.95 m/s, como dato adicional también tomamos la velocidad en la parte final del modelo **figura 157** que tiene la velocidad de 3.82 m/s.

Los resultados también nos muestran el calado máximo del modelo bidimensional como se observa en las **figuras 152 y 153**, los calados máximos se dan en la zona del puente y la parte final del modelo teniendo calados de 2.45 m y 2.39 m donde podemos observar que las velocidades son menores al inicio y al final del modelo, pero la mayor se presenta en donde se reduce la sección del río a la altura del puente chaman **figura 150 y 154**.

TABLA DE RESULTADOS					
SIN PROYECTO		IBER		HEC RAS	
		calado(m)	velocidad (m/s)	calado(m)	velocidad (m/s)
AÑOS DE RETORNO					
50	tramo inicial	2.15	1.84	2.003	1.702
	tramo del puente	3.36	3.95	3.117	4.477
	tramo final	1.02	1.14	1.087	1.687
100	tramo inicial	2.16	2.24	2.031	2.001
	tramo del puente	3.38	3.76	3.269	4.865
	tramo final	1.05	1.65	1.267	1.763
500	tramo inicial	2.42	2.44	2.210	2.106
	tramo del puente	4.05	4.98	3.968	5.367
	tramo final	1.63	1.58	1.621	1.941
CON PROYECTO					
AÑOS DE RETORNO					
50	tramo inicial	1.68	3.55	2.004	3.336
	tramo del puente	1.85	3.46	3.153	3.136
	tramo final	1.73	3.48	2.023	3.252
100	tramo inicial	1.78	4.28	2.216	3.742
	tramo del puente	1.89	3.85	2.284	3.341
	tramo final	1.81	3.69	2.222	3.468
500	tramo inicial	2.91	4.33	2.704	3.862
	tramo del puente	2.45	3.95	2.705	4
	tramo final	2.39	3.82	2.635	3.9

CONCLUSIÓN:

- Se observa que cuando se modela con los diques, las velocidades a lo largo de cause aumentan considerablemente a la vez que son constantes a lo largo del tramo estudiado, pese que en general, han aumentado, se observó que en la sección del puente Chaman bajaron un poco, por lo cual se concluye que la propuesta con diques uniformiza las velocidades a lo largo del tramo estudiado.
- Se concluye que el estudio topográfico que se realizó con drone ha obtenido resultados no muy alejados de lo que se muestra en la realidad ya que este tipo de levantamiento topográfico nos entrega unos resultados mucho más exactos y precisos que otros métodos, teniendo en consideración la forma y accesibilidad del terreno en estudio.
- Se concluye que el estudio hidrológico realizado en la sección del puente Chaman en el río Chaman, no se encuentra ninguna estación pluviométrica disponible, teniendo así que optar por los datos históricos de estaciones próximas a la cuenca de nuestro río en estudio obteniendo los caudales máximos para 50, 100 y 500 años de retorno que son 442.858m³/seg, 519.97m³/seg y 704.74m³/seg respectivamente.
- Se concluye de las simulaciones en los programas IBER y HEC-RAS que para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años sin proyecto, el calado (m) analizado en la parte inicial, el tramo del puente y el tramo final de nuestra sección del río es muy similar con una variación máxima de 0.243m que se da en el tramo del puente Chaman para el periodo de retorno de 50 años, registrándose el mayor valor en el modelamiento bidimensional del programa IBER.
- Se concluye de las simulaciones en los programas IBER y HEC-RAS que para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años sin proyecto, las velocidades(m/s) analizadas tienen una diferencia considerable si las comparamos entre ambos modelos bidimensionales, teniendo así diferencias de hasta 1.105(m/s) para el tramo del puente en el periodo de retorno de 100 años, registrándose los mayores valores en el modelamiento bidimensional HEC-RAS, siendo la parte media del río (tramo del puente Chaman) donde se registran las mayores velocidades de los modelamientos.
- Se concluye de las simulaciones en los programas IBER y HEC-RAS que, para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años con proyecto, el calado (m) se mantiene casi constante en

cada sección del río y sin afectar mucho los valores entre sí en cada modelamiento; sin embargo la diferencia de resultados entre los programas varía, teniendo como promedio de diferencia: 0.64 m, 0.414 m y 0.235 m para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.

- Se concluye de las simulaciones en los programas IBER y HEC-RAS que para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años con proyecto, la velocidad (m/s) se mantiene casi constante a lo largo de la sección de tramo del río en estudio, teniendo como promedio de diferencias: 0.26 (m/s), 0.423 (m/s) y 0.20 (m/s) para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente.
- Se concluye que la velocidad máxima ocurre siempre en la parte central del río (tramo del puente Chaman), pero en el modelamiento bidimensional en IBER se puede apreciar que las velocidades máximas se dan pasando hacia la izquierda del lado del puente Chaman, mientras que en el modelamiento bidimensional con HEC-RAS las velocidades máximas se dan en el lado derecho de la sección del puente, siendo este un hecho a tomar en consideración para futuras simulaciones.
- Se concluye que es necesaria la implementación de algún método de contención (diques), para evitar los desbordes que puedan causar las máximas avenidas en el río.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda utilizar siempre que se pueda y haya una disposición económica, el levantamiento topográfico con dron para tener una mayor precisión y mejor accesibilidad en terrenos con abundante vegetación o de difícil acceso.
- Se recomienda la habilitación de estaciones pluviométricas más cercanas al afluente en estudio. Esto nos permitirá obtener los caudales más reales y generar un estudio del terreno más preciso.
- Se recomienda una estructura de encausamiento de 3.5 m de altura para evitar así posibles inundaciones que puedan dañar la integridad de los pueblos aledaños y de áreas de cultivo, ya que podrían ser afectados por fenómenos del niño muy fuertes.
- Se recomienda un correcto uso de los programas IBER y HEC-RAS para las simulaciones de inundaciones en los ríos y analizar minuciosamente los resultados obtenidos, ya que suelen haber discrepancias en los resultados, ocasionando un mal diseño en las estructuras de contención.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Alanya Barzola (2017). *Studies Preliminary data summary of urban stormwater best management practices*. EPA-821-R-99-012.
- Campos Aranda , D. (1988). *Procesos del ciclo hidrológico* (Vol. I). San Luis, Potosi: Universidad Potosina.
- Campos Aranda, D. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana* (decima primera ed.). San Luis, Potosi.
- Ayala, J. (2014). Modelamiento hidráulico bidimensional, para la determinación de planos de inundación de Quillacollo, 41
- Cuervo, A. (2012). Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional (HEC-RAS) y bidimensional (IBER) en el análisis del rompimiento de presas de materiales sueltos. Tesis de Maestria, 72.
- E. Bladé, L. Cea, G. Corestein, E. Escolano, J. Puertas, M.E. Vázquez-Cendón, J. Dolz, A. Coll. “Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos”. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, vol 30, nº1, pp. 1-10, 2014.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. (Segunda ed.). (J. Saldarriaga, & M. Hill, Trads.) Colombia.
- Guarniz Muñoz, Carlos Kenyo (2014) Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo. *Tesis de Grado*.
- Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas. (s.f.). *Manual de Alcantarillado Pluvial CNA*. Subdirección general Técnica.
- INDECI. (2016). *Precipitaciones*. Pampas, Huancavelica, Perú .
- Kibler, D. (1982). *Urban Stormwater Hydrology*. Washington: American Geophysical Union.

- US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC-RAS.
- River Analysis System, HEC-RAS 4.1 User's Manual, USA 2010.
- - US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HECGeoRAS. GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS® 10 User's
- E BLADÉ y M. GÓMEZ, Modelación del Flujo en Lámina Libre sobre Cauces Naturales – Análisis Integrado en una y dos Dimensiones, España 2006.
- Carlos Rincón, María Pérez, Guillermo Delfín, Carlos Freitez, Fabiana Martínez (2017). Análisis comparativo entre los modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes. Vol. 17, Nº. 1 - págs. 9-28
- Gutiérrez Reynaga, Max Josemar (2018). Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional y bidimensional en el análisis de inundaciones en el río V. Tesis Pregrado.
- Jorge Ayala Niño de Guzmán (2014). “Modelamiento Hidráulico Bidimensional, para la Determinación De Planos de inundación de Quillacollo” Cochabamba, Bolivia”. Trabajo de Grado.

**ANEXO 1:
CALCULO DE DISEÑO DE
DIQUES**

Periodo de Retorno 50 años

Tabla Nº 01							
Coeficiente de Contraccion, μ							
Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos						
	10 m.	13 m.	16 m.	18 m.	21 m.	25 m.	30 m.
<1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
>4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	

Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos					
	42 m.	52 m.	63 m.	106 m.	124 m.	200 m.
<1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Tabla n° 04 : Valores del Coeficiente β		
Periodo de Retorno (Años)	Probabilidad de Retorno (%)	Coeficiente β
	0.00	0.77
2.00	50.00	0.82
5.00	20.00	0.86
10.00	10.00	0.90
20.00	5.00	0.94
50.00	2.00	0.97
100.00	1.00	1.00
300.00	0.33	1.03
500.00	0.20	1.05
1,000.00	0.10	1.07
Periodo de Retorno (Años) =====>		50.00
β =		0.97

Seleccionan :	Vm =	3.045	Velocidad media (m/s)	
	B =	66.000		Ancho efectivo (m)
	μ =	0.990		

CALCULO HIDRÁULICO

SECCIÓN ESTABLE O AMPLITUD DE CAUCE (B)

Proyecto : PUENTE CHAMAN

Q DISEÑO (m ³ /seg)	MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON			MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING			MÉTODO DE BLENCH		
	B = K ₁ Q ^{1/2}			B = (Q ^{1/2} /S ^{1/5}) (n K ^{5/3}) ^{3/(3+5m)}			B = 1.81(Q F _b /F _s) ^{1/2}		
442.86	Condiciones de Fondo de río	K ₁	B (m)	Valores rugosidad de Manning (n)		85.82	Factores		131.95
Pendiente Zona del Proyecto (m/m)	Fondo y orillas de grava	2.9	61.03	Descripción	n		Factor de Fondo	F _b	
				Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza = 0.040 - 0.036					
				Coeficiente Material del Cauce			Material Grueso	1.2	
0.00500	MÉTODO DE PETTIT			Descripción	K		Factor de Orilla	F _s	
	B = 4.44 Q ^{0.5}			Material aluvial = 8 a 12		12			
	B (m)			Coeficiente de Tipo de Río					
	93.44			Descripción	m	Materiales sueltos			0.1
Para cauces aluviales				1					

RESUMEN :

MÉTODO	B (m)
MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	61.03
MÉTODO DE PETTIT	93.44
MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	85.82
MÉTODO DE BLENCH	131.95
RECOMENDACIÓN PRACTICA	70.00
=====> PROMEDIO B :	88.45
=====> SE ADOPTA B :	66.00

Se elige este ancho por adaptarse a la zona de estudio.

CALCULO HIDRÁULICO SECTOR :

CALCULO DEL TIRANTE MÉTODO DE MANNING - STRICKLER (B > 30 M)		
$t = ((Q / (Ks * B * S^{1/2}))^{3/5}$		t
Valores para Ks para Cauces Naturales (Inversa de n)		(m)
Descripción	Ks	2
Cauces naturales con derrubio e irregularidades = 30	30	
Caudal de Diseño (m ³ /seg)		
Q =	442.86	
Ancho Estable - Plantilla (m)		
B =	66.00	
Pendiente del Tramo de estudio		
S =	0.00500	

Formula de Manning : Velocidad Media (m/s) >>>>> $V = R^{2/3} * S^{1/2} / n$

Radio Hidráulico >>> $R = A / P$ >>>>>>>		R :	Pendiente de Fondo >>> S	
Tirante medio (y)	Taluz de Borde (Z)	1.85	S = 0.00500	
y = 2.00	Z = 2		Coefficiente de Rugosidad de Manning	
Ancho de Equilibrio (B)			Descripción	n
B = 66.00			Cauces de Río con fuerte transporte de acarreo =	0.035
Área (m ²)		Perímetro (m)		0.035
A = 124	P = 66.94			

>>>>>>> V = 3.04 m/seg

Numero de Froude : $F = V / (g * y)^{1/2}$

Velocidad media de la corriente (m/s)	Aceleración de la Gravedad	Profundidad Hidráulica Media = Área Mojada / Ancho Superficial:		Froude (F)
V = 3.04	g = 9.81	y = A / B >>>	y = 1.88	0.71

Tipo de Flujo : FLUJO SUBCRITICO

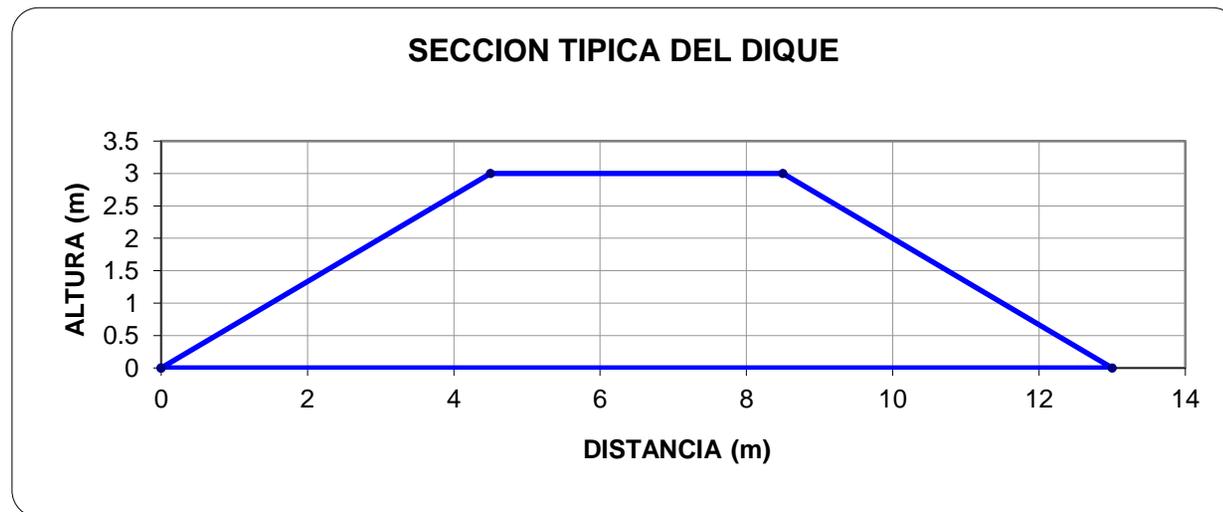
Calculo de la Altura de Dique >>>>>>

Bordo Libre (BL) = ϕe					ALTURA DE MURO (H_b)	
Caudal máximo m^3/s		ϕ	ϕ	$e = V^2/2g$	BL	$H_M = y + BL$
3000.00	4000.00	2	1.1	0.47	0.52	y : Tirante de diseño (m)
2000.00	3000.00	1.7				y = 2.00
1000.00	2000.00	1.4				>>>>> $H_M = 2.52$
500.00	1000.00	1.2				Por Procesos Constructivos
100.00	500.00	1.1				>>>>> $H_M = 3.00$

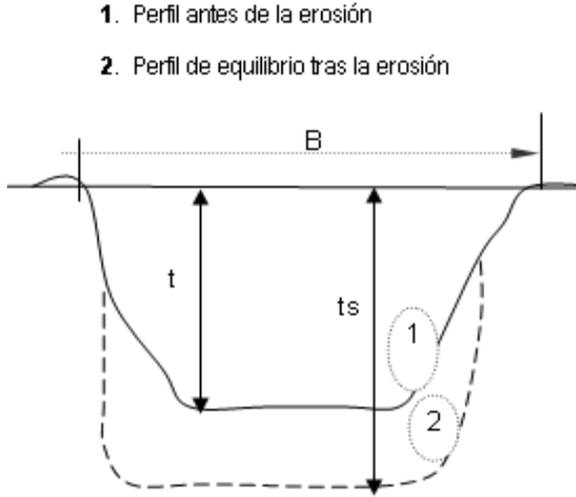
Caudal de Diseño (m^3/seg) : 442.86

Por lo Tanto las características Geométricas del dique a construir son :

ALTURA PROMEDIO DE DIQUE (m)	=	3.00
ALTURA PROMEDIO DE ENROCADO (m)	=	3.00
ANCHO DE CORONA (m)	=	4.00
TALUD	:	H V
Cara Humeda	1.5	: 1
Cara seca	1.5	: 1
AREA (m^2)	=	19.50



CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)				
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV				
Suelos Granulares - No Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(1)$				
Suelos Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots(2)$				
Donde:				
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)				
t = Tirante sin socavacion (m)				
$t = 2$ m				
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)				
$D_m = 4$ mm				
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)				
μ = Coeficiente de Contraccion				
α = Coeficiente >>>>>				
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$				
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α
$t_m = 1.88$	442.86	$\mu = 0.99$	B = 66.00	2.37



PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :

X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$
$x = 0.37$	0.73	$\beta = 0.97$	$t_s = 4.45$ m

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)	
H_s	= $t_s - t$
H_s	= 2.45 m

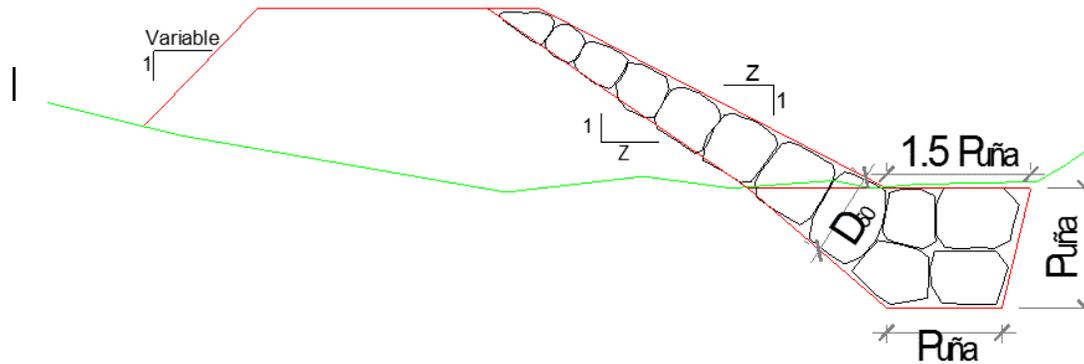
CALCULO ESTRUCTURAL : Profundidad de Uña

Proyecto :

PUENTE CHAMAN

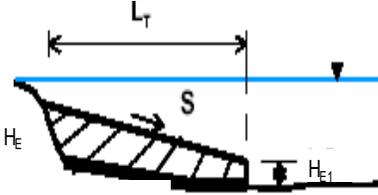
Profundidad de Socavacion (H_s) = 2.45		Profundidad de Uña ($P_{UÑA}$) = $FS * H_s$	
		FS = 1.15	
		$P_{UÑA} = 2.82$	
Por lo Tanto Seleccionamos :		<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">$P_{UÑA} = 3.00$</td> </tr> </table>	$P_{UÑA} = 3.00$
$P_{UÑA} = 3.00$			

PROTECCION DEL PIE DE TALUD



CALCULO ESTRUCTURAL DE ESPIGONES:

Proyecto : **PUENTE CHAMAN**

Tipo :	DIMECIONAMIENTO		CALCULO DE LA ALTURA Y PENDIENTE:	Taludes	V	H
No Sumergibles	Longitud : $L = L_A + L_T$			Espalda	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
Características :	Longitud de Trabajo >>>> $y < L_T < B/4$			$T_E =$	1	1.5
Son más baratos, pero causan menos sedimentación, y crean turbulencia durante el proceso de sumergencia, por lo que las protecciones al pie de los taludes deben ser de mayor longitud.	Tirante medio (m): $y =$	2.00	Progresivas 0+000	Frente	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
	Ancho medio del cauce (m): $B =$	66.00		$T_F =$	1	1.25
	>>>>>> $2 < L_T < 16.5$	>>>> Longitud de Trabajo (m)	Corregida por el α :	Morro	1 : 2.5 a 1 : 5.0	
	Seleccionamos $\implies L_T =$	25.00		$T_M =$	1	2.5
	Orientación >>>> Aguas Abajo	17.68	Calculo de Altura de Espigon $\implies H_E :$	Corona de Espigón :		
	Angulos de Inclinación (α) >>>> 45°		$y =$ 2.00	2.50	C = 2	
	Longitud de Anclaje >>>> $L_A = 0.1$ a $0.25 L_T$		Borde Libre : BL	>>>> H_E		
	$L_A =$	-	Será empotrado al Dique enrocado	BL	0.5	2.50
Longitud de Espigon >>>> $L = L_A + L_T$						
	$L =$	5.00				

SOCAVACION EN ESPIGONES : METODO DE ARTOMONOV

$$S_T = P_\alpha * P_q * P_k * d_o \quad \dots\dots\dots(1)$$

donde :

S_T = Profundidad maxima de socavación

P_α = Coeficiente que depende del ángulo del espigón

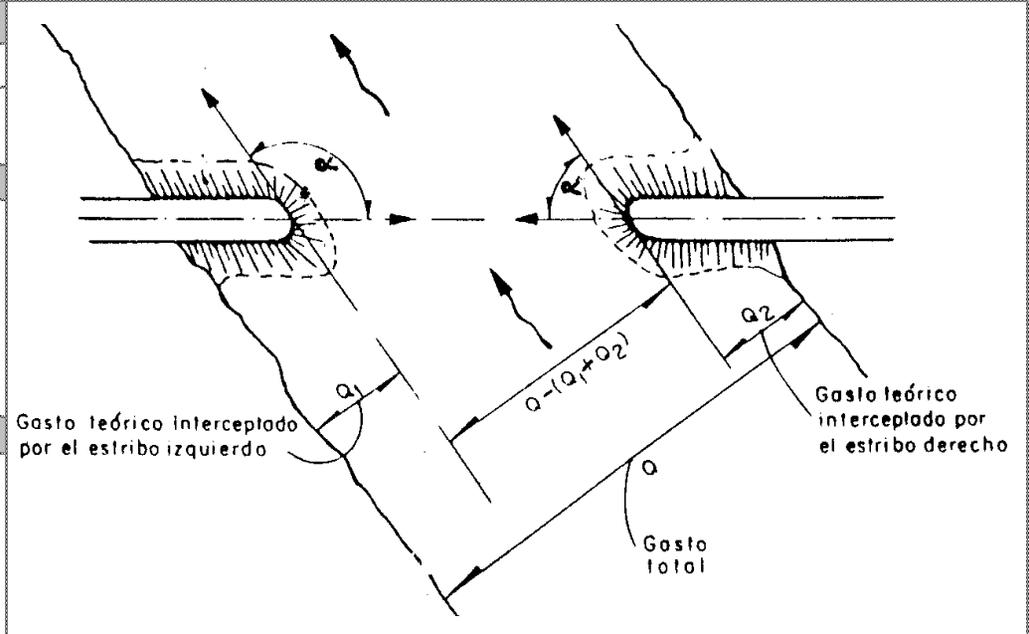
α	P_α	Inclinacion : AGUA ABAJO respecto al eje del dique enrocado :
30 °	0.84	$\alpha = 45^\circ$ $P_\alpha = 0.89$
60 °	0.94	
90 °	1.00	
120 °	1.07	
150 °	1.19	

P_q = Coeficiente que depende de los gastos

Q_1 / Q	P_q	Q_1 = Gasto teórico a través del estribo Q = Gasto total del río
0.1	2.00	$Q_1 / Q = 0.3$ $P_q = 3.22$
0.2	2.65	
0.3	3.22	
0.4	3.45	
0.5	3.67	
0.6	3.87	
0.7	4.06	
0.8	4.20	
0.9	4.20	

P_k = Coeficiente que depende del talud

k	P_k	$k = Z$
0	1.00	$k = Z = 1.5$ $P_k = 0.83$
0.5	0.91	
1	0.85	
1.5	0.83	
2	0.61	
3	0.50	



d_o = Tirante aguas arriba, sin socavacion = t

$d_o = 2.00 \text{ m}$

=====> REEMPLAZANDO DATOS EN (1) :

$S_T = 4.76 \text{ m}$

=====> LA SOCAVACION LOCAL SERÁ :

$H_s = S_T - d_o$

$H_s = 2.76 \text{ m}$

Por tanto la Profundidad de Uña en espigon será

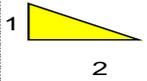
$P_{uña_espigon} = 3.00 \text{ m}$

CALCULO ESTRUCTURAL

ESTABILIDAD DEL TERRAPLEN		
Fuerza Resistente (Kg/m)		ANALISIS DE ESTABILIDAD
$R = W * \text{Tag } \emptyset$		
W = Peso del Terraplen		R
Area Dique (m ²)	19.50	26,352.31
Peso Especifico del material (Kg / m ³)	1930.00	
W = 37,635.00		
Angulo de friccion interna en grados(tipo de material de rio)		
\emptyset	35	
Tag \emptyset		
Tag \emptyset	0.70	
Presion del Agua (Kg/m²)		R > P =====> EL DIQUE ES ESTABLE A LA PRESION DEL AGUA
$P = P_w * t^2/2$		
P_w =	1000.00	
Tirante		
t =		2,000.00
t =	2.00	

PROBABILIDAD DE MOVIMIENTO DE LA ROCA		
$F_{roca (D50)} = 0.56 * (V^2/2g) * (1/ D_{50}) * (1/ \Delta)$		F_{roca} (%)
Velocidad caudal de diseño (V)		
Velocidad	3.04	0.20
$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_a}{\gamma_a}$		
Peso especifico de la roca (cantera) Kg/m³		
$\gamma_s =$	2,640.00	
Peso especifico del agua Kg/m³		
$\gamma_a =$	1,000.00	
Diametro medio de la roca (D₅₀)		
D ₅₀ =	0.80	

CALCULO PARA DETERMINAR EL USO DE FILTROS			
1.- Determinación de Velocidad en el espacio entre el enrocado y material base :		2.-Determinación de velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado (V_e)	
V _a : velocidad del agua entre el enrocado y el fondo.	V _a (m/s)	V _e = velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado	V _e (m/s)
$V_a = (D_{50} / 2)^{2/3} * S^{1/2} / n_f$		$V_e = 16.1 * (D_m)^{1/2}$	
n _f = Rugosidad del fondo		D _m = diámetro de partículas del suelo base (m)	
Condicion n _f		D _m = 0.004 m	
Sin filtro o hay filtro de Geotextil 0.02	1.919	Verificacion :	
Pendiente Tramo de estudio		Como V _a > V _e : Habra Erosión ==> SE RECOMIENDA UTILIZAR UN FILTRO DE GEOTEXTIL O UN FILTRO DE GRAVA	
S = 0.00500			
Diametro medio de la roca (D ₅₀)			
D ₅₀ = 0.80			
		1.018	

ESTABILIDAD DEL REVESTIMIENTO DEL ENROCADO				
ESFUERZO MAXIMO CORTANTE ACTUANTE		ESFUERZO CORTANTE CRITICOS		
$\tau_a = \gamma_a * t * S$	τ_a	$\tau_c = C * (\gamma_s - \gamma_a) * D_{50} * K$	τ_c	Verificacion ==>
Peso especifico del agua Kg/m ³	13.00	Peso especifico del agua Kg/m ³	101.68	Si $\tau_a < \tau_c$
$\gamma_a = 1,000.00$		$\gamma_a = 1,000.00$		
Tirante de diseño (m)		Peso especifico de la roca (cantera) Kg/m ³		
t = 2.00		$\gamma_s = 2,640.00$		
Pendiente Tramo de estudio		Factor de Talud (K)		
S = 0.00650		$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$		
	Angulo del Talud (α)			EL REVESTIMIENTO DEL ENROCADO ES ESTABLE
	Z = 2			
		α = 26.57°		
	Angulo de friccion interna del material (Enrocado) (Φ)			
	Φ = 45			
	Factor de Talud (K)			
	K = 0.775			
	Coefficiente de Shields			
	C = 0.100			

DETERMINACION DEL TIPO DE FILTRO

ASUMIENDO UN FILTRO DE GEOTEXTIL : Se tiene ==>

$$V_{a1} = V_a / 4$$

$$V_{a1} = 0.480 \text{ m/s}$$

Se debe verificar que se cumpla que : $V_{a1} > V_e$

Verificacion :

Como $V_{a1} < V_e$: ==> USAR FILTRO DE GRAVA

**CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA
FORMULA DE MAYNORD
Caudal : $Q = 1,784.53 \text{ m}^3/\text{seg}$**

Sección Hidráulica	Altura Hidráulica (m)	Velocidad en el Centro del Cauce (m/s)	Coficiente C_1	Coficiente por Ubicación de roca C_2	$F = C_2 V / (g y)^{0.5}$	$d_{50} = t C_1 F^3$
Rio Chaman	2.00	3.04	0.32	1.25	0.86	0.41

$$D_{50} = 0.41 \text{ m}$$

$$D_{100} = 0.81 \text{ m}$$

FÓRMULA DE FORMULA DE R. A. LOPARDO

$$W = \frac{0.011314 * \frac{\gamma_s}{\gamma} * V^6}{\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right) * \text{SENO}^3(\phi - \theta)}$$

- γ_s Peso específico de las partículas, Kg/cm³, Tn/m³
- γ Peso específico del fluido, Kg/cm³, Tn/m³
- V Velocidad media, m/s
- ϕ Angulo de reposo del material
- θ Ángulo del talud respecto a la horizontal
- W Peso, Kg

$$D_s = \left(\frac{6 * W}{\pi * \lambda_s}\right)^{1/3}$$

- D_s = Diámetro de volumen esférico equivalente, ft
- W = Peso de roca, lb
- γ_s = Peso específico de la roca, lb / ft³

Sección Hidráulica	γ_s Tn/m ³	γ Tn/m ³	Velocidad Media (m/s)	ϕ (°)	Talud  2.00	θ (°)	W (Peso)			γ_s pcf	D_s ft (Pies)	D_s (m)
							KG	Tn	Lb			
Rio Chaman	2.68	1.00	3.04	4 5.00 °	2.00	2 6.57 °	454.95	0.455	1002.99	167.307	2.254	0.687

Porcentaje	Diámetro de la roca, m		
100	<=	$D_{\text{calculado}}$	= 0.69
50	>	D_{60}	= 0.41
80	>	D_{40}	= 0.27

$D_{\text{calculado}}$	=	0.69	m
------------------------	---	------	---

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA RIO CHAMAN FÓRMULA DE LA CALIFORNIA DIVISIÓN OF HIGHWAYS

b factor para condiciones de mucha turbulencia, piedras redondas, y sin que permita movimiento de piedra, se adopta un valor $b = 1.4$

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

Δ Densidad Relativa del material $\implies \Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$

γ_s Densidad de la roca

γ Densidad del agua

V Velocidad media, m/s

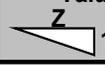
g Aceleracion Gravedad : 9.81

f = Factor de talud

θ = Angulo del Talud

ϕ = Angulo de Friccion Interna del material.

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Sección Hidráulica	γ_s Tn/m ³	γ Tn/m ³	Velocidad Media (m/s)	ϕ (°)	Talud 	θ (°)	Δ	f	d_{50} (m)
Rio Chaman	2.63	1.00	3.04	38.00 °	2.00	26.57 °	1.63	0.687	0.59

Porcentaje	Diámetro de la roca, m		
100	<=	$D_{\text{calculado}}$	= 0.59
50	>	D_{60}	= 0.35
80	>	D_{40}	= 0.24

D_{50}	=	0.59	m
----------	---	------	---

Periodo de Retorno 100 años

Tabla N° 01							
Coeficiente de Contraccion, μ							
Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos						
	10 m.	13 m.	16 m.	18 m.	21 m.	25 m.	30 m.
<1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
>4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	

Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos					
	42 m.	52 m.	63 m.	106 m.	124 m.	200 m.
<1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Tabla n° 04 : Valores del Coeficiente β		
Periodo de Retorno (Años)	Probabilidad de Retorno (%)	Coeficiente β
	0.00	0.77
2.00	50.00	0.82
5.00	20.00	0.86
10.00	10.00	0.90
20.00	5.00	0.94
50.00	2.00	0.97
100.00	1.00	1.00
300.00	0.33	1.03
500.00	0.20	1.05
1,000.00	0.10	1.07
Periodo de Retorno (Años) =====>		100.00
β =		1.00

Seleccionan :	Vm =	3.228	Velocidad media (m/s)
	B =	66.000	Ancho efectivo (m)
	μ =	0.990	

CALCULO HIDRÁULICO

SECCIÓN ESTABLE O AMPLITUD DE CAUCE (B)

Proyecto : PUENTE CHAMAN

Q _{DISEÑO} (m ³ /seg)	MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON			MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING			MÉTODO DE BLENCH				
	B = K ₁ Q ^{1/2}			B = (Q ^{1/2} /S ^{1/5}) (n K ^{5/3}) ^{3/(3+5m)}			B = 1.81(Q F _b /F _s) ^{1/2}				
519.97	Condiciones de Fondo de río	K ₁	B (m)	Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)	Factores		B (m)		
Pendiente Zona del Proyecto (m/m)	Fondo y orillas de grava	2.9	66.13	Descripción	n	92.99	Factor de Fondo	F _b	142.97		
				Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza = 0.040 - 0.036			0.04	Material Grueso		1.2	
MÉTODO DE PETTIT			Descripción	K	Factor de Orilla		F _s				
0.00500	B = 4.44 Q ^{0.5}			Material aluvial = 8 a 12				12		Materiales sueltos	0.1
B (m)			Coeficiente de Tipo de Río								
101.24			Descripción	m							
			Para cauces aluviales		1						

RESUMEN :

MÉTODO	B (m)
MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	66.13
MÉTODO DE PETTIT	101.24
MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	92.99
MÉTODO DE BLENCH	142.97
RECOMENDACIÓN PRACTICA	71.20
=====> PROMEDIO B :	94.91

=====> SE ADOPTA B :

66.00

Se elige este ancho por adaptarse a la zona de estudio.

Calculo de la Altura de Dique >>>>>>

Bordo Libre (BL) = ϕe					ALTURA DE MURO (H_b)	
Caudal máximo m^3/s		ϕ	ϕ	$e = V^2/2g$	BL	$H_M = y + BL$
3000.00	4000.00	2	1.2	0.53	0.64	y : Tirante de diseño (m)
2000.00	3000.00	1.7				y = 2.20
1000.00	2000.00	1.4				>>>>> $H_M = 2.84$
500.00	1000.00	1.2				Por Procesos Constructivos
100.00	500.00	1.1				>>>>> $H_M = 3.00$

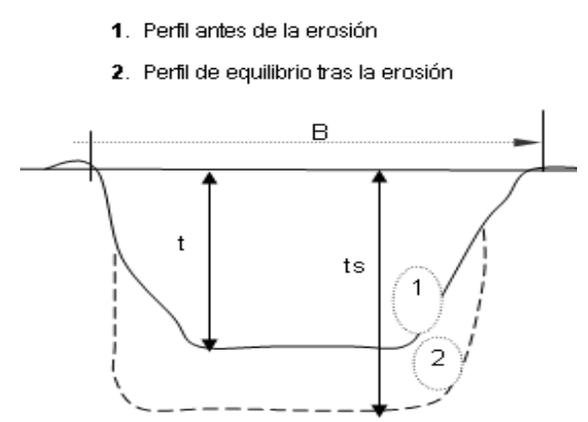
Caudal de Diseño (m^3/seg) : 519.97

Por lo Tanto las características Geométricas del dique a construir son :

ALTURA PROMEDIO DE DIQUE (m)	=	3.00
ALTURA PROMEDIO DE ENROCADO (m)	=	3.00
ANCHO DE CORONA (m)	=	4.00
TALUD	:	H V
Cara Humeda	1.5	: 1
Cara seca	1.5	: 1
AREA (m^2)	=	19.50



CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)				
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV				
Suelos Granulares - No Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(1)$				
Suelos Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(2)$				
Donde:				
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)				
t = Tirante sin socavacion (m)				
$t = 2.2$ m				
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)				
$D_m = 4$ mm				
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m ³)				
μ = Coeficiente de Contraccion				
α = Coeficiente >>>>>				
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$				
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α
$t_m = 2.05$	519.97	$\mu = 0.99$	B = 66.00	2.40



PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :

X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS	
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$	
x = 0.37	0.73	$\beta = 1.00$	$t_s =$	4.93 m

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)	
H _s	= $t_s - t$
H _s	= 2.73 m

CALCULO ESTRUCTURAL : Profundidad de Uña

Proyecto :

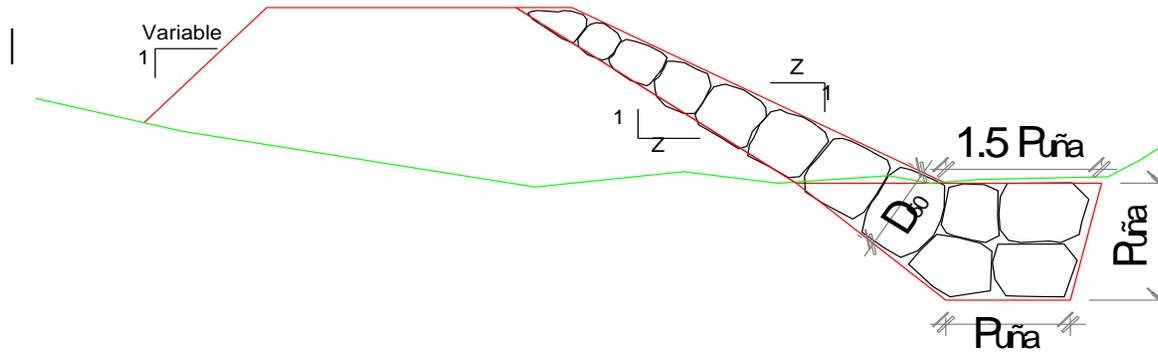
PUENTE CHAMAN

Profundidad de Socavacion (H_s) =	2.73	=====>	Profundidad de Uña ($P_{UÑA}$) =	$FS * H_s$
			FS =	1.15
			$P_{UÑA}$ =	3.14

Por lo Tanto Seleccionamos :

$P_{UÑA}$ =	3.25 m
-------------	--------

PROTECCION DEL PIE DE TALUD



CALCULO ESTRUCTURAL DE ESPIGONES:

Proyecto : **PUENTE CHAMAN**

Tipo :	DIMECIONAMIENTO		CALCULO DE LA ALTURA Y PENDIENTE:	Taludes	V	H				
No Sumergibles	Longitud : $L = L_A + L_T$			Espalda	1 : 1.25 a 1 : 3.0					
Características :	Longitud de Trabajo >>>> $y < L_T < B/4$			$T_E =$ <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>1</td><td>:</td><td>1.5</td></tr> </table>	1	:	1.5	Frente	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
1	:	1.5								
Son más baratos, pero causan menos sedimentación, y crean turbulencia durante el proceso de sumergencia, por lo que las protecciones al pie de los taludes deben ser de mayor longitud.	Tirante medio (m): $y =$ 2.20 Ancho medio del cauce (m): $B =$ 66.00	Progresivas 0+000		$T_F =$ <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>1</td><td>:</td><td>1.25</td></tr> </table>	1	:	1.25	Morro	1 : 2.5 a 1 : 5.0	
	1	:	1.25							
	>>>>> 2.2 < L_T < 16.5	>>>> Longitud de Trabajo (m)		Pendiente de la Cresta : S	$T_M =$ <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>1</td><td>:</td><td>2.5</td></tr> </table>	1	:	2.5	Corona de Espigón :	
	1	:	2.5							
	Seleccionamos ==> $L_T =$ 25.00	Corregida por el α :	17.68	Calculo de Altura de Espigon =====> H_E :	$C =$ 2					
	Orientación >>>> Aguas Abajo			$y =$ 2.20				2.70		
Angulos de Inclinación (α) >>>> 45 °			Borde Libre : BL	>>>> H_E						
Longitud de Anclaje >>>> $L_A = 0.1$ a $0.25 L_T$	Será empotrado al Dique enrocado		BL 0.5	2.50						
Longitud de Espigon >>>> $L = L_A + L_T$										
	$L =$ 5.00									

SOCAVACION EN ESPIGONES : METODO DE ARTOMONOV

$$S_T = P_\alpha * P_q * P_k * d_0 \dots\dots\dots(1)$$

donde :

S_T = Profundidad maxima de socavación

P_α = Coeficiente que depende del ángulo del espigón

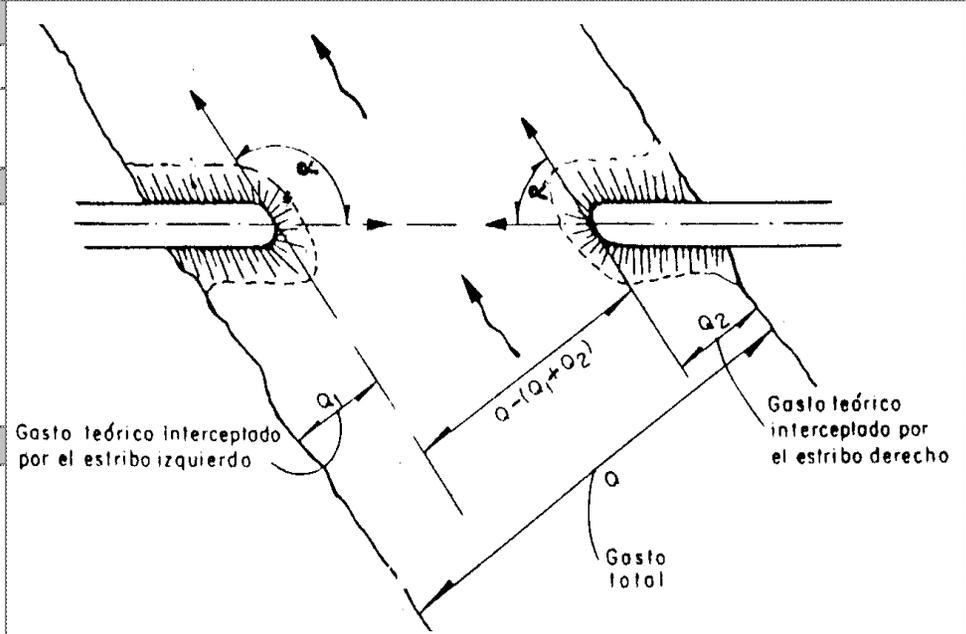
α	P_α	Inclinacion : AGUA ABAJO respecto al eje del dique enrocado :
30 °	0.84	$\alpha = 45^\circ$ $P_\alpha = 0.89$
60 °	0.94	
90 °	1.00	
120 °	1.07	
150 °	1.19	

P_q = Coeficiente que depende de los gastos

Q_1 / Q	P_q	Q_1 = Gasto teórico a través del estribo Q = Gasto total del río
0.1	2.00	$Q_1 / Q = 0.3$ $P_q = 3.22$
0.2	2.65	
0.3	3.22	
0.4	3.45	
0.5	3.67	
0.6	3.87	
0.7	4.06	
0.8	4.20	
0.9	4.20	

P_k = Coeficiente que depende del talud

k	P_k	$k = Z$
0	1.00	$k = Z = 1.5$ $P_q = 0.83$
0.5	0.91	
1	0.85	
1.5	0.83	
2	0.61	
3	0.50	



d_0 = Tirante aguas arriba, sin socavacion = t

$$d_0 = 2.20 \text{ m}$$

=====> REEMPLAZANDO DATOS EN (1) :

$$S_T = 5.23 \text{ m}$$

=====> LA SOCAVACION LOCAL SERÁ :

$$H_S = S_T - d_0$$

$$H_S = 3.03 \text{ m}$$

Por tanto la Profundidad de Uña en espigon será

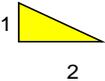
$$P_{\text{uña_espigon}} = 3.50 \text{ m}$$

CALCULO ESTRUCTURAL

ESTABILIDAD DEL TERRAPLEN				
Fuerza Resistente (Kg/m)			ANALISIS DE ESTABILIDAD	
R = W * Tag Ø				
W = Peso del Terraplen		R	R > P =====> EL DIQUE ES ESTABLE A LA PRESION DEL AGUA	
Area Dique (m ²)	19.50	26,352.31		
Peso Especifico del material (Kg/m ³)	1930.00			
W = 37,635.00				
Angulo de friccion interna en grados(tipo de material de rio)				
Ø	35			
Tag Ø				0.70
Presion del Agua (Kg/m²)				
P = P_w * t²/2				
P _w =	1000.00			2,420.00
Tirante				
t =	2.20			

PROBABILIDAD DE MOVIMIENTO DE LA ROCA			
F_{roca (D50)} = 0.56 *(V²/2g) * (1/ D₅₀) * (1/ Δ)			F_{roca} (%)
Velocidad caudal de diseño (V)			
Velocidad	3.23		0.23
$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_a}{\gamma_a}$		Δ	
Peso especifico de la roca (cantera) Kg/m³		1.64	
$\gamma_s =$	2,640.00		
Peso especifico del agua Kg/m³			
$\gamma_a =$	1,000.00		
Diametro medio de la roca (D₅₀)			
D ₅₀ =	0.80		

CALCULO PARA DETERMINAR EL USO DE FILTROS			
1.- Determinación de Velocidad en el espacio entre el enrocado y material base :		2.-Determinación de velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado (V_e)	
V _a : velocidad del agua entre el enrocado y el fondo.	V _a (m/s)	V _e = velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado	V _e (m/s)
$V_a = (D_{50} / 2)^{2/3} * S^{1/2} / n_f$		$V_e = 16.1 * (D_m)^{1/2}$	
n _f = Rugosidad del fondo	1.919	D _m = diámetro de partículas del suelo base (m)	1.018
Condicion n _f		D _m = 0.004 m	
Sin filtro o hay filtro de Geotextil 0.02		Verificacion :	
Pendiente Tramo de estudio		Como V _a > V _e : Habra Erosión ==> SE RECOMIENDA UTILIZAR UN FILTRO DE GEOTEXTIL O UN FILTRO DE GRAVA	
S = 0.00500			
Diametro medio de la roca (D ₅₀)			
D ₅₀ = 0.80			

ESTABILIDAD DEL REVESTIMIENTO DEL ENROCADO			
ESFUERZO MAXIMO CORTANTE ACTUANTE		ESFUERZO CORTANTE CRITICOS	
$\tau_a = \gamma_a * t * S$	τ_a	$\tau_c = C * (\gamma_s - \gamma_a) * D_{50} * K$	τ_c
Peso especifico del agua Kg/m ³	14.30	Peso especifico del agua Kg/m ³	101.68
$\gamma_a = 1,000.00$		$\gamma_a = 1,000.00$	
Tirante de diseño (m)		Peso especifico de la roca (cantera) Kg/m ³	
t = 2.20		$\gamma_s = 2,640.00$	
Pendiente Tramo de estudio		Factor de Talud (K)	
S = 0.00650		$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}}$	
	Angulo del Talud (α)		
	Z = 2		
			
	Angulo de fricción interna del material (Enrocado) (Φ)		
	Φ = 45		
	Factor de Talud (K)		
	K = 0.775		
	Coeficiente de Shields		
	C = 0.100		
			Verificacion ==>
			Si $\tau_a < \tau_c$
			EL REVESTIMIENTO DEL ENROCADO ES ESTABLE

DETERMINACION DEL TIPO DE FILTRO

ASUMIENDO UN FILTRO DE GEOTEXTIL : Se tiene ==>

$$V_{a1} = V_a / 4$$

$$V_{a1} = 0.480 \text{ m/s}$$

Se debe verificar que se cumpla que : $V_{a1} > V_e$

Verificacion :

Como $V_{a1} < V_e$: ==> USAR FILTRO DE GRAVA

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA FORMULA DE MAYNORD Caudal : $Q = 1,784.53 \text{ m}^3/\text{seg}$

Sección Hidráulica	Altura Hidráulica (m)	Velocidad en el Centro del Cauce (m/s)	Coficiente C_1	Coficiente por Ubicación de roca C_2	$F = C_2 V / (g y)^{0.5}$	$d_{50} = t C_1 F^3$
Rio Santa	2.20	3.23	0.32	1.25	0.87	0.46

$D_{50} = 0.46 \text{ m}$
$D_{100} = 0.92 \text{ m}$

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA RIO SANTA FÓRMULA DE FORMULA DE R. A. LOPARDO

$$W = \frac{0.011314 * \gamma_s * V^6}{\gamma \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) * \text{SENO}^3(\phi - \theta)}$$

- γ_s Peso específico de las partículas, Kg/cm³, Tn/m³
- γ Peso específico del fluido, Kg/cm³, Tn/m³
- V Velocidad media, m/s
- ϕ Ángulo de reposo del material
- θ Ángulo del talud respecto a la horizontal
- W Peso, Kg

$$D_s = \left(\frac{6 * W}{\pi * \lambda_s} \right)^{1/3}$$

- D_s = Diámetro de volumen esférico equivalente, ft
- W = Peso de roca, lb
- γ_s = Peso específico de la roca, lb / ft³

Sección Hidráulica	γ_s Tn/m ³	γ Tn/m ³	Velocidad Media (m/s)	ϕ (°)	Talud  2.00	θ (°)	W (Peso)			γ_s pcf	D_s ft (Pies)	D_s (m)
							KG	Tn	Lb			
Rio Santa	2.68	1.00	3.23	4 5.00 °	2.00	2 6.57 °	646.68	0.647	1425.69	167.307	2.534	0.772

Porcentaje	Diámetro de la roca, m		
100	<=	$D_{\text{calculado}}$	= 0.77
50	>	D_{60}	= 0.46
80	>	D_{40}	= 0.31

$D_{\text{calculado}}$	=	0.77	m
------------------------	---	------	---

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA RIO SANTA FÓRMULA DE LA CALIFORNIA DIVISIÓN OF HIGHWAYS

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

b factor para condiciones de mucha turbulencia, piedras redondas, y sin que permita movimiento de piedra, se adopta un valor b =1.4

Δ Densidad Relativa del material $\implies \Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$

γ_s Densidad de la roca

γ Densidad del agua

V Velocidad media, m/s

g Aceleracion Gravedad : 9.81

f= Factor de talud

θ = Angulo del Talud

ϕ = Angulo de Friccion Interna del material.

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Sección Hidráulica	γ_s Tn/m3	γ Tn/m3	Velocidad Media (m/s)	ϕ (°)	Talud 	θ (°)	Δ	f	d₅₀ (m)
Rio Chicama	2.63	1.00	3.23	3 8.00 °	2.00	2 6.57 °	1.63	0.687	0.66

Porcentaje	Diámetro de la roca, m		
100	<=	D _{calculado}	= 0.66
50	>	D ₆₀	= 0.4
80	>	D ₄₀	= 0.27

D₅₀	=	0.66	m
-----------------------	----------	-------------	----------

Periodo de Retorno 500 años

Tabla Nº 01							
Coeficiente de Contraccion, μ							
Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos						
	10 m.	13 m.	16 m.	18 m.	21 m.	25 m.	30 m.
<1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99
2	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97
3	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96
>4.00	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	

Velocidad (m/s)	Longitud libre entre los estribos					
	42 m.	52 m.	63 m.	106 m.	124 m.	200 m.
<1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
>4.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Tabla nº 04 : Valores del Coeficiente β		
Periodo de Retorno (Años)	Probabilidad de Retorno (%)	Coeficiente β
	0.00	0.77
2.00	50.00	0.82
5.00	20.00	0.86
10.00	10.00	0.90
20.00	5.00	0.94
50.00	2.00	0.97
100.00	1.00	1.00
300.00	0.33	1.03
500.00	0.20	1.05
1,000.00	0.10	1.07
Periodo de Retorno (Años) =====>		500.00
$\beta =$		1.05

Seleccionan :	$V_m =$	3.601	Velocidad media (m/s)
	$B =$	66.000	Ancho efectivo (m)
	$\mu =$	0.990	

CALCULO HIDRÁULICO

SECCIÓN ESTABLE O AMPLITUD DE CAUCE (B)

Proyecto : 0

Q DISEÑO (m ³ /seg)	MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON			MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING			MÉTODO DE BLENCH		
	B = K ₁ Q ^{1/2}			B = (Q ^{1/2} /S ^{1/5}) (n K ^{5/3}) ^{3/(3+5m)}			B = 1.81(Q F _b /F _s) ^{1/2}		
704.74	Condiciones de Fondo de río	K ₁	B (m)	Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)	Factores		B (m)
Pendiente Zona del Proyecto (m/m)	Fondo y orillas de grava	2.9	76.99	Descripción	n	108.26	Factor de Fondo	F _b	166.45
				Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza = 0.040 - 0.036	0.04		Material Grueso	1.2	
MÉTODO DE PETTIT		Descripción	K	Factor de Orilla	F _s				
0.00500	B = 4.44 Q ^{0.5}		Material aluvial = 8 a 12				12		
	B (m)		Coeficiente de Tipo de Río		117.87	Materiales sueltos	0.1		
	117.87		Descripción	m					
			Para cauces aluviales	1					

RESUMEN :

MÉTODO	B (m)
MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	76.99
MÉTODO DE PETTIT	117.87
MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	108.26
MÉTODO DE BLENCH	166.45
RECOMENDACIÓN PRACTICA	82.28
=====> PROMEDIO B :	110.37
=====> SE ADOPTA B :	66.00

Se elige este ancho por adaptarse a la zona de estudio.

CALCULO HIDRÁULICO SECTOR :Chepen

CALCULO DEL TIRANTE MÉTODO DE MANNING - STRICKLER (B > 30 M)		
$t = ((Q / (Ks * B * S^{1/2}))^{3/5})$		
Valores para Ks para Cauces Naturales (Inversa de n)		
Descripción	Ks	t (m)
Cauces naturales con derrubio e irregularidades = 30	30	2.64
Caudal de Diseño (m³/seg)		
Q = 704.74		
Ancho Estable - Plantilla (m)		
B = 66.00		
Pendiente del Tramo de estudio		
S = 0.00500		

Formula de Manning : Velocidad Media (m/s) >>>>> $V = R^{2/3} * S^{1/2} / n$

Radio Hidráulico >>> $R = A / P$ >>>>>>>		R :	Pendiente de Fondo >>> S	
Tirante medio (y)	Taluz de Borde (Z)	2.38	S = 0.00500	
y = 2.64	Z = 2		Coefficiente de Rugosidad de Manning	
Ancho de Equilibrio (B)			Descripción	n
B = 66.00			Cauces de Río con fuerte transporte de acarreo =	0.035
Área (m2)		0.035		
A = 160.3		Perímetro (m)		
		P = 67.25		

>>>>>>> V = 3.60 m/seg

Numero de Froude : $F = V / (g * y)^{1/2}$

Velocidad media de la corriente (m/s)	Aceleración de la Gravedad	Profundidad Hidráulica Media = Área Mojada / Ancho Superficial:		Froude (F)
V = 3.60	g = 9.81	y = A / B >>>	y = 2.43	0.74

Tipo de Flujo : FLUJO SUBCRITICO

Calculo de la Altura de Dique >>>>>>

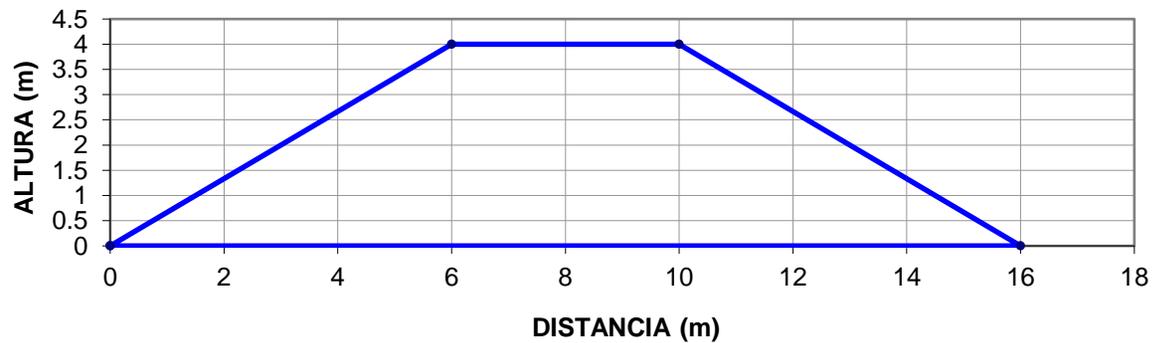
Bordo Libre (BL) = ϕ e					ALTURA DE MURO (H _D)
Caudal máximo m ³ /s	ϕ	ϕ	$e = V^2/2g$	BL	H _M = y + BL
3000.00	4000.00	2	1.2	0.66	y : Tirante de diseño (m)
2000.00	3000.00	1.7			y = 2.64
1000.00	2000.00	1.4			>>>>> H _M = 3.43
500.00	1000.00	1.2			Por Procesos Constructivos
100.00	500.00	1.1			>>>>> H _M = 4.00

Caudal de Diseño (m³/seg) : 704.74

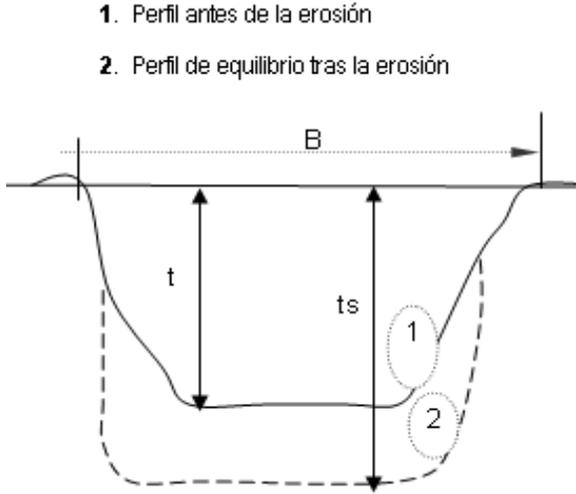
Por lo Tanto las características Geométricas del dique a construir son :

ALTURA PROMEDIO DE DIQUE (m)	=	4.00
ALTURA PROMEDIO DE ENROCADO (m)	=	4.00
ANCHO DE CORONA (m)	=	4.00
TALUD	:	H V
Cara Humeda	1.5 :	1
Cara seca	1.5 :	1
AREA (m ²)	=	32.00

SECCION TIPICA DEL DIQUE



CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (Hs)				
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDIEV				
Suelos Granulares - No Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$		(1)		
Suelos Cohesivos				
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)}$		(2)		
Donde:				
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)				
t = Tirante sin socavacion (m)				
$t = 2.64$ m				
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)				
$D_m = 4$ mm				
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)				
μ = Coeficiente de Contraccion				
α = Coeficiente >>>>>				
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$				
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α
$t_m = 2.43$	704.74	$\mu = 0.99$	B = 66.00	2.46



PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :

X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS	
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$		$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$	
$x = 0.37$	0.73	$\beta = 1.05$	$t_s =$	6.05 m

PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)	
H_s	= $t_s - t$
H_s	= 3.41 m

CALCULO ESTRUCTURAL : Profundidad de Uña

Proyecto :

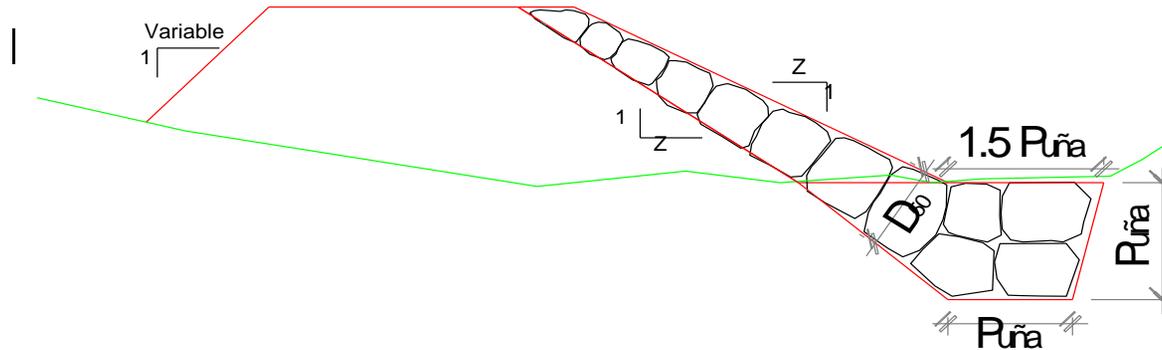
Puente Chaman

Profundidad de Socavacion (H_s) =	3.41	=====>	Profundidad de Uña ($P_{UÑA}$) =	$FS * H_s$
			FS =	1.15
			$P_{UÑA}$ =	3.92

Por lo Tanto Seleccionamos :

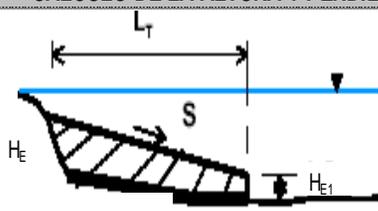
$P_{UÑA}$ =	4.00 m
-------------	--------

PROTECCION DEL PIE DE TALUD



CALCULO ESTRUCTURAL DE ESPIGONES:

Proyecto : **Puente Chaman**

Tipo :	DIMECIONAMIENTO		CALCULO DE LA ALTURA Y PENDIENTE:	Taludes	V	H
No Sumergibles	Longitud : $L = L_A + L_T$			Espalda	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
Características :	Longitud de Trabajo >>>> $y < L_T < B/4$			$T_E =$	1	1.5
Son más baratos, pero causan menos sedimentación, y crean turbulencia durante el proceso de sumergencia, por lo que las protecciones al pie de los taludes deben ser de mayor longitud.	Tirante medio (m): $y =$ 2.64	Progresivas 0+000	Pendiente de la Cresta : S	Frente	1 : 1.25 a 1 : 3.0	
	Ancho medio del cauce (m): $B =$ 66.00			$T_F =$	1	1.25
	>>>>>> 2.64 < L_T < 16.5	>>>> Longitud de Trabajo (m)		Morro	1 : 2.5 a 1 : 5.0	
	Seleccionamos ==>> $L_T =$ 25.00	Corregida por el $\alpha :$		$T_M =$	1	2.5
	Orientación >>>> Aguas Abajo	17.68	Calculo de Altura de Espigon ==>>>>>> $H_E :$	Corona de Espigón :		
	Angulos de Inclinación (α) >>>> 45 °		$y =$ 2.64	3.14	$C =$ 2	
	Longitud de Anclaje >>>> $L_A = 0.1$ a $0.25 L_T$		Borde Libre : BL	>>>> H_E		
	$L_A =$ -	Será empotrado al Dique enrocado	BL 0.5	3.00		
Longitud de Espigon >>>> $L = L_A + L_T$						
$L =$ 5.00						

SOCAVACION EN ESPIGONES : METODO DE ARTOMONOV

$$S_T = P_\alpha * P_q * P_k * d_o \dots\dots\dots(1)$$

donde :

S_T = Profundidad maxima de socavación

P_α = **Coficiente que depende del ángulo del espigón**

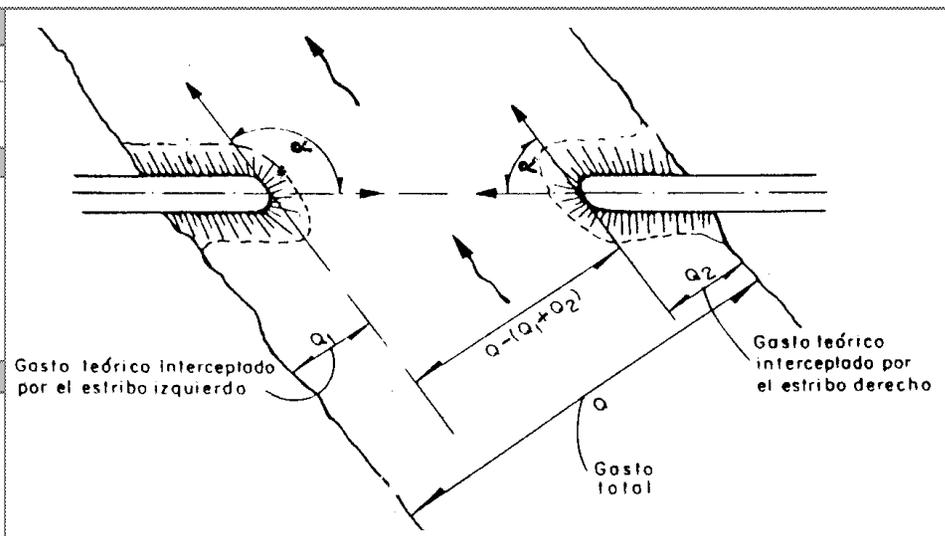
α	P_α	Inclinación : AGUA ABAJO respecto al eje del dique enrocado :
30 °	0.84	$\alpha = 45^\circ$ $P_\alpha = 0.89$
60 °	0.94	
90 °	1.00	
120 °	1.07	
150 °	1.19	

P_q = **Coficiente que depende de los gastos**

Q_1 / Q	P_q	Q_1 = Gasto teórico a través del estribo Q = Gasto total del río
0.1	2.00	$Q_1 / Q = 0.3$ $P_q = 3.22$
0.2	2.65	
0.3	3.22	
0.4	3.45	
0.5	3.67	
0.6	3.87	
0.7	4.06	
0.8	4.20	
0.9	4.20	

P_k = **Coficiente que depende del talud**

k	P_k	$k = Z =$
0	1.00	$k = Z = 1.5$ $P_k = 0.83$
0.5	0.91	
1	0.85	
1.5	0.83	
2	0.61	
3	0.50	



d_o = Tirante aguas arriba, sin socavacion = t

$$d_o = 2.64 \text{ m}$$

=====> REEMPLAZANDO DATOS EN (1) :

$$S_T = 6.28 \text{ m}$$

=====> LA SOCAVACION LOCAL SERÁ :

$$H_S = S_T - d_o$$

$$H_S = 3.64 \text{ m}$$

Por tanto la Profundidad de Uña en espigon será

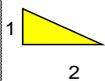
$$P_{uña_espigon} = 4.00 \text{ m}$$

CALCULO ESTRUCTURAL

ESTABILIDAD DEL TERRAPLEN			
Fuerza Resistente (Kg/m)		ANALISIS DE ESTABILIDAD	
R = W * Tag Ø			
W = Peso del Terraplen		R	
Area Dique (m ²)	32.00	R > P =====> EL DIQUE ES ESTABLE A LA PRESION DEL AGUA	
Peso Especifico del material (Kg / m ³)	1930.00		
W = 61,760.00			
Angulo de friccion interna en grados(tipo de material de rio)			
Ø	35		
Tag Ø			
Tag Ø	0.70		
Presion del Agua (Kg/m²)		P	
P = P_w * t²/2			
P _w =	1000.00		
Tirante			
t =	2.64	3,484.80	

PROBABILIDAD DE MOVIMIENTO DE LA ROCA			
F_{roca (D50)} = 0.56 *(V²/2g) * (1/ D₅₀) * (1/ Δ)			F_{roca} (%)
Velocidad caudal de diseño (V)			
Velocidad	3.60		0.28
$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_a}{\gamma_a}$		Δ	
Peso especifico de la roca (cantera) Kg/m³		1.64	
$\gamma_s =$	2,640.00		
Peso especifico del agua Kg/m³			
$\gamma_a =$	1,000.00		
Diametro medio de la roca (D₅₀)			
D ₅₀ =	0.80		

CALCULO PARA DETERMINAR EL USO DE FILTROS			
1.- Determinación de Velocidad en el espacio entre el enrocado y material base		2.-Determinación de velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado (V_e)	
V _a : velocidad del agua entre el enrocado y el fondo.		V _e = velocidad que puede soportar el suelo sin ser erosionado	V _e (m/s)
$V_a = (D_{50} / 2)^{2/3} * S^{1/2} / n_f$		$V_e = 16.1 * (D_m)^{1/2}$	
n _f = Rugosidad del fondo		D _m = diámetro de partículas del suelo base (m)	
Condicion	n _f	D _m =	0.004 m
Sin filtro o hay filtro de Geotextil	0.02	Verificacion :	
Pendiente Tramo de estudio		Como V _a > V _e : Habra Erosión ==> SE RECOMIENDA UTILIZAR UN FILTRO DE GEOTEXTIL O UN FILTRO DE GRAVA	
S = 0.00500		1.018	
Diametro medio de la roca (D₅₀)			
D ₅₀ = 0.80			
		1.919	

ESTABILIDAD DEL REVESTIMIENTO DEL ENROCADO			
ESFUERZO MAXIMO CORTANTE ACTUANTE		ESFUERZO CORTANTE CRITICOS	
$\tau_a = \gamma_a * t * S$	τ_a	$\tau_c = C * (\gamma_s - \gamma_a) * D_{50} * K$	τ_c
Peso especifico del agua Kg/m³	17.16	Peso especifico del agua Kg/m³	101.68
$\gamma_a = 1,000.00$		$\gamma_a = 1,000.00$	
Tirante de diseño (m)		Peso especifico de la roca (cantera) Kg/m³	
t = 2.64		$\gamma_s = 2,640.00$	
Pendiente Tramo de estudio		Factor de Talud (K)	
S = 0.00650		$K = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$	
		Angulo del Talud (α)	EL REVESTIMIENTO DEL ENROCADO ES ESTABLE
		Z = 2	
			
		α = 26.57°	
		Angulo de fricción interna del material (Enrocado) (Φ)	
		Φ = 45	
		Factor de Talud (K)	
		K = 0.775	
		Coefficiente de Shields	
		C = 0.100	

DETERMINACION DEL TIPO DE FILTRO

ASUMIENDO UN FILTRO DE GEOTEXTIL : Se tiene ==>

$$V_{a1} = V_a / 4$$

$$V_{a1} = 0.480 \text{ m/s}$$

Se debe verificar que se cumpla que : $V_{a1} > V_e$

Verificacion :

Como $V_{a1} < V_e$: ==> USAR FILTRO DE GRAVA

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA FORMULA DE MAYNORD

Caudal : $Q = 1,784.53 \text{ m}^3/\text{seg}$

Sección Hidráulica	Altura Hidráulica (m)	Velocidad en el Centro del Cauce (m/s)	Coficiente C_1	Coficiente por Ubicación de roca C_2	$F = C_2 V / (g y)^{0.5}$	$d_{50} = t C_1 F^3$
Rio Chaman	2.64	3.60	0.32	1.25	0.88	0.58

$D_{50} = 0.58 \text{ m}$
$D_{100} = 1.17 \text{ m}$

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA RIO CHAMAN FÓRMULA DE FORMULA DE R. A. LOPARDO

$$W = \frac{0.011314 * \frac{\gamma_s}{\gamma} * V^6}{\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}\right) * \text{SENO}^3(\phi - \theta)}$$

- γ_s Peso específico de las partículas, Kg/cm³, Tn/m³
- γ Peso específico del fluido, Kg/cm³, Tn/m³
- V Velocidad media, m/s
- ϕ Angulo de reposo del material
- θ Ángulo del talud respecto a la horizontal
- W Peso, Kg

$$D_s = \left(\frac{6 * W}{\pi * \lambda_s} \right)^{1/3}$$

D_s = Diámetro de volumen esférico equivalente, ft
 W = Peso de roca, lb
 γ_s = Peso específico de la roca, lb / ft³

Sección Hidráulica	γ_s Tn/m ³	γ Tn/m ³	Velocidad Media (m/s)	ϕ (°)	Talud 	θ (°)	W (Peso)			γ_s pcf	D_s ft (Pies)	D_s (m)
							KG	Tn	Lb			
Rio Chaman	2.68	1.00	3.60	45.00 °	2.00	26.57 °	1246.20	1.246	2747.40	167.307	3.154	0.961

Porcentaje	Diámetro de la roca, m		
100	<=	$D_{\text{calculado}}$	= 0.96
50	>	D_{60}	= 0.58
80	>	D_{40}	= 0.38

$D_{\text{calculado}}$	=	0.96	m
------------------------	---	------	---

CALCULO DEL DIAMETRO DE ROCA RIO SANTA FÓRMULA DE LA CALIFORNIA DIVISIÓN OF HIGHWAYS

b factor para condiciones de mucha turbulencia, piedras redondas, y sin que permita movimiento de piedra, se adopta un valor $b = 1.4$

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

Δ Densidad Relativa del material $\implies \Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$
 γ_s Densidad de la roca
 γ Densidad del agua
 V Velocidad media, m/s
 g Aceleracion Gravedad : 9.81

f = Factor de talud

θ = Angulo del Talud

ϕ = Angulo de Friccion Interna del material.

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Sección Hidráulica	γ_s Tn/m3	γ Tn/m3	Velocidad Media (m/s)	ϕ (°)	Talud 	θ (°)	Δ	f	d_{50} (m)
Rio Chicama	2.63	1.00	3.60	3 8.00 °	2.00	2 6.57 °	1.63	0.687	0.83

Porcentaje	Diámetro de la roca, m		
100	<=	$D_{\text{calculado}}$	= 0.83
50	>	D_{60}	= 0.5
80	>	D_{40}	= 0.33

D_{50}	=	0.83	m
----------	---	------	---

**ANEXO 2:
TABLAS PARA
HALLAR INTENSIDAD**

time (min)	SCS II	Pacum	Pinterv
0	0.0000	0.000	
6	0.0010	0.082	0.082
12	0.0020	0.163	0.082
18	0.0030	0.245	0.082
24	0.0041	0.335	0.090
30	0.0051	0.417	0.082
36	0.0062	0.507	0.090
42	0.0072	0.589	0.082
48	0.0083	0.678	0.090
54	0.0094	0.768	0.090
60	0.0105	0.858	0.090
66	0.0116	0.948	0.090
72	0.0127	1.038	0.090
78	0.0138	1.128	0.090
84	0.0150	1.226	0.098
90	0.0161	1.316	0.090
96	0.0173	1.414	0.098
102	0.0184	1.504	0.090
108	0.0196	1.602	0.098
114	0.0208	1.700	0.098
120	0.0220	1.798	0.098
126	0.0232	1.896	0.098
132	0.0244	1.995	0.098
138	0.0257	2.101	0.106
144	0.0269	2.199	0.098
150	0.0281	2.297	0.098
156	0.0294	2.403	0.106
162	0.0306	2.501	0.098
168	0.0319	2.608	0.106
174	0.0332	2.714	0.106
180	0.0345	2.820	0.106
186	0.0358	2.926	0.106
192	0.0371	3.033	0.106
198	0.0384	3.139	0.106
204	0.0398	3.253	0.114
210	0.0411	3.360	0.106
216	0.0425	3.474	0.114
222	0.0439	3.588	0.114
228	0.0452	3.695	0.106
234	0.0466	3.809	0.114
240	0.0480	3.924	0.114
246	0.0494	4.038	0.114
252	0.0508	4.153	0.114
258	0.0523	4.275	0.123
264	0.0538	4.398	0.123
270	0.0553	4.520	0.123
276	0.0568	4.643	0.123
282	0.0583	4.766	0.123
288	0.0598	4.888	0.123
294	0.0614	5.019	0.131
300	0.0630	5.150	0.131
306	0.0646	5.281	0.131
312	0.0662	5.411	0.131
318	0.0679	5.550	0.139
324	0.0696	5.689	0.139
330	0.0712	5.820	0.131
336	0.0730	5.967	0.147
342	0.0747	6.106	0.139
348	0.0764	6.245	0.139
354	0.0782	6.392	0.147
360	0.0800	6.539	0.147
366	0.0818	6.687	0.147
372	0.0836	6.834	0.147
378	0.0855	6.989	0.155
384	0.0874	7.144	0.155
390	0.0892	7.291	0.147
396	0.0912	7.455	0.163
402	0.0931	7.610	0.155
408	0.0950	7.766	0.155
414	0.0970	7.929	0.163
420	0.0990	8.092	0.163
426	0.1010	8.256	0.163
432	0.1030	8.419	0.163
438	0.1051	8.591	0.172
444	0.1072	8.763	0.172
450	0.1093	8.934	0.172
456	0.1114	9.106	0.172
462	0.1135	9.278	0.172
468	0.1156	9.449	0.172
474	0.1178	9.629	0.180
480	0.1200	9.809	0.180
486	0.1222	9.989	0.180
492	0.1246	10.185	0.196
498	0.1270	10.381	0.196
504	0.1296	10.594	0.213
510	0.1322	10.806	0.213
516	0.1350	11.035	0.229
522	0.1379	11.272	0.237
528	0.1408	11.509	0.237
534	0.1438	11.755	0.245
540	0.1470	12.016	0.262
546	0.1502	12.278	0.262
552	0.1534	12.539	0.262
558	0.1566	12.801	0.262
564	0.1598	13.062	0.262
570	0.1630	13.324	0.262
576	0.1663	13.594	0.270
582	0.1697	13.872	0.278
588	0.1733	14.166	0.294
594	0.1771	14.477	0.311
600	0.1810	14.795	0.319



606	0.1851	15.130	0.335
612	0.1895	15.490	0.360
618	0.1941	15.866	0.376
624	0.1989	16.259	0.392
630	0.2040	16.675	0.417
636	0.2094	17.117	0.441
642	0.2152	17.591	0.474
648	0.2214	18.098	0.507
654	0.2280	18.637	0.539
660	0.2350	19.209	0.572
666	0.2427	19.839	0.629
672	0.2513	20.542	0.703
678	0.2609	21.327	0.785
684	0.2715	22.193	0.866
690	0.2830	23.133	0.940
696	0.3068	25.079	1.945
702	0.3544	28.969	3.891
708	0.4308	35.215	6.245
714	0.5679	46.421	11.207
720	0.6630	54.195	7.774
726	0.6820	55.748	1.553
732	0.6986	57.105	1.357
738	0.7130	58.282	1.177
744	0.7252	59.279	0.997
750	0.7350	60.081	0.801
756	0.7434	60.767	0.687
762	0.7514	61.421	0.654
768	0.7588	62.026	0.605
774	0.7656	62.582	0.556
780	0.7720	63.105	0.523
786	0.7780	63.595	0.490
792	0.7836	64.053	0.458
798	0.7890	64.495	0.441
804	0.7942	64.920	0.425
810	0.7990	65.312	0.392
816	0.8036	65.688	0.376
822	0.8080	66.048	0.360
828	0.8122	66.391	0.343
834	0.8162	66.718	0.327
840	0.8200	67.029	0.311
846	0.8237	67.331	0.302
852	0.8273	67.625	0.294
858	0.8308	67.911	0.286
864	0.8342	68.189	0.278
870	0.8376	68.467	0.278
876	0.8409	68.737	0.270
882	0.8442	69.007	0.270
888	0.8474	69.268	0.262
894	0.8505	69.522	0.253
900	0.8535	69.767	0.245
906	0.8565	70.012	0.245
912	0.8594	70.249	0.237
918	0.8622	70.478	0.229
924	0.8649	70.699	0.221
930	0.8676	70.920	0.221
936	0.8702	71.132	0.213
942	0.8728	71.345	0.213
948	0.8753	71.549	0.204
954	0.8777	71.745	0.196
960	0.8800	71.933	0.188
966	0.8823	72.121	0.188
972	0.8845	72.301	0.180
978	0.8868	72.489	0.188
984	0.8890	72.669	0.180
990	0.8912	72.849	0.180
996	0.8934	73.029	0.180
1002	0.8955	73.200	0.172
1008	0.8976	73.372	0.172
1014	0.8997	73.543	0.172
1020	0.9018	73.715	0.172
1026	0.9038	73.879	0.163
1032	0.9058	74.042	0.163
1038	0.9078	74.206	0.163
1044	0.9097	74.361	0.155
1050	0.9117	74.524	0.163
1056	0.9136	74.680	0.155
1062	0.9155	74.835	0.155
1068	0.9173	74.982	0.147
1074	0.9192	75.137	0.155
1080	0.9210	75.285	0.147
1086	0.9228	75.432	0.147
1092	0.9245	75.571	0.139
1098	0.9263	75.718	0.147
1104	0.9280	75.857	0.139
1110	0.9297	75.996	0.139
1116	0.9313	76.127	0.131
1122	0.9330	76.266	0.139
1128	0.9346	76.396	0.131
1134	0.9362	76.527	0.131
1140	0.9377	76.650	0.123
1146	0.9393	76.780	0.131
1152	0.9408	76.903	0.123
1158	0.9423	77.026	0.123
1164	0.9438	77.148	0.123
1170	0.9452	77.263	0.114
1176	0.9466	77.377	0.114
1182	0.9480	77.492	0.114
1188	0.9493	77.598	0.106
1194	0.9507	77.712	0.114
1200	0.9520	77.819	0.106



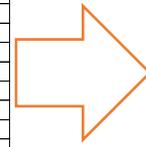
1206	0.9533	77.925	0.106
1212	0.9546	78.031	0.106
1218	0.9559	78.137	0.106
1224	0.9572	78.244	0.106
1230	0.9584	78.342	0.098
1236	0.9597	78.448	0.106
1242	0.9610	78.554	0.106
1248	0.9622	78.652	0.098
1254	0.9635	78.759	0.106
1260	0.9647	78.857	0.098
1266	0.9660	78.963	0.106
1272	0.9672	79.061	0.098
1278	0.9685	79.167	0.106
1284	0.9697	79.265	0.098
1290	0.9709	79.364	0.098
1296	0.9722	79.470	0.106
1302	0.9734	79.568	0.098
1308	0.9746	79.666	0.098
1314	0.9758	79.764	0.098
1320	0.9770	79.862	0.098
1326	0.9782	79.960	0.098
1332	0.9794	80.058	0.098
1338	0.9806	80.156	0.098
1344	0.9818	80.255	0.098
1350	0.9829	80.344	0.090
1356	0.9841	80.443	0.098
1362	0.9853	80.541	0.098
1368	0.9864	80.631	0.090
1374	0.9876	80.729	0.098
1380	0.9887	80.819	0.090
1386	0.9899	80.917	0.098
1392	0.9910	81.007	0.090
1398	0.9922	81.105	0.098
1404	0.9933	81.195	0.090
1410	0.9944	81.284	0.090
1416	0.9956	81.383	0.098
1422	0.9967	81.472	0.090
1428	0.9978	81.562	0.090
1434	0.9989	81.652	0.090
1440	1.0000	81.742	0.090
			81.742

Tabla 59: Procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II – 50 años

Tiempo	Pinter	Pacum	i (mm/h)
6	11.207	11.207	112.07
12	7.774	18.981	94.90
18	6.245	25.226	84.09
24	3.891	29.117	72.79
30	1.945	31.062	62.12
36	1.553	32.615	54.36
42	1.357	33.972	48.53
48	1.177	35.149	43.94
54	0.997	36.146	40.16
60	0.940	37.086	37.09
66	0.866	37.953	34.50
72	0.801	38.754	32.29
78	0.785	39.539	30.41
84	0.703	40.242	28.74
90	0.687	40.928	27.29
96	0.654	41.582	25.99
102	0.629	42.212	24.83
108	0.605	42.817	23.79
114	0.572	43.389	22.84
120	0.556	43.945	21.97
126	0.539	44.484	21.18
132	0.523	45.007	20.46
138	0.507	45.514	19.79
144	0.490	46.005	19.17
150	0.474	46.479	18.59
156	0.458	46.936	18.05
162	0.441	47.378	17.55
168	0.441	47.819	17.08
174	0.425	48.244	16.64
180	0.417	48.661	16.22
186	0.392	49.054	15.82
192	0.392	49.446	15.45
198	0.376	49.822	15.10
204	0.376	50.198	14.76
210	0.360	50.558	14.45
216	0.360	50.917	14.14
222	0.343	51.261	13.85
228	0.335	51.596	13.58
234	0.327	51.923	13.31
240	0.319	52.241	13.06
246	0.311	52.552	12.82
252	0.311	52.863	12.59
258	0.302	53.165	12.36
264	0.294	53.459	12.15
270	0.294	53.754	11.95
276	0.286	54.040	11.75
282	0.278	54.318	11.56
288	0.278	54.596	11.37
294	0.278	54.874	11.20
300	0.270	55.143	11.03
306	0.270	55.413	10.87
312	0.270	55.683	10.71
318	0.262	55.944	10.56
324	0.262	56.206	10.41
330	0.262	56.468	10.27
336	0.262	56.729	10.13
342	0.262	56.991	10.00
348	0.262	57.252	9.87
354	0.262	57.514	9.75
360	0.253	57.767	9.63
366	0.245	58.012	9.51
372	0.245	58.258	9.40
378	0.245	58.503	9.29
384	0.237	58.740	9.18
390	0.237	58.977	9.07
396	0.237	59.214	8.97
402	0.229	59.443	8.87
408	0.229	59.672	8.78
414	0.221	59.893	8.68
420	0.221	60.113	8.59
426	0.213	60.326	8.50
432	0.213	60.538	8.41
438	0.213	60.751	8.32
444	0.213	60.963	8.24
450	0.204	61.168	8.16
456	0.196	61.364	8.07
462	0.196	61.560	7.99
468	0.196	61.756	7.92
474	0.188	61.944	7.84
480	0.188	62.132	7.77
486	0.188	62.320	7.69
492	0.180	62.500	7.62
498	0.180	62.680	7.55
504	0.180	62.860	7.48
510	0.180	63.040	7.42
516	0.180	63.219	7.35
522	0.180	63.399	7.29
528	0.180	63.579	7.22
534	0.172	63.751	7.16
540	0.172	63.922	7.10
546	0.172	64.094	7.04
552	0.172	64.266	6.99
558	0.172	64.437	6.93
564	0.172	64.609	6.87
570	0.172	64.781	6.82
576	0.172	64.952	6.77
582	0.172	65.124	6.71
588	0.172	65.296	6.66
594	0.163	65.459	6.61
600	0.163	65.623	6.56



606	0.163	65.786	6.51
612	0.163	65.950	6.47
618	0.163	66.113	6.42
624	0.163	66.277	6.37
630	0.163	66.440	6.33
636	0.163	66.604	6.28
642	0.163	66.767	6.24
648	0.155	66.922	6.20
654	0.155	67.078	6.15
660	0.155	67.233	6.11
666	0.155	67.388	6.07
672	0.155	67.544	6.03
678	0.155	67.699	5.99
684	0.155	67.854	5.95
690	0.155	68.010	5.91
696	0.147	68.157	5.88
702	0.147	68.304	5.84
708	0.147	68.451	5.80
714	0.147	68.598	5.76
720	0.147	68.745	5.73
726	0.147	68.892	5.69
732	0.147	69.039	5.66
738	0.147	69.187	5.62
744	0.147	69.334	5.59
750	0.147	69.481	5.56
756	0.139	69.620	5.53
762	0.139	69.759	5.49
768	0.139	69.898	5.46
774	0.139	70.037	5.43
780	0.139	70.176	5.40
786	0.139	70.315	5.37
792	0.139	70.454	5.34
798	0.139	70.593	5.31
804	0.131	70.723	5.28
810	0.131	70.854	5.25
816	0.131	70.985	5.22
822	0.131	71.116	5.19
828	0.131	71.247	5.16
834	0.131	71.377	5.14
840	0.131	71.508	5.11
846	0.131	71.639	5.08
852	0.131	71.770	5.05
858	0.123	71.892	5.03
864	0.123	72.015	5.00
870	0.123	72.138	4.98
876	0.123	72.260	4.95
882	0.123	72.383	4.92
888	0.123	72.505	4.90
894	0.123	72.628	4.87
900	0.123	72.751	4.85
906	0.123	72.873	4.83
912	0.123	72.996	4.80
918	0.114	73.110	4.78
924	0.114	73.225	4.75
930	0.114	73.339	4.73
936	0.114	73.454	4.71
942	0.114	73.568	4.69
948	0.114	73.682	4.66
954	0.114	73.797	4.64
960	0.114	73.911	4.62
966	0.114	74.026	4.60
972	0.114	74.140	4.58
978	0.114	74.255	4.56
984	0.106	74.361	4.53
990	0.106	74.467	4.51
996	0.106	74.573	4.49
1002	0.106	74.680	4.47
1008	0.106	74.786	4.45
1014	0.106	74.892	4.43
1020	0.106	74.999	4.41
1026	0.106	75.105	4.39
1032	0.106	75.211	4.37
1038	0.106	75.317	4.35
1044	0.106	75.424	4.33
1050	0.106	75.530	4.32
1056	0.106	75.636	4.30
1062	0.106	75.742	4.28
1068	0.106	75.849	4.26
1074	0.106	75.955	4.24
1080	0.106	76.061	4.23
1086	0.106	76.167	4.21
1092	0.106	76.274	4.19
1098	0.106	76.380	4.17
1104	0.106	76.486	4.16
1110	0.106	76.592	4.14
1116	0.098	76.691	4.12
1122	0.098	76.789	4.11
1128	0.098	76.887	4.09
1134	0.098	76.985	4.07
1140	0.098	77.083	4.06
1146	0.098	77.181	4.04
1152	0.098	77.279	4.02
1158	0.098	77.377	4.01



1164	0.098	77.475	3.99
1170	0.098	77.573	3.98
1176	0.098	77.671	3.96
1182	0.098	77.770	3.95
1188	0.098	77.868	3.93
1194	0.098	77.966	3.92
1200	0.098	78.064	3.90
1206	0.098	78.162	3.89
1212	0.098	78.260	3.87
1218	0.098	78.358	3.86
1224	0.098	78.456	3.85
1230	0.098	78.554	3.83
1236	0.098	78.652	3.82
1242	0.098	78.750	3.80
1248	0.098	78.849	3.79
1254	0.098	78.947	3.78
1260	0.098	79.045	3.76
1266	0.098	79.143	3.75
1272	0.098	79.241	3.74
1278	0.098	79.339	3.72
1284	0.098	79.437	3.71
1290	0.098	79.535	3.70
1296	0.090	79.625	3.69
1302	0.090	79.715	3.67
1308	0.090	79.805	3.66
1314	0.090	79.895	3.65
1320	0.090	79.985	3.64
1326	0.090	80.075	3.62
1332	0.090	80.165	3.61
1338	0.090	80.255	3.60
1344	0.090	80.344	3.59
1350	0.090	80.434	3.57
1356	0.090	80.524	3.56
1362	0.090	80.614	3.55
1368	0.090	80.704	3.54
1374	0.090	80.794	3.53
1380	0.090	80.884	3.52
1386	0.090	80.974	3.51
1392	0.090	81.064	3.49
1398	0.090	81.154	3.48
1404	0.090	81.244	3.47
1410	0.090	81.334	3.46
1416	0.082	81.415	3.45
1422	0.082	81.497	3.44
1428	0.082	81.579	3.43
1434	0.082	81.660	3.42
1440	0.082	81.742	3.41
	81.742		

Tabla 60: Intensidad Máxima en el minuto 432

Tabla 61: Resultados de Intensidades Mediante Método de D. Peschke – 50 años

Durac	Pd (mm)	D.Peschke i (mm/h)
6	20.77	207.68
12	24.70	123.49
18	27.33	91.11
24	29.37	73.43
30	31.06	62.11
36	32.50	54.17
42	33.78	48.26
48	34.93	43.66
54	35.97	39.97
60	36.93	36.93
66	37.82	34.38
72	38.65	32.21
78	39.43	30.33
84	40.17	28.69
90	40.87	27.25
96	41.54	25.96
102	42.17	24.81
108	42.78	23.77
114	43.36	22.82
120	43.92	21.96
126	44.46	21.17
132	44.98	20.44
138	45.48	19.77
144	45.97	19.15
150	46.44	18.58
156	46.90	18.04
162	47.34	17.53
168	47.77	17.06
174	48.19	16.62
180	48.60	16.20
186	49.00	15.81
192	49.39	15.44
198	49.78	15.08
204	50.15	14.75
210	50.51	14.43
216	50.87	14.13
222	51.22	13.84
228	51.56	13.57
234	51.90	13.31
240	52.23	13.06
246	52.55	12.82
252	52.87	12.59
258	53.18	12.37
264	53.49	12.16
270	53.79	11.95
276	54.09	11.76
282	54.38	11.57
288	54.66	11.39
294	54.95	11.21
300	55.23	11.05
306	55.50	10.88
312	55.77	10.72
318	56.04	10.57
324	56.30	10.43
330	56.56	10.28
336	56.81	10.15
342	57.06	10.01
348	57.31	9.88
354	57.56	9.76
360	57.80	9.63
366	58.04	9.51
372	58.28	9.40
378	58.51	9.29
384	58.74	9.18
390	58.97	9.07
396	59.19	8.97
402	59.42	8.87
408	59.64	8.77
414	59.86	8.67
420	60.07	8.58
426	60.28	8.49
432	60.50	8.40
438	60.70	8.32
444	60.91	8.23
450	61.12	8.15
456	61.32	8.07
462	61.52	7.99
468	61.72	7.91
474	61.92	7.84
480	62.11	7.76
486	62.30	7.69
492	62.50	7.62
493.17	62.53	7.61

Tabla 62: Resultados de Intensidades Mediante Método de F. Bell – 50 años

Durac (min)	P(t,T)	i (mm/h)
6	10.09	100.89
12	14.76	73.82
18	17.90	59.66
24	20.32	50.81
30	22.33	44.65
36	24.05	40.08
42	25.57	36.53
48	26.93	33.67
54	28.17	31.30
60	29.32	29.32
66	30.38	27.61
72	31.37	26.14
78	32.29	24.84
84	33.17	23.69
90	34.00	22.67
96	34.79	21.75
102	35.55	20.91
108	36.27	20.15
114	36.96	19.45
120	37.63	18.81
126	38.27	18.22
132	38.89	17.68
138	39.49	17.17
144	40.06	16.69
150	40.63	16.25
156	41.17	15.83
162	41.70	15.44
168	42.21	15.08
174	42.71	14.73
180	43.20	14.40
186	43.68	14.09
192	44.14	13.79
198	44.60	13.51
204	45.04	13.25
210	45.47	12.99
216	45.90	12.75
222	46.31	12.52
228	46.72	12.30
234	47.12	12.08
240	47.51	11.88
246	47.90	11.68
252	48.28	11.49
258	48.65	11.31
264	49.01	11.14
270	49.37	10.97
276	49.72	10.81
282	50.07	10.65
288	50.41	10.50
294	50.75	10.36
300	51.08	10.22
306	51.40	10.08
312	51.73	9.95
318	52.04	9.82
324	52.35	9.70
330	52.66	9.57
336	52.97	9.46
342	53.27	9.34
348	53.56	9.23
354	53.85	9.13
360	54.14	9.02
366	54.43	8.92
372	54.71	8.82
378	54.99	8.73
384	55.26	8.63
390	55.53	8.54
396	55.80	8.45
402	56.06	8.37
408	56.33	8.28
414	56.59	8.20
420	56.84	8.12
426	57.10	8.04
432	57.35	7.96
438	57.60	7.89
444	57.84	7.82
450	58.09	7.74
456	58.33	7.67
462	58.57	7.61
468	58.80	7.54
474	59.04	7.47
480	59.27	7.41
486	59.50	7.35
492	59.73	7.28
493.17	59.77	7.27

**Tabla 63: Tabla Resumen de
Métodos para Hallar la
Intensidad en 50 Años**

Durac	Pd (mm)	D.Peschke	SCS	F. Bell	DF Campos
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
6	20.77	207.68	112.07	100.89	197.15
12	24.70	123.49	94.90	73.82	101.96
18	27.33	91.11	84.09	59.66	70.21
24	29.37	73.43	72.79	50.81	54.32
30	31.06	62.11	62.12	44.65	44.78
36	32.50	54.17	54.36	40.08	38.40
42	33.78	48.26	48.53	36.53	33.84
48	34.93	43.66	43.94	33.67	30.41
54	35.97	39.97	40.16	31.30	27.73
60	36.93	36.93	37.09	29.32	25.59
66	37.82	34.38	34.50	27.61	23.83
72	38.65	32.21	32.29	26.14	22.36
78	39.43	30.33	30.41	24.84	21.11
84	40.17	28.69	28.74	23.69	20.03
90	40.87	27.25	27.29	22.67	19.09
96	41.54	25.96	25.99	21.75	18.27
102	42.17	24.81	24.83	20.91	17.54
108	42.78	23.77	23.79	20.15	16.89
114	43.36	22.82	22.84	19.45	16.30
120	43.92	21.96	21.97	18.81	15.77
126	44.46	21.17	21.18	18.22	15.29
132	44.98	20.44	20.46	17.68	14.85
138	45.48	19.77	19.79	17.17	14.44
144	45.97	19.15	19.17	16.69	14.07
150	46.44	18.58	18.59	16.25	13.72
156	46.90	18.04	18.05	15.83	13.40
162	47.34	17.53	17.55	15.44	13.10
168	47.77	17.06	17.08	15.08	12.82
174	48.19	16.62	16.64	14.73	12.55
180	48.60	16.20	16.22	14.40	12.30
186	49.00	15.81	15.82	14.09	12.07
192	49.39	15.44	15.45	13.79	11.85
198	49.78	15.08	15.10	13.51	11.64
204	50.15	14.75	14.76	13.25	11.44
210	50.51	14.43	14.45	12.99	11.26
216	50.87	14.13	14.14	12.75	11.08
222	51.22	13.84	13.85	12.52	10.91
228	51.56	13.57	13.58	12.30	10.74
234	51.90	13.31	13.31	12.08	10.59
240	52.23	13.06	13.06	11.88	10.44
246	52.55	12.82	12.82	11.68	10.29
252	52.87	12.59	12.59	11.49	10.15
258	53.18	12.37	12.36	11.31	10.02
264	53.49	12.16	12.15	11.14	9.89
270	53.79	11.95	11.95	10.97	9.77
276	54.09	11.76	11.75	10.81	9.65
282	54.38	11.57	11.56	10.65	9.54
288	54.66	11.39	11.37	10.50	9.42
294	54.95	11.21	11.20	10.36	9.32
300	55.23	11.05	11.03	10.22	9.21
306	55.50	10.88	10.87	10.08	9.11
312	55.77	10.72	10.71	9.95	9.01
318	56.04	10.57	10.56	9.82	8.92
324	56.30	10.43	10.41	9.70	8.83
330	56.56	10.28	10.27	9.57	8.73
336	56.81	10.15	10.13	9.46	8.65
342	57.06	10.01	10.00	9.34	8.56
348	57.31	9.88	9.87	9.23	8.48
354	57.56	9.76	9.75	9.13	8.40
360	57.80	9.63	9.63	9.02	8.32
366	58.04	9.51	9.51	8.92	8.24
372	58.28	9.40	9.40	8.82	8.16
378	58.51	9.29	9.29	8.73	8.09
384	58.74	9.18	9.18	8.63	8.02
390	58.97	9.07	9.07	8.54	7.95
396	59.19	8.97	8.97	8.45	7.88
402	59.42	8.87	8.87	8.37	7.81
408	59.64	8.77	8.78	8.28	7.74
414	59.86	8.67	8.68	8.20	7.68
420	60.07	8.58	8.59	8.12	7.61
426	60.28	8.49	8.50	8.04	7.55
432	60.50	8.40	8.41	7.96	7.49
438	60.70	8.32	8.32	7.89	7.43
444	60.91	8.23	8.24	7.82	7.37
450	61.12	8.15	8.16	7.74	7.31
456	61.32	8.07	8.07	7.67	7.25
462	61.52	7.99	7.99	7.61	7.20
468	61.72	7.91	7.92	7.54	7.14
474	61.92	7.84	7.84	7.47	7.09
480	62.11	7.76	7.77	7.41	7.03
486	62.29	7.69	7.69	7.35	6.98
492	62.50	7.62	7.62	7.28	6.93
493.17	62.53	7.61	7.61	7.27	6.92

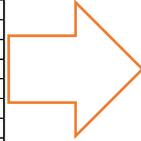
time (min)	SCS II	Pacum	Pinterv
0	0.0000	0.000	
6	0.0010	0.091	0.091
12	0.0020	0.183	0.091
18	0.0030	0.274	0.091
24	0.0041	0.375	0.101
30	0.0051	0.466	0.091
36	0.0062	0.567	0.101
42	0.0072	0.658	0.091
48	0.0083	0.759	0.101
54	0.0094	0.860	0.101
60	0.0105	0.960	0.101
66	0.0116	1.061	0.101
72	0.0127	1.161	0.101
78	0.0138	1.262	0.101
84	0.0150	1.372	0.110
90	0.0161	1.472	0.101
96	0.0173	1.582	0.110
102	0.0184	1.683	0.101
108	0.0196	1.792	0.110
114	0.0208	1.902	0.110
120	0.0220	2.012	0.110
126	0.0232	2.122	0.110
132	0.0244	2.231	0.110
138	0.0257	2.350	0.119
144	0.0269	2.460	0.110
150	0.0281	2.570	0.110
156	0.0294	2.689	0.119
162	0.0306	2.798	0.110
168	0.0319	2.917	0.119
174	0.0332	3.036	0.119
180	0.0345	3.155	0.119
186	0.0358	3.274	0.119
192	0.0371	3.393	0.119
198	0.0384	3.512	0.119
204	0.0398	3.640	0.128
210	0.0411	3.759	0.119
216	0.0425	3.887	0.128
222	0.0439	4.015	0.128
228	0.0452	4.134	0.119
234	0.0466	4.262	0.128
240	0.0480	4.390	0.128
246	0.0494	4.518	0.128
252	0.0508	4.646	0.128
258	0.0523	4.783	0.137
264	0.0538	4.920	0.137
270	0.0553	5.057	0.137
276	0.0568	5.194	0.137
282	0.0583	5.332	0.137
288	0.0598	5.469	0.137
294	0.0614	5.615	0.146
300	0.0630	5.761	0.146
306	0.0646	5.908	0.146
312	0.0662	6.054	0.146
318	0.0679	6.210	0.155
324	0.0696	6.365	0.155
330	0.0712	6.511	0.146
336	0.0730	6.676	0.165
342	0.0747	6.831	0.155
348	0.0764	6.987	0.155
354	0.0782	7.152	0.165
360	0.0800	7.316	0.165
366	0.0818	7.481	0.165
372	0.0836	7.645	0.165
378	0.0855	7.819	0.174
384	0.0874	7.993	0.174
390	0.0892	8.158	0.165
396	0.0912	8.340	0.183
402	0.0931	8.514	0.174
408	0.0950	8.688	0.174
414	0.0970	8.871	0.183
420	0.0990	9.054	0.183
426	0.1010	9.237	0.183
432	0.1030	9.420	0.183
438	0.1051	9.612	0.192
444	0.1072	9.804	0.192
450	0.1093	9.996	0.192
456	0.1114	10.188	0.192
462	0.1135	10.380	0.192
468	0.1156	10.572	0.192
474	0.1178	10.773	0.201
480	0.1200	10.974	0.201
486	0.1222	11.175	0.201
492	0.1246	11.395	0.219
498	0.1270	11.614	0.219
504	0.1296	11.852	0.238
510	0.1322	12.090	0.238
516	0.1350	12.346	0.256
522	0.1379	12.611	0.265
528	0.1408	12.876	0.265
534	0.1438	13.151	0.274
540	0.1470	13.443	0.293
546	0.1502	13.736	0.293
552	0.1534	14.029	0.293
558	0.1566	14.321	0.293
564	0.1598	14.614	0.293
570	0.1630	14.907	0.293
576	0.1663	15.208	0.302
582	0.1697	15.519	0.311
588	0.1733	15.849	0.329
594	0.1771	16.196	0.348
600	0.1810	16.553	0.357

606	0.1851	16.928	0.375
612	0.1895	17.330	0.402
618	0.1941	17.751	0.421
624	0.1989	18.190	0.439
630	0.2040	18.656	0.466
636	0.2094	19.150	0.494
642	0.2152	19.680	0.530
648	0.2214	20.247	0.567
654	0.2280	20.851	0.604
660	0.2350	21.491	0.640
666	0.2427	22.195	0.704
672	0.2513	22.982	0.786
678	0.2609	23.860	0.878
684	0.2715	24.829	0.969
690	0.2830	25.881	1.052
696	0.3068	28.057	2.177
702	0.3544	32.411	4.353
708	0.4308	39.398	6.987
714	0.5679	51.936	12.538
720	0.6630	60.633	8.697
726	0.6820	62.370	1.738
732	0.6986	63.888	1.518
738	0.7130	65.205	1.317
744	0.7252	66.321	1.116
750	0.7350	67.217	0.896
756	0.7434	67.985	0.768
762	0.7514	68.717	0.732
768	0.7588	69.394	0.677
774	0.7656	70.016	0.622
780	0.7720	70.601	0.585
786	0.7780	71.150	0.549
792	0.7836	71.662	0.512
798	0.7890	72.156	0.494
804	0.7942	72.631	0.476
810	0.7990	73.070	0.439
816	0.8036	73.491	0.421
822	0.8080	73.893	0.402
828	0.8122	74.277	0.384
834	0.8162	74.643	0.366
840	0.8200	74.991	0.348
846	0.8237	75.329	0.338
852	0.8273	75.658	0.329
858	0.8308	75.978	0.320
864	0.8342	76.289	0.311
870	0.8376	76.600	0.311
876	0.8409	76.902	0.302
882	0.8442	77.204	0.302
888	0.8474	77.496	0.293
894	0.8505	77.780	0.284
900	0.8535	78.054	0.274
906	0.8565	78.329	0.274
912	0.8594	78.594	0.265
918	0.8622	78.850	0.256
924	0.8649	79.097	0.247
930	0.8676	79.344	0.247
936	0.8702	79.582	0.238
942	0.8728	79.819	0.238
948	0.8753	80.048	0.229
954	0.8777	80.267	0.219
960	0.8800	80.478	0.210
966	0.8823	80.688	0.210
972	0.8845	80.889	0.201
978	0.8868	81.100	0.210
984	0.8890	81.301	0.201
990	0.8912	81.502	0.201
996	0.8934	81.703	0.201
1002	0.8955	81.895	0.192
1008	0.8976	82.087	0.192
1014	0.8997	82.279	0.192
1020	0.9018	82.471	0.192
1026	0.9038	82.654	0.183
1032	0.9058	82.837	0.183
1038	0.9078	83.020	0.183
1044	0.9097	83.194	0.174
1050	0.9117	83.377	0.183
1056	0.9136	83.551	0.174
1062	0.9155	83.724	0.174
1068	0.9173	83.889	0.165
1074	0.9192	84.063	0.174
1080	0.9210	84.227	0.165
1086	0.9228	84.392	0.165
1092	0.9245	84.547	0.155
1098	0.9263	84.712	0.165
1104	0.9280	84.867	0.155
1110	0.9297	85.023	0.155
1116	0.9313	85.169	0.146
1122	0.9330	85.325	0.155
1128	0.9346	85.471	0.146
1134	0.9362	85.617	0.146
1140	0.9377	85.755	0.137
1146	0.9393	85.901	0.146
1152	0.9408	86.038	0.137
1158	0.9423	86.175	0.137
1164	0.9438	86.312	0.137
1170	0.9452	86.440	0.128
1176	0.9466	86.568	0.128
1182	0.9480	86.697	0.128
1188	0.9493	86.815	0.119
1194	0.9507	86.943	0.128
1200	0.9520	87.062	0.119

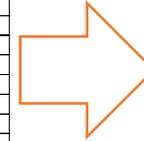
1206	0.9533	87.181	0.119
1212	0.9546	87.300	0.119
1218	0.9559	87.419	0.119
1224	0.9572	87.538	0.119
1230	0.9584	87.648	0.110
1236	0.9597	87.767	0.119
1242	0.9610	87.885	0.119
1248	0.9622	87.995	0.110
1254	0.9635	88.114	0.119
1260	0.9647	88.224	0.110
1266	0.9660	88.343	0.119
1272	0.9672	88.452	0.110
1278	0.9685	88.571	0.119
1284	0.9697	88.681	0.110
1290	0.9709	88.791	0.110
1296	0.9722	88.910	0.119
1302	0.9734	89.019	0.110
1308	0.9746	89.129	0.110
1314	0.9758	89.239	0.110
1320	0.9770	89.349	0.110
1326	0.9782	89.458	0.110
1332	0.9794	89.568	0.110
1338	0.9806	89.678	0.110
1344	0.9818	89.788	0.110
1350	0.9829	89.888	0.101
1356	0.9841	89.998	0.110
1362	0.9853	90.108	0.110
1368	0.9864	90.208	0.101
1374	0.9876	90.318	0.110
1380	0.9887	90.419	0.101
1386	0.9899	90.528	0.110
1392	0.9910	90.629	0.101
1398	0.9922	90.739	0.110
1404	0.9933	90.839	0.101
1410	0.9944	90.940	0.101
1416	0.9956	91.050	0.110
1422	0.9967	91.150	0.101
1428	0.9978	91.251	0.101
1434	0.9989	91.351	0.101
1440	1.0000	91.452	0.101
			91.452

Tabla 64: Procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II – 100 años

Tiempo	Pinter	Pacum	i (mm/h)
6	12.538	12.538	125.38
12	8.697	21.235	106.18
18	6.987	28.222	94.07
24	4.353	32.575	81.44
30	2.177	34.752	69.50
36	1.738	36.489	60.82
42	1.518	38.007	54.30
48	1.317	39.324	49.16
54	1.116	40.440	44.93
60	1.052	41.492	41.49
66	0.969	42.461	38.60
72	0.896	43.357	36.13
78	0.878	44.235	34.03
84	0.786	45.022	32.16
90	0.768	45.790	30.53
96	0.732	46.522	29.08
102	0.704	47.226	27.78
108	0.677	47.903	26.61
114	0.640	48.543	25.55
120	0.622	49.165	24.58
126	0.604	49.768	23.70
132	0.585	50.353	22.89
138	0.567	50.920	22.14
144	0.549	51.469	21.45
150	0.530	52.000	20.80
156	0.512	52.512	20.20
162	0.494	53.006	19.63
168	0.494	53.499	19.11
174	0.476	53.975	18.61
180	0.466	54.441	18.15
186	0.439	54.880	17.70
192	0.439	55.319	17.29
198	0.421	55.740	16.89
204	0.421	56.161	16.52
210	0.402	56.563	16.16
216	0.402	56.965	15.82
222	0.384	57.350	15.50
228	0.375	57.725	15.19
234	0.366	58.090	14.89
240	0.357	58.447	14.61
246	0.348	58.795	14.34
252	0.348	59.142	14.08
258	0.338	59.480	13.83
264	0.329	59.810	13.59
270	0.329	60.139	13.36
276	0.320	60.459	13.14
282	0.311	60.770	12.93
288	0.311	61.081	12.73
294	0.311	61.392	12.53
300	0.302	61.694	12.34
306	0.302	61.995	12.16
312	0.302	62.297	11.98
318	0.293	62.590	11.81
324	0.293	62.882	11.64
330	0.293	63.175	11.49
336	0.293	63.468	11.33
342	0.293	63.760	11.19
348	0.293	64.053	11.04
354	0.293	64.346	10.91
360	0.284	64.629	10.77
366	0.274	64.903	10.64
372	0.274	65.178	10.51
378	0.274	65.452	10.39
384	0.265	65.717	10.27
390	0.265	65.983	10.15
396	0.265	66.248	10.04
402	0.256	66.504	9.93
408	0.256	66.760	9.82
414	0.247	67.007	9.71
420	0.247	67.254	9.61
426	0.238	67.492	9.51
432	0.238	67.729	9.41
438	0.238	67.967	9.31
444	0.238	68.205	9.22
450	0.229	68.434	9.12
456	0.219	68.653	9.03
462	0.219	68.873	8.94
468	0.219	69.092	8.86
474	0.210	69.302	8.77
480	0.210	69.513	8.69
486	0.210	69.723	8.61
492	0.201	69.924	8.53
498	0.201	70.125	8.45
504	0.201	70.327	8.37
510	0.201	70.528	8.30
516	0.201	70.729	8.22
522	0.201	70.930	8.15
528	0.201	71.131	8.08
534	0.192	71.323	8.01
540	0.192	71.515	7.95
546	0.192	71.708	7.88
552	0.192	71.900	7.82
558	0.192	72.092	7.75
564	0.192	72.284	7.69
570	0.192	72.476	7.63
576	0.192	72.668	7.57
582	0.192	72.860	7.51
588	0.192	73.052	7.45
594	0.183	73.235	7.40
600	0.183	73.418	7.34



606	0.183	73.601	7.29
612	0.183	73.783	7.23
618	0.183	73.966	7.18
624	0.183	74.149	7.13
630	0.183	74.332	7.08
636	0.183	74.515	7.03
642	0.183	74.698	6.98
648	0.174	74.872	6.93
654	0.174	75.046	6.88
660	0.174	75.219	6.84
666	0.174	75.393	6.79
672	0.174	75.567	6.75
678	0.174	75.741	6.70
684	0.174	75.914	6.66
690	0.174	76.088	6.62
696	0.165	76.253	6.57
702	0.165	76.417	6.53
708	0.165	76.582	6.49
714	0.165	76.747	6.45
720	0.165	76.911	6.41
726	0.165	77.076	6.37
732	0.165	77.240	6.33
738	0.165	77.405	6.29
744	0.165	77.570	6.26
750	0.165	77.734	6.22
756	0.155	77.899	6.18
762	0.155	78.065	6.15
768	0.155	78.201	6.11
774	0.155	78.356	6.07
780	0.155	78.512	6.04
786	0.155	78.667	6.01
792	0.155	78.822	5.97
798	0.155	78.978	5.94
804	0.146	79.124	5.90
810	0.146	79.271	5.87
816	0.146	79.417	5.84
822	0.146	79.563	5.81
828	0.146	79.710	5.78
834	0.146	79.856	5.75
840	0.146	80.002	5.71
846	0.146	80.149	5.68
852	0.146	80.295	5.65
858	0.137	80.432	5.62
864	0.137	80.569	5.60
870	0.137	80.706	5.57
876	0.137	80.844	5.54
882	0.137	80.981	5.51
888	0.137	81.118	5.48
894	0.137	81.255	5.45
900	0.137	81.392	5.43
906	0.137	81.529	5.40
912	0.137	81.667	5.37
918	0.128	81.795	5.35
924	0.128	81.923	5.32
930	0.128	82.051	5.29
936	0.128	82.179	5.27
942	0.128	82.307	5.24
948	0.128	82.435	5.22
954	0.128	82.563	5.19
960	0.128	82.691	5.17
966	0.128	82.819	5.14
972	0.128	82.947	5.12
978	0.128	83.075	5.10
984	0.119	83.194	5.07
990	0.119	83.313	5.05
996	0.119	83.432	5.03
1002	0.119	83.551	5.00
1008	0.119	83.669	4.98
1014	0.119	83.788	4.96
1020	0.119	83.907	4.94
1026	0.119	84.026	4.91
1032	0.119	84.145	4.89
1038	0.119	84.264	4.87
1044	0.119	84.383	4.85
1050	0.119	84.502	4.83
1056	0.119	84.621	4.81
1062	0.119	84.739	4.79
1068	0.119	84.858	4.77
1074	0.119	84.977	4.75
1080	0.119	85.096	4.73
1086	0.119	85.215	4.71
1092	0.119	85.334	4.69
1098	0.119	85.453	4.67
1104	0.119	85.572	4.65
1110	0.119	85.691	4.63
1116	0.110	85.800	4.61
1122	0.110	85.910	4.59
1128	0.110	86.020	4.58
1134	0.110	86.130	4.56
1140	0.110	86.239	4.54
1146	0.110	86.349	4.52
1152	0.110	86.459	4.50
1158	0.110	86.568	4.49



1164	0.110	86.678	4.47
1170	0.110	86.788	4.45
1176	0.110	86.898	4.43
1182	0.110	87.007	4.42
1188	0.110	87.117	4.40
1194	0.110	87.227	4.38
1200	0.110	87.337	4.37
1206	0.110	87.446	4.35
1212	0.110	87.556	4.33
1218	0.110	87.666	4.32
1224	0.110	87.776	4.30
1230	0.110	87.885	4.29
1236	0.110	87.995	4.27
1242	0.110	88.105	4.26
1248	0.110	88.215	4.24
1254	0.110	88.324	4.23
1260	0.110	88.434	4.21
1266	0.110	88.544	4.20
1272	0.110	88.654	4.18
1278	0.110	88.763	4.17
1284	0.110	88.873	4.15
1290	0.110	88.983	4.14
1296	0.101	89.083	4.12
1302	0.101	89.184	4.11
1308	0.101	89.285	4.10
1314	0.101	89.385	4.08
1320	0.101	89.486	4.07
1326	0.101	89.586	4.05
1332	0.101	89.687	4.04
1338	0.101	89.788	4.03
1344	0.101	89.888	4.01
1350	0.101	89.989	4.00
1356	0.101	90.089	3.99
1362	0.101	90.190	3.97
1368	0.101	90.291	3.96
1374	0.101	90.391	3.95
1380	0.101	90.492	3.93
1386	0.101	90.592	3.92
1392	0.101	90.693	3.91
1398	0.101	90.794	3.90
1404	0.101	90.894	3.88
1410	0.101	90.995	3.87
1416	0.091	91.086	3.86
1422	0.091	91.178	3.85
1428	0.091	91.269	3.83
1434	0.091	91.361	3.82
1440	0.091	91.452	3.81
	91.452		

Tabla 65: Intensidad Máxima en el minuto 432

Tabla 66: Resultados de Intensidades Mediante Método de D. Peschke – 100 años

Durac	Pd (mm)	D.Peschke
		i (mm/h)
6	23.23	232.35
12	27.63	138.16
18	30.58	101.93
24	32.86	82.15
30	34.74	69.49
36	36.36	60.61
42	37.79	53.99
48	39.08	48.85
54	40.24	44.72
60	41.32	41.32
66	42.31	38.47
72	43.24	36.04
78	44.12	33.94
84	44.94	32.10
90	45.73	30.48
96	46.47	29.04
102	47.18	27.75
108	47.86	26.59
114	48.51	25.53
120	49.14	24.57
126	49.74	23.69
132	50.32	22.87
138	50.88	22.12
144	51.43	21.43
150	51.95	20.78
156	52.47	20.18
162	52.96	19.62
168	53.45	19.09
174	53.92	18.59
180	54.38	18.13
186	54.83	17.69
192	55.26	17.27
198	55.69	16.88
204	56.11	16.50
210	56.51	16.15
216	56.91	15.81
222	57.30	15.49
228	57.69	15.18
234	58.06	14.89
240	58.43	14.61
246	58.79	14.34
252	59.15	14.08
258	59.50	13.84
264	59.84	13.60
270	60.18	13.37
276	60.51	13.15
282	60.84	12.94
288	61.16	12.74
294	61.47	12.55
300	61.78	12.36
306	62.09	12.17
312	62.39	12.00
318	62.69	11.83
324	62.99	11.66
330	63.27	11.50
336	63.56	11.35
342	63.84	11.20
348	64.12	11.06
354	64.40	10.91
360	64.67	10.78
366	64.93	10.64
372	65.20	10.52
378	65.46	10.39
384	65.72	10.27
390	65.97	10.15
396	66.23	10.03
402	66.48	9.92
408	66.72	9.81
414	66.97	9.71
420	67.21	9.60
426	67.45	9.50
432	67.68	9.40
438	67.92	9.30
444	68.15	9.21
450	68.38	9.12
456	68.60	9.03
462	68.83	8.94
468	69.05	8.85
474	69.27	8.77
480	69.49	8.69
486	69.70	8.61
492	69.92	8.53
493.17	69.96	8.51

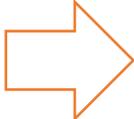
Tabla 67: Resultados de Intensidades Mediante Método de F. Bell – 100 años

Durac (min)	P(t,T)	i (mm/h)
6	11.13	111.31
12	16.29	81.44
18	19.75	65.82
24	22.42	56.05
30	24.63	49.27
36	26.53	44.22
42	28.21	40.30
48	29.72	37.14
54	31.09	34.54
60	32.35	32.35
66	33.51	30.47
72	34.61	28.84
78	35.63	27.41
84	36.60	26.14
90	37.52	25.01
96	38.39	23.99
102	39.22	23.07
108	40.02	22.23
114	40.78	21.46
120	41.52	20.76
126	42.22	20.11
132	42.91	19.50
138	43.57	18.94
144	44.20	18.42
150	44.82	17.93
156	45.42	17.47
162	46.01	17.04
168	46.57	16.63
174	47.13	16.25
180	47.67	15.89
186	48.19	15.55
192	48.70	15.22
198	49.20	14.91
204	49.69	14.62
210	50.17	14.33
216	50.64	14.07
222	51.10	13.81
228	51.55	13.57
234	51.99	13.33
240	52.42	13.11
246	52.85	12.89
252	53.26	12.68
258	53.67	12.48
264	54.08	12.29
270	54.47	12.10
276	54.86	11.93
282	55.24	11.75
288	55.62	11.59
294	55.99	11.43
300	56.36	11.27
306	56.72	11.12
312	57.07	10.97
318	57.42	10.83
324	57.76	10.70
330	58.10	10.56
336	58.44	10.44
342	58.77	10.31
348	59.10	10.19
354	59.42	10.07
360	59.74	9.96
366	60.05	9.84
372	60.36	9.74
378	60.67	9.63
384	60.97	9.53
390	61.27	9.43
396	61.56	9.33
402	61.86	9.23
408	62.15	9.14
414	62.43	9.05
420	62.72	8.96
426	63.00	8.87
432	63.27	8.79
438	63.55	8.71
444	63.82	8.62
450	64.09	8.55
456	64.35	8.47
462	64.62	8.39
468	64.88	8.32
474	65.14	8.25
480	65.39	8.17
486	65.65	8.10
492	65.90	8.04
493.17	65.95	8.02

Durac	Pd (mm)	D.Peschke	SCS	F. Bell	DF Campos
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
6.00	23.23	232.35	125.38	111.31	220.57
12.00	27.63	138.16	106.18	81.44	114.08
18.00	30.58	101.93	94.07	65.82	78.55
24.00	32.86	82.15	81.44	56.05	60.78
30.00	34.74	69.49	69.50	49.27	50.09
36.00	36.36	60.61	60.82	44.22	42.96
42.00	37.79	53.99	54.30	40.30	37.86
48.00	39.08	48.85	49.16	37.14	34.02
54.00	40.24	44.72	44.93	34.54	31.03
60.00	41.32	41.32	41.49	32.35	28.63
66.00	42.31	38.47	38.60	30.47	26.66
72.00	43.24	36.04	36.13	28.84	25.01
78.00	44.12	33.94	34.03	27.41	23.61
84.00	44.94	32.10	32.16	26.14	22.41
90.00	45.73	30.48	30.53	25.01	21.36
96.00	46.47	29.04	29.08	23.99	20.44
102.00	47.18	27.75	27.78	23.07	19.62
108.00	47.86	26.59	26.61	22.23	18.89
114.00	48.51	25.53	25.55	21.46	18.24
120.00	49.14	24.57	24.58	20.76	17.64
126.00	49.74	23.69	23.70	20.11	17.10
132.00	50.32	22.87	22.89	19.50	16.61
138.00	50.88	22.12	22.14	18.94	16.15
144.00	51.43	21.43	21.45	18.42	15.74
150.00	51.95	20.78	20.80	17.93	15.35
156.00	52.47	20.18	20.20	17.47	14.99
162.00	52.96	19.62	19.63	17.04	14.65
168.00	53.45	19.09	19.11	16.63	14.34
174.00	53.92	18.59	18.61	16.25	14.04
180.00	54.38	18.13	18.15	15.89	13.77
186.00	54.83	17.69	17.70	15.55	13.51
192.00	55.26	17.27	17.29	15.22	13.26
198.00	55.69	16.88	16.89	14.91	13.03
204.00	56.11	16.50	16.52	14.62	12.80
210.00	56.51	16.15	16.16	14.33	12.59
216.00	56.91	15.81	15.82	14.07	12.39
222.00	57.30	15.49	15.50	13.81	12.20
228.00	57.69	15.18	15.19	13.57	12.02
234.00	58.06	14.89	14.89	13.33	11.84
240.00	58.43	14.61	14.61	13.11	11.68
246.00	58.79	14.34	14.34	12.89	11.52
252.00	59.15	14.08	14.08	12.68	11.36
258.00	59.50	13.84	13.83	12.48	11.21
264.00	59.84	13.60	13.59	12.29	11.07
270.00	60.18	13.37	13.36	12.10	10.93
276.00	60.51	13.15	13.14	11.93	10.80
282.00	60.84	12.94	12.93	11.75	10.67
288.00	61.16	12.74	12.73	11.59	10.54
294.00	61.47	12.55	12.53	11.43	10.42
300.00	61.78	12.36	12.34	11.27	10.31
306.00	62.09	12.17	12.16	11.12	10.19
312.00	62.39	12.00	11.98	10.97	10.08
318.00	62.69	11.83	11.81	10.83	9.98
324.00	62.99	11.66	11.64	10.70	9.87
330.00	63.27	11.50	11.49	10.56	9.77
336.00	63.56	11.35	11.33	10.44	9.67
342.00	63.84	11.20	11.19	10.31	9.58
348.00	64.12	11.06	11.04	10.19	9.48
354.00	64.40	10.91	10.91	10.07	9.39
360.00	64.67	10.78	10.77	9.96	9.31
366.00	64.93	10.64	10.64	9.84	9.22
372.00	65.20	10.52	10.51	9.74	9.13
378.00	65.46	10.39	10.39	9.63	9.05
384.00	65.72	10.27	10.27	9.53	8.97
390.00	65.97	10.15	10.15	9.43	8.89
396.00	66.23	10.03	10.04	9.33	8.81
402.00	66.48	9.92	9.93	9.23	8.74
408.00	66.72	9.81	9.82	9.14	8.66
414.00	66.97	9.71	9.71	9.05	8.59
420.00	67.21	9.60	9.61	8.96	8.52
426.00	67.45	9.50	9.51	8.87	8.45
432.00	67.68	9.40	9.41	8.79	8.38
438.00	67.92	9.30	9.31	8.71	8.31
444.00	68.15	9.21	9.22	8.62	8.24
450.00	68.38	9.12	9.12	8.55	8.18
456.00	68.60	9.03	9.03	8.47	8.11
462.00	68.83	8.94	8.94	8.39	8.05
468.00	69.05	8.85	8.86	8.32	7.99
474.00	69.27	8.77	8.77	8.25	7.93
480.00	69.49	8.69	8.69	8.17	7.87
486.00	69.70	8.61	8.61	8.10	7.81
492.00	69.92	8.53	8.53	8.04	7.75
493.17	69.96	8.51	8.51	8.02	7.74

**Tabla 68: Tabla Resumen de
Métodos para Hallar la
Intensidad en 100 Años**

time (min)	SCS II	Pacum	Pinterv
0	0.0000	0.000	
6	0.0010	0.114	0.114
12	0.0020	0.228	0.114
18	0.0030	0.342	0.114
24	0.0041	0.467	0.125
30	0.0051	0.581	0.114
36	0.0062	0.706	0.125
42	0.0072	0.820	0.114
48	0.0083	0.945	0.125
54	0.0094	1.071	0.125
60	0.0105	1.196	0.125
66	0.0116	1.321	0.125
72	0.0127	1.446	0.125
78	0.0138	1.572	0.125
84	0.0150	1.708	0.137
90	0.0161	1.834	0.125
96	0.0173	1.970	0.137
102	0.0184	2.096	0.125
108	0.0196	2.232	0.137
114	0.0208	2.369	0.137
120	0.0220	2.506	0.137
126	0.0232	2.642	0.137
132	0.0244	2.779	0.137
138	0.0257	2.927	0.148
144	0.0269	3.064	0.137
150	0.0281	3.200	0.137
156	0.0294	3.348	0.148
162	0.0306	3.485	0.137
168	0.0319	3.633	0.148
174	0.0332	3.781	0.148
180	0.0345	3.929	0.148
186	0.0358	4.077	0.148
192	0.0371	4.225	0.148
198	0.0384	4.373	0.148
204	0.0398	4.533	0.159
210	0.0411	4.681	0.148
216	0.0425	4.840	0.159
222	0.0439	5.000	0.159
228	0.0452	5.148	0.148
234	0.0466	5.307	0.159
240	0.0480	5.467	0.159
246	0.0494	5.626	0.159
252	0.0508	5.786	0.159
258	0.0523	5.956	0.171
264	0.0538	6.127	0.171
270	0.0553	6.298	0.171
276	0.0568	6.469	0.171
282	0.0583	6.640	0.171
288	0.0598	6.811	0.171
294	0.0614	6.993	0.182
300	0.0630	7.175	0.182
306	0.0646	7.357	0.182
312	0.0662	7.540	0.182
318	0.0679	7.733	0.194
324	0.0696	7.927	0.194
330	0.0712	8.109	0.182
336	0.0730	8.314	0.205
342	0.0747	8.508	0.194
348	0.0764	8.701	0.194
354	0.0782	8.906	0.205
360	0.0800	9.111	0.205
366	0.0818	9.316	0.205
372	0.0836	9.521	0.205
378	0.0855	9.738	0.216
384	0.0874	9.954	0.216
390	0.0892	10.159	0.205
396	0.0912	10.387	0.228
402	0.0931	10.603	0.216
408	0.0950	10.820	0.216
414	0.0970	11.047	0.228
420	0.0990	11.275	0.228
426	0.1010	11.503	0.228
432	0.1030	11.731	0.228
438	0.1051	11.970	0.239
444	0.1072	12.209	0.239
450	0.1093	12.448	0.239
456	0.1114	12.687	0.239
462	0.1135	12.926	0.239
468	0.1156	13.166	0.239
474	0.1178	13.416	0.251
480	0.1200	13.667	0.251
486	0.1222	13.917	0.251
492	0.1246	14.191	0.273
498	0.1270	14.464	0.273
504	0.1296	14.760	0.296
510	0.1322	15.056	0.296
516	0.1350	15.375	0.319
522	0.1379	15.705	0.330
528	0.1408	16.036	0.330
534	0.1438	16.377	0.342
540	0.1470	16.742	0.364
546	0.1502	17.106	0.364
552	0.1534	17.471	0.364
558	0.1566	17.835	0.364
564	0.1598	18.200	0.364
570	0.1630	18.564	0.364
576	0.1663	18.940	0.376
582	0.1697	19.327	0.387
588	0.1733	19.737	0.410
594	0.1771	20.170	0.433
600	0.1810	20.614	0.444



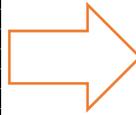
606	0.1851	21.081	0.467
612	0.1895	21.582	0.501
618	0.1941	22.106	0.524
624	0.1989	22.653	0.547
630	0.2040	23.234	0.581
636	0.2094	23.849	0.615
642	0.2152	24.509	0.661
648	0.2214	25.215	0.706
654	0.2280	25.967	0.752
660	0.2350	26.764	0.797
666	0.2427	27.641	0.877
672	0.2513	28.621	0.979
678	0.2609	29.714	1.093
684	0.2715	30.921	1.207
690	0.2830	32.231	1.310
696	0.3068	34.941	2.711
702	0.3544	40.363	5.421
708	0.4308	49.064	8.701
714	0.5679	64.678	15.614
720	0.6630	75.509	10.831
726	0.6820	77.673	2.164
732	0.6986	79.563	1.891
738	0.7130	81.203	1.640
744	0.7252	82.593	1.389
750	0.7350	83.709	1.116
756	0.7434	84.666	0.957
762	0.7514	85.577	0.911
768	0.7588	86.420	0.843
774	0.7656	87.194	0.774
780	0.7720	87.923	0.729
786	0.7780	88.606	0.683
792	0.7836	89.244	0.638
798	0.7890	89.859	0.615
804	0.7942	90.451	0.592
810	0.7990	90.998	0.547
816	0.8036	91.522	0.524
822	0.8080	92.023	0.501
828	0.8122	92.501	0.478
834	0.8162	92.957	0.456
840	0.8200	93.390	0.433
846	0.8237	93.811	0.421
852	0.8273	94.221	0.410
858	0.8308	94.620	0.399
864	0.8342	95.007	0.387
870	0.8376	95.394	0.387
876	0.8409	95.770	0.376
882	0.8442	96.146	0.376
888	0.8474	96.510	0.364
894	0.8505	96.863	0.353
900	0.8535	97.205	0.342
906	0.8565	97.547	0.342
912	0.8594	97.877	0.330
918	0.8622	98.196	0.319
924	0.8649	98.503	0.308
930	0.8676	98.811	0.308
936	0.8702	99.107	0.296
942	0.8728	99.403	0.296
948	0.8753	99.688	0.285
954	0.8777	99.961	0.273
960	0.8800	100.223	0.262
966	0.8823	100.485	0.262
972	0.8845	100.736	0.251
978	0.8868	100.998	0.262
984	0.8890	101.248	0.251
990	0.8912	101.499	0.251
996	0.8934	101.749	0.251
1002	0.8955	101.988	0.239
1008	0.8976	102.228	0.239
1014	0.8997	102.467	0.239
1020	0.9018	102.706	0.239
1026	0.9038	102.934	0.228
1032	0.9058	103.161	0.228
1038	0.9078	103.389	0.228
1044	0.9097	103.606	0.216
1050	0.9117	103.833	0.228
1056	0.9136	104.050	0.216
1062	0.9155	104.266	0.216
1068	0.9173	104.471	0.205
1074	0.9192	104.688	0.216
1080	0.9210	104.893	0.205
1086	0.9228	105.098	0.205
1092	0.9245	105.291	0.194
1098	0.9263	105.496	0.205
1104	0.9280	105.690	0.194
1110	0.9297	105.883	0.194
1116	0.9313	106.066	0.182
1122	0.9330	106.259	0.194
1128	0.9346	106.441	0.182
1134	0.9362	106.624	0.182
1140	0.9377	106.795	0.171
1146	0.9393	106.977	0.182
1152	0.9408	107.148	0.171
1158	0.9423	107.318	0.171
1164	0.9438	107.489	0.171
1170	0.9452	107.649	0.159
1176	0.9466	107.808	0.159
1182	0.9480	107.968	0.159
1188	0.9493	108.116	0.148
1194	0.9507	108.275	0.159
1200	0.9520	108.423	0.148



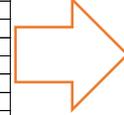
1206	0.9533	108.571	0.148
1212	0.9546	108.719	0.148
1218	0.9559	108.867	0.148
1224	0.9572	109.015	0.148
1230	0.9584	109.152	0.137
1236	0.9597	109.300	0.148
1242	0.9610	109.448	0.148
1248	0.9622	109.585	0.137
1254	0.9635	109.733	0.148
1260	0.9647	109.870	0.137
1266	0.9660	110.018	0.148
1272	0.9672	110.154	0.137
1278	0.9685	110.302	0.148
1284	0.9697	110.439	0.137
1290	0.9709	110.576	0.137
1296	0.9722	110.724	0.148
1302	0.9734	110.860	0.137
1308	0.9746	110.997	0.137
1314	0.9758	111.134	0.137
1320	0.9770	111.270	0.137
1326	0.9782	111.407	0.137
1332	0.9794	111.544	0.137
1338	0.9806	111.680	0.137
1344	0.9818	111.817	0.137
1350	0.9829	111.942	0.125
1356	0.9841	112.079	0.137
1362	0.9853	112.216	0.137
1368	0.9864	112.341	0.125
1374	0.9876	112.478	0.137
1380	0.9887	112.603	0.125
1386	0.9899	112.740	0.137
1392	0.9910	112.865	0.125
1398	0.9922	113.001	0.137
1404	0.9933	113.127	0.125
1410	0.9944	113.252	0.125
1416	0.9956	113.389	0.137
1422	0.9967	113.514	0.125
1428	0.9978	113.639	0.125
1434	0.9989	113.765	0.125
1440	1.0000	113.890	0.125
			113.890

Tabla 69: Procesamiento de Precipitaciones con Factor SCS II – 500 años

Tiempo	Pinter	Pacum	i (mm/h)
6	15.614	15.614	156.14
12	10.831	26.445	132.23
18	8.701	35.146	117.15
24	5.421	40.568	101.42
30	2.711	43.278	86.56
36	2.164	45.442	75.74
42	1.891	47.333	67.62
48	1.640	48.973	61.22
54	1.389	50.362	55.96
60	1.310	51.672	51.67
66	1.207	52.879	48.07
72	1.116	53.995	45.00
78	1.093	55.089	42.38
84	0.979	56.068	40.05
90	0.957	57.025	38.02
96	0.911	57.936	36.21
102	0.877	58.813	34.60
108	0.843	59.655	33.14
114	0.797	60.453	31.82
120	0.774	61.227	30.61
126	0.752	61.979	29.51
132	0.729	62.708	28.50
138	0.706	63.414	27.57
144	0.683	64.097	26.71
150	0.661	64.758	25.90
156	0.638	65.396	25.15
162	0.615	66.011	24.45
168	0.615	66.626	23.79
174	0.592	67.218	23.18
180	0.581	67.799	22.60
186	0.547	68.345	22.05
192	0.547	68.892	21.53
198	0.524	69.416	21.04
204	0.524	69.940	20.57
210	0.501	70.441	20.13
216	0.501	70.942	19.71
222	0.478	71.420	19.30
228	0.467	71.887	18.92
234	0.456	72.343	18.55
240	0.444	72.787	18.20
246	0.433	73.220	17.86
252	0.433	73.653	17.54
258	0.421	74.074	17.23
264	0.410	74.484	16.93
270	0.410	74.894	16.64
276	0.399	75.293	16.37
282	0.387	75.680	16.10
288	0.387	76.067	15.85
294	0.387	76.454	15.60
300	0.376	76.830	15.37
306	0.376	77.206	15.14
312	0.376	77.582	14.92
318	0.364	77.946	14.71
324	0.364	78.311	14.50
330	0.364	78.675	14.30
336	0.364	79.040	14.11
342	0.364	79.404	13.93
348	0.364	79.768	13.75
354	0.364	80.133	13.58
360	0.353	80.486	13.41
366	0.342	80.828	13.25
372	0.342	81.169	13.09
378	0.342	81.511	12.94
384	0.330	81.841	12.79
390	0.330	82.172	12.64
396	0.330	82.502	12.50
402	0.319	82.821	12.36
408	0.319	83.140	12.23
414	0.308	83.447	12.09
420	0.308	83.755	11.96
426	0.296	84.051	11.84
432	0.296	84.347	11.71
438	0.296	84.643	11.59
444	0.296	84.939	11.48
450	0.285	85.224	11.36
456	0.273	85.497	11.25
462	0.273	85.770	11.14
468	0.273	86.044	11.03
474	0.262	86.306	10.92
480	0.262	86.568	10.82
486	0.262	86.830	10.72
492	0.251	87.080	10.62
498	0.251	87.331	10.52
504	0.251	87.581	10.43
510	0.251	87.832	10.33
516	0.251	88.082	10.24
522	0.251	88.333	10.15
528	0.251	88.584	10.07
534	0.239	88.823	9.98
540	0.239	89.062	9.90
546	0.239	89.301	9.81
552	0.239	89.540	9.73
558	0.239	89.779	9.65
564	0.239	90.019	9.58
570	0.239	90.258	9.50
576	0.239	90.497	9.43
582	0.239	90.736	9.35
588	0.239	90.975	9.28
594	0.228	91.203	9.21
600	0.228	91.431	9.14



606	0.228	91.659	9.08
612	0.228	91.886	9.01
618	0.228	92.114	8.94
624	0.228	92.342	8.88
630	0.228	92.570	8.82
636	0.228	92.797	8.75
642	0.228	93.025	8.69
648	0.216	93.242	8.63
654	0.216	93.458	8.57
660	0.216	93.674	8.52
666	0.216	93.891	8.46
672	0.216	94.107	8.40
678	0.216	94.324	8.35
684	0.216	94.540	8.29
690	0.216	94.756	8.24
696	0.205	94.961	8.19
702	0.205	95.166	8.13
708	0.205	95.371	8.08
714	0.205	95.576	8.03
720	0.205	95.781	7.98
726	0.205	95.986	7.93
732	0.205	96.191	7.88
738	0.205	96.396	7.84
744	0.205	96.601	7.79
750	0.205	96.806	7.74
756	0.194	97.000	7.70
762	0.194	97.194	7.65
768	0.194	97.387	7.61
774	0.194	97.581	7.56
780	0.194	97.774	7.52
786	0.194	97.968	7.48
792	0.194	98.162	7.44
798	0.194	98.355	7.40
804	0.182	98.537	7.35
810	0.182	98.720	7.31
816	0.182	98.902	7.27
822	0.182	99.084	7.23
828	0.182	99.266	7.19
834	0.182	99.449	7.15
840	0.182	99.631	7.12
846	0.182	99.813	7.08
852	0.182	99.995	7.04
858	0.171	100.166	7.00
864	0.171	100.337	6.97
870	0.171	100.508	6.93
876	0.171	100.679	6.90
882	0.171	100.849	6.86
888	0.171	101.020	6.83
894	0.171	101.191	6.79
900	0.171	101.362	6.76
906	0.171	101.533	6.72
912	0.171	101.704	6.69
918	0.159	101.863	6.66
924	0.159	102.023	6.62
930	0.159	102.182	6.59
936	0.159	102.341	6.56
942	0.159	102.501	6.53
948	0.159	102.660	6.50
954	0.159	102.820	6.47
960	0.159	102.979	6.44
966	0.159	103.139	6.41
972	0.159	103.298	6.38
978	0.159	103.458	6.35
984	0.148	103.606	6.32
990	0.148	103.754	6.29
996	0.148	103.902	6.26
1002	0.148	104.050	6.23
1008	0.148	104.198	6.20
1014	0.148	104.346	6.17
1020	0.148	104.494	6.15
1026	0.148	104.642	6.12
1032	0.148	104.790	6.09
1038	0.148	104.938	6.07
1044	0.148	105.086	6.04
1050	0.148	105.234	6.01
1056	0.148	105.382	5.99
1062	0.148	105.530	5.96
1068	0.148	105.678	5.94
1074	0.148	105.826	5.91
1080	0.148	105.974	5.89
1086	0.148	106.123	5.86
1092	0.148	106.271	5.84
1098	0.148	106.419	5.82
1104	0.148	106.567	5.79
1110	0.148	106.715	5.77
1116	0.137	106.851	5.74
1122	0.137	106.988	5.72
1128	0.137	107.125	5.70
1134	0.137	107.261	5.68
1140	0.137	107.398	5.65
1146	0.137	107.535	5.63
1152	0.137	107.671	5.61
1158	0.137	107.808	5.59
1164	0.137	107.945	5.56
1170	0.137	108.081	5.54
1176	0.137	108.218	5.52
1182	0.137	108.355	5.50
1188	0.137	108.491	5.48
1194	0.137	108.628	5.46
1200	0.137	108.765	5.44



1206	0.137	108.901	5.42
1212	0.137	109.038	5.40
1218	0.137	109.175	5.38
1224	0.137	109.311	5.36
1230	0.137	109.448	5.34
1236	0.137	109.585	5.32
1242	0.137	109.721	5.30
1248	0.137	109.858	5.28
1254	0.137	109.995	5.26
1260	0.137	110.131	5.24
1266	0.137	110.268	5.23
1272	0.137	110.405	5.21
1278	0.137	110.541	5.19
1284	0.137	110.678	5.17
1290	0.137	110.815	5.15
1296	0.125	110.940	5.14
1302	0.125	111.065	5.12
1308	0.125	111.191	5.10
1314	0.125	111.316	5.08
1320	0.125	111.441	5.07
1326	0.125	111.566	5.05
1332	0.125	111.692	5.03
1338	0.125	111.817	5.01
1344	0.125	111.942	5.00
1350	0.125	112.068	4.98
1356	0.125	112.193	4.96
1362	0.125	112.318	4.95
1368	0.125	112.443	4.93
1374	0.125	112.569	4.92
1380	0.125	112.694	4.90
1386	0.125	112.819	4.88
1392	0.125	112.945	4.87
1398	0.125	113.070	4.85
1404	0.125	113.195	4.84
1410	0.125	113.320	4.82
1416	0.114	113.434	4.81
1422	0.114	113.548	4.79
1428	0.114	113.662	4.78
1434	0.114	113.776	4.76
1440	0.114	113.890	4.75
	113.890		

Tabla 70: Intensidad Máxima en el minuto 432

Tabla 71: Resultados de Intensidades Mediante Método de D. Peschke – 500 años

Durac	Pd (mm)	D.Peschke
		i (mm/h)
6	28.94	289.36
12	34.41	172.05
18	38.08	126.94
24	40.92	102.30
30	43.27	86.54
36	45.29	75.48
42	47.07	67.24
48	48.66	60.83
54	50.12	55.69
60	51.46	51.46
66	52.70	47.91
72	53.86	44.88
78	54.94	42.26
84	55.97	39.98
90	56.94	37.96
96	57.87	36.17
102	58.75	34.56
108	59.60	33.11
114	60.41	31.80
120	61.19	30.60
126	61.94	29.50
132	62.67	28.48
138	63.37	27.55
144	64.04	26.69
150	64.70	25.88
156	65.34	25.13
162	65.96	24.43
168	66.56	23.77
174	67.15	23.15
180	67.72	22.57
186	68.28	22.02
192	68.82	21.51
198	69.35	21.02
204	69.87	20.55
210	70.38	20.11
216	70.88	19.69
222	71.36	19.29
228	71.84	18.91
234	72.31	18.54
240	72.77	18.19
246	73.22	17.86
252	73.66	17.54
258	74.10	17.23
264	74.52	16.94
270	74.94	16.65
276	75.36	16.38
282	75.76	16.12
288	76.16	15.87
294	76.56	15.62
300	76.94	15.39
306	77.33	15.16
312	77.70	14.94
318	78.07	14.73
324	78.44	14.53
330	78.80	14.33
336	79.16	14.13
342	79.51	13.95
348	79.85	13.77
354	80.19	13.59
360	80.53	13.42
366	80.87	13.26
372	81.20	13.10
378	81.52	12.94
384	81.84	12.79
390	82.16	12.64
396	82.47	12.50
402	82.78	12.36
408	83.09	12.22
414	83.40	12.09
420	83.70	11.96
426	83.99	11.83
432	84.29	11.71
438	84.58	11.59
444	84.87	11.47
450	85.15	11.35
456	85.43	11.24
462	85.71	11.13
468	85.99	11.02
474	86.27	10.92
480	86.54	10.82
486	86.81	10.72
492	87.07	10.62
493.17	87.12	10.60

Tabla 72: Resultados de Intensidades Mediante Método de F. Bell – 500 años

Durac (min)	P(t,T)	i (mm/h)
6	13.49	134.91
12	19.74	98.70
18	23.93	79.77
24	27.17	67.93
30	29.85	59.71
36	32.16	53.60
42	34.19	48.84
48	36.01	45.02
54	37.67	41.86
60	39.20	39.20
66	40.62	36.92
72	41.94	34.95
78	43.18	33.22
84	44.36	31.68
90	45.47	30.31
96	46.52	29.08
102	47.53	27.96
108	48.50	26.94
114	49.42	26.01
120	50.31	25.16
126	51.17	24.37
132	52.00	23.64
138	52.80	22.96
144	53.57	22.32
150	54.32	21.73
156	55.05	21.17
162	55.76	20.65
168	56.45	20.16
174	57.11	19.69
180	57.77	19.26
186	58.40	18.84
192	59.02	18.45
198	59.63	18.07
204	60.22	17.71
210	60.80	17.37
216	61.37	17.05
222	61.93	16.74
228	62.47	16.44
234	63.01	16.16
240	63.53	15.88
246	64.05	15.62
252	64.55	15.37
258	65.05	15.13
264	65.54	14.89
270	66.01	14.67
276	66.49	14.45
282	66.95	14.24
288	67.41	14.04
294	67.86	13.85
300	68.30	13.66
306	68.73	13.48
312	69.16	13.30
318	69.59	13.13
324	70.00	12.96
330	70.42	12.80
336	70.82	12.65
342	71.22	12.50
348	71.62	12.35
354	72.01	12.20
360	72.39	12.07
366	72.78	11.93
372	73.15	11.80
378	73.52	11.67
384	73.89	11.55
390	74.25	11.42
396	74.61	11.30
402	74.97	11.19
408	75.32	11.08
414	75.66	10.97
420	76.01	10.86
426	76.35	10.75
432	76.68	10.65
438	77.01	10.55
444	77.34	10.45
450	77.67	10.36
456	77.99	10.26
462	78.31	10.17
468	78.63	10.08
474	78.94	9.99
480	79.25	9.91
486	79.56	9.82
492	79.86	9.74
493.17	79.92	9.72

**Tabla 73: Tabla Resumen de
Métodos para Hallar la
Intensidad en 500 Años**

Durac	Pd (mm)	D.Peschke	SCS	F. Bell	DF Campos
		i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)	i (mm/h)
6.00	28.94	289.36	156.14	134.91	274.69
12.00	34.41	172.05	132.23	98.70	142.06
18.00	38.08	126.94	117.15	79.77	97.83
24.00	40.92	102.30	101.42	67.93	75.69
30.00	43.27	86.54	86.56	59.71	62.39
36.00	45.29	75.48	75.74	53.60	53.50
42.00	47.07	67.24	67.62	48.84	47.15
48.00	48.66	60.83	61.22	45.02	42.37
54.00	50.12	55.69	55.96	41.86	38.64
60.00	51.46	51.46	51.67	39.20	35.65
66.00	52.70	47.91	48.07	36.92	33.20
72.00	53.86	44.88	45.00	34.95	31.15
78.00	54.94	42.26	42.38	33.22	29.41
84.00	55.97	39.98	40.05	31.68	27.91
90.00	56.94	37.96	38.02	30.31	26.60
96.00	57.87	36.17	36.21	29.08	25.45
102.00	58.75	34.56	34.60	27.96	24.44
108.00	59.60	33.11	33.14	26.94	23.53
114.00	60.41	31.80	31.82	26.01	22.71
120.00	61.19	30.60	30.61	25.16	21.97
126.00	61.94	29.50	29.51	24.37	21.30
132.00	62.67	28.48	28.50	23.64	20.68
138.00	63.37	27.55	27.57	22.96	20.12
144.00	64.04	26.69	26.71	22.32	19.60
150.00	64.70	25.88	25.90	21.73	19.11
156.00	65.34	25.13	25.15	21.17	18.67
162.00	65.96	24.43	24.45	20.65	18.25
168.00	66.56	23.77	23.79	20.16	17.86
174.00	67.15	23.15	23.18	19.69	17.49
180.00	67.72	22.57	22.60	19.26	17.14
186.00	68.28	22.02	22.05	18.84	16.82
192.00	68.82	21.51	21.53	18.45	16.51
198.00	69.35	21.02	21.04	18.07	16.22
204.00	69.87	20.55	20.57	17.71	15.94
210.00	70.38	20.11	20.13	17.37	15.68
216.00	70.88	19.69	19.71	17.05	15.43
222.00	71.36	19.29	19.30	16.74	15.19
228.00	71.84	18.91	18.92	16.44	14.97
234.00	72.31	18.54	18.55	16.16	14.75
240.00	72.77	18.19	18.20	15.88	14.54
246.00	73.22	17.86	17.86	15.62	14.34
252.00	73.66	17.54	17.54	15.37	14.15
258.00	74.10	17.23	17.23	15.13	13.96
264.00	74.52	16.94	16.93	14.89	13.78
270.00	74.94	16.65	16.64	14.67	13.61
276.00	75.36	16.38	16.37	14.45	13.45
282.00	75.76	16.12	16.10	14.24	13.29
288.00	76.16	15.87	15.85	14.04	13.13
294.00	76.56	15.62	15.60	13.85	12.98
300.00	76.94	15.39	15.37	13.66	12.84
306.00	77.33	15.16	15.14	13.48	12.69
312.00	77.70	14.94	14.92	13.30	12.56
318.00	78.07	14.73	14.71	13.13	12.43
324.00	78.44	14.53	14.50	12.96	12.30
330.00	78.80	14.33	14.30	12.80	12.17
336.00	79.16	14.13	14.11	12.65	12.05
342.00	79.51	13.95	13.93	12.50	11.93
348.00	79.85	13.77	13.75	12.35	11.81
354.00	80.19	13.59	13.58	12.20	11.70
360.00	80.53	13.42	13.41	12.07	11.59
366.00	80.87	13.26	13.25	11.93	11.48
372.00	81.20	13.10	13.09	11.80	11.37
378.00	81.52	12.94	12.94	11.67	11.27
384.00	81.84	12.79	12.79	11.55	11.17
390.00	82.16	12.64	12.64	11.42	11.07
396.00	82.47	12.50	12.50	11.30	10.97
402.00	82.78	12.36	12.36	11.19	10.88
408.00	83.09	12.22	12.23	11.08	10.79
414.00	83.40	12.09	12.09	10.97	10.70
420.00	83.70	11.96	11.96	10.86	10.61
426.00	83.99	11.83	11.84	10.75	10.52
432.00	84.29	11.71	11.71	10.65	10.43
438.00	84.58	11.59	11.59	10.55	10.35
444.00	84.87	11.47	11.48	10.45	10.27
450.00	85.15	11.35	11.36	10.36	10.19
456.00	85.43	11.24	11.25	10.26	10.11
462.00	85.71	11.13	11.14	10.17	10.03
468.00	85.99	11.02	11.03	10.08	9.95
474.00	86.27	10.92	10.92	9.99	9.87
480.00	86.54	10.82	10.82	9.91	9.80
486.00	86.81	10.72	10.72	9.82	9.73
492.00	87.07	10.62	10.62	9.74	9.65
493.17	87.12	10.60	10.60	9.72	9.64

Anexo 3:

Planos



PROYECTO:
COMPARACION DE VARIABLES
HIDRAULICAS OBTENIDAS CON
MODELOS BIDIMENSIONALES IBER
Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES
APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO
PUENTE CHAMAN-CHEPEN
LA LIBERTAD

BACHILLERES:
CANEVARO BALAREZO DANNER JAIR
MUÑOZ CACEDA DEIBHY STEVEN

FACULTAD:
INGENIERIA
CARRERA:
INGENIERIA CIVIL

PLANO:
TOPOGRAFIA CON PROPUESTA DE
DIQUES Y DEFENSAS RIBEREÑAS

UBICACION:
Distrito: CHEPEN
Provincia: CHEPEN
Departamento: LA LIBERTAD

ASESOR:
ING. García Rivera, Juan Pablo

ESCALA:
1/1000

FECHA:
03/12/2020

LAMINA:
T-01



PROYECTO:

COMPARACION DE VARIABLES HIDRAULICAS OBTENIDAS CON MODELOS BIDIMENSIONALES IBER Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO PUENTE CHAMAN-CHEPEN LA LIBERTAD

BACHILLERES:

CANEVARO BALAREZO DANNER JAIR
MUÑOZ CACEDA DEIBHY STEVEN

FACULTAD:

INGENIERIA

CARRERA:

INGENIERIA CIVIL

PLANO:

PLANTAY PERFIL LONGITUDINAL
TRAMO - AGUAS ARRIBA

UBICACION:

Distrito: CHEPEN
Provincia: CHEPEN
Departamento: LA LIBERTAD

ASESOR:

ING. García Rivera, Juan Pablo

ESCALA:

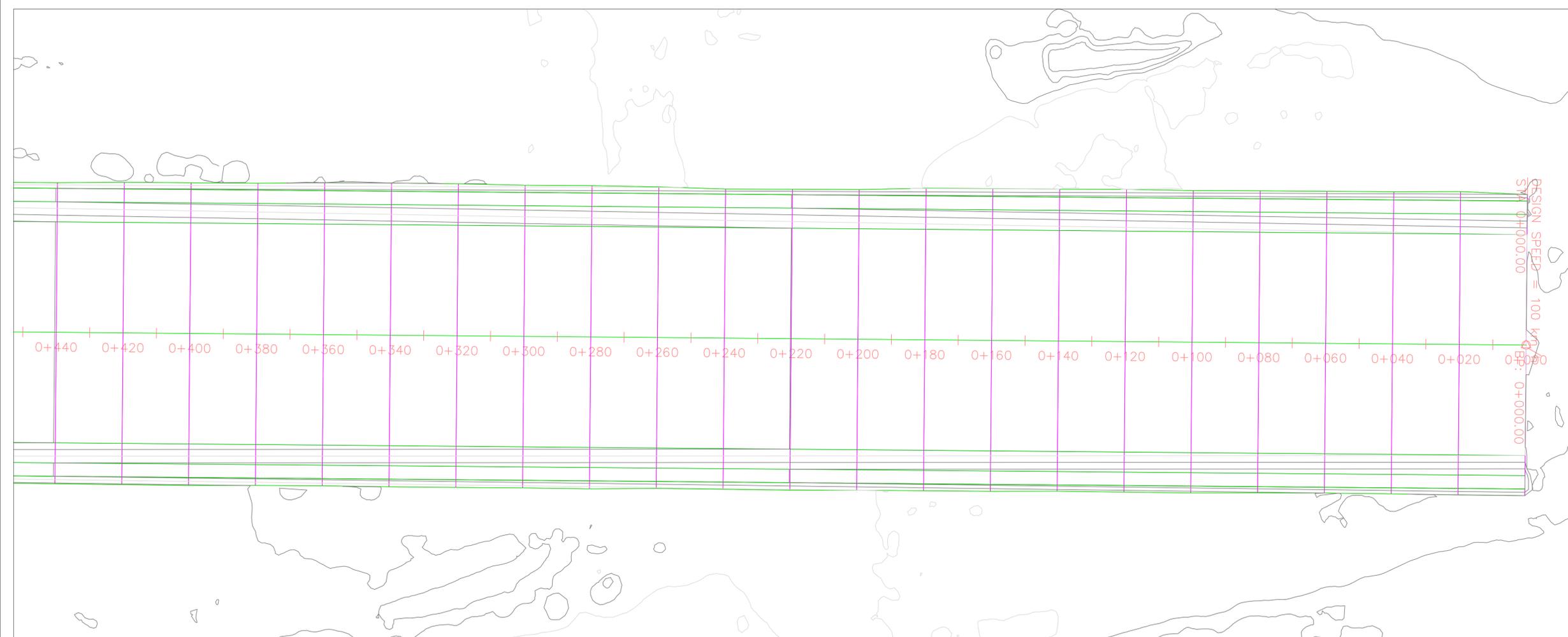
1/1000

FECHA:

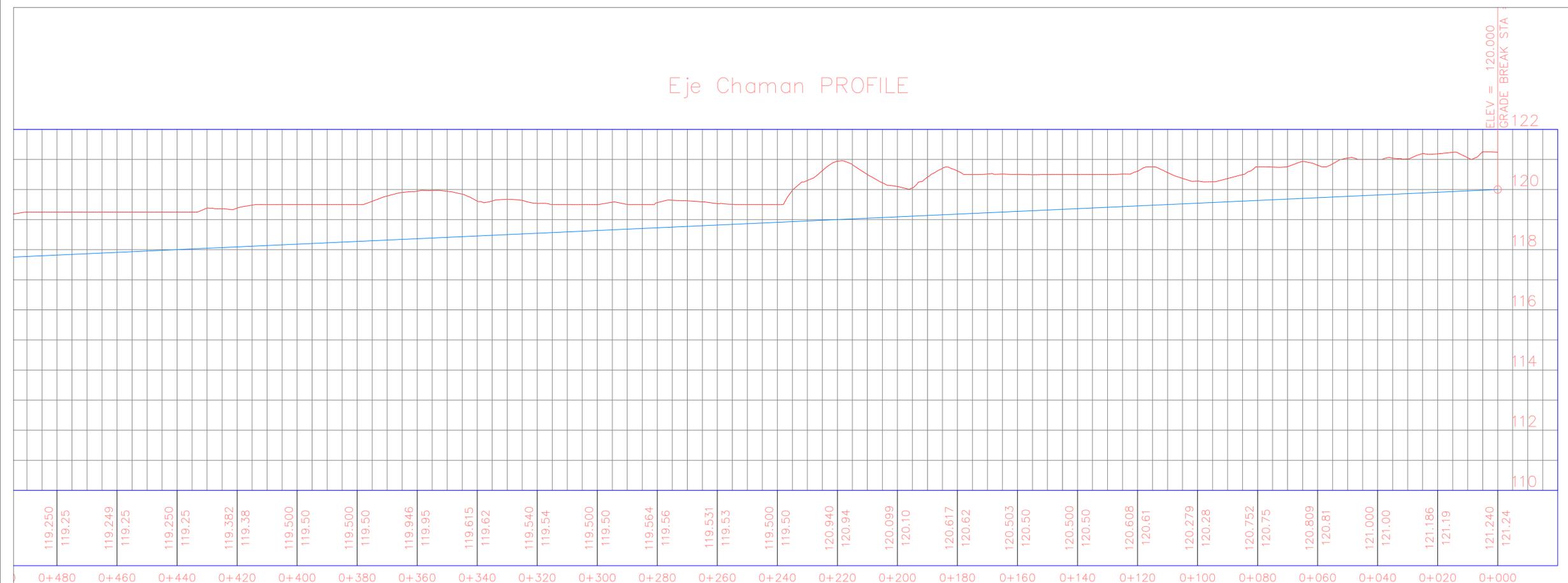
03/12/2020

LAMINA:

T-02



Eje Chaman PROFILE





PROYECTO:
 COMPARACION DE VARIABLES
 HIDRAULICAS OBTENIDAS CON
 MODELOS BIDIMENSIONALES IBER
 Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES
 APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO
 PUENTE CHAMAN-CHEPEN
 LA LIBERTAD

BACHILLERES:
 CANEVARO BALAREZO DANNER JAIR
 MUÑOZ CACEDA DEIBHY STEVEN

FACULTAD:
 INGENIERIA
CARRERA:
 INGENIERIA CIVIL

PLANO:
 PLANTAY PERFIL LONGITUDINAL

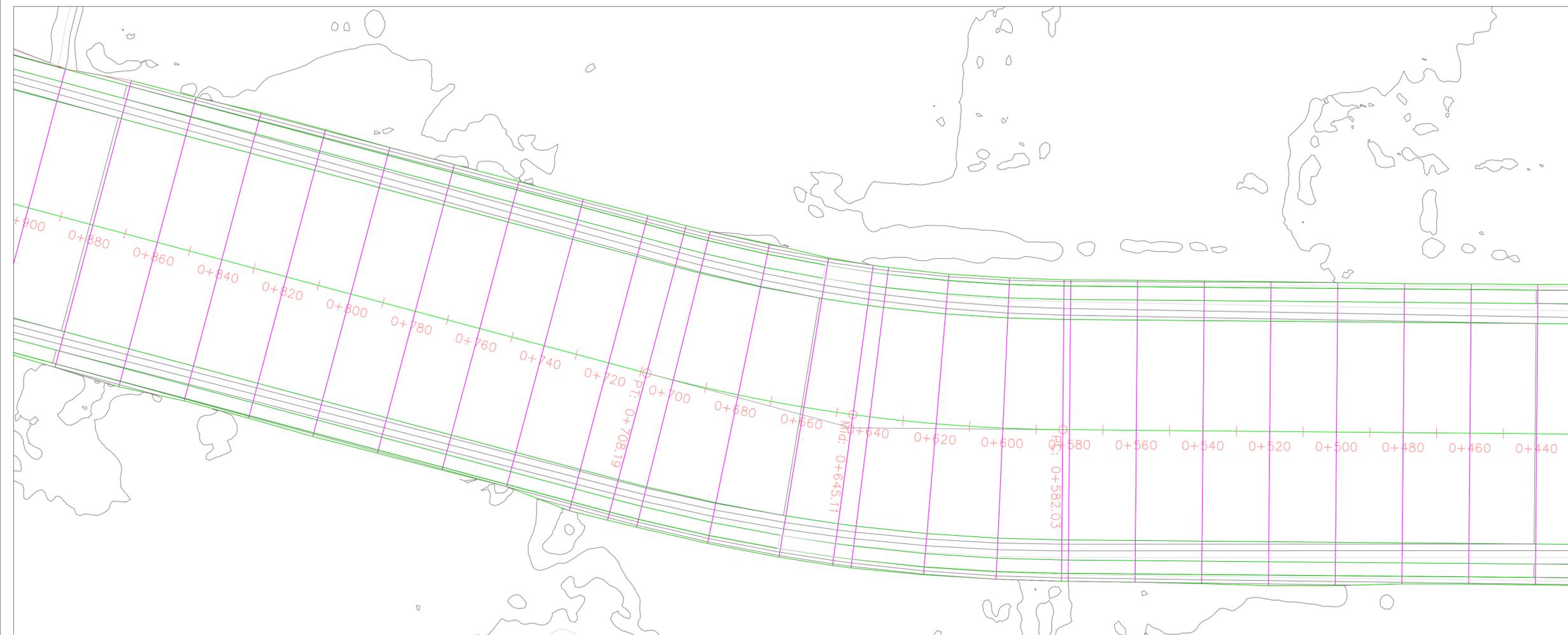
UBICACION:
 Distrito: CHEPEN
 Provincia: CHEPEN
 Departamento: LA LIBERTAD

ASESOR:
 ING. García Rivera, Juan Pablo

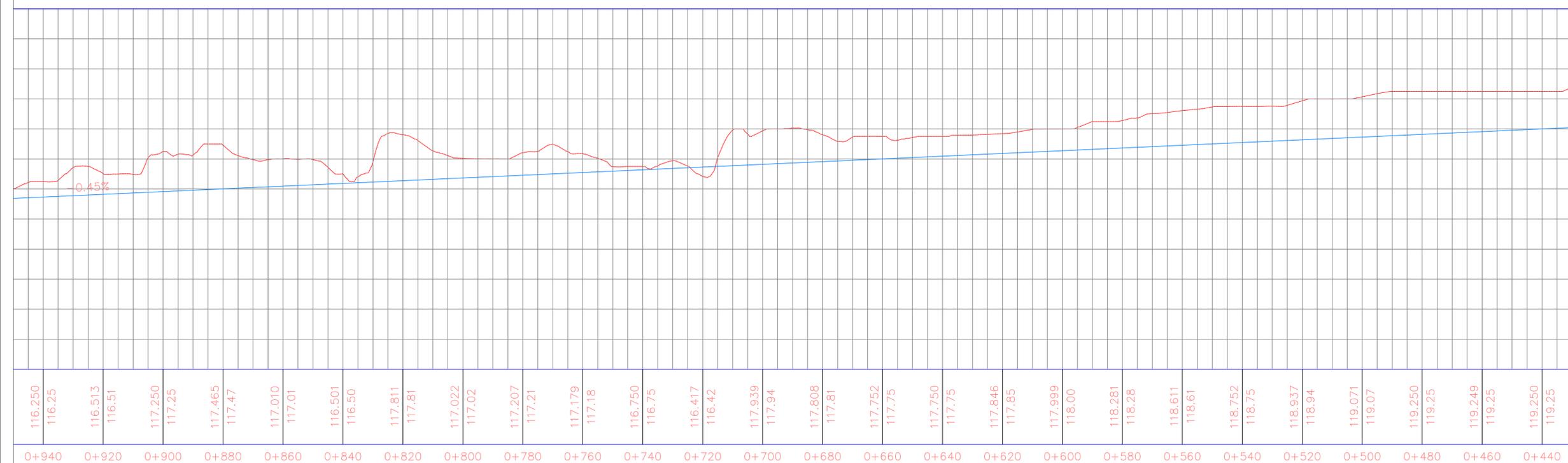
ESCALA:
 1/1000

FECHA:
 03/12/2020

LAMINA:
T-03



Eje Chaman PROFILE





PROYECTO:
 COMPARACION DE VARIABLES
 HIDRAULICAS OBTENIDAS CON
 MODELOS BIDIMENSIONALES IBER
 Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES
 APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO
 PUENTE CHAMAN-CHEPEN
 LA LIBERTAD

BACHILLERES:
 CANEVARO BALAREZO DANNER JAIR
 MUÑOZ CACEDA DEIBHY STEVEN

FACULTAD:
 INGENIERIA
CARRERA:
 INGENIERIA CIVIL

PLANO:
 PLANTAY PERFIL LONGITUDINAL

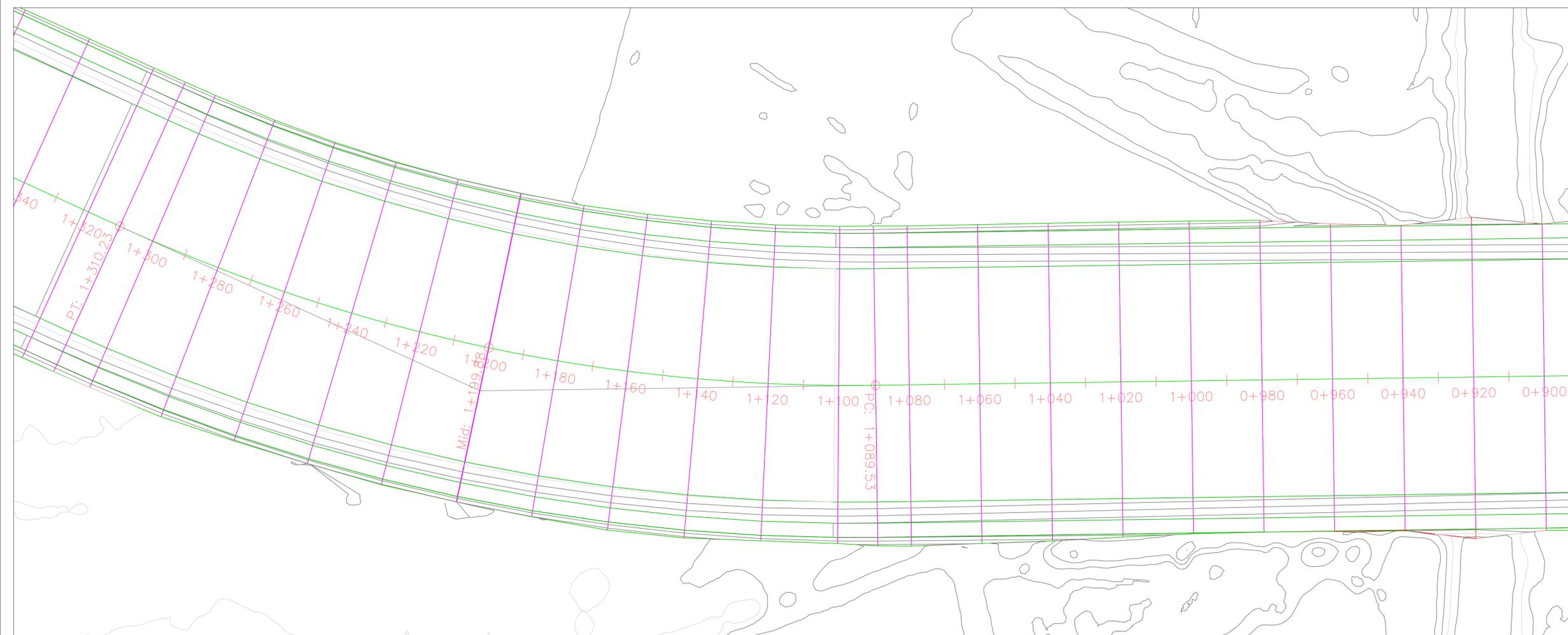
UBICACION:
 Distrito: CHEPEN
 Provincia: CHEPEN
 Departamento: LA LIBERTAD

ASESOR:
 ING. García Rivera, Juan Pablo

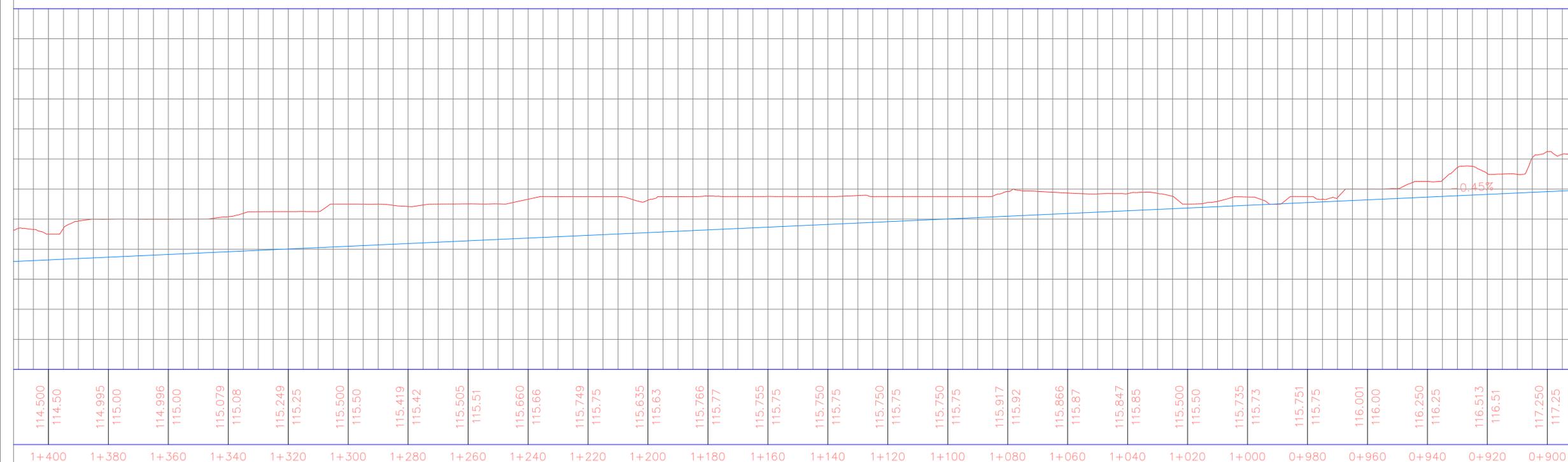
ESCALA:
 1/1000

FECHA:
 03/12/2020

LAMINA:
T-04



Eje Chaman PROFILE





PROYECTO:
 COMPARACION DE VARIABLES
 HIDRAULICAS OBTENIDAS CON
 MODELOS BIDIMENSIONALES IBER
 Y HEC-RAS EN CAUCES NATURALES
 APLICACIÓN AL RIO CHAMAN-TRAMO
 PUENTE CHAMAN-CHEPEN
 LA LIBERTAD

BACHILLERES:
 CANEVARO BALAREZO DANNER JAIR
 MUÑOZ CACEDA DEIBHY STEVEN

FACULTAD:
 INGENIERIA
CARRERA:
 INGENIERIA CIVIL

PLANO:
 PLANTAY PERFIL LONGITUDINAL
 TRAMO - AGUAS ABAJO

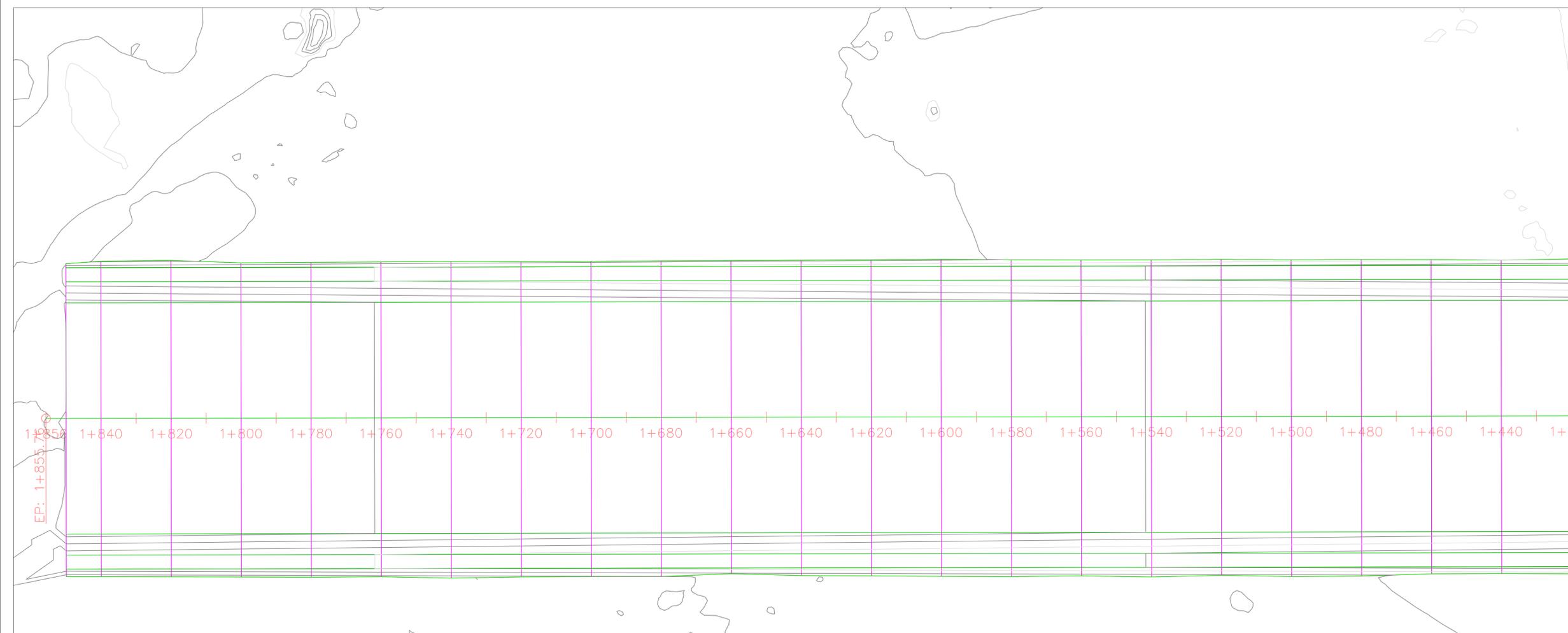
UBICACION:
 Distrito: CHEPEN
 Provincia: CHEPEN
 Departamento: LA LIBERTAD

ASESOR:
 ING. García Rivera, Juan Pablo

ESCALA:
 1/1000

FECHA:
 03/12/2020

LAMINA:
T-05



Eje Chaman PROFILE

