



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**ESTUDIO HIDROTÉCNICO DEL PUENTE SANTA ROSA DEL PEÑÓN, EN EL
MUNICIPIO DE SANTA ROSA DEL PEÑÓN, DEPARTAMENTO DE LEÓN**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Víctor Manuel Montes Mondragón

Br. Yéred Antonio Palma Rodríguez

Tutor

PhD. Ing. Néstor Javier Lanza Mejía

Asesor:

Ing. Diego Emmanuel Ortiz Cárdenas

Managua, Mayo de 2020

Resumen

En esta investigación monográfica, se realiza el estudio hidrotécnico del puente Santa Rosa del Peñón, ubicado en el municipio de Santa Rosa del Peñón, departamento de León. Se hace mediante la implementación de herramientas informáticas que servirán para realizar el análisis, las cuales serán: ArcGIS 9.3, IDRISI SELVA 17.0, HEC-HMS 4.0 y HEC-RAS 4.1.0

El puente existente es el único acceso al municipio, lo cual evidencia la importancia que la obra de cruce tiene para la población. El puente fue construido en el año 2001 y hasta la actualidad se le ha realizado solamente un estudio hidrotécnico, el cual fue desarrollado por la empresa LAMSA en el año 2013, donde el MTI fue el supervisor de dicho estudio.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) requiere de este tipo de estudios por parte de agentes externos, para solventar con la demanda que existe, en realizar las evaluaciones pertinentes a la red vial existente en el país (a los puentes). Es muy importante el desarrollo de investigaciones como esta, ya que realiza un aporte fundamental al ente regulador, a las municipalidades y en general a la población, porque contribuye con la buena práctica de realizar mantenimientos previos y no esperar hasta que suceda una catástrofe para dar una reparación, mantenimiento o incluso, el reemplazo total de la estructura del puente.

Para el estudio del puente en interés, se procedió primeramente a recopilar la información disponible referente al puente Santa Rosa y luego realizar un estudio de suelos para determinar el valor de rugosidad del suelo.

Posteriormente se realizó el estudio hidrológico utilizando el software Arc-GIS 9.3 obteniendo la delimitación de la cuenca en estudio. Seguidamente se obtuvieron las características morfométricas por medio del programa IDRISI Selva, las cuales fueron fundamentales para el estudio de la cuenca.

Aplicando el programa HEC-HMS, se obtuvieron los caudales máximos probables con el fin de estimar las demandas de flujo de diseño de la obra. Por último, utilizando el programa HEC-RAS se efectuó la simulación hidráulica del puente, para realizar el estudio hidráulico del mismo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general:.....	6
1.4.2 Objetivos específicos:.....	6
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
2.1 Localización	7
2.1.1 Macro localización	8
2.1.2 Micro localización	9
2.2 Geografía	9
2.3 Clima	10
2.4 Biodiversidad.....	10
2.4.1 Flora	10
2.4.2 Fauna	10
CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO	11
3.1 Parámetros morfológicos	11
3.1.1 Parámetros físicos de la cuenca.....	11
3.1.2 Parámetros según su forma	12
3.1.3 Parámetros según su relieve	14
3.2 Análisis hidrológico.....	17
3.2.1 Precipitación	18
3.2.2 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)	18
3.2.3 Hietograma de diseño con el método de bloques alternos	18

3.2.4	Número de Curva (CN).....	19
3.2.5	Estimación de caudales utilizando el método racional.....	22
3.2.6	Método de tránsito de avenidas.....	25
3.2.6.1	Variante de Muskingum	26
3.2.6.2	Determinación de los parámetros del tránsito	28
3.2.6.3	Secuencia lógica en la aplicación del método	30
3.3	Análisis hidráulico.....	30
3.3.1	Ecuación de Manning	31
3.3.2	Coeficiente de Manning	31
3.3.3	Método de Cowan.....	32
3.3.4	Modelación hidráulica en HEC-RAS 4.1.0	34
3.3.5	Consideraciones para el diseño.....	34
3.3.5.1	Topografía	34
3.3.5.2	Muestreo y características del lecho.....	35
3.3.6	Parámetros hidráulicos del diseño de un puente	35
3.3.6.1	Perfil del flujo	35
3.3.6.2	Flujo bajo	38
3.3.7	Socavación	40
3.3.7.1	Protección frente a la socavación	40
3.4	Definición de puente.....	43
CAPÍTULO 4: DISEÑO METODOLÓGICO		46
4.1	Exploración de estudios previos.....	46
4.2	Obtención de la información.....	46
4.3	Procesamientos con sistema de información geográfica	47
4.3.1	Delimitación de la cuenca mediante el software ArcGIS	47

4.3.2	Estimación de los parámetros físicos de la cuenca mediante el software IDRISI Selva 17	48
4.3.3	Creación del modelo de la cuenca mediante la utilización de HEC Geo HMS	49
4.4	Análisis hidrológico de la cuenca en HEC–HMS 4.0	51
4.5	Análisis hidráulico del puente en HEC–RAS 4.1.0.....	53
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS		55
5.1	Características morfométricas de la cuenca del río Santa Rosa.....	55
5.1.1	Delimitación de la cuenca.....	55
5.1.1.1	Área y perímetro.....	56
5.1.1.2	Longitud de la corriente principal.....	58
5.1.2	Parámetros según su forma	58
5.1.2.1	Índice de gravelius o coeficiente de compacidad <i>IC</i>	58
5.1.2.2	Coeficiente de forma <i>Kf</i>	58
5.1.2.3	Coeficiente de masividad <i>Km</i>	59
5.1.3	Parámetros según su relieve	59
5.1.3.1	Pendiente de la cuenca	59
5.1.3.2	Curva hipsométrica.....	59
5.1.3.3	Elevación media de la cuenca	61
5.1.3.4	Pendiente del cauce principal.....	61
5.1.4	Parámetros de su drenaje	62
5.1.4.1	Orden de la corriente	62
5.1.4.2	Densidad de drenaje.....	62
5.1.4.3	Sinuosidad de la corriente	62
5.1.5	Resumen de las características morfométricas de la cuenca del río Santa Rosa.....	62
5.2	Análisis hidrológico de la cuenca río Santa Rosa	65

5.2.1	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia	65
5.2.2	Aplicación del método de los bloques alternos.....	66
5.2.3	Corrección por coeficiente de cambio climático.....	67
5.2.4	Información de las características del suelo	74
5.2.4.1	Curva Número (CN).....	74
5.2.4.2	Tipo de suelo	74
5.2.4.3	Clasificación hidrológica de los suelos	75
5.2.4.4	Uso de suelos.....	75
5.2.5	Hidrograma unitario del SCS	76
5.2.6	Parámetros del tránsito.....	78
5.2.7	Cálculos de caudales, aplicando el método de tránsito de avenidas .	79
5.3	Análisis hidráulico del puente Santa Rosa del Peñón	83
5.3.1	Estudio topográfico	83
5.3.2	Secciones transversales.....	84
5.3.3	Coeficiente y rugosidad del cauce general	86
5.3.4	Avenida de diseño	87
5.3.5	Resultados del análisis hidráulico del puente Santa Rosa del Peñón	88
5.3.5.1	Período de retorno 25 años	88
5.3.5.1.1	Perfil de flujo	89
5.3.5.1.2	Capacidad del puente	90
5.3.5.1.3	Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0	90
5.3.5.2	Período de retorno 50 años	91
5.3.5.2.1	Perfil de flujo	92
5.3.5.2.2	Capacidad del puente	93
5.3.5.2.3	Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0	93
5.3.5.3	Período de retorno 100 años	94

5.3.5.3.1	Perfil de flujo	95
5.3.5.3.2	Capacidad del puente	96
5.3.5.3.3	Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0	96
5.3.6	Resultados del análisis de socavación en el puente Santa Rosa	97
5.3.6.1	Período de retorno 25 años	97
5.3.6.2	Período de retorno 50 años	99
5.3.6.3	Período de retorno 100 años	100
5.4	Diseño de protección frente a los efectos de la socavación	101
CONCLUSIONES		103
RECOMENDACIONES		105
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		107
ANEXOS		I
	Anexo 1: Delimitación de la cuenca Santa Rosa del Peñón	II
	Anexo 2: Pendiente de la cuenca Santa Rosa del Peñón.....	III
	Anexo 3: Tipos de suelos de la cuenca Santa Rosa del Peñón.....	IV
	Anexo 4: Uso de suelo de la cuenca Santa Rosa del Peñón	V
	Anexo 5: Curvas IDF de la estación San Isidro.....	VI
	Anexo 6: Resultados del análisis hidrológico para cada elemento del río Santa Rosa.....	VII
	Anexo 7: Resultado del estudio de suelos realizado en el sitio.....	XX
	Anexo 4: Resultados hidráulicos en las secciones transversales del tramo analizado del río Santa Rosa del Peñón para los diferentes eventos analizados	XXVI

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación de Santa Rosa del Peñón según cuencas de Nicaragua	7
Figura 2: Ubicación de cuenca 69 según identificación de INETER.....	7
Figura 3: Macro localización del área de estudio	8
Figura 4: Micro localización del área de estudio.....	9
Figura 5: Almacenamiento por prisma y por cuña en un tramo de un canal	26
Figura 6: Ubicaciones de las secciones transversales en un puente	36
Figura 7: Definición de puente mínimo en Nicaragua.....	45
Figura 8 Secuencia para delimitar una cuenca en ArcGIS.....	47
Figura 9: Secuencia para obtener los parámetros físicos en IDRISI Selva	48
Figura 10: Secuencia para obtener el modelo de la cuenca a utilizar en HEC-HMS con la extensión HEC Geo HMS de ArcGIS 9.3.....	50
Figura 11: Secuencia para realizar el análisis hidrológico en HEC-HMS 4.0	52
Figura 12: Secuencia para realizar el análisis hidráulico en HEC – RAS 4.1.0.....	54
Figura 13: Modelo de elevación digital de la cuenca Santa Rosa	55
Figura 14: Delimitación de la cuenca del río Santa Rosa del Peñón.....	56
Figura 15: Caudal máximo en el punto de cierre para el TR 25 años	80
Figura 16: Caudal máximo en el punto de cierre para el TR 50 años	81
Figura 17: Caudal máximo en el punto de cierre para el TR 100 años	82
Figura 18: Bosquejo del tramo analizado	84
Figura 19: Vista del tramo del río analizado en HEC-RAS	85
Figura 20: Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0 TR 25.....	90
Figura 21: Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0 TR 50.....	93
Figura 22: Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0 TR 100.....	96

Índice de tablas

Tabla 1: Cuencas hidrográficas, áreas y precipitación media anual.....	8
Tabla 2: Clases de tamaño de cuencas	11
Tabla 3: Clases de valores de compacidad.....	12
Tabla 4: Clases de valores de forma.....	13
Tabla 5: Clases de valores de masividad	14
Tabla 6: Clases de valores de longitud del cauce principal	14
Tabla 7: Clases de valores de elevación media	15
Tabla 8: Clases de valores de pendiente del cauce principal.....	16
Tabla 9: Números de Curva según el uso de la tierra	20
Tabla 10: Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía.....	23
Tabla 11: Frecuencias de diseño recomendadas.....	24
Tabla 12: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad.....	33
Tabla 13: Rangos de coeficientes de expansión	37
Tabla 14: Tamaño de partículas permitidos mínimo y máximo en pulgadas.....	42
Tabla 15: Definición de estructura de puente según varios países	44
Tabla 16: Área y perímetros de las subcuencas del río Santa Rosa.....	57
Tabla 17: Valores de la curva hipsométrica	60
Tabla 18: Parámetros morfométricos de la cuenca Santa Rosa del Peñón	62
Tabla 19: Parámetros morfométricos de cada subcuenca de la cuenca del río Santa Rosa.....	63
Tabla 20: Intensidades máximas según los períodos de retorno, estación San Isidro	66
Tabla 21: Selección del periodo de retorno de acuerdo a la clasificación funcional de la carretera	66
Tabla 22: Factor de corrección por cambio climático de la estación San Isidro	67
Tabla 23: Cálculo del hietograma de lluvia para un periodo de retorno de 25 años, según el método de los bloques alternos	69
Tabla 24: Cálculo del hietograma de lluvia para un periodo de retorno de 50 años, según el método de los bloques alternos	70

Tabla 25: Cálculo del hietograma de lluvia para un periodo de retorno de 100 años, según el método de los bloques alternos	72
Tabla 26: Orden de los suelos de la cuenca Santa Rosa del Peñón.....	75
Tabla 27: Grupos hidrológicos para la cuenca Santa Rosa del Peñón	75
Tabla 28: Uso de suelos de la cuenca Santa Rosa del Peñón.....	76
Tabla 29: Tiempo de retardo para cada subcuenca de la cuenca Santa Rosa	77
Tabla 30: Parámetros de tránsito de la cuenca Santa Rosa	79
Tabla 31: Caudales obtenidos en el punto de cierre para los diferentes períodos de retorno analizados.....	80
Tabla 32: Diámetro de las partículas para calcular el coeficiente de rugosidad	86
Tabla 33: Coeficiente de Manning calculado para el tramo del río en estudio	87
Tabla 34: Caudales utilizados en el análisis hidráulico	87
Tabla 35: Resultado del análisis hidráulico para el TR 25.....	88
Tabla 36: Resultado del análisis hidráulico para el TR 50.....	91
Tabla 37: Resultado del análisis hidráulico para el TR 100.....	94
Tabla 38: Diámetro de las partículas usado para el análisis de socavación	97
Tabla 39: Resultados del análisis de socavación para el TR 25 años.....	98
Tabla 40: Resultados del análisis de socavación para el TR 50 años.....	99
Tabla 41: Resultados del análisis de socavación para el TR 100 años.....	101
Tabla 42: Gradación del material usado para el enrocado propuesto en los estribos	102
Tabla 43: Resultado de la simulación hidrológica en HMS para el TR 25 años ...	VIII
Tabla 44: Resultados de la simulación hidrológica para el TR 50 años	XII
Tabla 45: Resultados de la simulación hidrológica para el TR 100 años	XVI
Tabla 46: Resultados de la simulación hidráulica para el TR 25 años	XXVI
Tabla 47: Resultados de la simulación hidráulica para el TR 50 años	XXVII
Tabla 48: Resultados de la simulación hidráulica para el TR 100 años	XXVII

Índice de gráficas

Gráfica 1: Curvas hipsométricas características de una cuenca, según Strahler..	17
Gráfica 2: Hietograma de diseño	19
Gráfica 3: Curva hipsométrica de la cuenca Santa Rosa del Peñón	60
Gráfica 4: Perfil del cauce principal	61
Gráfica 5 : Curvas IDF, estación San Isidro	65
Gráfica 6: Hietograma de lluvia para un período de retorno de 25 años	70
Gráfica 7: Hietograma de lluvia para un período de retorno de 50 años	71
Gráfica 8: Hietograma de lluvia para el período de retorno de 100 años	73
Gráfica 9 Hidrograma de salida en el punto de cierre para el TR 25 años	81
Gráfica 10: Hidrograma de salida en el punto de cierre para el TR 50 años.....	82
Gráfica 11: Hidrograma de salida en el punto de cierre para el TR 100 años	83
Gráfica 12: Perfil del puente ubicado en el tramo 0+228.31.....	86
Gráfica 13: Perfil de flujo para el TR 25 años.....	89
Gráfica 14: Sección de entrada del puente para el TR 25 años	90
Gráfica 15: Perfil de flujo en el puente para el período de retorno 50 años	92
Gráfica 16: Sección de entrada del puente para el TR 50 años.....	93
Gráfica 17: Perfil de flujo en el puente para el período de retorno 100 años	95
Gráfica 18: Sección de entrada del puente para el TR 100 años	96
Gráfica 19: Modelación de la socavación para el TR 25 años	97
Gráfica 20: Modelación de la socavación para el TR 50 años	99
Gráfica 21: Modelación de la socavación para el TR 100 años	100

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción

El objetivo fundamental de una obra de cruce, es el de brindar continuidad a la red vial existente en un determinado lugar y que a la vez haya un fluido tránsito de las corrientes de agua. Se conoce como obra de cruce a toda construcción civil que proporciona la libre circulación de vehículos y peatones (como punto primordial), durante todo el año, en una ruta de tránsito específica. Las obras de cruce más conocidas y utilizadas en los proyectos de ingeniería son las alcantarillas, caja puente y puentes; éste último el de mayor longitud de claro y que por lo tanto requiere mayor atención en su diseño, ejecución y evaluación, ya sea en el campo estructural, como hidrotécnico.

Se define como puente toda obra de arte, destinada a salvar corrientes de agua, depresiones del relieve topográfico, y cruces a desnivel, los que deben garantizar un tránsito fluido y continuo de peatones, agua, ductos de los diferentes servicios, vehículos y otros que redunden en la calidad de vida de los pueblos. El puente es una estructura que forma parte de caminos, carreteras y líneas férreas y canalizaciones, construida sobre una depresión, río, u obstáculo cualquiera.¹

Este proyecto tiene como fin realizar una evaluación del **Puente Santa Rosa del Peñón**, ubicado en el municipio con el mismo nombre, en el departamento de León. Se hará una revisión hidrotécnica para determinar las condiciones hidráulicas e hidrológicas que actualmente posee la obra, y analizar si las dimensiones actuales, cumplen con el propósito de transitar las avenidas que se generan en los eventos de precipitación, como también si posee riesgos de colapso frente a la socavación.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), como ente regulador de este tipo de construcciones, requiere realizar las evaluaciones pertinentes para constatar que la obra no sea ninguna amenaza a la población (debido a cualquier desastre natural), o a la interrupción del tránsito vehicular, ya que a través de las carreteras se produce la transportación de productos y movilización de la población en general; pero debido a las limitantes económicas y especializadas que existen, requiere de

¹ Ministerio de Transporte e Infraestructura (2012). *Situación de los puentes de la Red Vial Nacional*

profesionales externos que apoyen en la elaboración de este tipo de estudio y de esta manera cumplir con las exigencias que el ente regulador demanda. De igual forma, este estudio, será de gran utilidad para la Alcaldía del municipio, quienes se verán beneficiados directamente al poseer este tipo de información a su alcance.

En esta investigación monográfica, se destacan 5 capítulos principales, los que abordan de manera general lo que se detalla a continuación:

En el capítulo I, se presentan los aspectos generales entorno al estudio hidrotécnico del puente a revisar: Introducción, antecedentes justificación y objetivos a abordar.

En el capítulo II, se realiza una descripción breve del área de estudio, su localización, clima, relieve y geología.

En el capítulo III, contiene todo lo pertinente a la teoría y conceptos generales de las áreas aplicadas durante el desarrollo de la investigación: análisis hidrológico, análisis hidráulico y en términos básicos, qué es la socavación en puentes.

En el capítulo IV, se aborda el diseño metodológico a través del cual se desarrolló el presente trabajo. Así mismo se describe brevemente cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para la obtención de los resultados finales.

En el capítulo V se determinan las características morfométricos de la cuenca. Se hace uso de los programas ArcGIS 9.3 e IDRISIS SELVA 17.0, además del análisis hidrológico de ésta con el programa HEC-HMS 4.0, para definir el caudal máximo que circula por el punto de cierre de la cuenca. Posteriormente se determinan los niveles máximos alcanzados por la superficie del agua del río, usando el programa HEC-RAS 4.1.0, para los diferentes eventos analizados y el efecto de socavación que producen estos en la infraestructura del puente.

Para culminar el estudio, se exponen las conclusiones a cerca de los resultados obtenidos y las recomendaciones que se deben de tener en consideración para realizar un correcto estudio hidrotécnico del puente, a posterior.

1.2 Antecedentes

Uno de los elementos esenciales para el desarrollo de la economía de un país es su infraestructura vial. En Nicaragua, gran parte de la producción agrícola está localizada en áreas rurales, cuyas carreteras constituyen la única vía para el transporte de productos y movilización de la población en general. Al no existir carreteras, es más difícil la distribución de la producción nacional lo que conlleva a la ralentización de la economía rural, es decir su movimiento económico. El municipio de Santa Rosa del Peñón al estar en un área prácticamente rural, mantener su red vial en excelente estado y en observación continua, es de vital importancia para cuidar su economía.

Actualmente Nicaragua, en su Red Vial Nacional, posee cerca de 3,000 estructuras de puentes con valor aproximado a 800 millones de dólares, casi todas construidas en el siglo XX. El ente regulador de este sector es el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), específicamente administrada por el Sistema de Administración de Puentes de la Oficina Diagnóstico y Evaluación de Estructuras de Puentes, el cual comenzó a funcionar a partir de octubre de 2001.²

Históricamente los puentes han sido considerados como obras de drenaje mayor, y sólo como parte de las características de una vía de transporte. De esta forma se encuentran incorporados al Inventario Vial del país e históricamente habían sido atendidos por ingenieros viales que atienden las carreteras. Sin embargo, al ser considerados como drenaje, su clasificación es eminentemente hidráulica, no describe su tipo de estructura y sus necesidades de mantenimiento. Por lo que se vio la necesidad de una administración especializada de las estructuras de puentes, la que es llevada a cabo por el Sistema de Administración de Puentes de la Oficina Diagnóstico y Evaluación de Estructuras de Puentes³, en el MTI. De esta manera, nuestro país cuenta hasta hace pocos años, con la regulación necesaria para tener un seguimiento continuo en la evaluación de estas estructuras civiles.

^{2,3} Ministerio de Transporte e Infraestructura (2012). *Situación de los puentes de la Red Vial Nacional*

El Ministerio de Transporte e Infraestructura en el año 2013, convocó a presentar oferta por los servicios de Consultoría del Proyecto “ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑOS FINALES” de aproximadamente 47.8 km de caminos productivos grupo I El Jicaral – Santa Rosa del Peñón, 10.25km, Empalme Larreynaga- Larreynaga 6.35 km, Empalme La Trinidad (La Boquita) – Pochomil 24 km. Bajo el convenio CR-4185-NI y financiamiento adicional 4736-NI/H571-0-NI.

Como resultado de la evaluación de las ofertas técnicas - económicas presentadas por las firmas consultoras, la empresa LAMSA fue seleccionada para realizar los servicios de consultoría, y realizar una evaluación del puente sobre el Río Santa Rosa. Este puente fue construido en el año 2000, por donación de la empresa MAN B&N Alemana, y cooperación del Ministerio de Transporte, Alcaldía Municipal, Empresa Energética.⁴ Este es el único estudio actualmente existente y es la base principal que se ha tomado como comienzo para la elaboración de este nuevo estudio hidrotécnico. En el estudio anterior se hizo uso de métodos manuales para calcular el área de la cuenca y el caudal. En el estudio presente para realizar estos cálculos, se hace uso de métodos digitales (softwares), que son muy útiles y cuentan con una grande confiabilidad en sus resultados a lo largo de los años.

Con el avance de los métodos tecnológicos para el estudio y diseño en todo ámbito de ingeniería, la Ingeniería Hidráulica tiene como auxilio, diferentes softwares de computadora, para lograr resultados más precisos y con la menor cantidad de errores permisible. Entre ellos se mencionan AUTOCAD, ARCGIS, EPANET y muchos otros para cada especialidad en la Ingeniería Civil.

Entre estos avances tecnológicos y metodológicos, el Ministerio de Transporte e Infraestructura en 2008, publicó el Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Mayor y Menor, donde se estipulan requerimientos técnicos e ingenieriles de Obras de Cruce, además recomiendan el método de Tránsito de Avenidas como método de cálculo de Caudal para cuencas mayores a 3 km².

⁴ MTI (2013). *Informe del estudio hidrotécnico del puente Santa Rosa del Peñón*

1.3 Justificación

El municipio de Santa Rosa del Peñón, es un pequeño pueblo ubicado en el departamento de León. La mayor cantidad de la población vive en áreas rurales, aledaños al casco urbano. La principal actividad económica de Santa Rosa del Peñón es la agricultura. El frijol rojo es el producto de mayor importancia y hace del municipio el mayor productor del departamento. Se cultiva para el consumo local y la comercialización externa. Otros productos que se cultivan son: El maíz, trigo millón y sorgo.⁵

Otro rubro que es necesario destacar, es la minería, que provee gran aporte económico a los pobladores y a la región en general. Por tanto, es trascendental que esta zona cuente con una red vial adecuada y en perfecta condición y por consiguiente, es menester mantener un control minucioso de las obras ingenieriles que componen su red vial.

El Puente Santa Rosa del Peñón, es el acceso principal al municipio y el único acceso a la carretera pavimentada, del tipo Colectora Secundaria, con el ID NIC-35C, según el MTI. Por esta razón, la evaluación del tipo hidrotécnica, es de carácter primordial, para garantizar la función principal de la estructura, que es la de proveer la continuidad a la red vial existente.

Se contabiliza una población de alrededor de 10,000 habitantes, de los cuales sólo 2353 habitantes, radican en la zona urbana, según el Banco Central de Nicaragua.⁶ Toda esta cantidad de personas, se ven beneficiadas directamente con la funcionalidad del puente ubicado en la entrada del municipio. En esto radica la importancia de este estudio, en mantener una inspección rigurosa del puente, para evitar deterioro del mismo y en peores condiciones, un colapso total causado por las crecidas de las corrientes, comunes de invierno. De igual forma habrá reducción en gastos por reparaciones, ya que la prevención permite planificar mantenimientos que evitarán reparaciones mayores en el futuro.

⁵ Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal. (2012). *Ficha técnica Municipal, Santa Rosa del Peñón*

⁶ Banco Central de Nicaragua (2017), *Cartografía Digital y Censo de Edificaciones de la Cabecera Municipal de Santa Rosa del Peñón*

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general:

- Realizar el estudio hidrotécnico en el puente existente en el municipio de Santa Rosa del Peñón, para una correcta evaluación, haciendo uso de los principios de la hidráulica e hidrología.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Determinar las características morfométricas de la cuenca utilizando el software ArcGis 9.3 e Idrisi Selva 17.0, para el estudio de los parámetros morfológicos.
- Calcular el caudal máximo probable para la identificación de la demanda de flujo utilizando el método de tránsito de avenidas, auxiliándose con el software HEC-HMS 4.0.
- Realizar el análisis hidráulico del puente propuesto, que brinde continuidad a la red vial existente y que responda a las demandas de caudal, haciendo uso del Software HEC-RAS 4.1.0.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Localización⁷

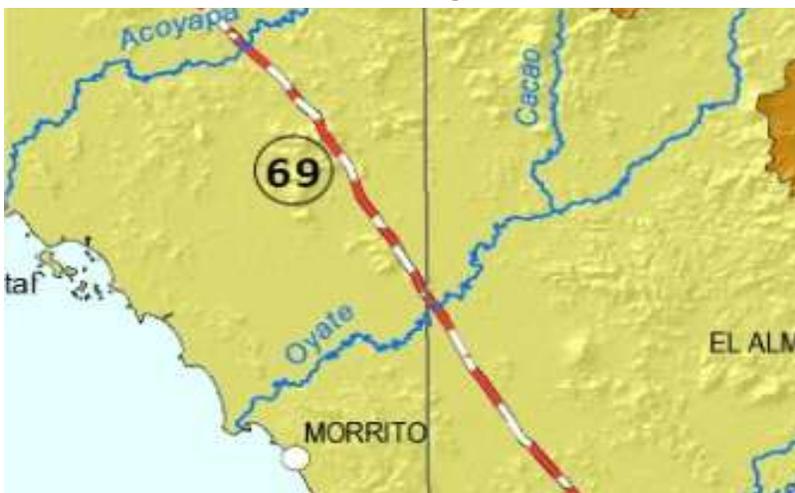
El puente Santa Rosa del Peñón está ubicado en el municipio con el mismo nombre, del departamento de León, en las coordenadas geográficas latitud 12°48' N. y longitud 86°22' W. Gran parte de la cuenca de drenaje se encuentra en el municipio de San Nicolás departamento de Estelí. La subcuenca del río Santa Rosa, está localizada dentro de la cuenca Río San Juan, que corresponde a la cuenca número 69, como se muestra a continuación:

Figura 1: Ubicación de Santa Rosa del Peñón según cuencas de Nicaragua



Fuente: Mapa de cuencas hidrográficas. INETER (2013)

Figura 2: Ubicación de cuenca 69 según identificación de INETER



Fuente: Mapa de cuencas hidrográficas. INETER (2013)

⁷ MTI (2013). *Informe del estudio hidrotécnico del puente Santa Rosa del Peñón*

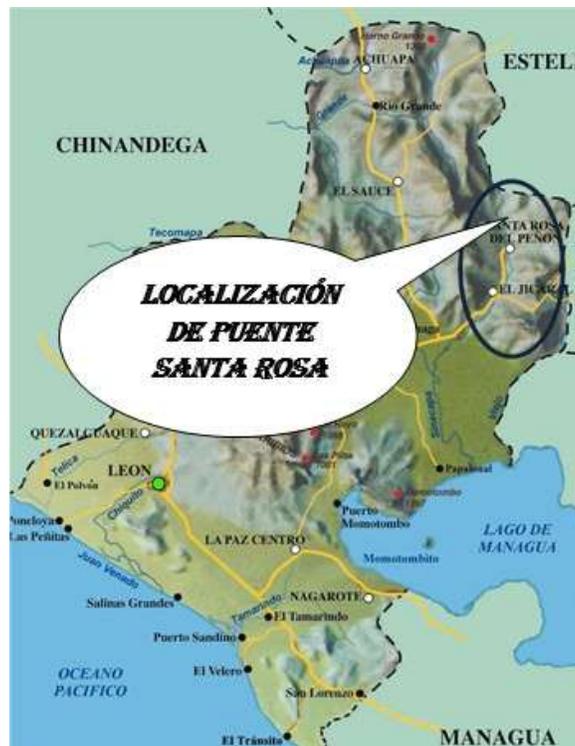
Tabla 1: Cuencas hidrográficas, áreas y precipitación media anual

CUENCAS HIDROGRÁFICAS ÁREAS Y PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL			
VERTIENTE DEL MAR CARIBE			
Código de cuenca	Nombre de la Cuenca Río Principal	AREA	Precipitación Media
		(km ²)	(mm)
45	Coco	19,284.19	1,552
47	Ulang	3,910.52	2,300
49	Wawa	5,534.35	2,757
51	Kukalaya	3,799.38	3,216
53	Prinzapolka	11,018.79	2,758
55	Grande de Matagalpa	18,309.79	2,231
57	Kurinwas	4,630.04	2,725
59	Entre Kurinwas y Escondido	3,208.10	3,874
61	Escondido	11,889.30	2,967
63	Entre Escondido y Punta Gorda	1,845.30	4,086
65	Punta Gorda	2,896.68	3,415
67	Entre Punta Gorda y San Juan	2,211.09	4,497
69	San Juan de Nicaragua)	28,995.54	1,646
		117,533.07	

Fuente: Mapa de cuencas hidrográficas. INETER (2013)

2.1.1 Macro localización

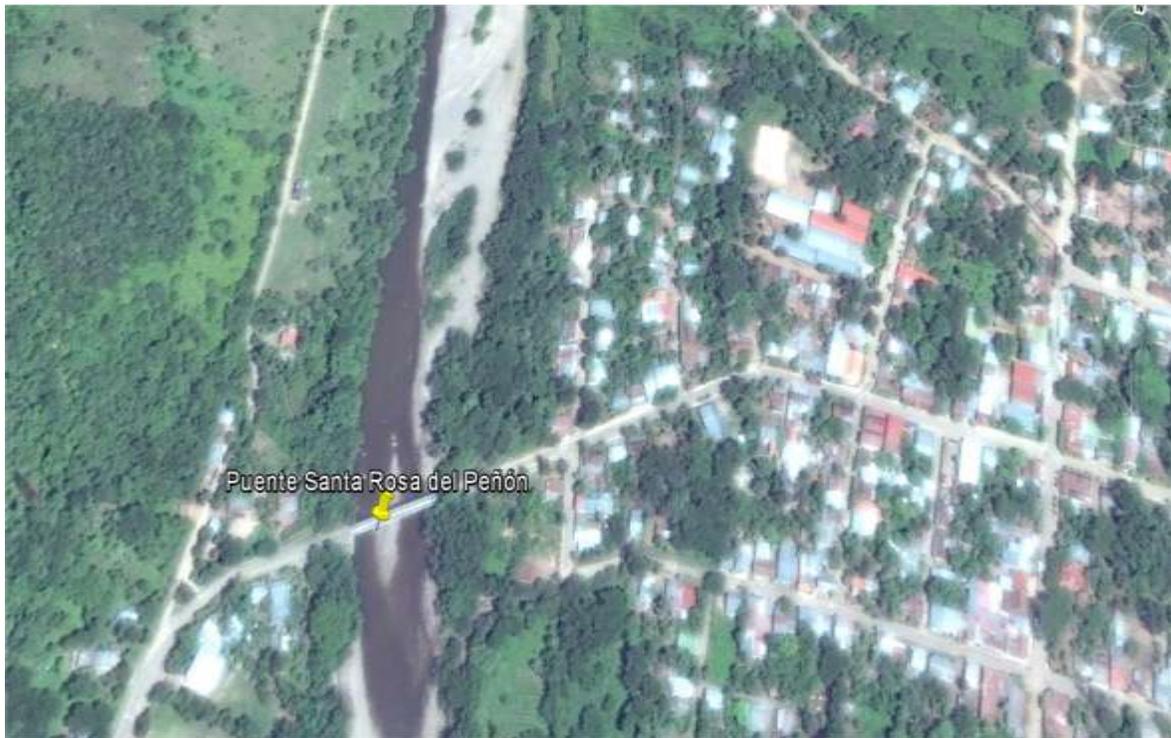
Figura 3: Macro localización del área de estudio



Fuente: Estudio hidrotécnico puente Santa Rosa. MTI (2013)

2.1.2 Micro localización

Figura 4: Micro localización del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

2.2 Geografía

El término municipal limita al norte con el municipio de San Nicolás, al sur con el de El Jicaral, al este con el municipio de San Isidro y al oeste con el de El Sauce. La cabecera municipal está ubicada a 174 km de la ciudad de Managua.

El municipio presenta dos tipos de topografías: Plana en todo el casco urbano y quebrado en todo lo que comprende el área rural la que está formada por serranías de poca altura, con vegetación escasa predominando arbustos, plantas rastreras y pastos. Los accidentes geográficos del municipio están constituidos por las montañas del Ocotol, El Jicote, El Picacho, Azacualpa, Quebrachal, El Confite y el Ocotillo. La principal red hidrográfica es la del río Sinecapa.

El punto de interés (punto de cierre), está ubicado en el kilómetro 172+675, que corresponde a la carretera con identificación NIC-35C.

2.3 Clima⁸

Como toda la región del Pacífico, el municipio presenta un clima seco, con temperatura promedio de 38°C, con dos estaciones; invierno y verano. Su clima es seco en verano y fresco en invierno. Las temperaturas más altas se presentan durante los meses de abril y mayo, y las más bajas en el mes de Diciembre. La precipitación anual oscila entre los 1,200 mm, hasta un máximo de 1,800 mm anuales.

2.4 Biodiversidad⁹

2.4.1 Flora

El despale indiscriminado y los incendios de las diferentes especies de bosques y maderas preciosas han afectado considerablemente el inventario de recursos naturales, provocando peligro de extinción de árboles como el madroño, caoba, cedro, genízaro, guanacaste, quebracho y afectando la biodiversidad.

2.4.2 Fauna

En cuanto a la fauna silvestre, en el municipio existen garrobos, venados, sahíno, coyotes, conejos, guarda tinajas, cascabel, gato de cerro, tigrillo, cuyusa, chachalaca, gabilanes, querque, cuervos, guachirica, zorros, pizotes, loras, lapas, chocoyos, zanates, gorriones, mapachín, zorro espín, zorro mión, ardillas, urraca, zenzontle, cusuco y aves como el guardabarrancos, loros y palomas. Los incendios, la caza y el despale han provocado que desaparezcan ciertas especies de animales.

^{8,9} Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal. (2012). *Ficha técnica Municipal, Santa Rosa del Peñón*

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO

3.1 Parámetros morfológicos

La hidrología trata de la estimación de los caudales máximos probables determinados por eventos de precipitación. En palabras de Fattorelli “La hidrología es una ciencia que trata los fenómenos naturales involucrados en el ciclo hidrológico. El diseño hidrológico busca interpretar y cuantificar esos fenómenos, con el fin de proporcionar un soporte a estudios, proyectos y obras de ingeniería hidráulica, de infraestructura y de medio ambiente.” (2011, p.1)

Aparicio (2005) argumenta que la cuenca hidrográfica es la unidad básica en el estudio hidrológico, que depende de un punto llamado “Punto de Cierre”, donde su sistema de drenaje converge en ese punto. La cuenca hidrográfica se define como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios.

3.1.1 Parámetros físicos de la cuenca

3.1.1.1 Área (A): Montserrat (1985, p. 43) considera que el área es la medida de la superficie de drenaje, y es la variable más utilizada para el cálculo de los parámetros hidrológicos, que consecuentemente son dependientes de ella.

Se tiene la siguiente clasificación en orden al tamaño.

Tabla 2: Clases de tamaño de cuencas

Rangos de áreas (km ²)		Clases de tamaño
25	250	Pequeña
250	500	Intermedia-Pequeña
5000	2500	Intermedia-Grande
2500	5000	Grande
5000	10000	Muy Grande

Fuente: NELAME, tabla 8, p. 25.

3.1.1.2 Perímetro (P):

Es la longitud de la línea del borde la cuenca, medida en proyección horizontal. Este parámetro, por sí solo, no brinda ninguna información respecto al tamaño o forma de la cuenca, a menos que se compare cuencas de igual superficie.

3.1.2 Parámetros según su forma

Dentro del análisis hidrológico se han propuesto muchas formas numéricas para describir las diferentes características de una cuenca hidrográfica a continuación se describen las que tienen mayor relevancia.

3.1.2.1 Índice de compacidad: Se define como la relación del perímetro de la cuenca, con la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca.

$$Ic = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (Km²)

Se tiene la siguiente clasificación:

Tabla 3: Clases de valores de compacidad

Rangos de I_c		Clases de compacidad
1.0	1.25	Redonda a Oval redonda
1.25	1.5	De Oval redonda a Oval Oblonga
1.5	1.75	De Oval Oblonga a Rectangular Oblonga

Fuente: MTI, Corasco, 2008, tabla 6, p. 25.

3.1.2.2 Rectángulo equivalente: “Este índice es introducido para poder comparar la influencia de las características de la cuenca sobre la escorrentía. La característica más importante del rectángulo equivalente es que tiene igual distribución de alturas que la curva hipsométrica original de la cuenca”. (Lanza, 2012, p.23).

$$L = \frac{P/2 + \sqrt{P^2/4 - 4A}}{2} \text{ (km)}$$

$$l = \frac{P/2 - \sqrt{P^2/4 - 4A}}{2} \text{ (km)}$$

3.1.2.3 Factor de forma: Este factor permite comparar la cuenca con un rectángulo, que la iguala en superficie. “El factor de forma es igual a la unidad cuando la cuenca es un cuadrado, y disminuye de acuerdo al grado de alargamiento” (Magette, 1986, p.104).

$$K_f = \frac{A}{l^2}$$

Donde,

A : Área de la cuenca (Km²)

l^2 : Rectángulo equivalente (Km²)

Se tiene la siguiente clasificación:

Tabla 4: Clases de valores de forma

Rangos de K_f		Clases de forma
0.01	0.18	Muy poca achatada
0.18	0.36	Ligeramente achatada
0.36	0.54	Moderadamente achatada

Fuente: Corasco, 2008, tabla 5, p. 24.

3.1.2.4 Coeficiente de masividad: Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de una cuenca y su superficie.

$$Km = \frac{\text{altura media de la cuenca (m)}}{\text{área de la cuenca (km}^2\text{)}}$$

Tabla 5: Clases de valores de masividad

Rangos de Km		Clases de masividad
0	35	Muy montañosa
35	70	Montañosa
70	105	Moderadamente montañosa

Fuente: Corasco, 2008, tabla 8, p. 26.

3.1.3 Parámetros según su relieve

La topografía o el relieve de una cuenca pueden tener más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma. Numerosos autores han desarrollado diversos parámetros con el fin de describir el relieve de una cuenca a continuación se detallan algunos de los más importantes.

3.1.3.1 Longitud del cauce principal: Este parámetro representa la longitud medida del cauce que posee el mayor orden de drenaje y el mayor recorrido en la cuenca.

Se tiene la siguiente clasificación.

Tabla 6: Clases de valores de longitud del cauce principal

Rangos de longitud (Km)		Clases de longitud del cauce
6.9	10.9	Corto
11	15.0	Mediano
15.1	19.1	Largo

Fuente: Corasco, 2008, tabla 1, p. 22.

3.1.3.2 Elevación media: La elevación media de una cuenca, es importante en relación con la temperatura y la lluvia.

$$Em = \frac{\sum(Hi * Ai)}{Ac}$$

Donde:

Hi: Altura media entre dos curvas de nivel consecutivas.

Ai: Superficie entre dos curvas de nivel, consecutivas.

Tabla 7: Clases de valores de elevación media

Rangos de elevación en msnm		Clases de elevación
500	2000	Baja
2000	2400	Moderada
2400	2700	Alta

Fuente: Corasco, 2008, tabla 2, p. 22.

3.1.3.3 Altura máxima (H_{máx}): Es la elevación máxima del punto más remoto del cauce principal donde se inicia el escurrimiento de agua.

3.1.3.4 Altura mínima (H_{mín}): Es la elevación del punto de control de cada sub-cuenca.

3.1.3.5 Pendiente del cauce principal: Lanza (2012) argumenta que este parámetro es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta, para pendientes altas se esperan flujos supercríticos, y sub-críticos para pendientes suaves. Se calcula de la siguiente manera.

$$Sc = \frac{H_{máx} - H_{mín}}{L}$$

Tabla 8: Clases de valores de pendiente del cauce principal

Rangos de pendiente (m/m)		Clases
0.01	0.05	Suave
0.06	0.11	Moderada
0.12	0.17	Fuerte

Fuente: Corasco, 2008, tabla 12, p. 30.

3.1.3.6 Curva hipsométrica: “Es la representación gráfica del relieve de una cuenca, o sea, es el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar (msnm).” Lanza (2012, p.17).

Este parámetro, también permite definir las características fisiográficas de las cuencas hidrográficas, tales como definir las zonas altas, media y baja de la cuenca.

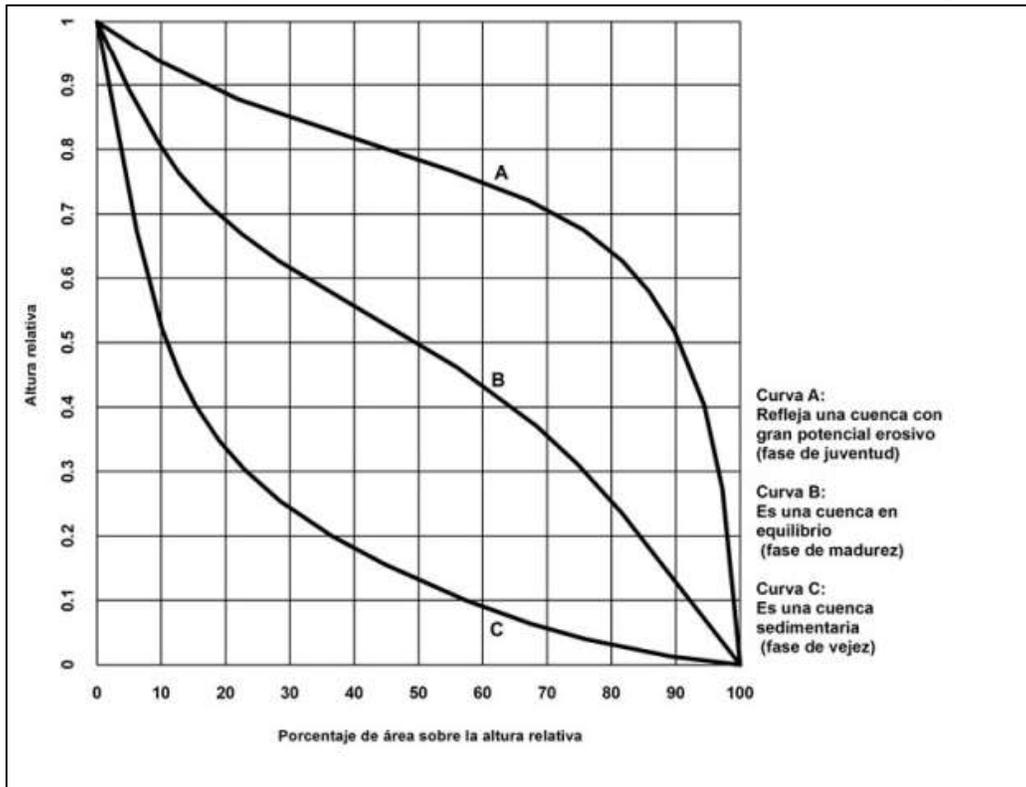
La curva hipsométrica relaciona el valor de la cota en las ordenadas, con el porcentaje de área acumulada en las abscisas. La curva hipsométrica representa, entonces, el porcentaje de área acumulada igualada o excedida por una cota determinada.

La moda de una curva hipsométrica es el valor más frecuente (mayor área) del intervalo de clases de cota que se encuentran en una cuenca hidrográfica.

De la curva hipsométrica se puede extraer una relación importante entre el área sobre la curva hipsométrica y el área por debajo de la curva hipsométrica.

De acuerdo a Strahler esta relación es un indicador del equilibrio dinámico de la cuenca. Así, cuando el valor de R_h es aproximado a 1 se tiene una cuenca con equilibrio morfológico. Para valores diferentes, la interpretación que puede realizarse se muestra en la gráfica 1.

Gráfica 1: Curvas hipsométricas características de una cuenca, según Strahler



Fuente: Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica, 2016, figura 4.1, p. 52.

3.2 Análisis hidrológico

El análisis hidrológico permite estimar los caudales de diseño, de las obras que constituyen el sistema de drenaje de una carretera, partiendo el análisis de la información hidrológica y meteorológica disponible del área de estudio.

3.2.1 Precipitación¹⁰

La precipitación incluye la lluvia y otros procesos mediante el cual el agua cae a la superficie terrestre. La formación de esta requiere la elevación de una masa de agua a la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense.

Uno de los primeros pasos que debe realizarse en el estudio hidrológico es la determinación de los eventos de lluvia que deben usarse. La forma más común es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre la intensidad de lluvia (profundidad), la duración y la frecuencia o período de retorno apropiado para el sitio y la obra.

3.2.2 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Las curvas IDF son una herramienta gráfica que representa la relación entre los tres parámetros de la lluvia de interés en el diseño de obras de drenaje: La tasa a la que cae sobre el terreno, conocida como intensidad, el tiempo transcurrido para una intensidad dada, conocido como duración y el probable número de años que transcurrirían antes de que una combinación de intensidad y duración dada, se repita, conocido como frecuencia.

3.2.3 Hietograma de diseño con el método de bloques alternos

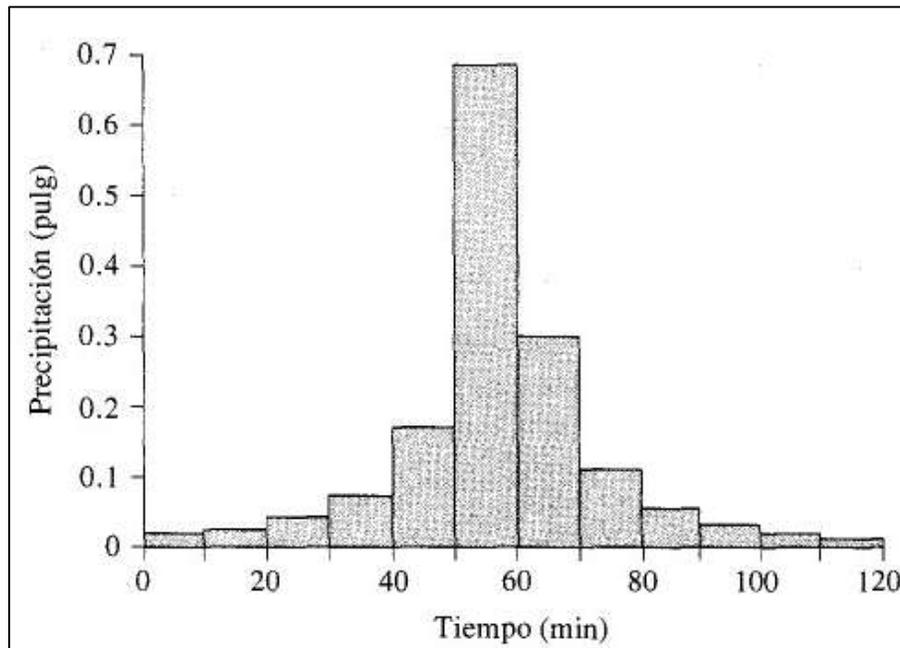
Un hietograma es un gráfico que representa la variación de la precipitación en función del tiempo.

El método de bloques es un método simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de (IDF).

El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempos sucesivos de duración Δt sobre una duración total $Td = n\Delta t$.

¹⁰ (Chow, Maidment & Mays, 1994)

Gráfica 2: Hietograma de diseño



Fuente: Chow, Maidment & Mays: Hidrología aplicada, 1994, figura 14.4.1, p. 479.

3.2.4 Número de Curva (CN)

El SCS mediante el Número de Curva (CN) estima el exceso de precipitación en función de la precipitación acumulada, la cobertura del suelo, uso del suelo y la humedad antecedente.

Esta técnica denominada CN, del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, se basa en las características que posee cada tipo de suelo, registrado en el SCS con respecto a su capacidad de drenaje. A su vez, permite la determinación del coeficiente de escorrentía sin medir éste directamente.

Para estandarizar esta información el SCS definió un número adimensional de CN que se encuentra en los rangos de $0 \leq CN \leq 100$, en el cual el 100 indica que la superficie es impermeable o es un cuerpo de agua, y para el resto de superficies naturales el $CN < 100$.

Los números de curva han sido tabulados por el servicio de conservación de suelos con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra se definen cuatro grupos de suelos:

- ✚ Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- ✚ Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- ✚ Grupo C: Margas arcillosos, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcillas.
- ✚ Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de uso de tierra en estos tipos de suelos se dan en la tabla 9. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de tierra, se pueden calcular un CN compuesto.

Tabla 9: Números de Curva según el uso de la tierra

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a=0.2S$)					
Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada¹	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques: Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,		45	66	77	83
	cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.,	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a=0.2S$)					
Residencial³	Porcentaje promedio impermeable ⁴				
Tamaño promedio del lote		77	85	90	92
1/8 acre o menos	65	61	75	83	87
1/4 acre	38	57	72	81	86
1/3 acre	30	54	70	80	85
1/2 acre	25	51	68	79	84
1 acre	20				
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
	Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow, Maidment & Mays: Hidrología aplicada, 1994, tabla 5.5.2, p. 154

1. Para una descripción más detallada de los números de curva para uso agrícola de la tierra, remitirse a *Soil Conservation Service*, 1972, Cap. 9.
2. Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.
3. Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y los accesos se dirigen hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.
4. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.
5. En algunos países con climas cálidos se puede utilizar 95 como numero de curva.

3.2.5 Estimación de caudales utilizando el método racional

Aparicio (1992) discute que la fórmula racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia-escorrentía, y que hoy en día es el método más utilizado, particularmente en el diseño de drenajes urbanos.

“Básicamente, se formula que el caudal máximo de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima de la lluvia en un período de duración igual al tiempo de concentración, y al área de la cuenca.” Chereque (p.124)

La fórmula para el método racional es la siguiente:

$$Q = 0.2778 C I A$$

Donde:

Q: Es el caudal expresado en m³/s.

I: Es la intensidad de lluvia expresada en mm/hr.

A: Es el área de la cuenca expresada en km².

Determinación de los parámetros para el cálculo del caudal utilizando el método racional

- **Coeficiente de escorrentía(C):** “Se denomina coeficiente de escorrentía, a la relación promedio entre el volumen de agua que escurre superficialmente en una cuenca a lo largo de un período de tiempo, dividido por el volumen total precipitado.” Bateman (2007, p.41)

Esta es la variable menos precisa del método racional, porque depende de las características y condiciones del suelo, que son constantemente modificadas por acciones humanas.

La fórmula para el coeficiente de escorrentía es la siguiente:

$$C = U_s * T_s * P_t$$

Donde:

C: Es el coeficiente de escorrentía.

Us: Es el coeficiente de uso de suelo.

Ts: Es el coeficiente de tipo de suelo.

Pt: Es el coeficiente de pendiente.

El departamento de drenaje pluvial de la Alcaldía de Managua, con base en los documentos de normas checoslovacas presenta en la siguiente tabla, valores de coeficiente de escorrentía.

Tabla 10: Valores para el cálculo del coeficiente de escorrentía

USO DE SUELO	Us
Vegetación densa, bosques, cafetales con sombras, pastos.	0.04
Malezas, arbustos, solar baldío, cultivos perennes, parques, cementerios, campos deportivos.	0.06
Sin vegetación o con cultivos anuales.	0.10
Zonas suburbanas (viviendas, negocios).	0.20
Casco urbano y zonas industriales	0.30-0.50
TIPO DE SUELO	Ts
Permeable(Terreno arenoso, ceniza volcánica, pómez)	1.00
Semipermeable(Terreno arcilloso-arenoso)	1.25
Impermeable(Terreno arcilloso, limoso, marga)	1.50
PENDIENTE DEL TERRENO (%)	Pt
0.0-3.0	1.00
3.1-5.0	1.50
5.1-10.0	2.00
10.1-20.0	2.50
20.1 y mayores	3.00

Fuente: Reglamento de drenaje pluvial para el municipio de Managua (2012).

- **Intensidad de lluvia:** “La intensidad de lluvia es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo.” Ven T. Chow (1994, p.465).

Este parámetro se obtiene por medio de una lectura directa, en las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, utilizando como abscisa el tiempo de concentración expresado en horas.

- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Se calcula aplicando la fórmula del Método del Proyecto Hidrometeorológico centroamericano.

$$t_c = 0.0041 \left(\frac{3.28 * L}{\sqrt{S_c}} \right)^{0.77}$$

Donde:

t_c : Es el tiempo de concentración expresado en horas.

L : Es la longitud del cauce principal expresada en Kilómetros.

S_c : Es la pendiente del cauce principal expresada en m/m.

- **Período de retorno:** “El período de retorno de un evento con una magnitud dada, puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud específica.” Chow (1994, p. 392).

Tabla 11: Frecuencias de diseño recomendadas

Frecuencias de diseño recomendadas (años).						
Clasificación funcional de carreteras	Diseño					Revisión Flujo
	2	5	10	25	50	100
Troncal Principal:						
➤ Alcantarillas de paso				x	x	X
➤ Alcantarillas de Alivio			X			X
➤ Puentes Grandes					x	X
➤ Puente-Vado					x	X
Troncal Secundaria:						
➤ Alcantarillas de Paso				x		X
➤ Alcantarillas de alivio			x			X
➤ Puentes Pequeños				x	x	X
➤ Puente-Vado				x	x	X
Colectora Principal:						
➤ Alcantarillas de paso				x		X

Frecuencias de diseño recomendadas (años).						
	Diseño					Revisión Flujo
	1	2	3	5	10	
➤ Alcantarillas de alivio			x			X
➤ Puentes Pequeños				x	x	X
➤ Puente-Vado			x	x		X
Colectora Secundaria						
➤ Alcantarillas de paso				X		X
➤ Alcantarillas de alivio			X			X
➤ Puentes Pequeños			x	x		X
➤ Puente-Vado						
Caminos Vecinales						
➤ Alcantarillas de paso			x	x		X
➤ Alcantarillas de alivio			x			X
➤ Puentes Pequeños				x	x	X
➤ Puente-Vado	x	x				X

Fuente: CORASCO, 2008, tabla 2, p.15

- **Hidrograma triangular sintético:** Se genera a partir de los datos del tiempo de concentración (t_c) o tiempo pico (t_p) y el caudal pico obtenido por el método antes descrito. Se establece el criterio que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración de la cuenca o sub-cuenca, que a la vez es el tiempo pico del hidrograma.
- **Gráfico del hidrograma triangular sintético:** Se grafican los datos en papel milimetrado o mediante herramientas de computación, definiendo la ordenada para los valores de caudal y la abscisa para el tiempo.

3.2.6 Método de tránsito de avenidas

El método racional, considera que la lluvia es constante en el tiempo y en el espacio. Por tal razón, su uso se restringe a cuencas pequeñas menores a 5 km², como lo establece el Marco Metodológico del MTI (Corasco, 2008).

El método de tránsito de avenidas se aplica a cuencas mayores a los 5 km², para transitar el hidrograma obtenido en el punto de control de una subcuenca, hacia el próximo punto de control sobre el cauce principal de la cuenca.

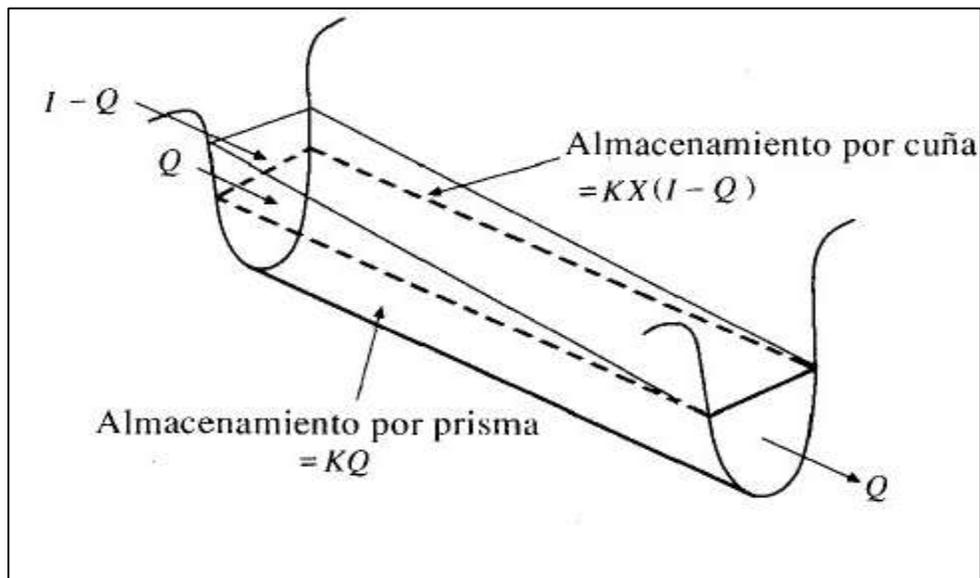
El tránsito de avenidas es la técnica hidrológica utilizada para calcular el efecto de almacenamiento de un canal sobre la forma y movimiento de una onda de avenida.¹¹

Dado el caudal en un punto aguas arriba el proceso de tránsito puede utilizarse para calcular el caudal en un punto aguas abajo. El almacenamiento hidráulico no sólo ocurre dentro de un canal o un embalse si no en el movimiento mismo del agua sobre la superficie del terreno. El almacenamiento es pues efectivo durante la propia formación de una onda de avenida y los métodos de tránsito pueden aplicarse para calcular el hidrograma que resultara de un patrón específico de lluvia de exceso¹².

3.2.6.1 Variante de Muskingum

El método Muskingum es un método de tránsito hidrológico que se usa comúnmente para manejar relaciones caudal-almacenamiento variables. Este modelo de almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación de almacenamiento de cuña y prisma (ver figura 5). Durante el avance de la onda de creciente, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña.¹³

Figura 5: Almacenamiento por prisma y por cuña en un tramo de un canal



Fuente: Chow, V. T, *Hidrología aplicada*, 1994, figura 8.4.1, p. 264.

¹¹, ¹² Linsley, Kohler, & Paulus, 1981; ¹³ Chow, V. T, *Hidrología aplicada*, 1994

La aplicación del método de tránsito de avenidas en la variante de Muskingum (método de almacenamiento), se realiza de la siguiente manera:

Con un valor asumido de X; un valor calculado de K y un valor de "t" igual al tiempo medio de concentración de las sub-cuencas incluidas en un tramo en particular, se obtienen los valores de los coeficientes de rugosidad (C_0 , C_1 , C_2); los valores de I que se usan se tabulan y los productos C_0I_2 y C_1I_1 se calculan.

Con un valor inicial de 0 o estimado, se realiza el producto C_2O_1 , luego los tres productos se suman, para obtener O_2 . El valor calculado de O_2 , se transforma en O_1 para el siguiente período de análisis, y puede determinarse un valor de O_2 .

Este proceso se detiene, en el instante que O_2 es igual a 0, significa que todo el hidrograma ha sido transitado.

La ecuación de Muskingum es la siguiente:

$$O_2 = C_0I_2 + C_1I_1 + C_2O_1$$

Donde:

O_2 : Caudal de salida al momento del cauce.

I_2 : Caudal de Entrada al momento del tránsito.

O_1 : Caudal de salida un instante antes del tránsito.

I_1 : Caudal de entrada un instante antes del tránsito.

C_0 , C_1 , C_2 : Coeficientes de rugosidad.

3.2.6.2 Determinación de los parámetros del tránsito

- **Velocidad del tránsito:** Para el primer tránsito, es la velocidad del flujo en la primera sub-cuenca. Se calcula con la fórmula de la velocidad:

$$V_t = \frac{L}{t_c}$$

Donde:

V: Es la velocidad del tránsito expresada en m/min.

L: Es la longitud del cauce expresada en m.

t_c: Es el tiempo de concentración expresado en minutos.

Si dos o más sub-cuencas convergen en el punto que se inicia el tránsito, la velocidad será el promedio aritmético de las velocidades de flujo en cada sub-cuenca.

$$V_t = \frac{1}{n} [V_1 + V_2 + \dots + V_n]$$

Donde:

n: Es la cantidad de sub-cuencas, que convergen en el punto que se inicia el tránsito.

Para el segundo tránsito y los posteriores, la velocidad es el promedio aritmético considerando la velocidad del flujo en cada sub-cuenca, que converge en el punto donde se inicia el tránsito, incluida la velocidad de los tránsitos realizados hasta dicho punto.

$$V_t = \frac{1}{x} [V_1 + V_2 + \dots + V_{t(\text{realizado})}]$$

Donde:

x: Representa la cantidad de datos a sumar.

- **Longitud del tránsito (L_t):** Representa la distancia entre dos puntos de control consecutivos, medida sobre el cauce principal de la cuenca.
- **Tiempo de retardo (K):** Representa el desfase entre el tiempo pico a transitar, y el tiempo pico del hidrograma transitado.

$$K = \frac{L_t}{V_t}$$

Donde:

K: Es el tiempo de retardo expresado en minutos.

L_t: Es la longitud del tránsito de la sub-cuenca.

V_t: Es la velocidad del tránsito a realizar.

- **Tiempo de hidrograma a transitar:** Es el cociente que resulta de dividir, como mínimo dos tiempos picos del hidrograma a transitar. Si al menos uno de los coeficientes de rugosidad es negativo o cero, el tiempo pico se divide por 3, 4,5...n veces hasta obtener coeficientes de rugosidad positivos.
- **Coefficientes de rugosidad:**

$$C_0 = -\frac{(KX - 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

$$C_1 = \frac{(KX + 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

$$C_2 = \frac{(K - KX - 0.5t)}{K - KX + 0.5t}$$

Donde:

K: Es el tiempo de retardo expresado en minutos.

t: Es el tiempo de hidrograma a transitar.

X: Expresa la importancia relativa de las entradas y salidas del flujo al tramo en el almacenamiento. Para cauces efímeros se utiliza un valor de 0.20.

Los coeficientes de rugosidad deben cumplir la siguiente condición:

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

3.2.6.3 Secuencia lógica en la aplicación del método

➤ Tránsito del hidrograma del primero al segundo punto:

El procedimiento se realiza de aguas arriba hacia aguas abajo, partiendo del primer punto de control y utilizando el hidrograma triangular sintético en este punto. Si dos o más sub-cuencas convergen en dicho punto, se hará una suma de hidrogramas triangulares sintéticos y el hidrograma resultante se transita hacia el segundo punto de control (Lanza, 2008).

El tránsito se concluye, cuando el caudal de salida alcanza el valor de cero.

➤ Suma de hidrogramas en el segundo punto

Se suma el hidrograma transitado y el hidrograma triangular sintético de las sub-cuencas que convergen en el segundo punto. El hidrograma suma se obtiene colocando los tiempos de los hidrogramas a sumar en orden cronológico ascendente, respecto al caudal.

Se prosigue la secuencia lógica del método, hasta finalizar los cálculos en el punto de interés de la cuenca.

3.3 Análisis hidráulico

El drenaje transversal de la carretera tiene como objetivo evacuar adecuadamente el agua superficial que intercepta su infraestructura, la cual circula por cauces naturales o artificiales, en forma permanente o transitoria, a fin de garantizar su estabilidad y permanencia.

El objetivo principal en el diseño hidráulico de una obra de drenaje transversal, es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo sólido, que eventualmente transportan los cursos naturales, y

conducirlos adecuadamente, sin causar daño a la carretera y a la propiedad adyacente.

Para poder desarrollar el estudio hidráulico del puente, se necesita tener información básica como lo es: El levantamiento topográfico del río. Este toma en cuenta las secciones transversales, así como la ubicación donde estará localizado el puente, el muestreo y caracterización del suelo, con el objetivo de determinar el coeficiente de rugosidad del cauce, así como los diámetros representativos de las partículas D50 y D95 de donde se ubicará el puente, para la determinación de la socavación producida en la subestructura del puente, y la avenida de diseño (caudal máximo) para el cual se diseñara la obra de cruce.

3.3.1 Ecuación de Manning

“En 1889 el ingeniero irlandés Robert Manning presentó una ecuación, lo cual se modificó hasta llegar a su bien conocida forma actual. “Chow (1994, p.96).

La ecuación de Manning es la siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} A R_H^{2/3} S_0^{1/2}$$

Donde:

Q: Es el caudal expresado en m^3/s .

n: Es el coeficiente de Manning.

R_H : Es el radio hidráulico expresado en metros.

S_0 : Es la pendiente del canal expresada en m/m.

Lanza (2012) argumenta que la fórmula de Manning, se ha hecho la más usada para cálculos de escurrimiento debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas.

3.3.2 Coeficiente de Manning

Al aplicar la ecuación de Manning, la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad n, ya que no existe un método exacto para la selección del valor de n.

Chow (1994) debate que con el nivel de conocimiento actual, seleccionar un valor de n significa estimar la resistencia al flujo en un canal determinado. Sin embargo, se presenta un método aceptable para realizar la estimación de n , conocido como Método de Cowan.

3.3.3 Método de Cowan

“Reconociendo varios factores primarios que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan desarrolló un método para la evaluación de n ”. Lanza (2012, p.10, cap.3).

La ecuación de Cowan es la siguiente:

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

Donde:

n : Es el coeficiente de Manning.

n_0 : Valor básico para un canal recto y uniforme de material dado.

n_1 : Corrige el efecto por irregularidades de la superficie.

n_2 : Considera variaciones en la forma y tamaño de la sección transversal del canal.

n_3 : Considera el efecto de obstrucción u obstáculos al flujo.

n_4 : Depende de la vegetación.

m_5 : Depende de la sinuosidad longitudinal del canal.

El profesor Ven Te Chow en su obra “Hidráulica de Canales Abiertos, p.105”, presenta la siguiente tabla para el cálculo del coeficiente de Manning.

Tabla 12: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad

Condiciones del canal		Valores	
Material Involucrado	Tierra	n ₀	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n ₁	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n ₃	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n ₄	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m ₅	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Chow, Hidráulica de canales abiertos, 1994, tabla 5-5, p. 105

3.3.4 Modelación hidráulica en HEC-RAS 4.1.0¹⁴

Este software se utiliza para el análisis de sistemas de ríos, lo que permite al usuario realizar cálculos en análisis unidimensionales de flujo y bidimensionales cálculos de flujo no estacionario.

El modelo HEC-RAS requiere la introducción de la geometría de las secciones transversales (estas pueden ser exportada a partir de la herramienta CIVIL 3D). La resistencia al flujo se modela mediante el coeficiente n de Manning, el cual puede ser variado a lo ancho de la sección transversal y a lo largo del tramo analizado. El modelo también requiere de la fijación de condiciones de frontera, las cuales se pueden especificar como condiciones de profundidad crítica o profundidad normal

3.3.5 Consideraciones para el diseño

3.3.5.1 Topografía

El levantamiento topográfico que se requiere debe abarcar el tramo donde se encuentra ubicado el puente. Las secciones transversales del cruce aguas arriba y aguas abajo del puente. Estas secciones transversales se ubicarán a una distancia del puente aproximadamente igual a una vez su longitud total o donde se estime que el puente no interfiere más sobre el flujo tanto hacia aguas arriba como aguas abajo.

Entonces, se recomienda que el levantamiento topográfico debe incluir la estructura existente, niveles de agua actuales, marcas de agua en la estructura existente, toma del perfil longitudinal del curso natural, secciones transversales del curso natural espaciados no mayor a 0.5 veces el ancho del cauce principal del curso natural y otros aspectos y/o singularidades de relevancia para el estudio hidráulico, teniendo en cuenta además la forma irregular que generalmente presentan las secciones transversales de los cauces naturales, el levantamiento topográfico deberá representar la zona en estudio adecuadamente de tal manera que permita identificar puntos altos, bajos e irregularidades del lecho como islotes, zonas de depresión asociadas a socavación, etc.¹⁵

¹⁴ *US Army of Engineering Corps, 2016*

¹⁵ *Ministerio de transporte y comunicaciones*

3.3.5.2 Muestreo y características del lecho¹⁶

El objetivo del muestreo y caracterización del material del lecho es la determinación del tamaño representativo que englobe todo el espectro de tamaños presentes en él.

El muestreo del material de cauce deberá ser representativo, para determinar su gravedad específica y análisis granulométrico. Las muestras del material del cauce deben ser tomadas al menos en cuatro puntos, dos en el eje del puente, y a 0.5B y B metros aguas arriba, donde B es el ancho promedio del río.

El tamaño utilizado para el cálculo de la socavación en cauces naturales, usualmente es el D50 de toda la distribución granulométrica, comúnmente considerado como el diámetro representativo de toda la distribución.

3.3.6 Parámetros hidráulicos del diseño de un puente

3.3.6.1 Perfil del flujo

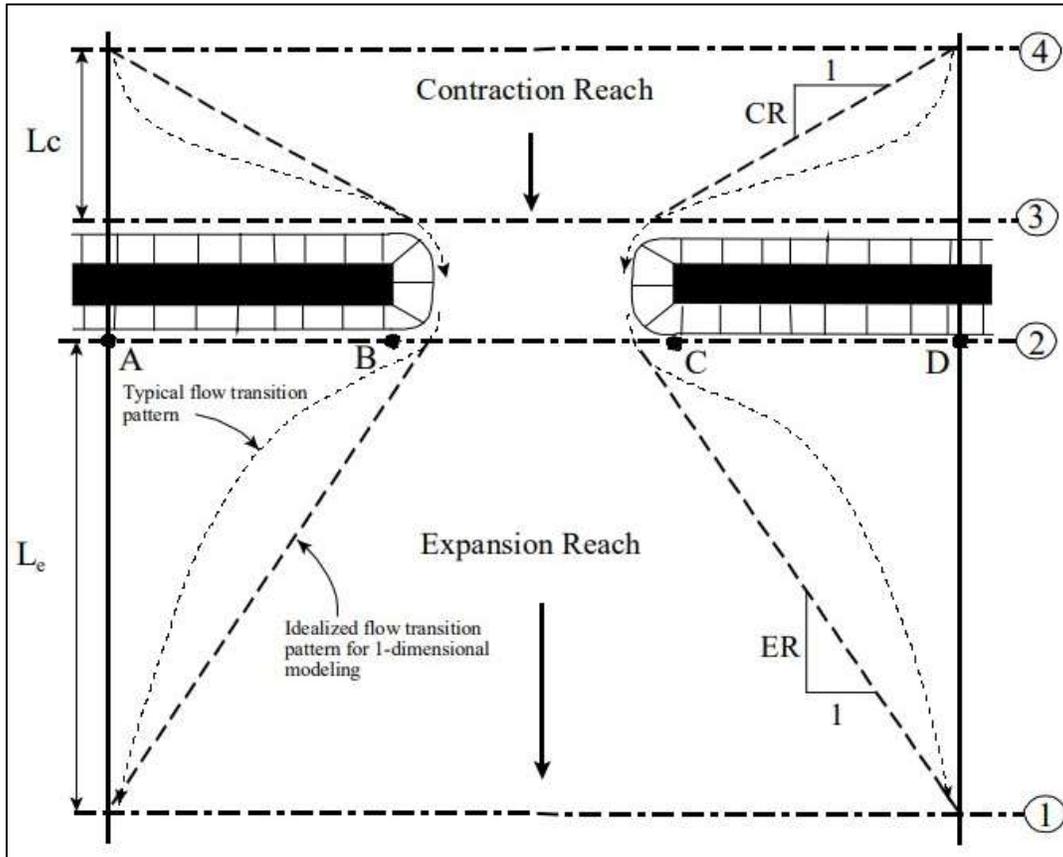
El perfil de flujo permitirá obtener el nivel alcanzado por el agua para el caudal de diseño. El cálculo del perfil de flujo deberá incluir la presencia del puente proyectado, debido a que cuando el flujo interactúa con la estructura, se produce una sobreelevación del nivel de agua a la entrada del puente y una depresión del nivel de agua en la salida, este comportamiento es normal ya que el agua debe ganar energía potencial a fin de que pueda atravesar por la sección contraída. Una vez conocido los niveles de agua, el especialista puede establecer la altura mínima que ofrecerá el puente.¹⁷

En general existen tres modelos para calcular la superficie del perfil del agua, estos pueden ser solucionados por la ecuación de la energía utilizando procedimientos estándares. Sin embargo una de las diferencias entre estos modelos es como calculan la superficie del perfil del agua a través de un puente. A continuación se da una descripción de las características hidráulicas para cada uno de los tres modelos siguientes.

^{16, 17} *Ministerio de transporte y comunicaciones*

La rutina de cálculo del puente de HEC-RAS utiliza cuatro secciones transversales definidas por el usuario en los cálculos de las pérdidas de energía debidas a la estructura. Una vista en planta del diseño básico de la sección transversal se muestra en la figura 6.

Figura 6: Ubicaciones de las secciones transversales en un puente



Fuente: US Army of Engineering Corps, 2016, figura 5-1, p. 5-3

Sección transversal 1-1: Esta se encuentra localizada suficientemente aguas abajo de la estructura, de tal manera que el flujo no se ve afectado por la estructura, es decir donde el flujo está completamente expandido. Esta distancia (la longitud de expansión del río, L_e), variará dependiendo de la forma de contracción, sobre el grado de contracción, sobre la magnitud del flujo y la velocidad del flujo.

Longitud de expansión: Representa la distancia entre el extremo de aguas abajo del puente y la primera sección transversal, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$L_e = RE * L_{OBS}$$

Donde:

Le: Longitud de expansión (m).

RE: Razón de expansión, se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 13: Rangos de coeficientes de expansión

		nob/nc = 1	nob/nc = 2	nob/nc = 4
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 – 3.6	1.3 – 3.0	1.2 – 2.1
	5 ft/mile	1.0 – 2.5	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
	10 ft/mile	1.0 – 2.2	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
b/B = 0.25	1 ft/mile	1.6 – 3.0	1.4 – 2.5	1.2 – 2.0
	5 ft/mile	1.5 – 2.5	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
	10 ft/mile	1.5 – 2.0	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
b/B = 0.50	1 ft/mile	1.4 – 2.6	1.3 – 1.9	1.2 – 1.4
	5 ft/mile	1.3 – 2.1	1.2 – 1.6	1.0 – 1.4
	10 ft/mile	1.3 – 2.0	1.2 – 1.5	1.0 – 1.4

Fuente: US Army of Engineering Corps, 2016, tabla 5-1, p. 5-3

Donde:

- nob: Valor de Manning para la planicie de inundación
- nc: Valor de Manning para el canal principal
- b: Ancho de la apertura del puente
- B :Ancho total de la zona de inundada
- S : Pendiente, pie/milla
- S₀: Pendiente de fondo del cauce
- L_{obs}: Longitud promedio de obstrucción lateral de la obra. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_{obs} = \frac{\overline{AB} + \overline{CD}}{2}$$

Segunda sección transversal (2-2).

Se encuentra localizada a una distancia corta aguas abajo del puente (Comúnmente situado en el extremo inferior del talud de la carretera). Esta sección transversal debe representar el suelo natural (canal principal y llanura aluvial) justo aguas abajo del puente.

Esta sección se encuentra situada normalmente cerca de la punta del terraplén de la carretera corriente abajo. Incluso si el puente no tiene talud, debe colocarse lo suficientemente lejos de la cara aguas abajo del puente para permitir la distancia suficiente para la misma expansión de flujo debido a las pilas, o el flujo presurizado que sale del puente.

Tercera sección transversal (3-3).

Debería ser localizada a una distancia corta aguas arriba del puente (comúnmente situado en el extremo inferior del talud de la carretera). La distancia entre la sección 3 y el puente refleja la distancia requerida para la aceleración abrupta y contracción del flujo que ocurre en el área inmediata de apertura.

Tercera sección transversal (4-4).

Es una sección transversal aguas arriba donde las líneas de flujo son paralelas y la sección transversal exhibe un flujo efectivo. En general, las contracciones de flujo ocurren a una distancia menor que las expansiones de flujo. La distancia entre la sección transversal 3 y 4 se denomina longitud de contracción (L_c).

Las rutinas de puente en HEC-RAS permiten analizar modelos de un puente con varios métodos diferentes sin cambiar la geometría del puente. Las rutinas de un puente tienen la capacidad de modelar flujo bajo (clase A, B y C), flujo alto y flujo de vertedero (con ajuste para sumergir en el vertedero), flujo a presión (ecuaciones de orificio y compuerta).

3.3.6.2 Flujo bajo

El flujo bajo existe cuando el flujo bajo que atraviesa la abertura del puente trabaja como un canal es decir la altura de la superficie del agua es más baja que el punto

más alto de la cuerda inferior del puente. Para los cálculos de flujos bajos el programa utiliza en primer lugar la ecuación de momento para identificar qué clase de flujo es.

Clase A: existe cuando la superficie del agua a través del puente es completamente subcrítico (es decir se encuentra por encima de la profundidad crítica) las pérdidas por energía mediante la expansión (de la sección 2-1) son calculadas como pérdidas por fricción y pérdidas por expansión.

Clase B: existe cuando el perfil es subcrítico o supercrítico. Para cualquiera de los perfiles el flujo clase B ocurre cuando el perfil pasa a través de la profundidad crítica donde el puente se contrae.

Para perfiles subcríticos, la ecuación de momento o la ecuación de energía pueden ser utilizadas para calcular la superficie del agua, aguas arriba (sección 3, figura 2) encima de la profundidad crítica y la superficie de agua, aguas abajo (sección 2) por debajo de la profundidad crítica.

Para perfiles supercríticos, el puente actúa como control y es el causante que aguas arriba la elevación de la superficie de agua este por encima de la profundidad crítica. El momento o la energía pueden ser usados para calcular la superficie de agua, aguas arriba por encima de la profundidad crítica y aguas abajo la superficie del agua por debajo de la profundidad crítica.

Cuando se ha encontrado que el flujo clase B existe, el usuario debería correr el programa HEC-RAS, en un modo de régimen de flujo mixto. El régimen de flujo mixto es capaz de calcular el perfil subcrítico aguas arriba del puente y supercrítico aguas abajo del puente. También puede localizar cualquier salto hidráulico si existe.

Clase C: el flujo clase C existe cuando la superficie del agua a través del puente es completamente supercrítica. El programa puede usar ya sea la ecuación de la energía o la ecuación de momento para calcular la superficie del agua a través del puente para esta clase de flujo.

3.3.7 Socavación¹⁸

La socavación es un fenómeno natural causado por la acción de la erosión del agua que fluye en los cauces de ríos y canales. La socavación local es la eliminación de los sedimentos alrededor de los elementos estructurales que se encuentran en el flujo del agua. Esto significa el descenso del nivel del lecho del río por la erosión del agua, de tal manera que hay una tendencia para exponer la cimentación de los puentes como resultado de la acción erosiva de las corrientes de agua, a medida que la erosión progresa continuamente, socava los cimientos de la estructura originando el colapso de ésta.

El cálculo de la socavación local en pilas de puentes, es de significativa importancia debido a que la mayoría de las fallas de puentes en el mundo es debido a la socavación local. El colapso de estas estructuras no solo implica pérdidas económicas, sino también vidas humanas.

Existen diversos métodos para la estimación de la socavación local ocasionada tanto en los estribos del puente, como en las pilas, si éste las posee. El software HEC-RAS realiza los cálculos de socavación de manera automática, con sólo conocer el D50 para los estribos y el D95 para las pilas. Los métodos que este programa utiliza son: el método de *HIRE*, método de *Froehlich* y el método de la *Universidad Estatal de Colorado* (CSU, por sus siglas en inglés) (FHW). Este último se aplica únicamente para calcular la socavación local que se produce en las pilas.

3.3.7.1 Protección frente a la socavación

El enrocado es el tipo más común de contra medida debido a su disponibilidad general, facilidad de instalación y costos relativamente bajos. Este consiste en una capa o revestimiento de roca vertido o colocado a mano en el canal y estructura con el fin de limitar los efectos de la erosión.

Existen muchos métodos para calcular el tamaño de las piedras a emplear y cualquiera de los existentes, dan resultados que varían dentro de rangos bastante amplios. Para aquellos casos en que el enrocado encontrado en la zona no reúna los requisitos de tamaño y peso, debe usarse mortero de pega tomándose las

¹⁸ Campa Rodríguez, Universidad de Chihuahua, 2015

necesarias precauciones para permitir el drenaje a través de él y evitar que fuerzas de subpresión levanten el revestimiento. Otra posibilidad, es el uso de materiales prefabricados.

Se presentan a continuación algunos métodos para el cálculo del tamaño de la piedra de protección.

Método modificado de Isbash¹⁹

La fórmula modificada de Isbash toma en cuenta los taludes del canal o de la orilla del cauce natural. Con ella se obtienen resultados que están de acuerdo con la experiencia. Fue recomendada para el diseño de enrocados por el Comité de Trabajo de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

$$W = \frac{0.0232G_p V^6}{(G_p - 1)^3 \cos \varphi^3}$$

Donde:

W = Peso de las piedras de diámetro medio (D50) (kg)

G_p = Gravedad específica de las piedras, usualmente = 2.65

φ = Ángulo que forma el talud del revestimiento con la horizontal (grados)

V = Velocidad del flujo en el lecho (m/s)

Método del “Bureau de Reclamación”

El "Bureau de Reclamación" de los Estados Unidos efectuó ensayos en su laboratorio de hidráulica sobre arenas, gravas y piedra seleccionadas, con tamaños hasta de 2½” en la dimensión máxima. Los resultados obtenidos de estos experimentos concuerdan con los resultados de otros investigadores y las observaciones de campo sobre enrocados hasta de 18”. Se ajustan bastante bien a la curva que los representa y que está dada por la siguiente ecuación:

¹⁹ *Universidad del Cauca, 2010*

$$D_{100} = \frac{0.0668V^2}{G_p - 1}$$

Donde:

D_{100} = Diámetro del enrocado para el cual el 100% del material por peso es más fino (m)

V = Velocidad del flujo en el lecho (m/s)

G_p = Gravedad específica de las piedras, usualmente = 2.65

La ecuación anterior se aplica especialmente para determinar el tamaño mínimo que deben tener las piedras para resistir la velocidad del flujo en enrocados colocados aguas abajo de pozos de quietamiento.

Una vez que se establece el tamaño del diseño, se puede seleccionar una clase de gradación estándar, si los criterios de diseño y las consideraciones económicas lo permiten. A continuación se presentan las gradaciones estándar recomendadas por el Federal Highway Administration's Hydraulic Engineering:

Tabla 14: Tamaño de partículas permitidos mínimo y máximo en pulgadas

Clase nominal del enrocado por partícula mediana		D ₁₅		D ₅₀		D ₈₅		D ₁₀₀
Diámetro								
Class	Size	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
I	6in	3.7	5.2	5.7	6.9	7.8	9.2	12
II	9in	5.5	7.8	8.5	10.5	11.5	14	18
III	12in	7.3	10.5	11.5	14	15.5	18.5	24
IV	15in	9.2	13	14.5	17.5	19.5	23	30
V	18in	11	15.5	17	20.5	23.5	27.5	36
VI	21in	13	18.5	20	24	27.5	32.5	42
VII	24in	14.5	21	23	27.5	31	37	48
VIII	30in	18.5	26	28.5	34.5	39	46	60
IX	36in	22	31.5	34	41.5	47	55.5	72
X	42in	25.5	36.5	40	48.5	54.5	64.5	84

Nota: Los tamaños especificados corresponden al ancho de las partículas

Fuente: U.S. Department of Transportation, 2009, tabla 4.1, p. 4.7. (volume 2)

El pie del enrocado debe extenderse desde la punta del estribo hacia el canal del puente una distancia igual al doble de la profundidad de flujo en el área del banco cerca del terraplén, pero no debe exceder los 25 pies (7.5 m).

En estribos de pared inclinada el enrocado debe cubrir al estribo hasta 0.6 metros sobre la máxima profundidad del flujo para el caudal de diseño.

El espesor del enrocado no debe ser menor que 1.5 veces el D50, ni menor que el D100, adicionalmente el espesor del enrocado debe incrementarse en 50% si es que el mismo es colocado bajo agua para considerar la incertidumbre creada por las condiciones en que fue colocado.

3.4 Definición de puente²⁰

Según el Marco metodológico del MTI, en su documento de Situación de los puentes en Nicaragua (2012):

- Como puente se define toda obra de arte destinada a salvar corrientes de agua, depresiones del relieve topográfico, y cruces a desnivel que garanticen una circulación fluida y continua de peatones, agua, ductos de los diferentes servicios, vehículos y otros que redunden en la calidad de vida de los pueblos. El puente es una estructura que forma parte de caminos, carreteras y líneas férreas y canalizaciones, construida sobre una depresión, río, u obstáculo cualquiera.
- Sin embargo, para definir los alcances del sistema de administración de puentes, es necesario diferenciar entre estructuras de drenaje mayor y menor, bajo el criterio que las obras de drenaje menor no requieren atención especializada por tener muy poca probabilidad de fallo estructural. Se trata entonces de definir la menor estructura de drenaje que sea considerada como drenaje mayor o como se le conoce popularmente, como puente.
- La base de datos de puentes del sistema de administración de puentes se inició con las estructuras de drenaje contenidas en el inventario vial de la red

²⁰ Ministerio de Transporte e Infraestructura (2012). *Situación de los puentes de la Red Vial Nacional*

vial de Nicaragua al año 2001. En ese momento se consideró que una estructura debía tener longitud mayor a 6 m medidos sobre el eje de la vía a la que pertenece, para ser clasificada como puente.

- Esta definición de puente es norteamericana y ha sido utilizada por muchos países de Latinoamérica. Sin embargo, para la realidad y escala de Nicaragua, existe una cantidad muy significativa de puentes con longitud menor que 6 metros y que en su análisis requieren ser tratados igual que los de longitud mayor.
- Otros países consideran otras longitudes para definir el puente mínimo. Véase a continuación las definiciones adoptadas por los países miembros del PIARC (Permanent International Association of Road Congresses).

Tabla 15: Definición de estructura de puente según varios países

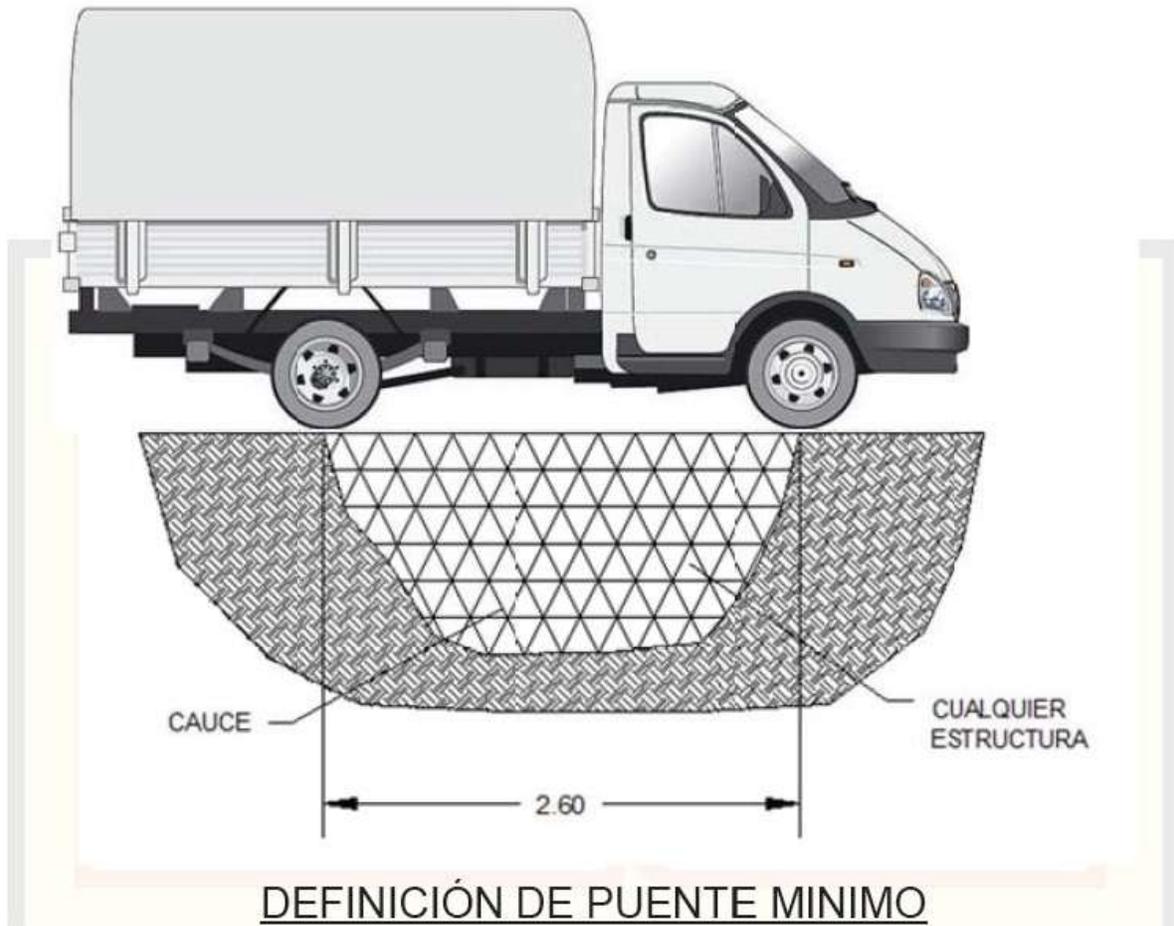
Administración	País	Definición de puente
Ministerio de transporte Provincia de Quebec	Canadá	$L > 4.5 \text{ m}$
Administración Nacional de Carreteras	Noruega	$L \geq 2.5 \text{ m}$
Ministerio de Transporte	Países Bajos	$L > 4 \text{ m}$
Administración Nacional de Carreteras	Suecia	$L > 3 \text{ m}$
Oficina Nacional de Carreteras	Suiza	$L \geq 3 \text{ m}$
Secretaría de Transporte de Nueva Jersey	EE.UU.	$L > 6 \text{ m}$

Fuente: Situación de los puentes de la red Vial Nacional. MTI (2012), p.7.

Es un hecho a tomar en cuenta que muchos puentes en Nicaragua se construyen a base de tubos o alcantarillas, circulares o rectangulares, dentro de las cuales han sido calificadas las llamadas “cajas puentes”. Una alcantarilla de varias hiladas puede tener una longitud mayor que 6 metros.

A partir del año 2011, en base a la información recopilada, en el sistema de administración de puentes se definió como estructura de drenaje mayor o puente: “Toda obra de paso que soporta sobre el lecho del cauce que cruza, todo el peso de por lo menos el vehículo de carga más pequeño normalmente usado”.

Figura 7: Definición de puente mínimo en Nicaragua



Fuente: Situación de los puentes de la red Vial Nacional. MTI (2012), p.8.

Este vehículo mide 2.60 m entre sus ejes. Por lo tanto, las estructuras que tienen una longitud mayor a 2.60 m sobre el eje de la carretera, se incluyen en el sistema de administración de puentes.

Además, anteriormente no se estaban incluyendo puentes que son importantes para el transporte de la producción agrícola, para la ejecución de importantes proyectos de desarrollo o con importancia estratégica como los que sirven en vías hacia las fronteras (pp. 7-8).

CAPÍTULO 4: DISEÑO METODOLÓGICO

Para la elaboración de esta investigación monográfica, se debe contar primeramente con toda la documentación necesaria que requiere este estudio. Por lo tanto, surge la necesidad de la recopilar información bibliográfica de documentos anteriormente elaborados por diversos autores, que hayan sido propiamente dirigidos a la cuenca de interés o bibliografía en donde se aborden aspectos similares a los que se afrontaron en esta investigación monográfica. Las fuentes oficiales en nuestro país, que se cuentan para llevar a cabo esta investigación, son el MTI e INETER.

4.1 Exploración de estudios previos

La primera fase consistió en verificar la información actual existente. Dicho de otro modo, qué investigaciones de naturaleza similar se han llevado a cabo, en qué fecha fueron publicados y sus resultados derivados. El único estudio que presente, fue elaborado por la empresa consultora LAMSA, a través de una convocatoria hecha por el MTI. El estudio existente expone el diseño del puente Santa Rosa, desde el punto de vista hidráulico.

4.2 Obtención de la información

El Ministerio de Transporte e Infraestructura, proporcionó el estudio hidrotécnico del puente Santa Rosa, que contempla la información preliminar para el estudio presentado en este documento.

En el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, se obtuvo el Modelo de Elevación Digital (DEM) de la cuenca Santa Rosa del Peñón, como también los archivos ráster que contiene la información del Tipo de Suelo y Uso de suelo, donde se tomaron los que específicamente corresponden al área en estudio. De igual forma, el INETER brindó información meteorológica de la estación San Isidro, esta consistía en: Intensidades máximas anuales de precipitaciones y las curva IDF.

4.3 Procesamientos con sistema de información geográfica

En este acápite se resume desde la delimitación de la cuenca, hasta la preparación de todos los elementos hidrológicos que integran la cuenca, los cuales tienen incidencia en el tramo en estudio que se valoró como su punto de cierre.

4.3.1 Delimitación de la cuenca mediante el software ArcGIS

Primeramente, se efectuó una delimitación automática de la cuenca, por lo que el software asignó cuencas y cauces debido a las depresiones naturales del DEM. El resultado fue una serie de subcuencas con sus respectivos cauces. A continuación se muestra la secuencia de pasos para la delimitación de la cuenca con las extensiones Arc Hydro Tools y HEC Geo HMS de ArcGIS:

Figura 8 Secuencia para delimitar una cuenca en ArcGIS

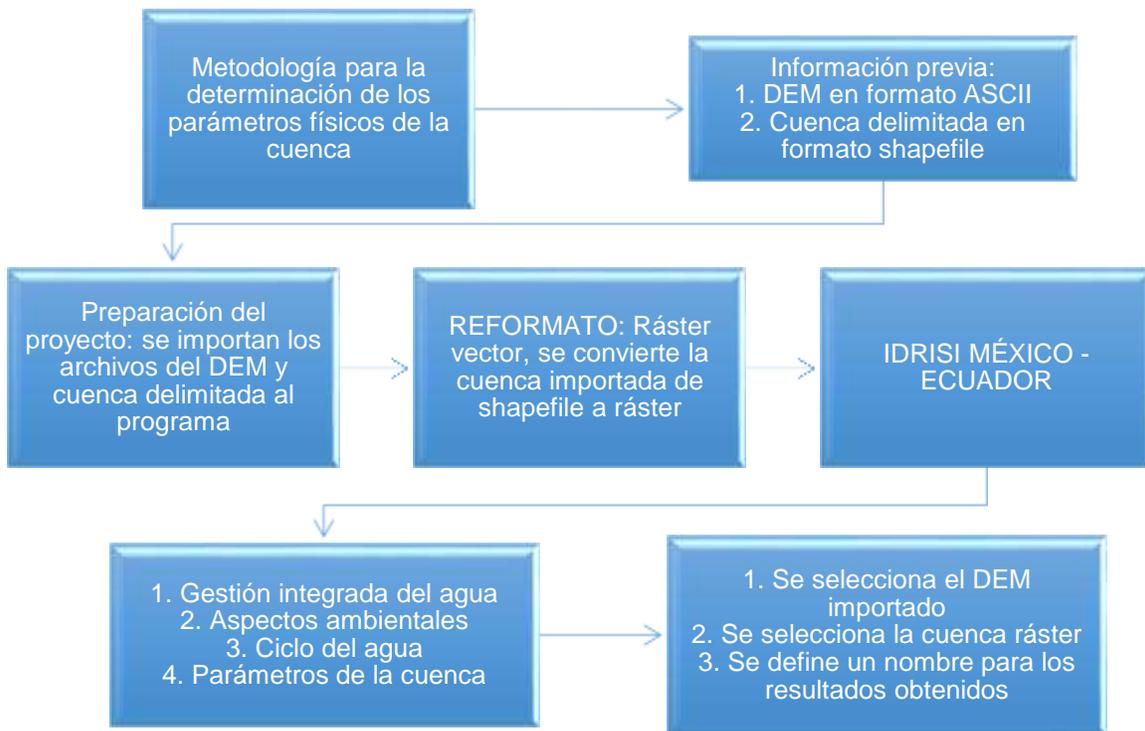


Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Estimación de los parámetros físicos de la cuenca mediante el software IDRISI Selva

Esto se obtuvo mediante la utilización del software IDRISI Selva v. 17, ya que en el programa se pudo importar el modelo de elevación digital y el shapefile de la cuenca generado en ArcGIS. Los datos de entrada antes mencionados permitirán la generación de cada parámetro morfométrico de la cuenca, perfil del cauce principal y curva hipsométrica. A continuación se muestran la secuencia de pasos para la determinación de las características morfométricos de la cuenca con la extensión Idrisi México – Ecuador del programa:

Figura 9: Secuencia para obtener los parámetros físicos en IDRISI Selva



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Creación del modelo de la cuenca mediante la utilización de HEC Geo HMS

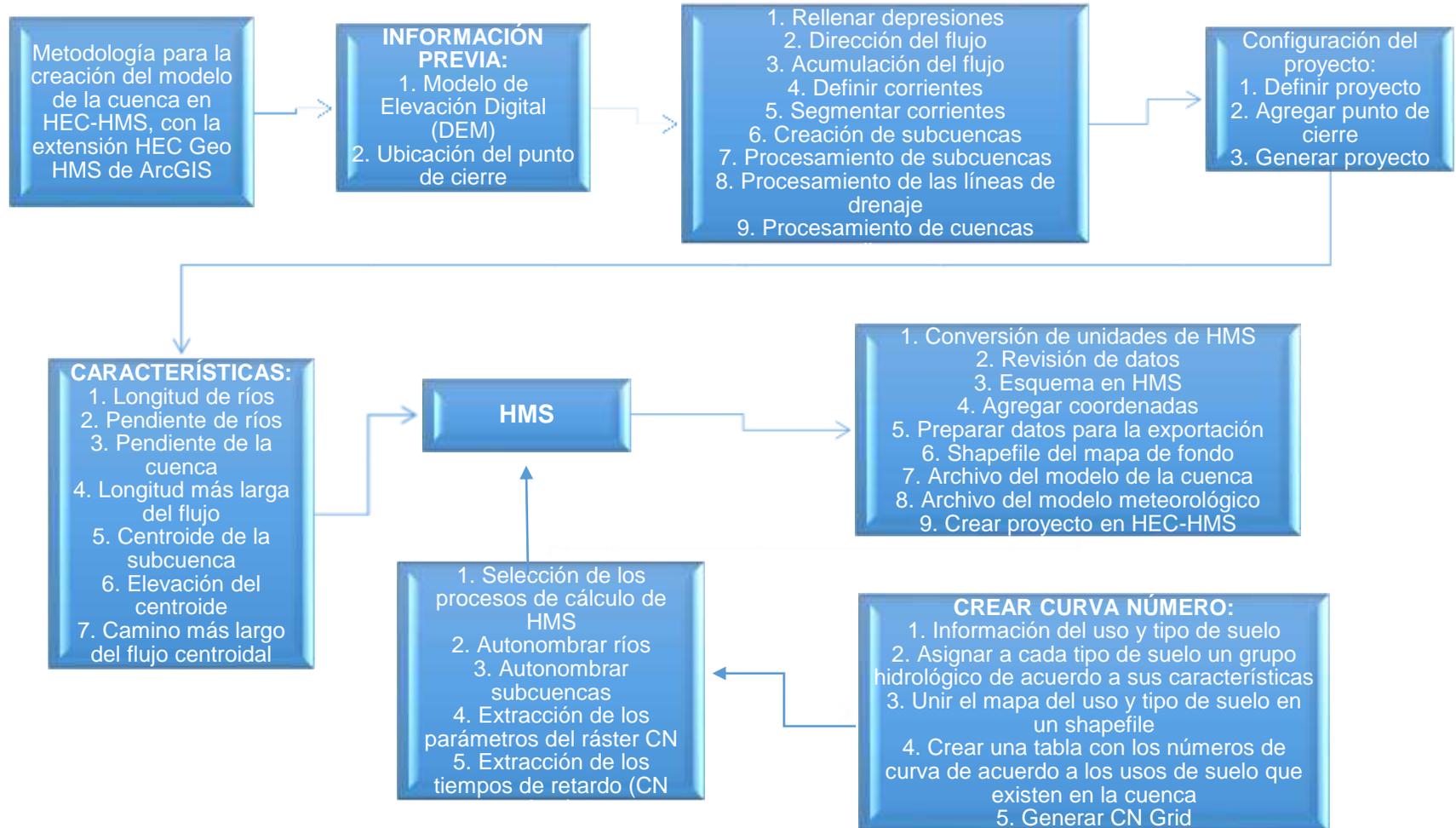
Una vez delimitada la cuenca en estudio, se procedió a emplear las herramientas de geoprocetamiento para la obtención de aquellos parámetros físicos de las subcuencas tales como: área, longitudes de los ríos, diferencia de elevaciones, las cuáles serán utilizadas para efectuar el análisis hidrológico de la cuenca.

Igualmente se elaboraron los mapas de uso de suelo y tipo de suelo según la clasificación de SCS; para la cual fue necesaria una comparación cuidadosa de la clasificación según INETER, y su equivalencia según las categorías tabuladas en las publicaciones oficiales del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

Se empleó la extensión de HEC Geo HMS del programa ArcGIS para crear el modelo de la cuenca a utilizar en HEC–HMS, que es la representación de la parte física de la cuenca en el cual se albergan los métodos de cálculos a emplear en el análisis hidrológico. De esta manera el programa calcula algunos de los parámetros necesarios para aplicación de dichos métodos como lo son: las pérdidas (CN ponderado) y tiempos de retardo para la determinación de los hidrogramas de caudales.

A continuación se muestra la secuencia de pasos para crear el modelo de la cuenca a utilizar en HEC–HMS, con la extensión HEC Geo HMS de ArcGIS:

Figura 10: Secuencia para obtener el modelo de la cuenca a utilizar en HEC-HMS con la extensión HEC Geo HMS de ArcGIS 9.3



Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis hidrológico de la cuenca en HEC–HMS 4.0

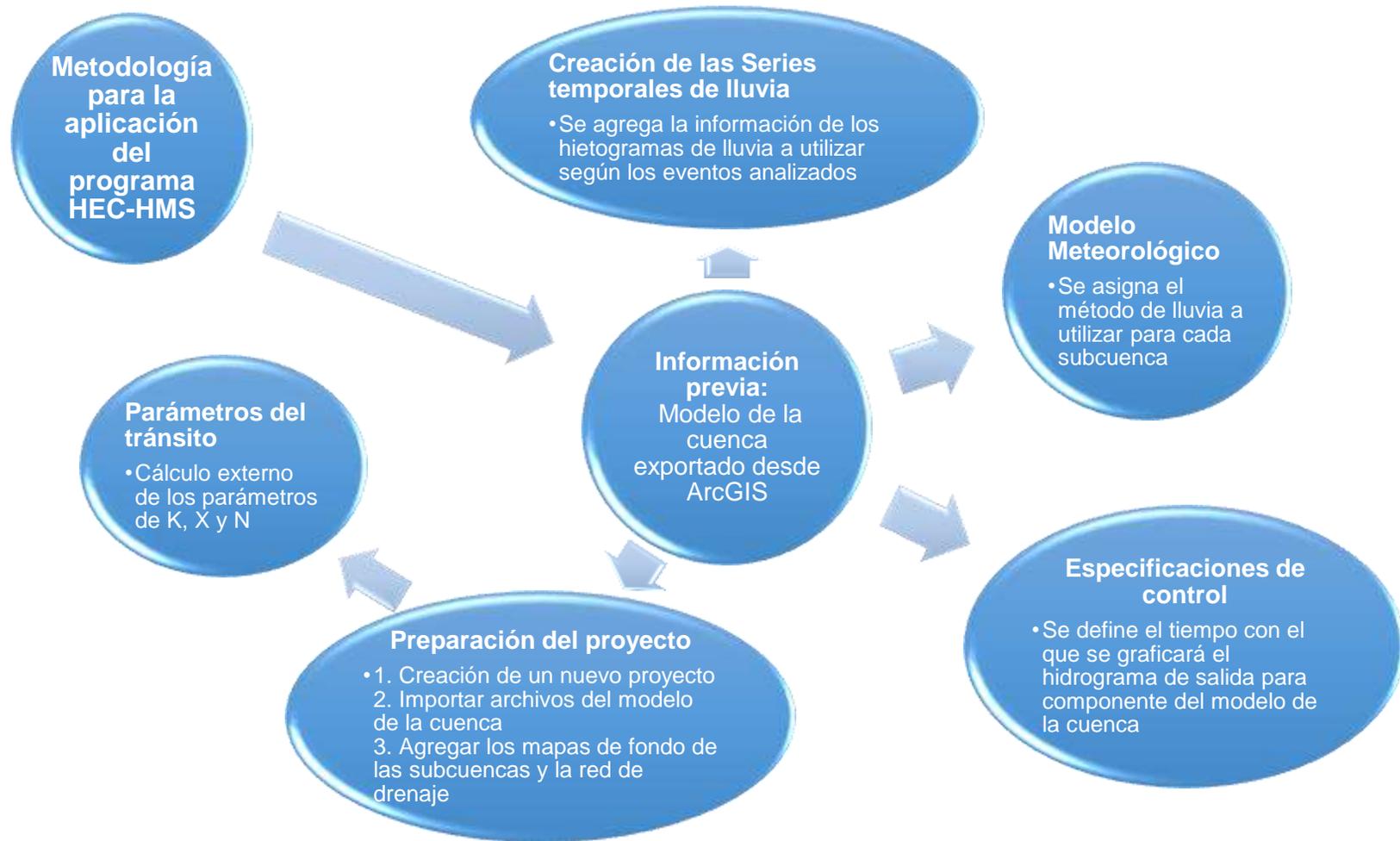
El análisis hidrológico es uno de los ítems más importantes de la presente investigación, por lo que toda la información recolectada en los pasos anteriores (desde el pre procesamiento con SIG) es parte del fundamento del modelo Hidrológico.

La extracción de los números de curva ponderados para cada subcuenca, y la determinación de los tiempos de retardo mediante el método SCS, fueron asistidas con técnicas de geoprocésamiento en el Programa ArcGIS. Una vez completada la fase de exploraciones, creación del modelo mediante SIG, se procedió a calcular externamente otros parámetros de entrada al modelo HEC - HMS, dentro los cuales destacan los más importantes: parámetros de tránsito mediante método Muskingum y la creación de los hietogramas de lluvia para el análisis.

Las precipitaciones usadas consistieron en tres tormentas de diseño para: 25, 50 y 100 años, creando esas precipitaciones gracias al método de bloque alterno y representado en forma gráfica a través de hietogramas de lluvia, que fueron tomadas de la información provista por INETER, de la estación San Isidro.

A continuación se muestran la secuencia de pasos para realizar un análisis hidrológico en el programa HEC–HMS:

Figura 11: Secuencia para realizar el análisis hidrológico en HEC-HMS 4.0



Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis hidráulico del puente en HEC–RAS 4.1.0

Una vez obtenidos los caudales picos en HEC-HMS, se usó el software HEC-RAS para examinar el comportamiento del puente Santa Rosa, frente a las avenidas que se producen en la cuenca, el cual se encuentra ubicado sobre el río del mismo nombre. Se evalúa el nivel de la superficie del agua que transita por el puente, además del efecto de la socavación que se produce en la infraestructura de cimentación de la obra de drenaje, ante los eventos analizados en el presente estudio monográfico.

El diseño del puente Santa Rosa del Peñón, se encontraba bajo la supervisión del MTI, por lo cual es la principal fuente de información. De esta institución, se obtuvieron los informes ingenieriles del diseño del puente y los planos con los datos geométricos.

Además de los caudales es necesario contar con la topografía del terreno, ya que en el software se ingresan los perfiles de las secciones transversales. El MTI brindó el modelo del puente Santa Rosa, simulado en HEC-RAS, el cual se utilizó como base primordial para el análisis hidráulico realizado en este estudio. A partir de esta información, se obtuvieron las características geométricas del cauce del río Santa Rosa, las cuales fueron ingresadas en un nuevo modelo.

A continuación se muestran la secuencia de pasos para realizar un análisis hidráulico en el programa HEC – RAS:

Figura 12: Secuencia para realizar el análisis hidráulico en HEC – RAS 4.1.0



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

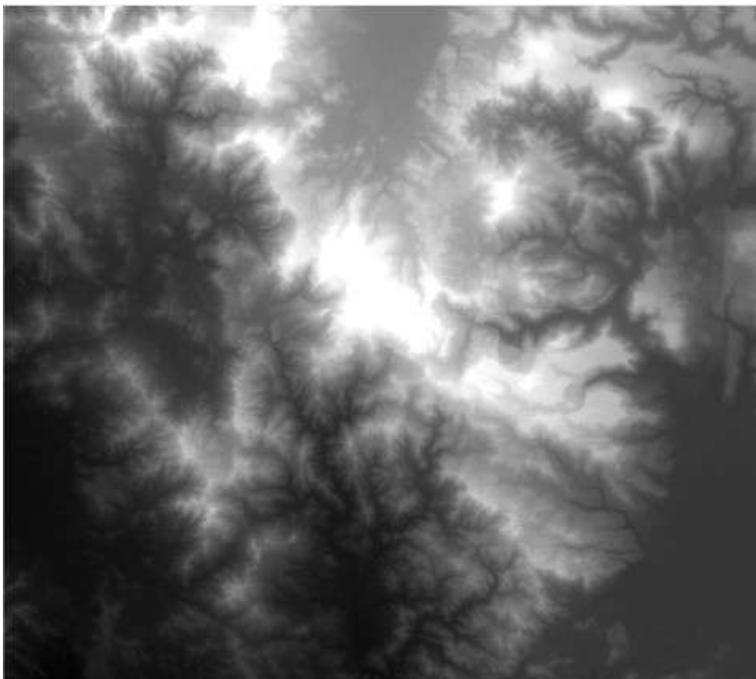
5.1 Características morfométricas de la cuenca del río Santa Rosa

Es de gran relevancia la determinación de las características morfométricas de la cuenca, debido a que, con esta información, se tendrá una idea más precisa del comportamiento que ésta tendrá en un evento de precipitación cualquiera.

5.1.1 Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca es el primer paso para la realización de este estudio. Para poder delimitar la cuenca, es indispensable tener un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), el cual fue proporcionado por el INETER. Éste, es un mapa que posee la información geográfica, topográfica, relieve, hidrológica, es decir, toda la morfología de la cuenca, que se obtendrán en pasos posteriores a la delimitación.

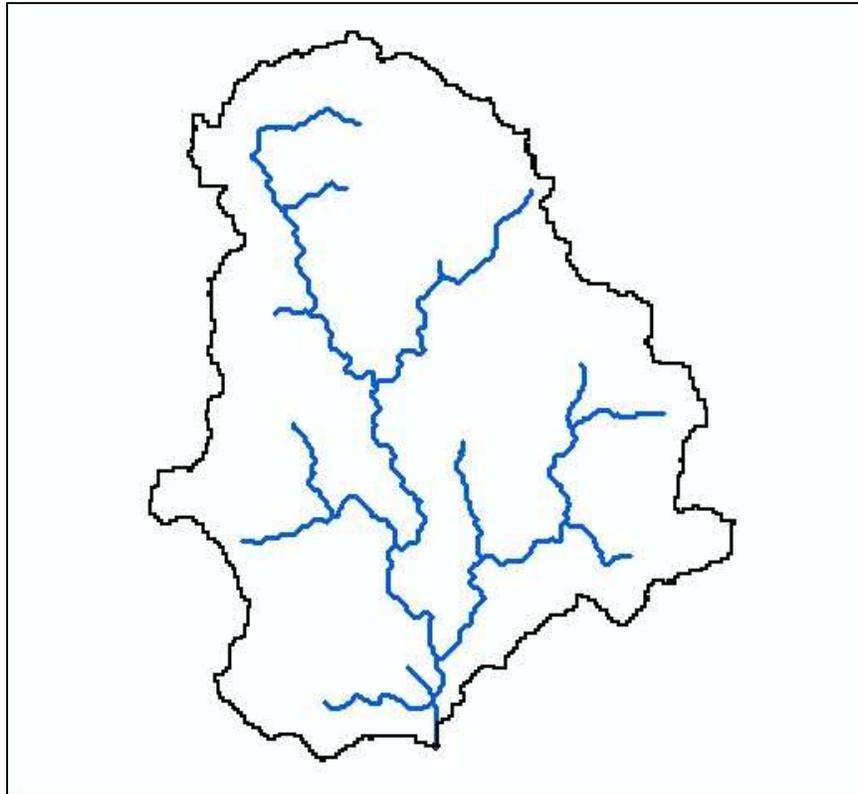
Figura 13: Modelo de elevación digital de la cuenca Santa Rosa



Fuente: INETER

La delimitación de la cuenca fue realizada mediante la aplicación de los complementos Archydro tools y HEC-GeoHMS del software ArcGIS 9.3.

Figura 14: Delimitación de la cuenca del río Santa Rosa del Peñón



Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1 Área y perímetro

La cuenca del río Santa Rosa del Peñón, tiene una superficie total de **247.989 km²** y un perímetro de **101.57 km**. Esta información fue obtenida a través de la delimitación de la cuenca con el software ArcGIS 9.3, a partir de la información del DEM proporcionado por el INETER y el punto de cierre de la cuenca, ubicado en el puente en estudio.

En relación a su tamaño, se clasifica como una cuenca pequeña, ya que la superficie está dentro del rango de $25 \text{ km}^2 \leq 247.989 \text{ km}^2 \leq 250 \text{ km}^2$. Se delimitó la cuenca automáticamente con áreas menores a 16 km^2 , para conformar así un total de 39 subcuencas. A continuación se ven las áreas y perímetros en la siguiente tabla:

Tabla 16: Área y perímetros de las subcuencas del río Santa Rosa

Subcuenca	Nombre	Área (km²)	Perímetro(km)	Tramo río	Longitud (m)
1	W410	3.563	9.568	R20	195.161
2	W420	6.585	21.896	R30	2244.754
3	W430	5.688	15.088	R40	138
4	W440	16.141	27.6	R50	3569.507
5	W450	4.494	13.8	R60	2167.184
6	W460	4.774	17.664	R70	2581.184
7	W470	9.293	17.48	R80	731.377
8	W480	7.067	14.904	R90	6506.176
9	W490	5.645	14.536	R100	1451.592
10	W500	4.215	13.8	R110	3905.938
11	W510	8.794	15.456	R120	2589.076
12	W520	4.554	11.592	R130	1134.215
13	W530	6.45	17.848	R140	1470.646
14	W540	5.248	13.616	R150	677.484
15	W550	9.209	19.504	R160	4442.153
16	W560	3.843	10.12	R170	2773.076
17	W570	2.37	9.568	R180	2144.861
18	W580	11.054	19.872	R190	3409.184
19	W590	11.833	22.816	R200	1064.538
20	W600	8.616	16.376	R210	1424.646
21	W610	1.507	6.256	R220	506
22	W620	4.334	11.408	R230	3396.669
23	W630	11.968	19.504	R240	1370.756
24	W640	6.23	14.904	R250	2535.184
25	W650	3.902	11.408	R260	4005.830
26	W660	1.126	6.072	R270	3553.722
27	W670	3.978	12.88	R280	7405.768
28	W680	12.256	22.08	R290	4297.615
29	W690	4.376	11.224	R300	3715.399
30	W700	12.383	20.976	R310	4059.722
31	W710	10.225	20.976	R320	5263.615
32	W720	12.01	18.952	R330	4908.691
33	W730	6.136	19.136	R340	3990.045
34	W740	0.567	4.968	R350	628.215
35	W750	4.723	13.248	R360	1527.807
36	W760	0.508	3.496	R370	1080.323
37	W770	6.89	17.848	R380	4327.830
38	W780	4.224	11.408	R390	812.215

Subcuenca	Nombre	Área (km ²)	Perímetro(km)	Tramo río	Longitud (m)
39	W790	1.21	6.072	R400	1004.108
Σ	-	247.989			

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.2 Longitud de la corriente principal

La corriente principal del río de la cuenca Santa Rosa, se compone por los tramos R30, R50, R60, R110, R160, R280, R320, R350, R390 y R400, los cuales suman un tramo total de 31.446 km de longitud.

Este valor se encuentra por encima del valor máximo de clasificación (15.1km-19.1 km), por lo que la corriente principal se puede clasificar como larga lo cual es un indicador que la cuenca en estudio tendrá mayores tiempos de desplazamiento de las crecidas. En la tabla 15 se observan la longitud de cada tramo de los ríos mencionados y su longitud total.

5.1.2 Parámetros según su forma

5.1.2.1 Índice de gravelius o coeficiente de compacidad I_c

$$I_c = 0.28 \frac{101.57}{\sqrt{247.989}} = 1.81$$

El valor máximo encontrado en la tabla de clasificación, es de 1.75. El valor del índice de compacidad de nuestra cuenca es mayor, por tanto, expresa que tiene una forma muy rectangular o alargada.

5.1.2.2 Coeficiente de forma K_f

$$K_f = \frac{247.989}{20.54^2} = 0.59$$

El rango mayor para este valor, según Corasco (2008), está entre 0.36 y 0.54, por lo que el valor de nuestra cuenca es más que este último. Esta estimación indica que la cuenca estudio, tiene una forma muy achatada, lo que se aprecia notablemente al ver la imagen de la cuenca delimitada.

5.1.2.3 Coeficiente de masividad K_m

$$K_m = \frac{693.42}{247.989} = 2.8$$

Se encuentra en el rango mínimo de clasificación $0 \leq 2.8 \leq 35$, lo que muestra que la cuenca es muy montañosa. Esto es claramente visto, ya que la cuenca se extiende a la zona central de nuestro país, específicamente al departamento de Estelí, que es parte de la región montañosa de Nicaragua.

5.1.3 Parámetros según su relieve

5.1.3.1 Pendiente de la cuenca

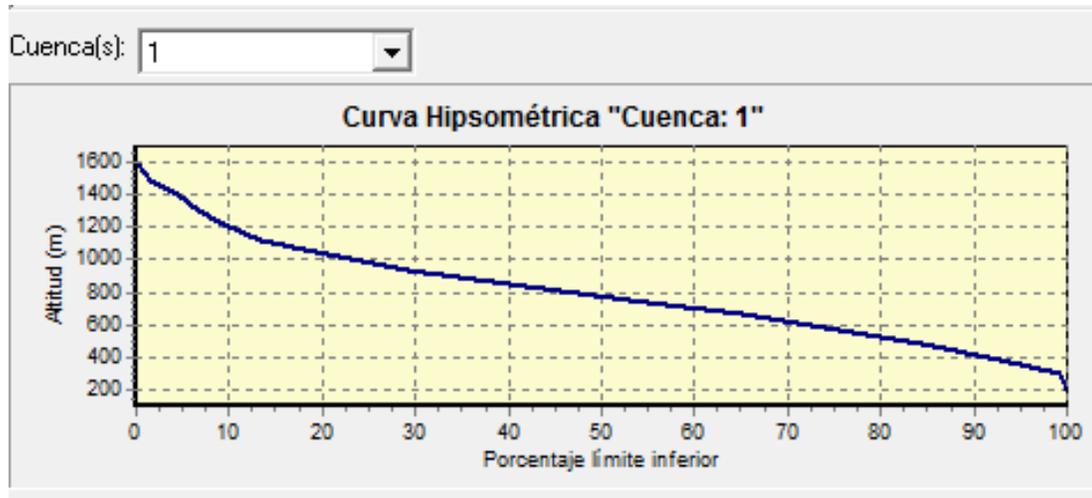
El software Idrisi Selva v. 17, fue el auxiliar para calcular este parámetro, dando un valor de pendiente de 25.92%. Es un número considerable, que indica la diferencia notable en las cotas de elevación a lo largo de la longitud de la cuenca. Este valor de pendiente señala que habrán grandes velocidades en la escorrentía, y de igual manera reduce en cierta forma, el tiempo de concentración, provocando rápidamente el aumento del caudal en el punto de cierre en cuestión.

5.1.3.2 Curva hipsométrica

La curva hipsométrica de la cuenca refleja la representación gráfica de grandes extensiones de áreas montañosas y con su distribución de frecuencia se pueden caracterizar las tres zonas más importantes: la zona alta comprendida entre las elevaciones (1568-1248) msnm (26.42%), la zona media (1248-678) msnm (61.48%) y la zona baja (678-144) msnm (12.10%).

La curva hipsométrica demuestra que la cuenca del Rio Santa Rosa es una cuenca con gran potencial erosivo, ya que gran porcentaje de su área se encuentra en la zona alta. Lo anterior expuesto, señala que la cuenca está en su etapa de madurez, en su etapa de equilibrio. La parte baja de la cuenca, posee una diferencia de altitudes de 534 metros, en un área de apenas el 12%, lo que manifiesta que existe una pendiente pronunciada en esta zona, provocando de esta forma escorrentías más voluminosas y de mayor velocidad, ocasionando así mayores dificultades en el punto de cierre, por los aumentos bruscos del caudal del río.

Gráfica 3: Curva hipsométrica de la cuenca Santa Rosa del Peñón



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Valores de la curva hipsométrica

Rango de elevaciones	Cota media	Área entre curvas (km ²)	Curva de frecuencia (%)	Hipsométrica (%)
144-215	179.5	6.14	2.233	2.233
216-286	251	13.45	4.893	7.126
286-357	321.5	17.05	6.202	13.328
357-428	392.5	16.62	6.048	19.376
429-499	464	19.35	7.04	26.416
500-571	535.5	22.50	8.185	34.601
572-642	607	24.77	9.014	43.615
643-713	678	26.70	9.713	53.328
714-784	749	24.89	9.057	62.385
785-856	820.5	22.18	8.071	70.456
857-927	892	18.44	6.71	77.166
928-998	963	17.28	6.288	83.454
999-1069	1034	12.22	4.447	87.901
1070-1140	1105	6.15	2.239	90.14
1141-1212	1176.5	5.94	2.162	92.302
1213-1283	1248	6.10	2.22	94.522

Rango de elevaciones	Cota media	Área entre curvas (km2)	Curva de frecuencia (%)	Hipsométrica (%)
1284-1354	1319	5.21	1.894	96.416
1355-1425	1390	6.98	2.54	98.956
1426-1496	1461	1.97	0.718	99.674
1497-1568	1532.5	0.90	0.326	100
Σ		247.989	100	

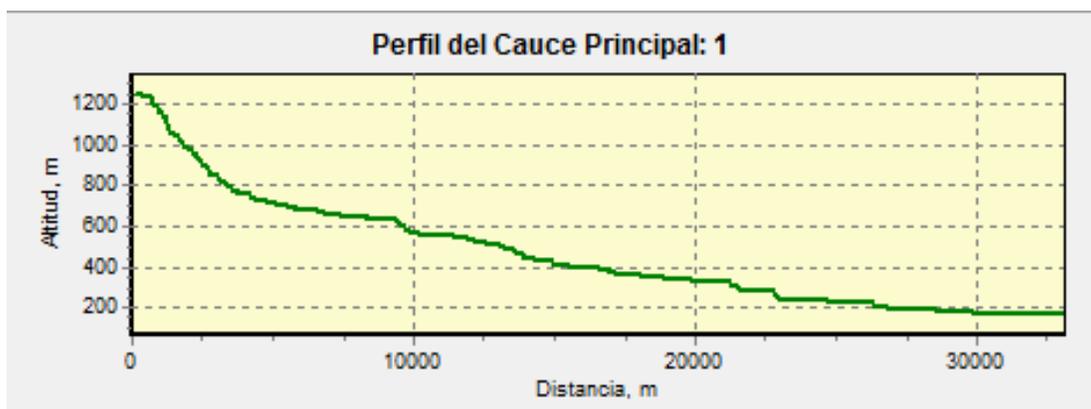
5.1.3.3 Elevación media de la cuenca

La elevación media de cuenca es de 693.42 msnm, la cual está por debajo del nivel de clasificación encontrado en el marco metodológico del MTI (1782.3-2072.2), por lo cual se clasifica como una cuenca baja. El desnivel altitudinal que se presenta es de 1087 metros, de esta forma se clasifica en un rango bajo el cual está de 600 m a 1220 m, acercándose al rango de clasificación media, demostrando de esta manera, que el desnivel altitudinal es un valor importante a considerar.

5.1.3.4 Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal a lo largo de toda su trayectoria ha sido variada. En promedio se tiene una pendiente de 4.95%, clasificándose en un rango de suave, pero está cerca del rango moderado, cerca del 6%.

Gráfica 4: Perfil del cauce principal



Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Parámetros de su drenaje

5.1.4.1 Orden de la corriente

La corriente del río Santa Rosa tiene un orden de nivel 3, lo cual lo clasifica en un rango de corriente medio, estando entre 3 y 5 según la clasificación del MTI.

5.1.4.2 Densidad de drenaje

$$D_d = \frac{85.8402}{247.989} = 0.346$$

El rango de clasificación en la cuenca Santa Rosa está entre los valores 0.1 y 1.8, la que se ajusta en una densidad de drenaje baja. Este indicador muestra que el suelo de la cuenca está compuesto por materiales resistentes a la erosión o muy permeables.

5.1.4.3 Sinuosidad de la corriente

$$S = \frac{33.03}{20.54} = 1.61$$

Este valor muestra el grado de sinuosidad de la cuenca. Un valor de $S \leq 1.25$, indica que el río o cauce es con alineamiento recto, por lo que al obtener un valor de 1.61, nos señala que el río es en cierto nivel sinuoso.

5.1.5 Resumen de las características morfométricas de la cuenca del río Santa Rosa

En la siguiente tabla se presenta un sumario de todas las características morfométricas calculadas de la cuenca del río Santa Rosa:

Tabla 18: Parámetros morfométricos de la cuenca Santa Rosa del Peñón

c	Registro	Unidad	Descripción
CLVRGN	1	-	Cuenca hidrográfica
A	248.11	Km ²	Superficie de cuenca
P	101.57	Km	Perímetro de la cuenca
EM	693.42	msnm	Elevación media
PM-G	14.27	°	Pendiente media (grados)
PM-P	25.92	%	Pendiente media (porcentaje)
Kc	1.82	-	Coefficiente de compacidad (Gravelius)

Parámetro	Registro	Unidad	Descripción
Kf	0.59	-	Coefficiente de forma
Km	2.8	m/Km ²	Coefficiente de masividad
RCI	0.3	-	Relación circular
RH	1.33	-	Relación hipsométrica
LC	33.03	Km	Longitud del eje del río principal
LA	20.54	Km	Longitud directa del río principal
SH	1.61	-	Coefficiente de sinuosidad hidráulico
EMX	1252	msnm	Altitud inicial
EMN	165	msnm	Altitud mínima
SC	4.95	%	Pendiente promedio del río principal
TC_KIRPICH	3.63	Hrs	Tiempo de concentración Kirpich
TC_CHPW	3.65	Hrs	Tiempo de concentración de California Highways and Public Works
Rf	0.59	-	Índice de forma (Horton)
Re	0.32	-	Relación de elongación
Dd	0.346	Km/Km ²	Densidad de drenaje
S	1.61	-	Sinuosidad de la corriente

Fuente: Elaboración propia

Ciertos parámetros encontrados en la tabla anterior, fueron calculados directamente a través del Software Idrisi Selva v.17.

Los parámetros físicos a considerar como lo son el área de las subcuencas, las pendientes, la longitud y pendiente del cauce principal, han sido estimados con el auxilio del Software ArcGIS, el cual se encarga de realizar los cálculos para cada elemento que componen el modelo de la cuenca.

A continuación se presenta un resumen de estos resultados:

Tabla 19: Parámetros morfométricos de cada subcuenca de la cuenca del río Santa Rosa

Subcuenca	Área (km ²)	Longitud del río (m)	Elev máx (m)	Elev mín (m)	Pendiente %	Tc (hrs)
W410	3.563	195.161	779	765	7.17	0.027
W420	6.585	2244.754	1050	765	12.70	0.144
W430	5.688	138.000	650	651	0.72	0.051

Subcuenca	Área (km²)	Longitud del rio (m)	Elev máx (m)	Elev mín (m)	Pendiente %	Tc (hrs)
W440	16.141	3569.507	765	651	3.19	0.349
W450	4.494	2167.184	651	599	2.40	0.266
W460	4.774	2581.184	786	599	7.24	0.199
W470	9.293	731.377	721	599	16.68	0.055
W480	7.067	6506.176	1328	599	11.20	0.342
W490	5.645	1451.592	564	491	5.03	0.147
W500	4.215	3905.938	599	491	2.77	0.396
W510	8.794	2589.076	599	433	6.41	0.209
W520	4.554	1134.215	624	433	16.84	0.076
W530	6.450	1470.646	780	632	10.06	0.113
W540	5.248	677.484	693	632	9.00	0.065
W550	9.209	4442.153	491	358	2.99	0.424
W560	3.843	2773.076	433	358	2.70	0.307
W570	2.370	2144.861	632	512	5.59	0.190
W580	11.054	3409.184	788	512	8.10	0.236
W590	11.833	1064.538	507	468	3.66	0.131
W600	8.616	1424.646	512	468	3.09	0.174
W610	1.507	506.000	435	377	11.46	0.047
W620	4.334	3396.669	660	377	8.33	0.232
W630	11.968	1370.754	377	312	4.74	0.144
W640	6.230	2535.184	468	418	1.97	0.323
W650	3.902	4005.830	495	312	4.57	0.333
W660	1.126	3553.722	312	225	2.45	0.386
W670	3.978	7405.768	358	225	1.80	0.765
W680	12.256	4297.615	493	268	5.24	0.333
W690	4.376	3715.399	418	268	4.04	0.329
W700	12.383	4059.722	631	418	5.25	0.319
W710	10.225	5263.615	225	179	0.87	0.776
W720	12.010	4908.691	268	179	1.81	0.555
W730	6.136	3990.045	282	180	2.56	0.415
W740	0.567	628.215	180	179	0.16	0.291
W750	4.723	1527.807	340	266	4.84	0.155
W760	0.508	1080.323	291	266	2.31	0.158
W770	6.890	4327.830	266	175	2.10	0.476
W780	4.224	812.215	180	175	0.62	0.211
W790	1.210	1004.108	175	167	0.80	0.225

Fuente: Elaboración propia

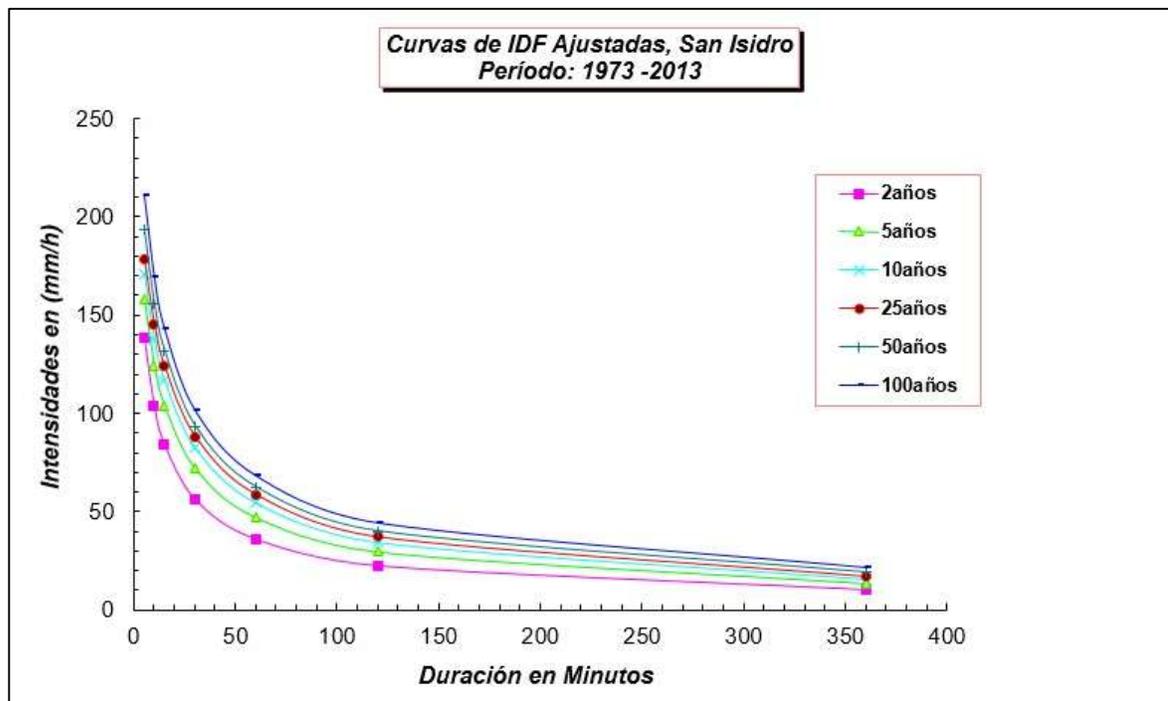
5.2 Análisis hidrológico de la cuenca río Santa Rosa

El modelo de la cuenca fue creado usando el software ArcGIS 9.3, mediante el uso de las extensiones ARC Hydro Tools 9.3 y Hec-GeoHMS 9.3. Esta última es la que se encarga de generar el modelo que utilizará Hec-HMS para el análisis hidrológico. A continuación se describen los datos utilizados en el análisis hidrológico, así los resultados obtenidos.

5.2.1 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas IDF fueron generadas a través de los valores de la estación meteorológica ubicada en el municipio de San Isidro, del departamento de Matagalpa, valores que han sido proporcionados por INETER. Los datos utilizados para crear las curvas abarcan los años de 1973 a 2013, las cuales se observan a continuación:

Gráfica 5 : Curvas IDF, estación San Isidro



Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales

A partir de ellas se elaboraron tres hietogramas de lluvia para los períodos de retorno de: 25, 50 y 100 años a partir de las curvas IDF de la estación antes mencionada. Dichos hietogramas se realizaron para una duración máxima de 3 horas, en intervalos sucesivos de 15 minutos. A continuación, se presentan los datos de las curvas IDF de la estación de San Isidro:

Tabla 20: Intensidades máximas según los períodos de retorno, estación San Isidro

Período de retorno	Tiempo en minutos						
	5	10	15	30	60	120	360
2 años	138.8	103.7	84.3	56.4	36.1	22.6	10.4
5 años	157.8	124.4	104	72.1	47.1	29.7	13.7
10 años	170.6	137.8	116.9	82.5	54.5	34.5	15.9
25 años	178.1	145.4	124	88.3	58.7	37.2	17.1
50 años	193.3	155.7	132	93.6	62.5	40.1	19.1
100 años	211.2	169.1	143	101.5	68.2	44.2	21.5

Fuente: INETER

5.2.2 Aplicación del método de los bloques alternos

Para la selección del período de retorno, es importante evaluar el factor de riesgo que tendrá la obra y su importancia en la vía. El MTI establece una organización de acorde a la clasificación funcional de la carreta para la selección del período de retorno esta se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 21: Selección del periodo de retorno de acuerdo a la clasificación funcional de la carretera

Clasificación Funcional de Carreteras	Revisión de flujo			
	10	25	50	100
Troncal Principal:	-	-	-	-
Caja – Puente			X	X
Puentes grandes			X	X
Puentes pequeños			X	X
Troncal Secundaria:		-	-	-
Caja – Puente			X	X
Puentes grandes			X	X
puentes pequeños			X	X
Colectora Principal:		-	-	-
Caja – Puente			X	X
Puentes grandes			X	X
Puentes pequeños		-	-	-
Colectora Secundaria:		-	-	-

	Revisión de flujo			
Caja – Puente		X	X	X
Puentes pequeños		X	X	X
Caminos Vecinales:		-	-	-
Caja – Puente		X	X	X
Puentes grandes		X	X	X
Puente pequeños	-	X	X	X

Fuente: CORASCO, 2008, tabla 2, p.15.

5.2.3 Corrección por coeficiente de cambio climático

El método de los bloques alternos, permite calcular hietogramas de lluvia a partir de las curvas IDF, para los períodos de retorno requeridos. En nuestro caso haremos análisis para 3 períodos de retorno de la obra, como son 25, 50 y 100 años.

La nueva metodología del MTI, exige aplicar un factor de aumento a las intensidades de lluvia por efectos del cambio climático. Cada factor está en dependencia del sitio donde se encuentra la estación meteorológica, del período de retorno y del tipo de obra a edificar. La siguiente tabla muestra el factor necesario para cada período de retorno, en la estación San Isidro:

Tabla 22: Factor de corrección por cambio climático de la estación San Isidro

Estación	KCC			
	TR	P50	P70	P90
San Isidro	2	1.08	1.13	1.19
Código: 69132	5	1.07	1.12	1.18
Tipo: AG	10	1.10	1.14	1.22
12°54'48" Lat N	15	1.12	1.18	1.28
86°11'30" Long W	25	1.15	1.24	1.38
Elev: 480	50	1.23	1.35	1.56
	100	1.32	1.48	1.81

Fuente: Hidrotecnia Vial incorporando la adaptación al cambio climático, MTI, 2017, Anexo 1, p. 21

Las obras de carreteras están clasificadas para P70, por lo que se usaron esos coeficientes para aumentar la intensidad de precipitación. La ecuación utilizada para calcular la intensidad corregida por el efecto del cambio climático es:

$$I_{cc} = I * K_{cc}$$

Donde

I_{cc} , intensidad modificada por el efecto del cambio climático en mm/hora.

I , intensidad en mm/hora

K_{cc} , coeficiente de cambio climático correspondiente a la estación

Las intensidades que se muestran a continuación, han sido afectadas por el coeficiente de cambio climático de la estación de San Isidro.

A continuación se presentan los hietogramas de lluvia, para los períodos de retorno mencionados, donde se muestra la profundidad de precipitación en milímetros (mm) y el tiempo en minutos (min):

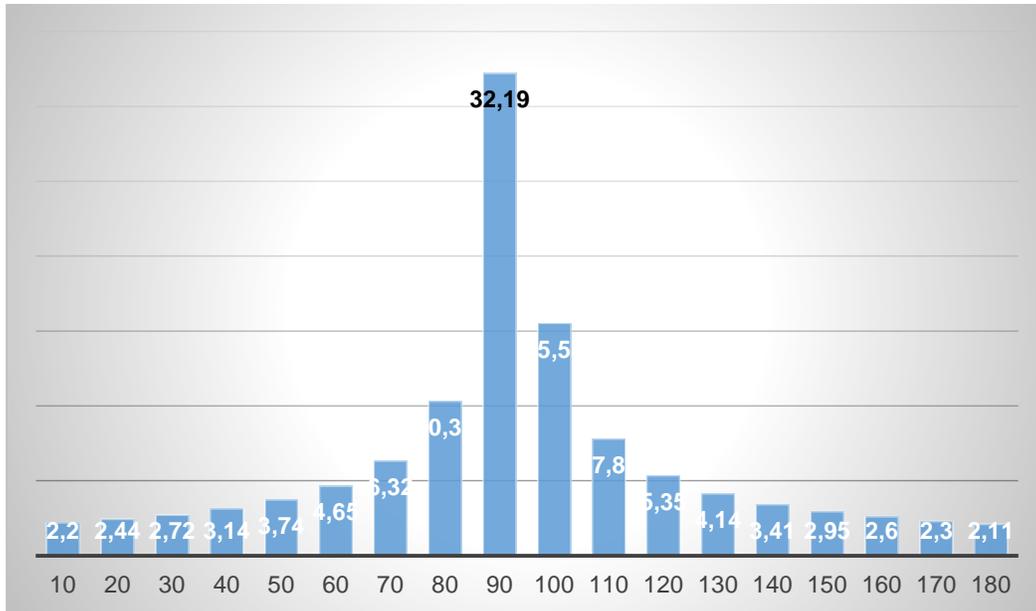
Tabla 23: Cálculo del hietograma de lluvia para un periodo de retorno de 25 años, según el método de los bloques alternos

Duración (min)	INT (mm/h)	Prof acum (mm)	Prof (mm)	Tiempo inicial	Tiempo final	Precipitación (mm)
10	193.16	32.19	32.19	0	10	2.2
20	143.18	47.72	15.53	10	20	2.44
30	116.09	58.04	10.32	20	30	2.72
40	98.77	65.84	7.8	30	40	3.14
50	86.6	72.16	6.32	40	50	3.74
60	77.51	77.51	5.35	50	60	4.65
70	70.43	82.16	4.65	60	70	6.32
80	64.73	86.3	4.14	70	80	10.32
90	60.03	90.04	3.74	80	90	32.19
100	56.07	93.45	3.41	90	100	15.53
110	52.69	96.59	3.14	100	110	7.8
120	49.77	99.54	2.95	110	120	5.35
130	47.2	102.26	2.72	120	130	4.14
140	44.94	104.86	2.6	130	140	3.41
150	42.92	107.3	2.44	140	150	2.95
160	41.1	109.6	2.3	150	160	2.6
170	39.46	111.8	2.2	160	170	2.3
180	37.97	113.91	2.11	170	180	2.11

Fuente: Elaboración propia

Graficando los valores de la tabla anterior, se obtiene el hietograma de diseño de lluvia para el período de retorno de 25 años, como sigue:

Gráfica 6: Hietograma de lluvia para un período de retorno de 25 años



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo se procedió a calcular los hietogramas de lluvia para el período de retorno de 50 años, cuya tabla y bosquejo se aprecia a continuación:

Tabla 24: Cálculo del hietograma de lluvia para un periodo de retorno de 50 años, según el método de los bloques alternos

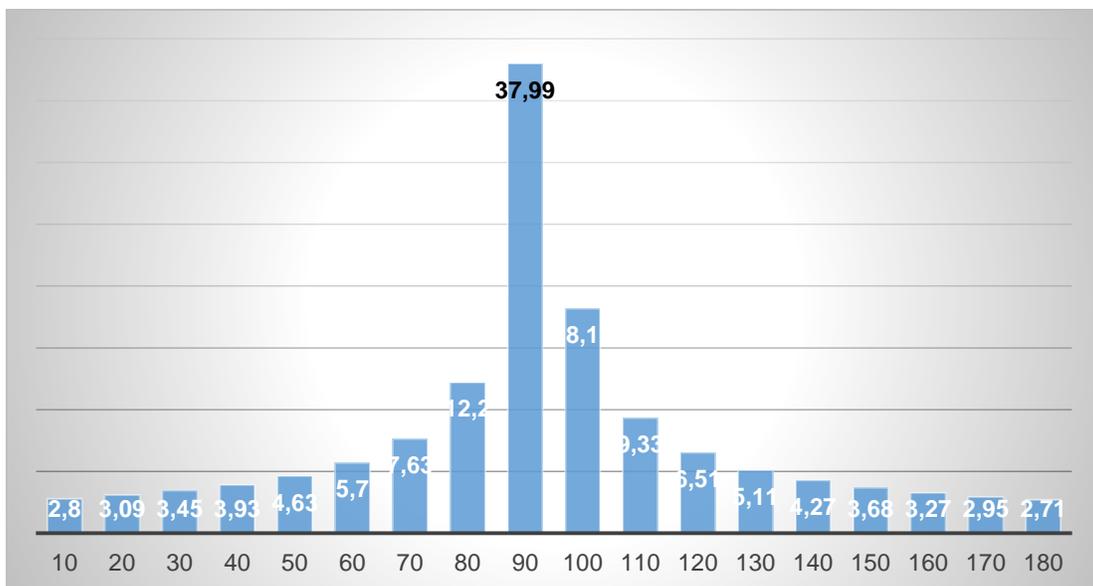
Duración (min)	INT (mm/h)	Prof acum (mm)	Prof (mm)	Tiempo inicial	Tiempo final	Precipitación (mm)
10	227.97	37.99	37.99	0	10	2.8
20	168.51	56.17	18.18	10	20	3.09
30	136.74	68.37	12.2	20	30	3.45
40	116.55	77.7	9.33	30	40	3.93
50	102.4	85.33	7.63	40	50	4.63
60	91.84	91.84	6.51	50	60	5.7
70	83.61	97.54	5.7	60	70	7.63
80	76.99	102.65	5.11	70	80	12.2
90	71.52	107.28	4.63	80	90	37.99
100	66.93	111.55	4.27	90	100	18.18
110	62.99	115.48	3.93	100	110	9.33
120	59.58	119.16	3.68	110	120	6.51

Duración (min)	INT (mm/h)	Prof acum (mm)	Prof (mm)	Tiempo inicial	Tiempo final	Precipitación (mm)
130	56.59	122.61	3.45	120	130	5.11
140	53.95	125.88	3.27	130	140	4.27
150	51.59	128.97	3.09	140	150	3.68
160	49.47	131.92	2.95	150	160	3.27
170	47.55	134.72	2.8	160	170	2.95
180	45.81	137.43	2.71	170	180	2.71

Fuente: Elaboración propia

Al graficar los valores de la tabla anterior, se aprecian el bosquejo del hietograma para el período de retorno de 50 años:

Gráfica 7: Hietograma de lluvia para un período de retorno de 50 años



Fuente: Elaboración propia

Como último período de retorno a considerar en la obra en estudio, es el de 100 años, donde a continuación se logran observar los valores del hietograma de diseño:

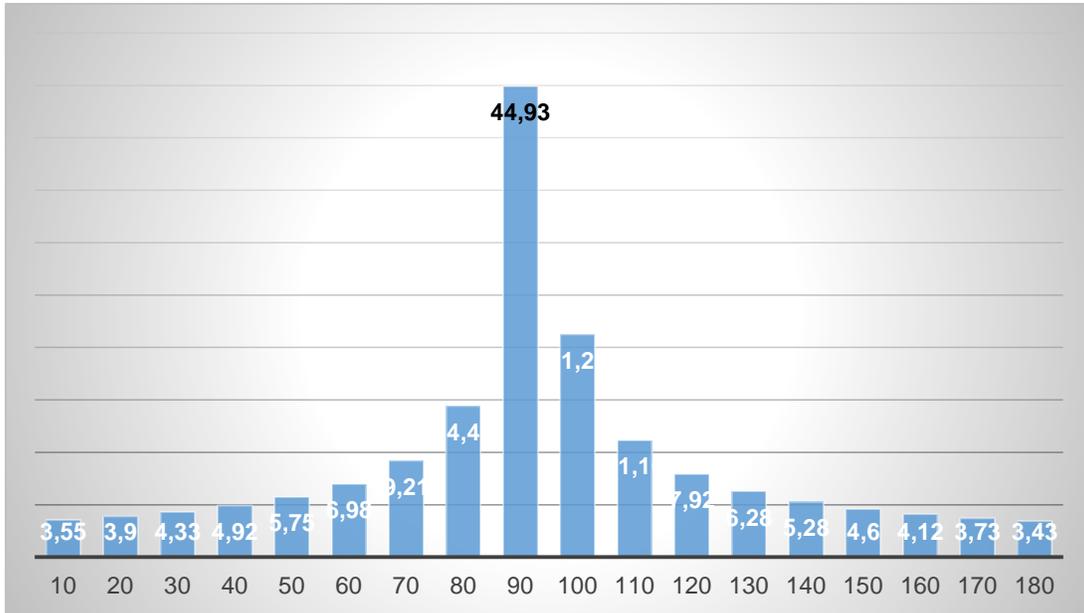
Tabla 25: Cálculo del hietograma de lluvia para un periodo de retorno de 100 años, según el método de los bloques alternos

Duración (min)	INT (mm/h)	Prof acum (mm)	Prof (mm)	Tiempo inicial	Tiempo final	Precipitación (mm)
10	269.63	44.93	44.93	0	10	3.55
20	198.59	66.19	21.26	10	20	3.9
30	161.25	80.62	14.43	20	30	4.33
40	137.67	91.78	11.16	30	40	4.92
50	121.19	100.99	9.21	40	50	5.75
60	108.91	108.91	7.92	50	60	6.98
70	99.34	115.89	6.98	60	70	9.21
80	91.63	122.17	6.28	70	80	14.43
90	85.28	127.92	5.75	80	90	44.93
100	79.92	133.2	5.28	90	100	21.26
110	75.34	138.12	4.92	100	110	11.16
120	71.36	142.72	4.6	110	120	7.92
130	67.87	147.05	4.33	120	130	6.28
140	64.79	151.17	4.12	130	140	5.28
150	62.03	155.07	3.9	140	150	4.6
160	59.55	158.8	3.73	150	160	4.12
170	57.3	162.35	3.55	160	170	3.73
180	55.26	165.78	3.43	170	180	3.43

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla anterior, se obtiene el hietograma de lluvia, para el período de retorno de 100 años:

Gráfica 8: Hietograma de lluvia para el período de retorno de 100 años



Fuente: Elaboración propia

A partir de la curva de IDF para el período de retorno de 100 años, el hietograma resultante con una duración de 3 horas, muestra una precipitación máxima de 44.93 mm.

5.2.4 Información de las características del suelo

La información empleada para el análisis del suelo que comprende la cuenca en estudio se basa en tres mapas elaborados por INETER. Estos mapas son:

- ✚ Mapa de suelos de la república de Nicaragua elaborado por: INETER con colaboración de otras instituciones como lo son: MARENA, MAG, INAFOR y UNA en el año 2015.

- ✚ Mapa de uso potencial de la tierra de la república de Nicaragua elaborado por: INETER con colaboración de otras instituciones como lo son: MARENA, MAG, INAFOR y UNA en el año 2015.

- ✚ Mapa de coberturas y usos de la tierra de la república de Nicaragua elaborado por: INETER con colaboración de otras instituciones como lo son: MARENA, MAG, INAFOR y UNA en el año 2015.

5.2.4.1 Curva Número (CN)

Es de carácter imprescindible el conocimiento de las características del suelo de la cuenca, ya que dependiendo del tipo y uso de suelo, se determinará el nivel de escorrentía para posteriormente calcular el caudal que transita por el punto de cierre en cuestión. Se requieren mapas de tipo y uso de suelo, para poder calcular el número de curva para cada subcuenca; esto se debe a que este valor representa la combinación entre un grupo de suelo hidrológico, el uso de suelo y las condiciones de humedad.

5.2.4.2 Tipo de suelo

De acuerdo a la información obtenida del mapa de suelos de la república de Nicaragua elaborado, se pudo clasificar a los suelos que conforman la cuenca del río Santa Rosa de acuerdo a su orden de los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 26: Orden de los suelos de la cuenca Santa Rosa del Peñón

Orden	Área (Km ²)	% área
Alfisolos	114.119	45.996
Inceptisolos	15.567	6.274
Mollisolos	118.420	47.730
Σ	248.1	100

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.3 Clasificación hidrológica de los suelos

De acuerdo a la información obtenida del mapa de uso potencial de la tierra de la república de Nicaragua, se pudo asignar un grupo hidrológico a los suelos que conforman la cuenca del río Santa Rosa del Peñón, de acuerdo a las texturas que éstos presentan. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 27: Grupos hidrológicos para la cuenca Santa Rosa del Peñón

Texturas	Grupo hidrológico	Área (Km ²)	% área
Areno franca muy fino, franco arenoso grueso, franco arenoso medio y franco arenoso fino	B	114.119	45.996
Arcillo arenoso, arcillo limoso y arcilloso con menos de 60% de arcilla	C	15.567	6.274
Franco arcilloso, franco arcillo arenoso y franco arcillo arenoso	D	118.420	47.730
Σ		248.1	100

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.4 Uso de suelos

De acuerdo a la información obtenida del mapa de coberturas y usos de la tierra de la república de Nicaragua, se pueden determinar los usos de suelo que conforman la cuenca del río Santa Rosa, los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 28: Uso de suelos de la cuenca Santa Rosa del Peñón

Uso	Área (km ²)	% área
Bosque de conífera ralo	2.59	1.044
Bosque de conífera denso	40.572	16.353
Bosque latifoliado denso	0.0665	0.0268
Bosque latifoliado ralo	4.9911	2.012
Ciudades, poblados y caseríos	0.1832	0.074
Cultivo anual	0.168	0.068
Pasto	56.124	22.622
Suelo sin vegetación	0.016	0.00645
Tacotal	2.4743	0.997
Vegetación arbustiva	140.1	56.470
Agua	0.81	0.3265
Σ	248.1	100

Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Hidrograma unitario del SCS

Para la aplicación del método del hidrograma unitario del SCS, es necesario calcular el tiempo de retardo de cada sub cuenca- Este valor lo calcula el programa ArcGIS usando los datos de la pendiente de la cuenca, la Curva Número, la longitud hidráulica de la cuenca (es decir la longitud que existe desde el punto más alto de la cuenca hasta el punto más bajo de la misma) y la capacidad de retención de agua máxima. Estos valores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 29: Tiempo de retardo para cada subcuenca de la cuenca Santa Rosa

Subcuenca	Pendiente de la cuenca (%)	CN	Camino más largo de flujo (m)	Tiempo de retardo (hrs)
W410	8.775	83.171	3228.453	0.640
W420	4.357	89.004	4875.207	1.331
W430	8.086	81.688	6785.445	0.973
W440	6.682	75.713	3393.399	2.224
W450	4.329	84.985	9682.091	0.891
W460	3.892	89.059	5928.584	1.140
W470	7.815	81.481	5224.153	1.165
W480	7.932	76.784	4408.669	1.171
W490	7.201	73.739	4205.615	1.208
W500	9.004	61.681	5027.637	1.434
W510	8.192	71.950	5928.584	1.289
W520	6.623	57.455	6153.960	1.892
W530	8.761	61.189	4745.099	1.937
W540	7.837	61.415	3304.669	1.704
W550	9.092	66.240	4868.669	1.720
W560	7.825	62.304	3190.346	1.248
W570	7.988	63.275	5843.122	1.172
W580	9.003	62.221	7185.014	2.353
W590	7.094	62.483	4294.346	2.266
W600	6.433	77.959	3942.130	1.416
W610	8.272	60.736	7946.606	0.874
W620	7.647	62.838	4542.045	1.434
W630	8.725	62.238	4107.076	2.204
W640	7.885	63.981	2083.076	1.238
W650	3.893	76.473	2044.969	1.435
W660	6.213	66.481	6981.960	0.857
W670	8.165	60.947	3466.346	1.632
W680	5.072	75.727	6585.099	1.965
W690	7.955	63.039	4542.045	1.567

Subcuenca	Pendiente de la cuenca (%)	CN	Camino más largo de flujo (m)	Tiempo de retardo (hrs)
W700	8.384	63.148	7483.337	2.270
W710	7.791	65.562	7419.637	1.978
W720	7.932	68.661	7803.983	2.006
W730	4.596	77.812	6506.176	2.121
W740	4.128	75.015	4522.991	0.619
W750	4.880	77.369	4148.453	1.348
W760	5.552	77.200	1413.484	0.404
W770	4.292	76.192	1080.323	1.798
W780	4.636	76.573	2306.538	1.322
W790	5.332	76.596	5725.530	0.770

Fuente: Elaboración propia

Para demostración del cálculo se realizará como ejemplo el tiempo de retardo de la cuenca W410:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 = \frac{1000}{83.171} - 10 = 2.023$$

$$Lag\ time = \frac{l^{0.8} * (s + 1)^{0.7}}{1900 * y^{0.5}}$$

Dónde y : pendiente de la cuenca en %, S : la capacidad de retención de agua máxima; l la longitud hidráulica de la cuenca (ft), CN : Número de curva de la subcuenca.

$$l = 3228.453\ m \rightarrow 10592.037\ ft$$

$$Lag\ time = \frac{l^{0.8} * (s + 1)^{0.7}}{1900 * y^{0.5}} = \frac{10592.037^{0.8} * (2.023 + 1)^{0.7}}{1900 * 8.775^{0.5}} = 0.64\ hrs.$$

5.2.6 Parámetros del tránsito

Para obtener los parámetros del tránsito, se tomó como base la información de longitud del cauce por tramo, la cota alta y baja de cada sección del cauce. Todos estos valores fueron obtenidos a partir del DEM en el ArcGIS. Posteriormente se calculan los valores de pendiente, velocidad de la cuenca, velocidad de tránsito,

tiempo de concentración, tiempo de retardo, entre otros valores, los cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 30: Parámetros de tránsito de la cuenca Santa Rosa

Tramo	Longitud	Cota alta	Cota baja	Pendiente %	Tc (hr)	Vc (m/s)	Vt (m/s)	K (hr)	X	N
R50	3569.507	765	651	3.19	0.349	2.839	3.055	0.325	0.2	2
R60	2167.184	651	599	2.40	0.266	2.267	2.027	0.297	0.2	2
R110	3905.938	599	491	2.77	0.396	2.742	2.793	0.388	0.2	2
R120	2589.076	599	433	6.41	0.209	3.448	4.152	0.173	0.2	2
R160	4442.153	491	358	2.99	0.424	2.912	2.818	0.438	0.2	2
R170	2773.076	433	358	2.70	0.307	2.512	3.600	0.214	0.2	2
R180	2144.861	632	512	5.59	0.190	3.133	3.207	0.186	0.2	2
R210	1424.646	512	468	3.09	0.174	2.269	3.165	0.125	0.2	2
R240	1370.754	377	312	4.74	0.144	2.652	3.22	0.118	0.2	2
R250	2535.184	468	418	1.97	0.323	2.179	2.54	0.278	0.2	2
R270	3553.722	312	225	2.45	0.386	2.560	3.04	0.324	0.2	2
R280	7405.768	358	225	1.80	0.765	2.690	3.04	0.678	0.2	2
R300	3715.399	418	268	4.04	0.329	3.135	3.07	0.336	0.2	2
R320	5263.615	225	179	0.87	0.776	1.885	2.65	0.551	0.2	2
R330	4908.691	268	179	1.81	0.555	2.456	3.04	0.449	0.2	2
R350	628.215	180	179	0.16	0.291	0.600	2.10	0.083	0.2	2
R380	4327.830	266	175	2.10	0.476	2.526	2.39	0.503	0.2	2
R390	812.215	180	175	0.62	0.211	1.071	1.95	0.116	0.2	2
R400	1004.108	175	167	0.80	0.225	1.242	1.86	0.150	0.2	2

Fuente: Elaboración propia

5.2.7 Cálculos de caudales, aplicando el método de tránsito de avenidas

El software HEC-HMS hace uso del método de tránsito de avenidas, en su variante Muskingum, para calcular los caudales probables que transitarán por cada punto de control de cada subcuenca.

A continuación se muestran los caudales en el punto de cierre de la cuenca, caudales intensificados por efectos del cambio climático para los tres períodos de

retorno detallados anteriormente. De igual forma, para fines demostrativos, se presentan los caudales sin los efectos del Kcc y el único caudal conocido en el estudio hidrotécnico anterior del puente Santa Rosa, realizado por el MTI.

Tabla 31: Caudales obtenidos en el punto de cierre para los diferentes períodos de retorno analizados

Periodo de Retorno	Caudal con Kcc (m ³ /s)	Caudal sin Kcc (m ³ /s)	Caudal estudio previo (m ³ /s)
TR 25	1219.9	889.4	-
TR 50	1588.3	1013.6	715.4
TR100	2052.7	1183.0	-

Fuente: Elaboración propia

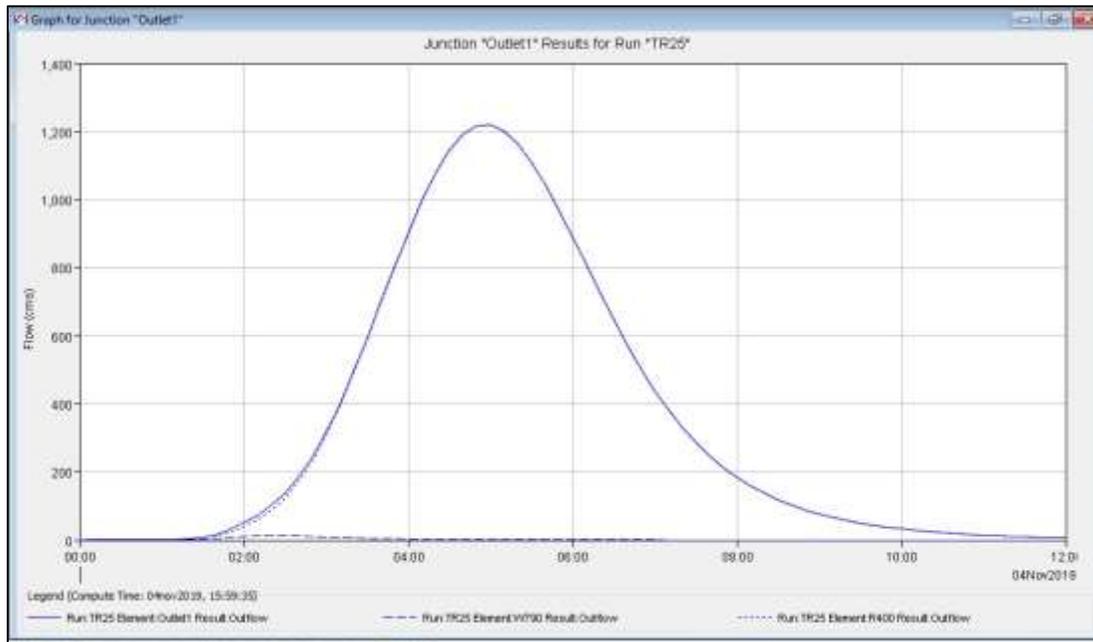
Los caudales mostrados, son los obtenidos con las intensidades aumentadas por el coeficiente de cambio climático. En seguida se presentan los hidrogramas obtenidos en el punto de cierre de la cuenca, para cada período de retorno analizado en este estudio:

Figura 15: Caudal máximo en el punto de cierre para el TR 25 años



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 9 Hidrograma de salida en el punto de cierre para el TR 25 años



Fuente: Elaboración propia

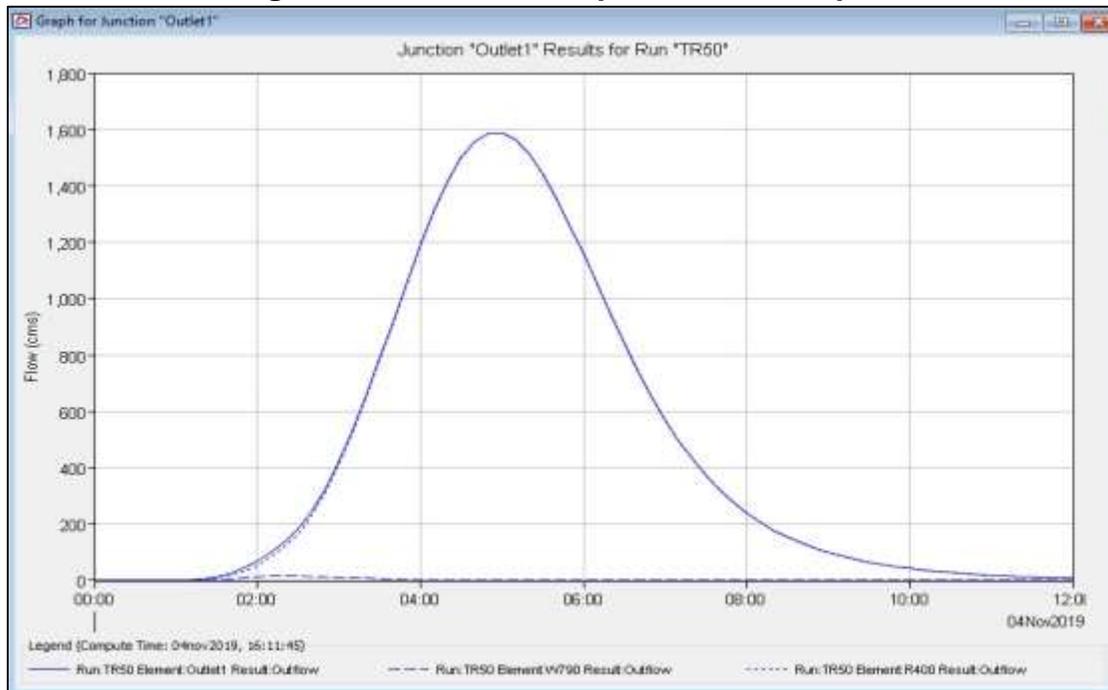
El caudal máximo para TR 25 años es de 1219.9 m³/s y ocurre a las 5:00 horas de iniciada la lluvia.

Figura 16: Caudal máximo en el punto de cierre para el TR 50 años



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10: Hidrograma de salida en el punto de cierre para el TR 50 años



Fuente: Elaboración propia

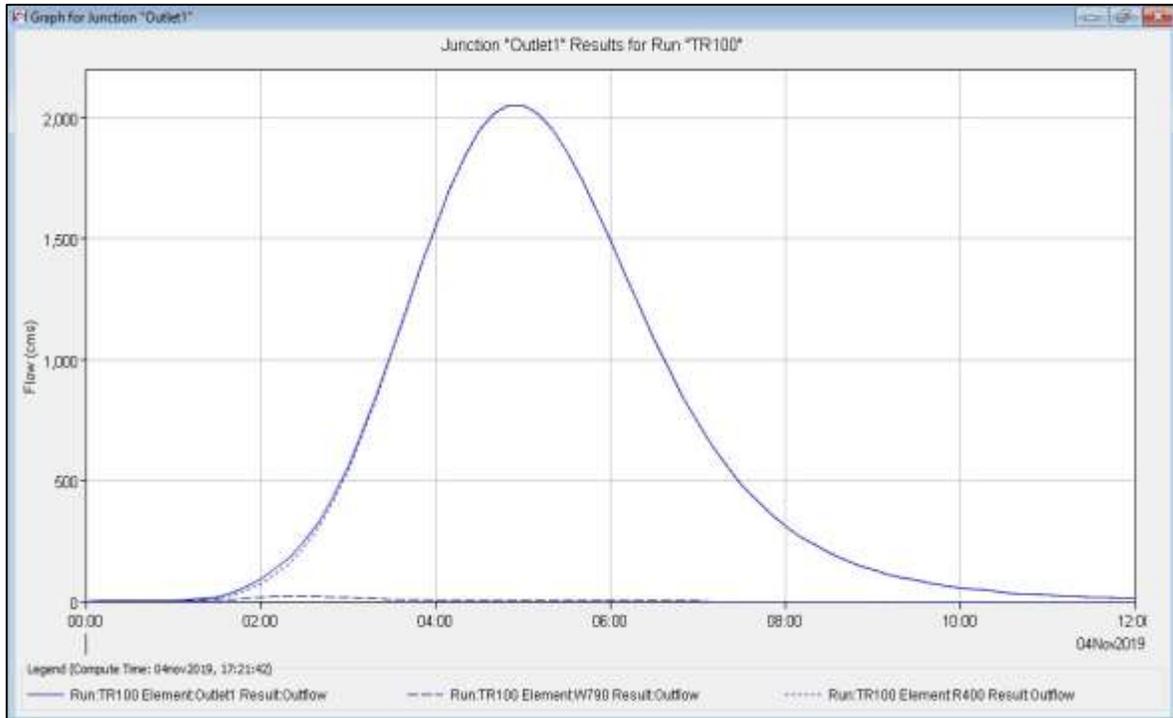
El caudal máximo para TR 50 años es de 1588.3 m³/s y ocurre a las 5:00 horas de iniciada la lluvia.

Figura 17: Caudal máximo en el punto de cierre para el TR 100 años



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11: Hidrograma de salida en el punto de cierre para el TR 100 años



Fuente: Elaboración propia

El caudal máximo estimado para el período de retorno de 100 años, es de 2052.7 m³/s, el cual ocurre a las 5:00 horas de iniciada la lluvia. Este es el caudal crítico, que servirá como caudal de diseño para la obra.

5.3 Análisis hidráulico del puente Santa Rosa del Peñón

5.3.1 Estudio topográfico

La geometría del cauce del río Santa Rosa del Peñón fue obtenida a través de un levantamiento topográfico, el cual fue proporcionado como información por parte del MTI, para fines de este estudio.

Las secciones transversales fueron importadas al software HEC-RAS, donde se definirá la sección del puente en cuestión. A continuación, se logra apreciar un bosquejo simple del tramo analizado, donde igualmente se observa el puente actual estudiado:

Figura 18: Bosquejo del tramo analizado



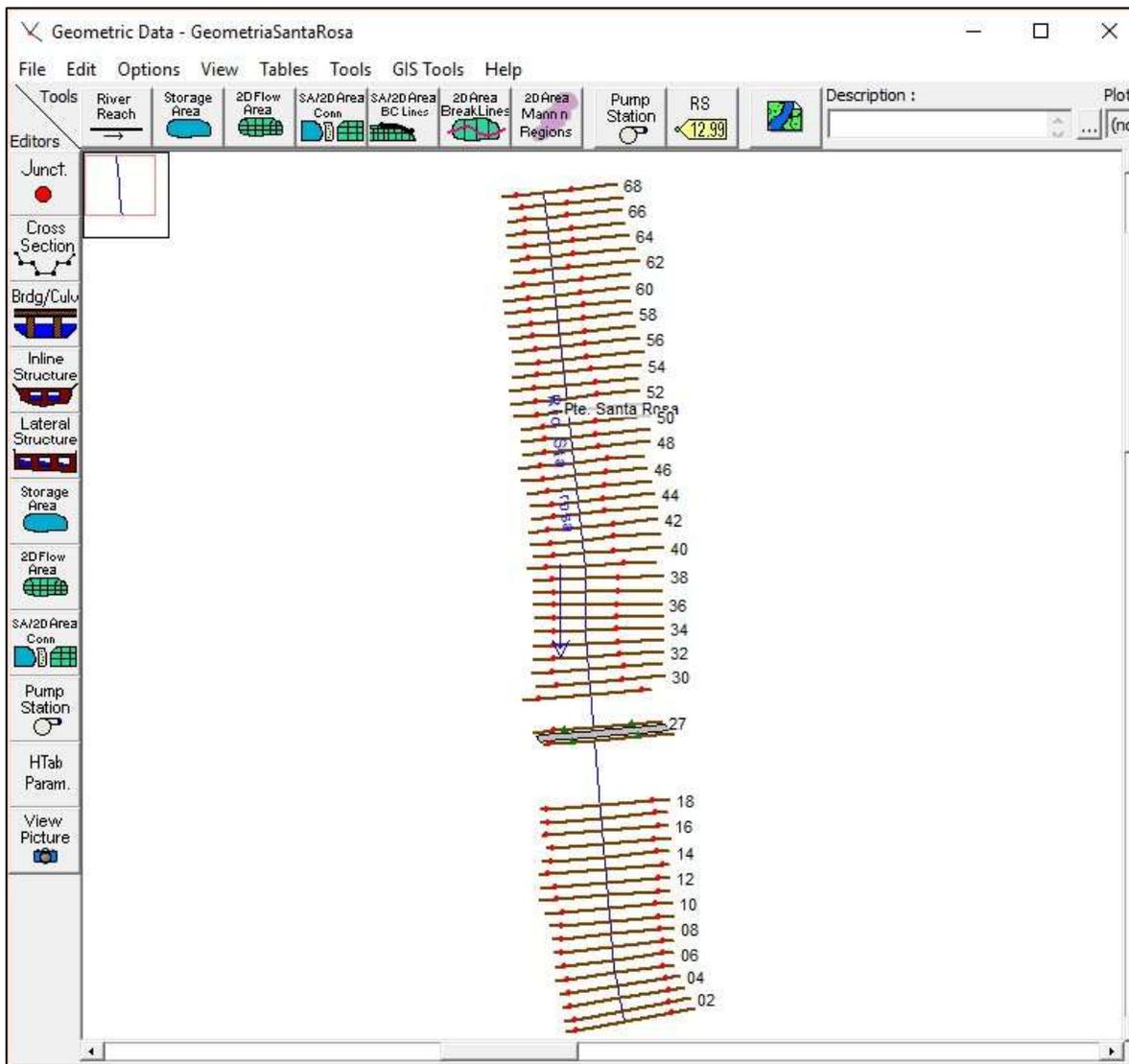
Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Secciones transversales

Se introdujeron 60 secciones transversales, proporcionadas por el MTI, las cuales se ubican cada 10 metros una de la otra, logrando analizar 638.31 metros en totalidad del tramo del río. Hay 18 secciones aguas abajo, 1 que se ubica en el centro del puente y el resto de secciones, aguas arriba. Dichas secciones se nombraron en forma descendente, realizado así por requerimientos del programa, el cual reconoce a la de nombre menor, como la estación aguas abajo.

A continuación observamos la representación de las secciones transversales insertadas en HEC-RAS, donde se observa la ubicación del puente actual, se refleja la dirección del flujo, las secciones aguas arriba y aguas abajo:

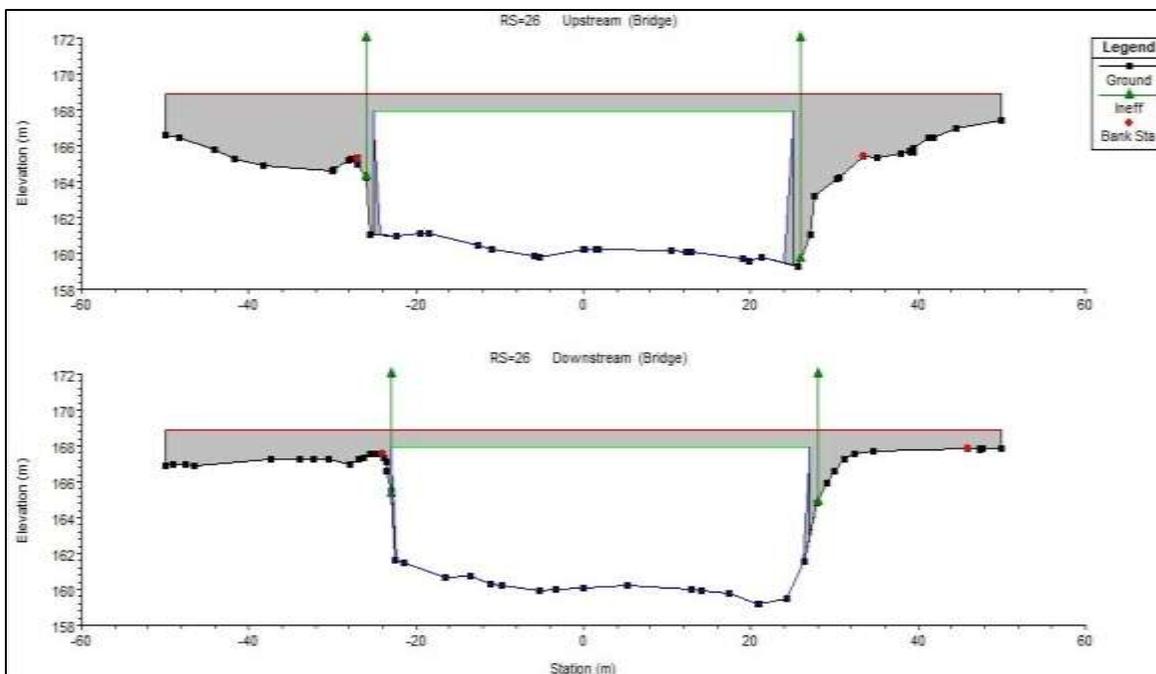
Figura 19: Vista del tramo del río analizado en HEC-RAS



Fuente: Elaboración propia

El puente se encuentra ubicado entre los estacionamientos 0+223.31 y el 0+233.31, mientras que el eje central del puente está ubicado en el estacionamiento 0+228.31. Éste, presenta un claro máximo de 51 m, con un ancho de calzada de 4.20 m. Tiene un único claro con vigas simplemente apoyadas. La superestructura principal es una losa sobre 2 vigas, la cual es de acero. La subestructura, es decir los estribos, son de mampostería y concreto, con un tipo de fundación directa, posee 3 aletas de 7 m cada una. La estructura de puente no posee pilas. A continuación se presenta una figura con la entrada y salida del puente modelado en HEC-RAS:

Gráfica 12: Perfil del puente ubicado en el tramo 0+228.31



Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Coeficiente y rugosidad del cauce general

El coeficiente de rugosidad se calculó usando la ecuación de Strickler

$$n_0 = 0.038 * D^{1/6}$$

El diámetro utilizado para determinar la rugosidad del cauce es el D_{65} , que corresponde al valor promedio de los ensayos realizados a las muestras de suelos.

Tabla 32: Diámetro de las partículas para calcular el coeficiente de rugosidad

D_{65}	Valor (mm)
Margen izquierda	12.5
Margen derecha	10.52
Centro del cauce	11.77

Fuente: Elaboración propia

$$n_1 = 0.038 * (12.5)^{1/6} = 0.058$$

$$n_2 = 0.038 * (10.52)^{1/6} = 0.056$$

$$n_3 = 0.038 * (11.77)^{1/6} = 0.057$$

Los coeficientes de rugosidad calculados, se toman como valores uniformes promedios para cada una de las ubicaciones analizadas. Los valores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 33: Coeficiente de Manning calculado para el tramo del río en estudio

Ubicación	Coeficiente de rugosidad
Margen izquierda	0.058
Margen derecha	0.056
Centro del cauce	0.057

Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Avenida de diseño

Los caudales evaluados corresponden a los determinados en el análisis hidrológico presente en este estudio. En la siguiente tabla se presentan los caudales estimados:

Tabla 34: Caudales utilizados en el análisis hidráulico

Evento	Caudal (m ³ /s)
TR 25	1219.9
TR 50	1588.3
TR100	2052.7

Fuente: Elaboración propia

Se introdujeron los perfiles de flujo o eventos en el software HEC-RAS, para realizar el análisis hidráulico respectivo. El programa sólo necesita las secciones transversales del río, el coeficiente de rugosidad de manning y los perfiles de caudal para realizar la modelación del puente y constatar su comportamiento ante los 3 eventos de caudal mostrados en este documento.

5.3.5 Resultados del análisis hidráulico del puente Santa Rosa del Peñón

5.3.5.1 Período de retorno 25 años

Los resultados del cómputo realizado en el software, para un caudal de $TR_{25} = 1219.9 \text{ m}^3/\text{s}$, se presentan a continuación:

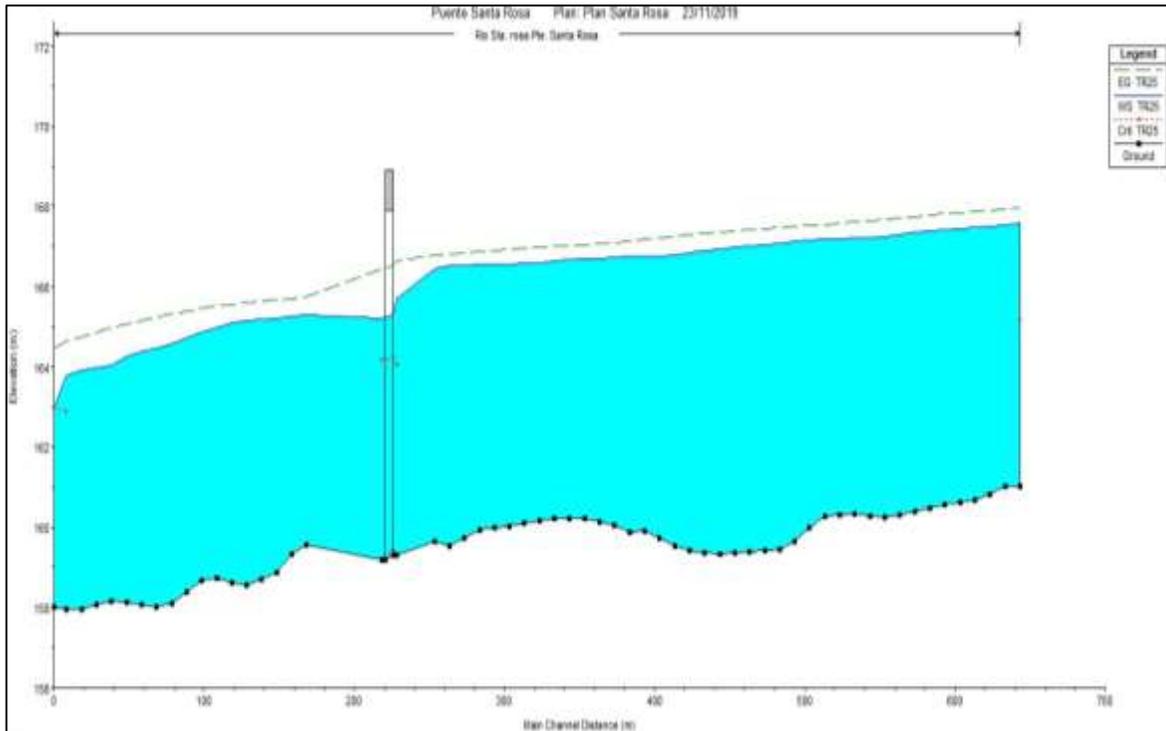
Tabla 35: Resultado del análisis hidráulico para el TR 25

Perfil TR 25				
E.G. US. (m)	166.63	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	165.68	E.G. Elev (m)	166.52	166.46
Q Total (m3/s)	1219.9	W.S. Elev (m)	165.29	165.22
Q Bridge (m3/s)	1219.9	Crit W.S. (m)	164.23	164.18
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	5.83	6.05
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	4.92	4.93
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	248.18	247.33
Weir Submerg		Froude # Chl	0.7	0.71
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	1242.13	1241.91
Min EI Weir Flow (m)	168.9	Hydr Depth (m)	5	4.99
Min EI Prs (m)	167.9	W.P. Total (m)	58.68	57.16
Delta EG (m)	0.21	Conv. Total (m3/s)	11386.7	11522.5
Delta WS (m)	0.48	Top Width (m)	49.59	49.57
BR Open Area (m2)	378.27	Frctn Loss (m)	0.06	0.03
BR Open Vel (m/s)	4.93	C & E Loss (m)	0	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	476.03	475.64
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	2339.91	2345.99

Fuente: Elaboración propia

5.3.5.1.1 Perfil de flujo

Gráfica 13: Perfil de flujo para el TR 25 años

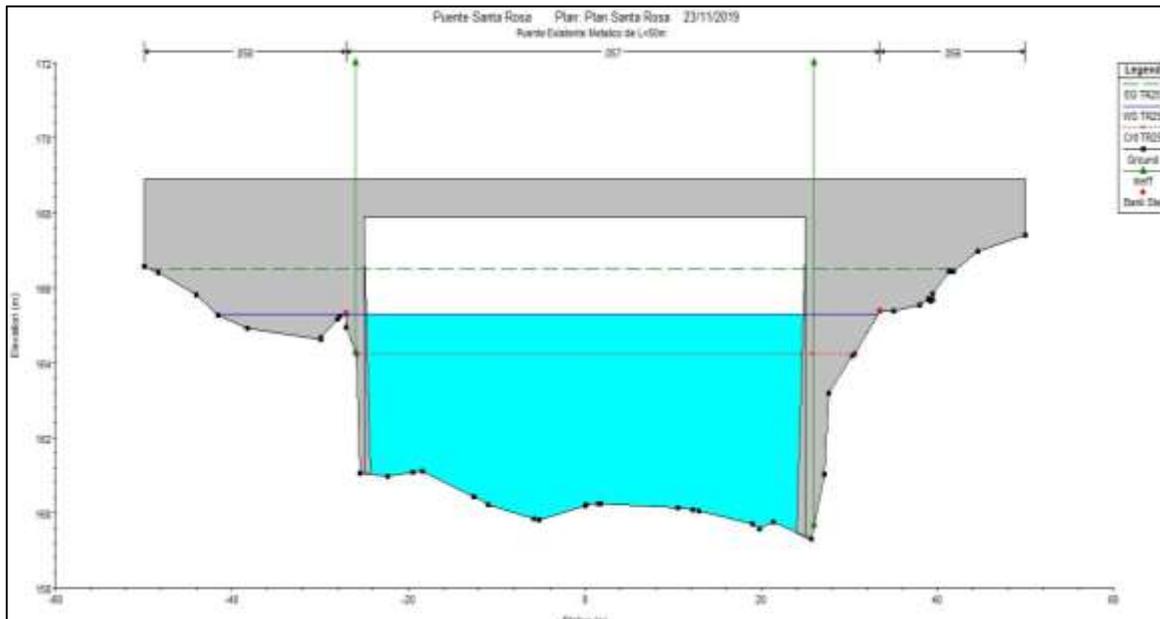


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se observa que el flujo de agua es bajo en relación al tablero del puente y funciona como un canal tipo A, ya que la corriente que pasa debajo del puente es subcrítico, a pesar de ser un caudal grande.

5.3.5.1.2 Capacidad del puente

Gráfica 14: Sección de entrada del puente para el TR 25 años

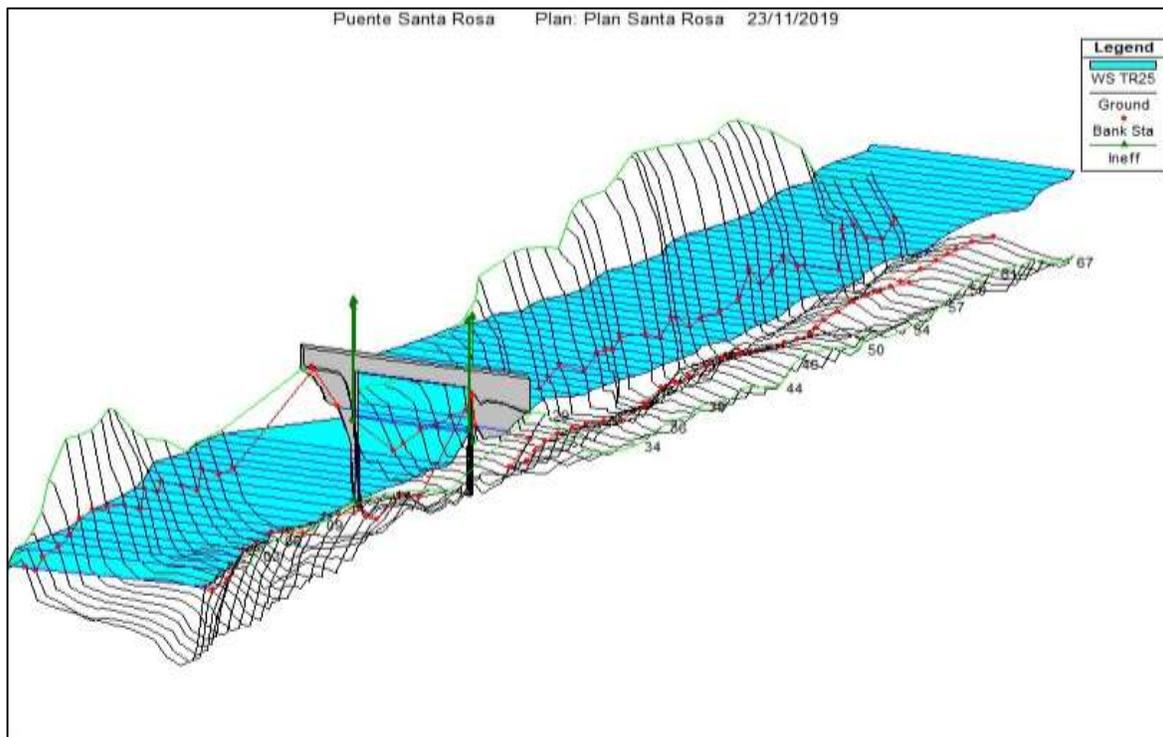


Fuente: Elaboración propia

El nivel del agua alcanza una altura máxima de 6.05 m, para un caudal de 1219.9 mcs, para el período de retorno de 25 años.

5.3.5.1.3 Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0

Figura 20: Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0 TR 25



Fuente: Elaboración propia

5.3.5.2 Período de retorno 50 años

Los resultados del cómputo realizado en el software, para un caudal de $TR50 = 1588.3 \text{ m}^3/\text{s}$, se presentan a continuación:

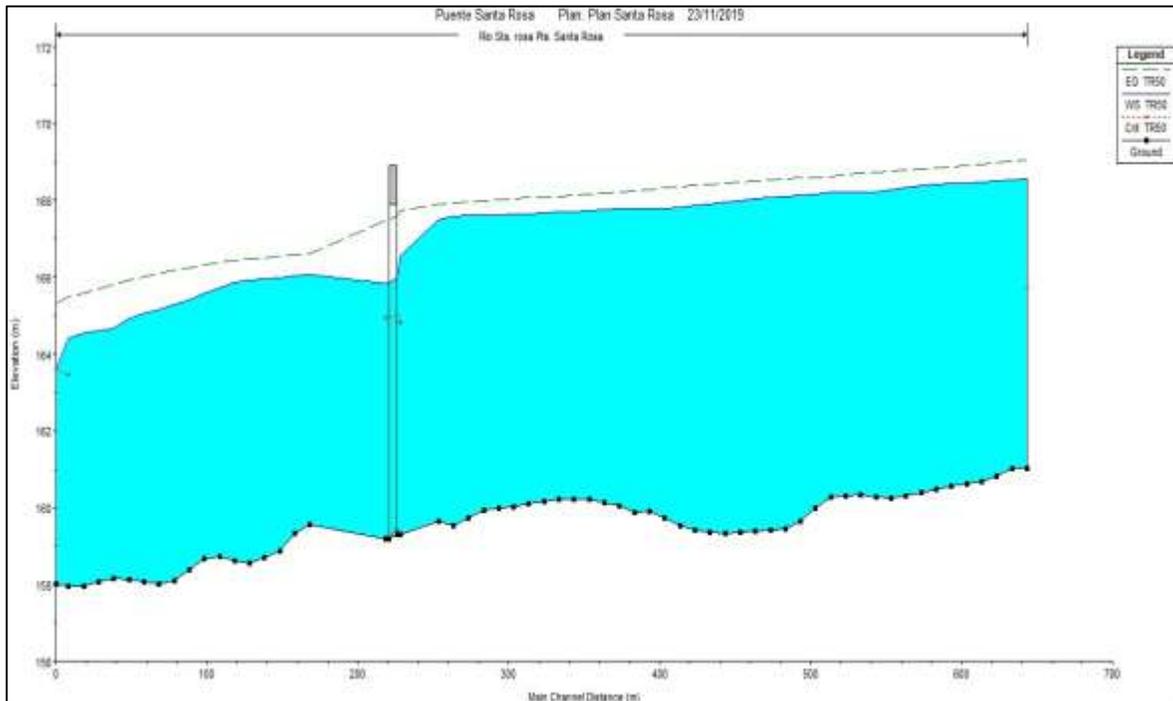
Tabla 36: Resultado del análisis hidráulico para el TR 50

Perfil TR 50				
E.G. US. (m)	167.74	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	166.54	E.G. Elev (m)	167.59	167.51
Q Total (m3/s)	1588.3	W.S. Elev (m)	165.97	165.86
Q Bridge (m3/s)	1588.3	Crit W.S. (m)	165	164.95
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	6.51	6.69
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	5.63	5.7
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	281.87	278.79
Weir Submerg		Froude # Chl	0.76	0.77
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	1723.06	1717.75
Min EI Weir Flow (m)	168.9	Hydr Depth (m)	5.67	5.61
Min EI Prs (m)	167.9	W.P. Total (m)	60.05	58.43
Delta EG (m)	0.28	Conv. Total (m3/s)	13863.7	13861.8
Delta WS (m)	0.7	Top Width (m)	49.75	49.73
BR Open Area (m2)	378.27	Frcn Loss (m)	0.07	0.03
BR Open Vel (m/s)	5.7	C & E Loss (m)	0.01	0.02
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	604.2	614.27
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	3404.6	3499.58

Fuente: Elaboración propia

5.3.5.2.1 Perfil de flujo

Gráfica 15: Perfil de flujo en el puente para el período de retorno 50 años

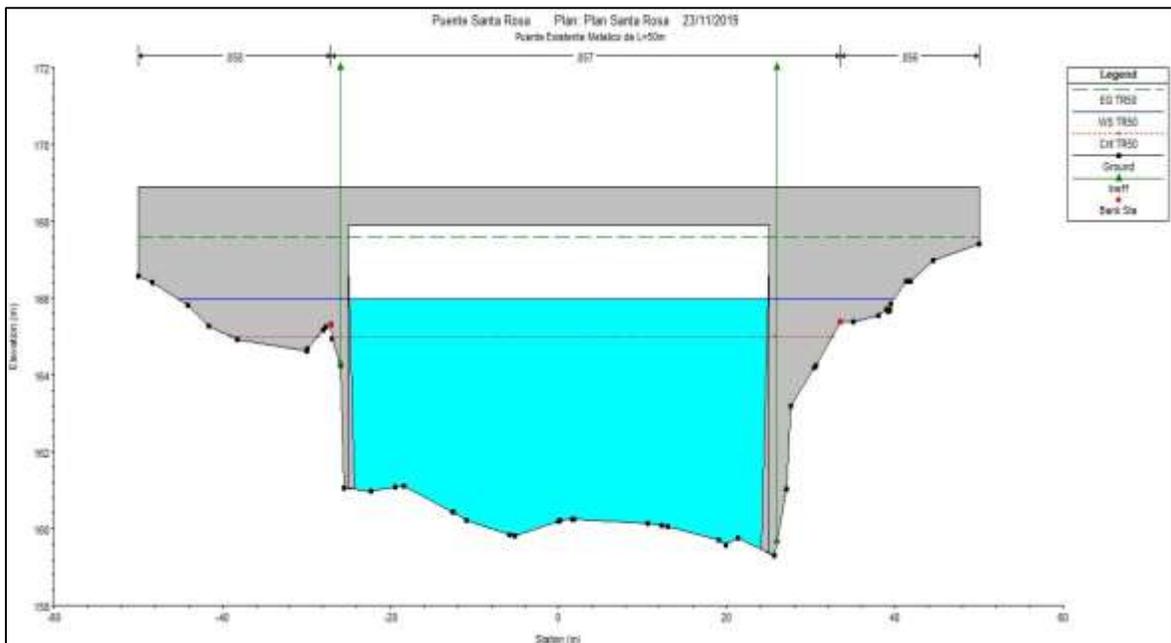


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se observa que el flujo de agua es bajo en relación al tablero del puente y funciona como un canal tipo A, ya que la corriente que pasa debajo del puente es subcrítico, a pesar de ser un caudal grande. En la modelación en el software, se obtuvo un número de Froude de 0.77 en la salida aguas abajo del puente, lo que confirma lo antes expuesto.

5.3.5.2.2 Capacidad del puente

Gráfica 16: Sección de entrada del puente para el TR 50 años

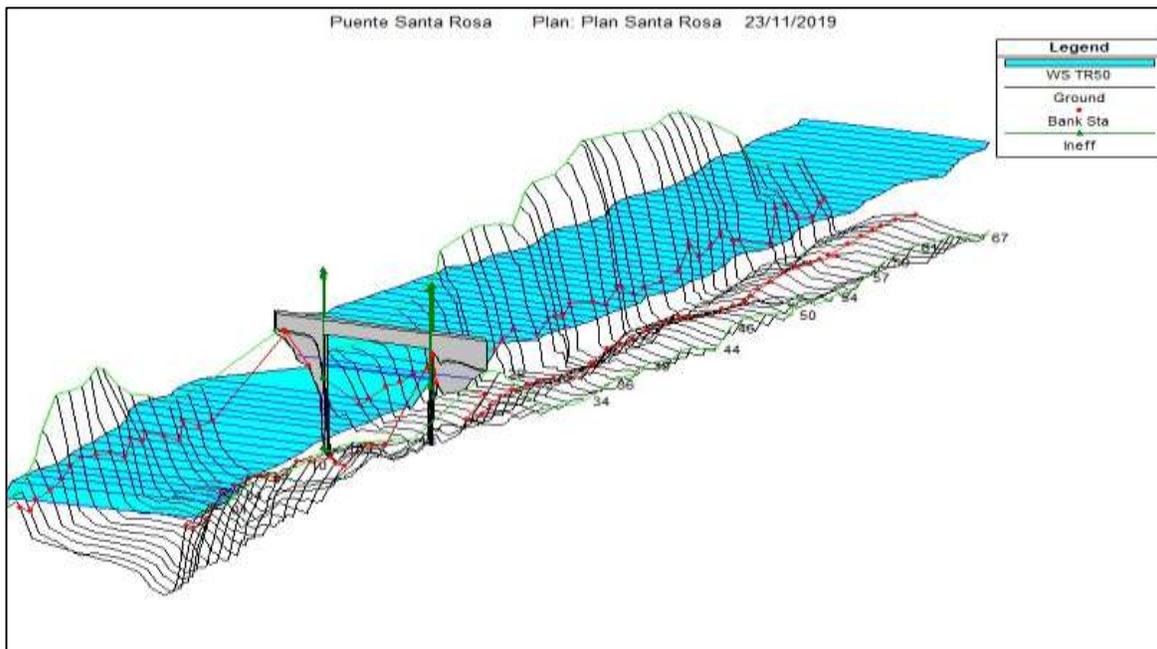


Fuente: Elaboración propia

El nivel del agua alcanza una altura máxima de 6.69 m, para un caudal de 1588.3 mcs, para el período de retorno de 50 años.

5.3.5.2.3 Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0

Figura 21: Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0 TR 50



Fuente: Elaboración propia

5.3.5.3 Período de retorno 100 años

Los resultados del cómputo realizado en el software, para un caudal de $TR_{100} = 2052.7 \text{ m}^3/\text{s}$, se presentan a continuación:

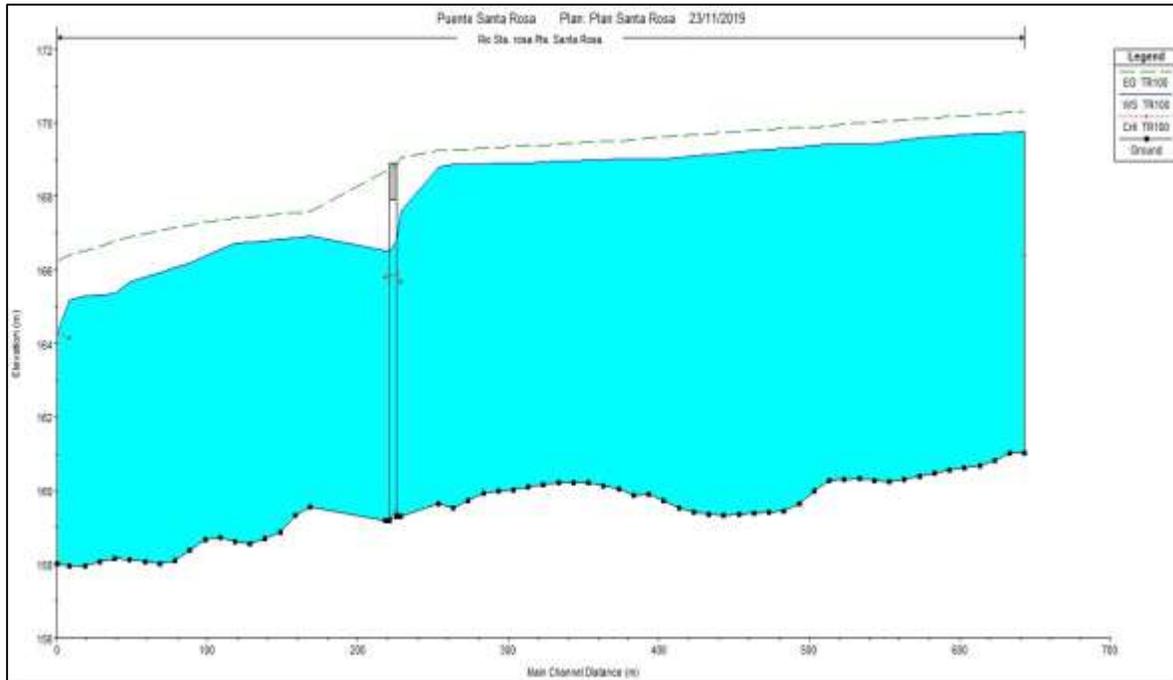
Tabla 37: Resultado del análisis hidráulico para el TR 100

Perfil TR 100				
E.G. US. (m)	169.05	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	167.57	E.G. Elev (m)	168.85	168.73
Q Total (m3/s)	2052.7	W.S. Elev (m)	166.79	166.52
Q Bridge (m3/s)	2052.7	Crit W.S. (m)	165.88	165.84
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	7.33	7.35
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	6.36	6.58
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	322.53	311.94
Weir Submerg		Froude # Chl	0.8	0.84
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	2389.08	2369.02
Min EI Weir Flow (m)	168.9	Hydr Depth (m)	6.46	6.25
Min EI Prs (m)	167.9	W.P. Total (m)	61.69	59.77
Delta EG (m)	0.39	Conv. Total (m3/s)	17045.2	16465.6
Delta WS (m)	1.06	Top Width (m)	49.95	49.89
BR Open Area (m2)	378.27	Frcn Loss (m)	0.08	0.04
BR Open Vel (m/s)	6.58	C & E Loss (m)	0.04	0.03
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	743.57	795.38
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	4732.33	5233.9

Fuente: Elaboración propia

5.3.5.3.1 Perfil de flujo

Gráfica 17: Perfil de flujo en el puente para el período de retorno 100 años

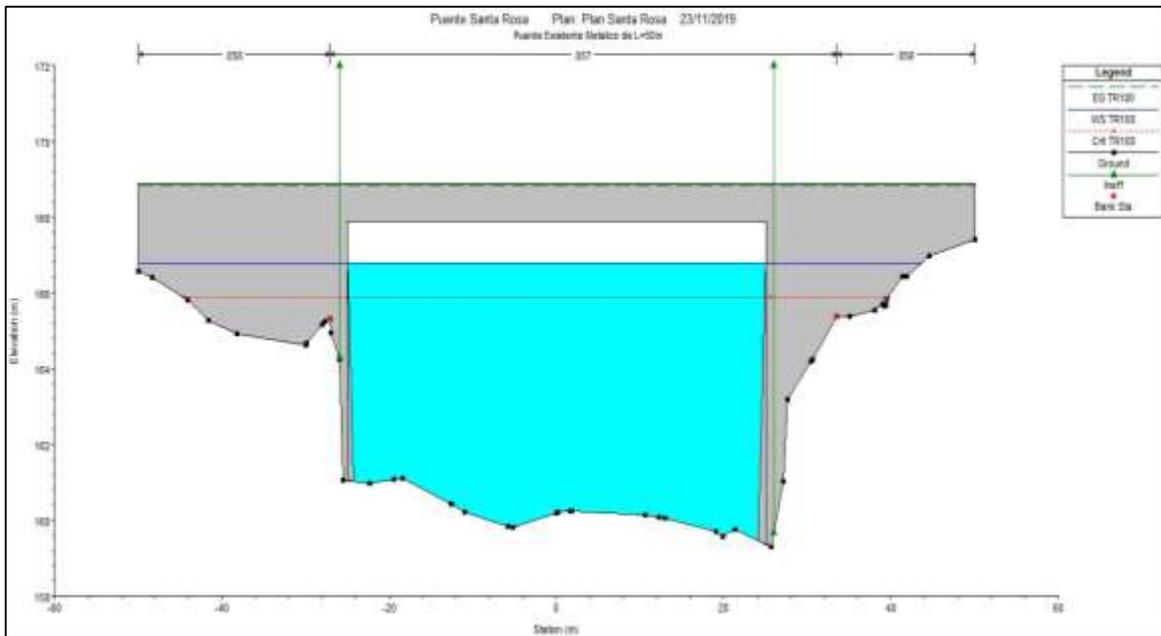


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se observa que el flujo de agua es apenas un poco más bajo, en relación al tablero del puente, y funciona aún como un canal tipo A, ya que la corriente que pasa debajo del puente es subcrítico, a pesar de representar un caudal considerablemente grande. En la modelación en el software, se obtuvo un número de Froude de 0.84 en la salida aguas abajo del puente, presentando todavía un régimen subcrítico, debido a que la velocidad es lo suficientemente baja como para mantener el flujo lento.

5.3.5.3.2 Capacidad del puente

Gráfica 18: Sección de entrada del puente para el TR 100 años

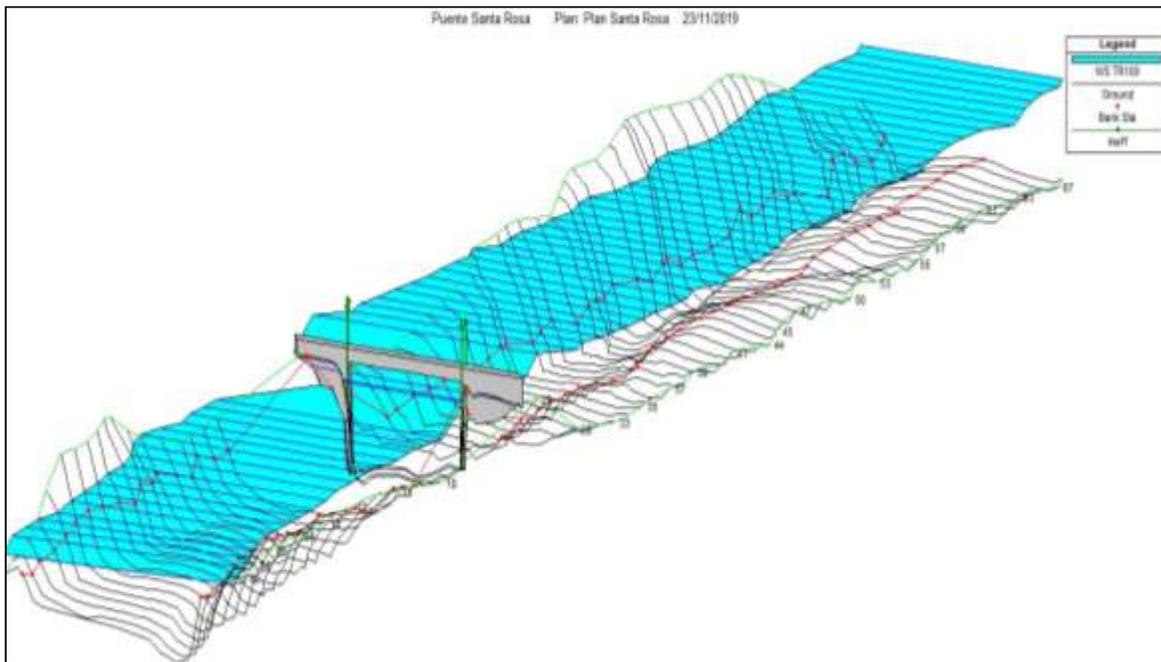


Fuente: Elaboración propia

El nivel del agua alcanza una altura máxima de 7.35 m, para un caudal de 2052.7 mcs, para el período de retorno de 100 años.

5.3.5.3.3 Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0

Figura 22: Vista 3D del cauce en HEC-RAS 4.1.0 TR 100



Fuente: Elaboración propia

5.3.6 Resultados del análisis de socavación en el puente Santa Rosa

El diámetro usado para determinar la socavación local en los estribos, es el D_{50} , valor que corresponde al número promedio de los ensayos de suelo realizados en el laboratorio para tal fin.

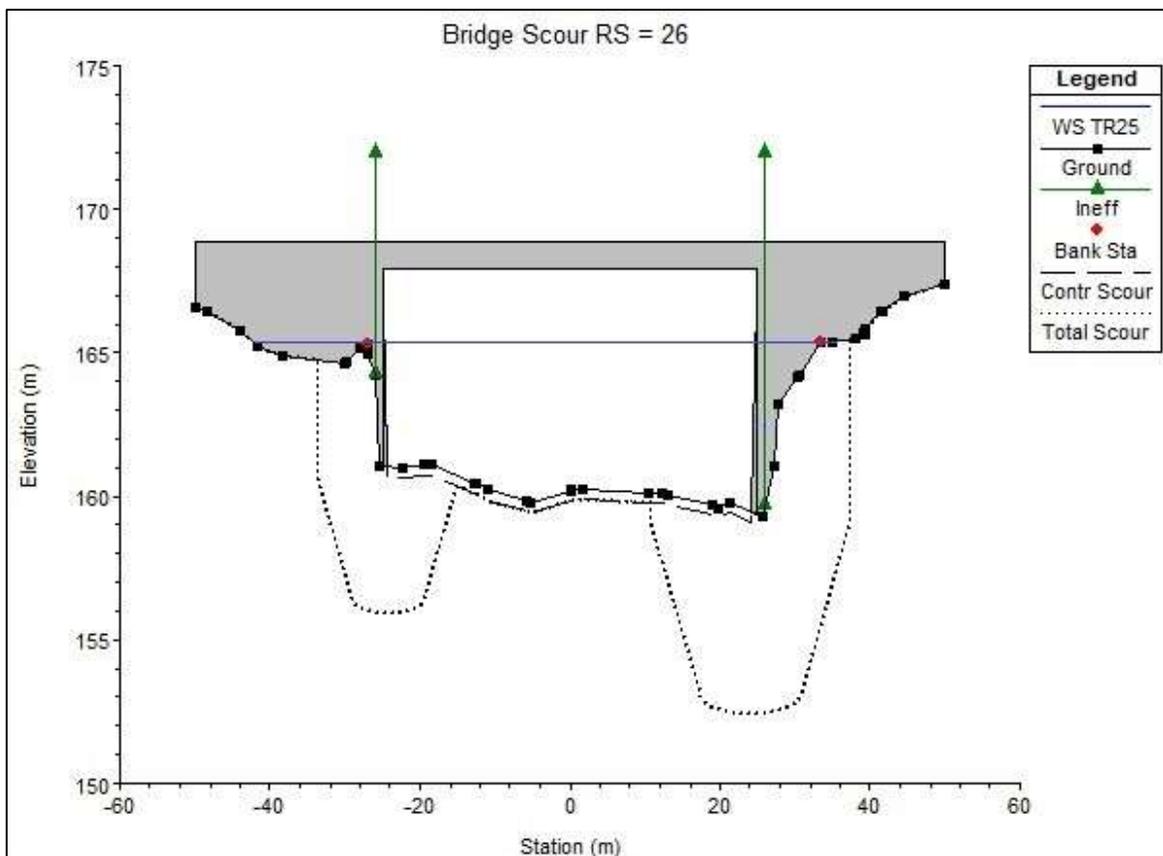
Tabla 38: Diámetro de las partículas usado para el análisis de socavación

D_{50}	Valor (mm)
Margen derecha	9.5
Margen izquierda	9.3
Centro del cauce	10.52

Fuente: Elaboración propia

5.3.6.1 Período de retorno 25 años

Gráfica 19: Modelación de la socavación para el TR 25 años



Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Resultados del análisis de socavación para el TR 25 años

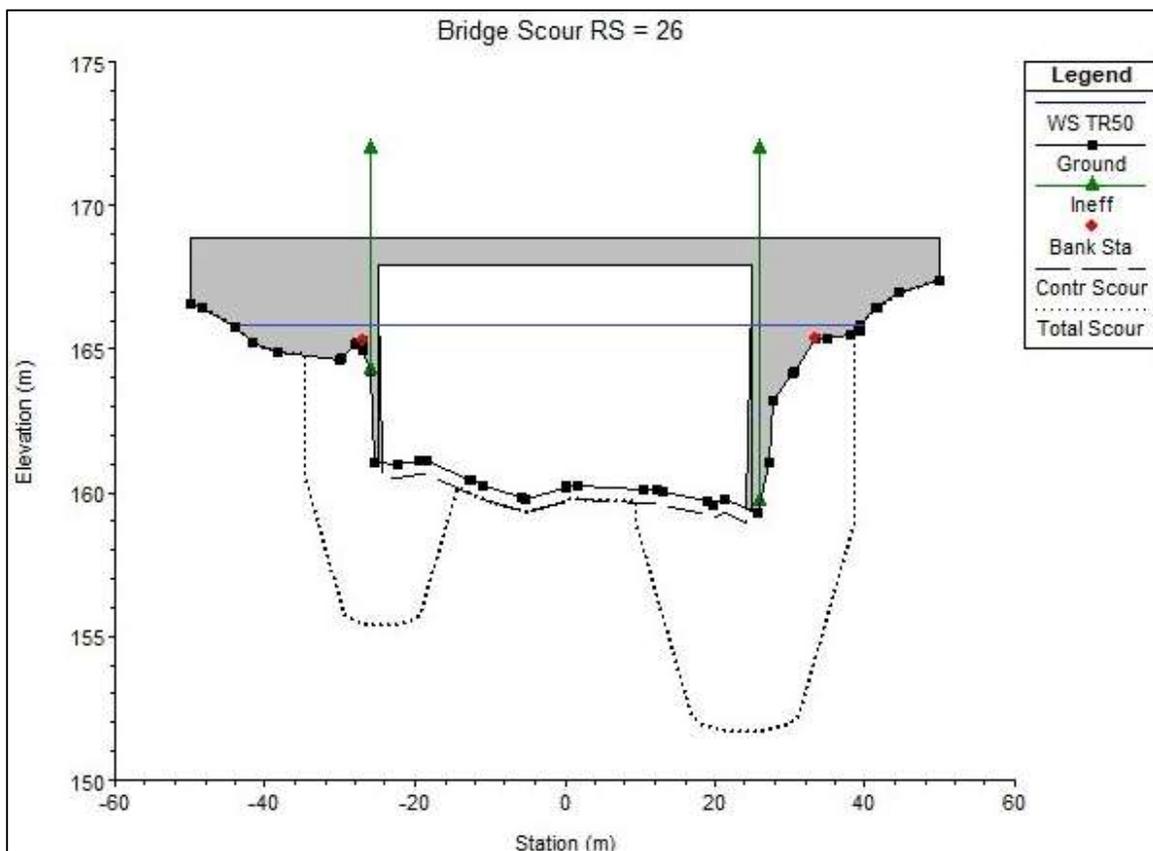
Contraction scour			
	Left	Channel	Right
Ys (m):		0.35	
Vc (m/s):		1.44	
Equation:		Live	
Abutment Scour			
	Left	Right	
Ys (m):	4.74	6.67	
Qe/Ae = Ve:	1.67	1.67	
Froude #:	0.38	0.38	
Equation:	Froehlich	Froehlich	
Combined Scour Depths			
Left abutment scour + contraction scour (m):			5.09
Right abutment scour + contraction scour (m):			7.03

Fuente: Elaboración propia

La modelación en el software en relación a la socavación, refleja una profundidad de 0.35 m de socavación por contracción. La profundidad de socavación para los estribos muestra 4.74 m para el estribo izquierdo y 6.67 m para el derecho. La socavación combinada es de 5.09 m para el estribo izquierdo y 7.03 m para el estribo derecho. El caudal analizado es 1219.9 mcs para el TR 25 años.

5.3.6.2 Período de retorno 50 años

Gráfica 20: Modelación de la socavación para el TR 50 años



Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Resultados del análisis de socavación para el TR 50 años

Contraction scour			
	Left	Channel	Right
Ys (m):		0.47	
Vc (m/s):		1.47	
Equation:		Live	
Abutment Scour			
	Left	Right	
Ys (m):	5.2	7.3	
Qe/Ae = Ve:	1.77	1.77	
Froude #:	0.38	0.38	
Equation:	Froehlich	Froehlich	

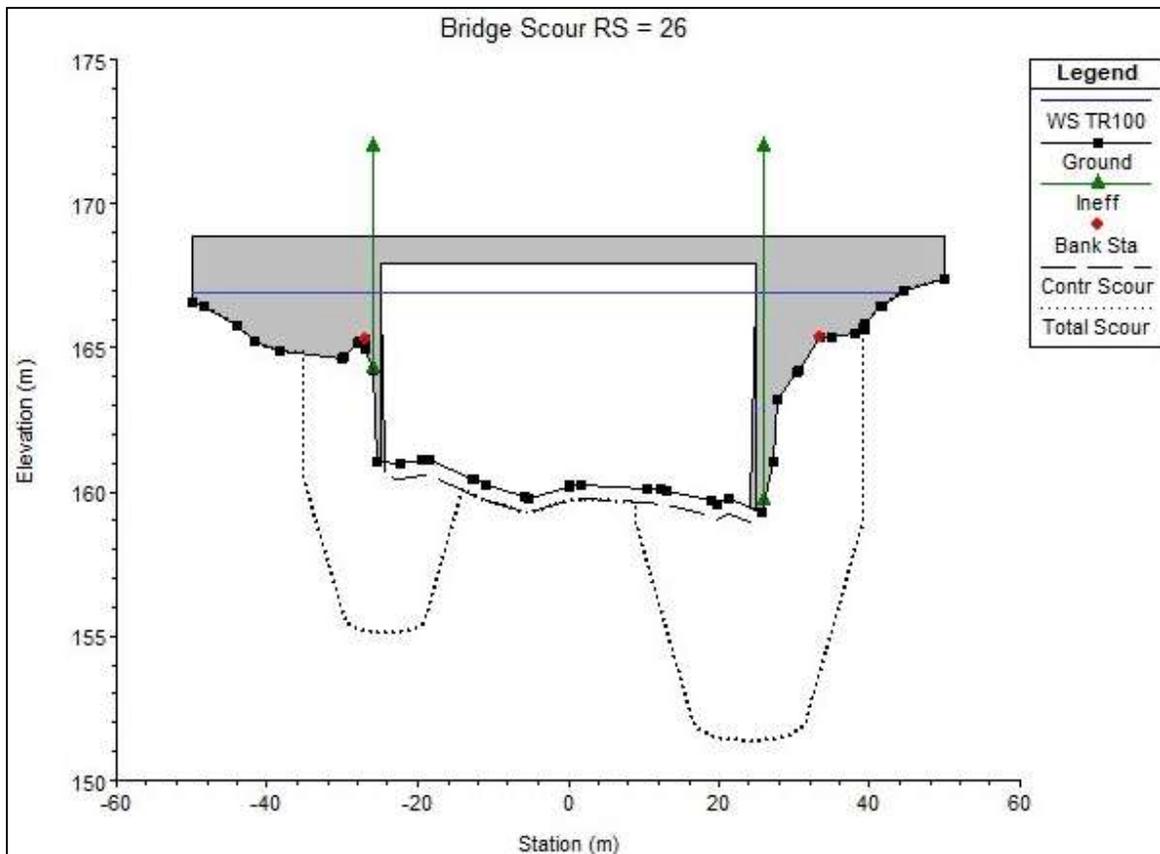
Combined Scour Depths	
Left abutment scour + contraction scour (m):	5.67
Right abutment scour + contraction scour (m):	7.77

Fuente: Elaboración propia

La modelación en el software en relación a la socavación, refleja una profundidad de 0.47 m de socavación por contracción. La profundidad de socavación para los estribos muestra 5.2 m para el estribo izquierdo y 7.3 m para el derecho. La socavación combinada es de 5.67 m para el estribo izquierdo y 7.77 m para el estribo derecho. El caudal usado en el análisis es 1588.3 mcs para el TR 50 años.

5.3.6.3 Período de retorno 100 años

Gráfica 21: Modelación de la socavación para el TR 100 años



Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Resultados del análisis de socavación para el TR 100 años

Contraction scour			
	Left	Channel	Right
Ys (m):		0.51	
Vc (m/s):		1.48	
Equation:		Live	
Abutment Scour			
	Left	Right	
Ys (m):	5.4	7.57	
Qe/Ae = Ve:	1.82	1.82	
Froude #:	0.38	0.38	
Equation:	Froehlich	Froehlich	
Combined Scour Depths			
Left abutment scour + contraction scour (m):			5.91
Right abutment scour + contraction scour (m):			8.08

Fuente: Elaboración propia

La modelación en el software en relación a la socavación, refleja una profundidad de 0.51 m de socavación por contracción. La profundidad de socavación para los estribos muestra 5.4 m para el estribo izquierdo y 7.57 m para el derecho. La socavación combinada es de 5.91 m para el estribo izquierdo y 8.08 m para el estribo derecho. El caudal usado en el análisis es 2052.7 mcs para el TR 100 años.

5.4 Diseño de protección frente a los efectos de la socavación

El cálculo para protección de los estribos del puente Santa Rosa del Peñón, se procederá a realizar con el método del "Bureau de Reclamación". Ya que la estructura del puente no posee pilas, con este método es suficiente para calcular los diámetros de piedras para levantar un enrocado que sirva de protección a los estribos del puente en cuestión.

$$D_{100} = \frac{0.0668 * 6.58^2}{2.65 - 1} = 1.75 \text{ m}$$

El valor del D_{100} calculado es de 1.75m, (69 pulg.), el cual es considerablemente mayor a los presentados en la tabla 14, de los tamaños mínimos y máximos permitidos para realizar un diseño de protección de enrocado. Por tal razón se tomará un valor medio, que sea económicamente viable, factible al momento de su construcción, tomando en cuenta los recursos y mano de obra locales, pero que de igual forma responda a las demandas de protección frente a la socavación estimada por el software HEC-RAS. Se tomará la clase VII como diseño del enrocado. La gradación de dicho material se presenta a continuación:

Tabla 42: Gradación del material usado para el enrocado propuesto en los estribos

Diámetro	Ancho (pulg)
D15	14.5
D50	23
D85	31
D100	48

Fuente: Elaboración propia

El espesor del enrocado no debe ser menor al $D_{100} = 69$ pulgadas (1.75 m), por lo que se propone un espesor de 2 m, para su facilidad en la construcción, mientras que el pie del enrocado será de 7.5 m, lo cual es su extensión máxima recomendable, desde la punta del estribo hacia el canal del puente. La longitud total del enrocado, debe cubrir la extensión total del estribo, el cual es de 21 metros, 7 metros por cada aleta (posee 3 aletas).

CONCLUSIONES

- ✚ Al encontrar las características morfológicas de la cuenca, se obtuvo el valor del área de la misma, siendo su extensión de 247.989 km², clasificándola como cuenca pequeña, según los estándares del MTI. En algunas tablas, se observa el valor del área de la cuenca como 248.1 km², lo que genera un error de 0.11 km² en los diferentes modelos que genera el ArcGis 9.3. Este error es despreciable en consideración a la extensión total de la cuenca, ya que es un error mínimo generado en los sistemas de información geográfica (SIG). Un hallazgo importante encontrado es la diferencia de elevaciones, siendo la elevación máxima de 1568 msnm y la menor de 144 msnm, lo que indica que se generan grandes pendientes a lo largo de la cuenca y también la diferencia de temperaturas y de precipitaciones que no son regulares en la parte alta y baja de la cuenca.
- ✚ El análisis hidrológico realizado por medio del modelo del software HEC-HMS 4.0, muestra caudales considerablemente grandes en comparación con el caudal anterior que el MTI utilizó para el diseño (715.44 mcs, para TR50). En este estudio se alcanzó un caudal para el TR 50 años, de 1588.3 mcs, lo que duplica el caudal de diseño anterior, mientras que para el período de retorno máximo analizado, presenta un caudal de 2052.7 mcs. Un punto muy importante a mencionar, es el empleo del coeficiente por condiciones del cambio climático (KCC), el cual, genera un aumento apreciable en el hietograma de lluvia, que a su vez afecta directamente al caudal pico que transitará por el punto de cierre en cuestión. El KCC, realiza un ajuste más realista por las condiciones actuales de precipitación y es menester el uso de éste en todo estudio de hidrología.
- ✚ Por medio de la modelación hidráulica en el programa HEC-RAS 4.1.0, se observa que el puente apenas trabaja por debajo de su capacidad para todos los eventos analizados. Se presenta un borde libre de 2.65m, para el TR 25 años y 1.11m para el caudal máximo (TR 100 años). Del mismo modo, en el

análisis de socavación se presentan profundidades relevantes, desde 7.03 m para el TR 25 años, hasta 8.08 m para el TR 100 años. Es necesario mencionar que el software HEC-RAS muestra un estimado de la socavación, considerando que todo el suelo por debajo, tiene las mismas características que las muestras de suelo tomadas, de las cuales se realizó el estudio de granulométrico de suelo. La estimación de la socavación, tiene muchos parámetros, y no se puede calcular a ciencia cierta la profundidad exacta de socavación, sino que los métodos hidráulicos que existen en la actualidad, solo brindan estimaciones a considerar para el diseño de cualquier obra que mitigue tales efectos.

RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda que para futuros estudios hidrotécnicos, se utilicen las mismas herramientas informáticas, además de apoyarse con las cartas topográficas del área de estudio y así corregir la delimitación que genera el programa ArcGIS, la cual se logró apreciar un error de 0.11 km^2 en la delimitación de la cuenca y en los modelos que genera el software, ya que en este trabajo no se pudo contar con estos datos para realizar ajustes al modelo.
- ✚ Todas las cuencas a nivel nacional, han sufrido grandes cambios en el uso del suelo. Esto afecta directamente en los niveles de escorrentía que se generan ante los eventos de precipitación, por lo que es recomendable reforestar las áreas de la parte alta y media de la cuenca, y de igual forma, las áreas de la parte baja que no son utilizadas para la ganadería. Es necesario crear una conciencia ambiental en la población para tal fin.
- ✚ En el estudio hidráulico se muestran caudales mucho mayores a los que se presentaban tiempo atrás cuando el puente actual fue diseñado, esto debido a la disminución en la infiltración de las precipitaciones, ya que el uso de suelo ha sido afectado notablemente, por efectos de la agricultura, ganadería y otras actividades que el ser humano realiza en toda el área de la cuenca. El puente actual apenas logra evacuar las demandas de caudal que se presentan, por lo que es recomendable un cambio en el diseño del puente actual y a su vez de su construcción.
- ✚ Los resultados de los efectos de la socavación, muestran profundidades muy notorias. Para evitar un colapso de la estructura, se recomienda un estudio de suelo SPT, más detallado, realizado por un ingeniero geotécnico, para descartar variaciones en los resultados. HEC-RAS considera que debajo del puente, existe un solo estrato de suelo, con las características del suelo presentado a través del estudio de suelo, y no se sabe si hay un manto rocoso que desprece una profundidad de socavación de tal magnitud. Es necesario

que el ingeniero geotécnico, realice un diseño apropiado para mitigar los efectos de la socavación y de esta forma, brindarle a la estructura, un grado más de seguridad, frente a cualquier evento meteorológico y huracanes que son comunes en la zona del pacífico de nuestro país. Como obra de protección ante los efectos de socavación, en este estudio se ha diseñado un enrocado para este fin, pero es necesario que un ingeniero especialista en suelos realice un diseño más detallado y de acorde a lo que muestre el estudio SPT que éste debe realizar.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Alcaldía de Managua. (2012). *Reglamento de Drenaje Pluvial para el Municipio de Managua*. Managua.

Antonio Campa, F. A. (2015). *Universidad de Chihuahua, Recuperado de http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v9n1/data/Metodos_para_el_calculo_de_la_socavacion_local_en_pilas_de_puentes.pdf*

Aparicio Mijares, F. J. (2005). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa.

Banco Central de Nicaragua (2017), *Cartografía Digital y Censo de Edificaciones de la Cabecera Municipal de Santa Rosa del Peñón*. Managua.

Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*.

Chereque Morán, W. (s.f.). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil* (Segunda ed.). Lima, Perú.

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Illinois: Mc Graw Hill.

Chow, V., Maidment, D., (&) Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa Fé de Bogotá: McGRAW-HILL.

Corea y Asociados S.A. (CORASCO). (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Mayor*. Managua.

Corea y Asociados S.A. (CORASCO). (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Hidrotécnicos de Drenaje Menor*. Managua.

Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda Edición ed.). WASA-GN.

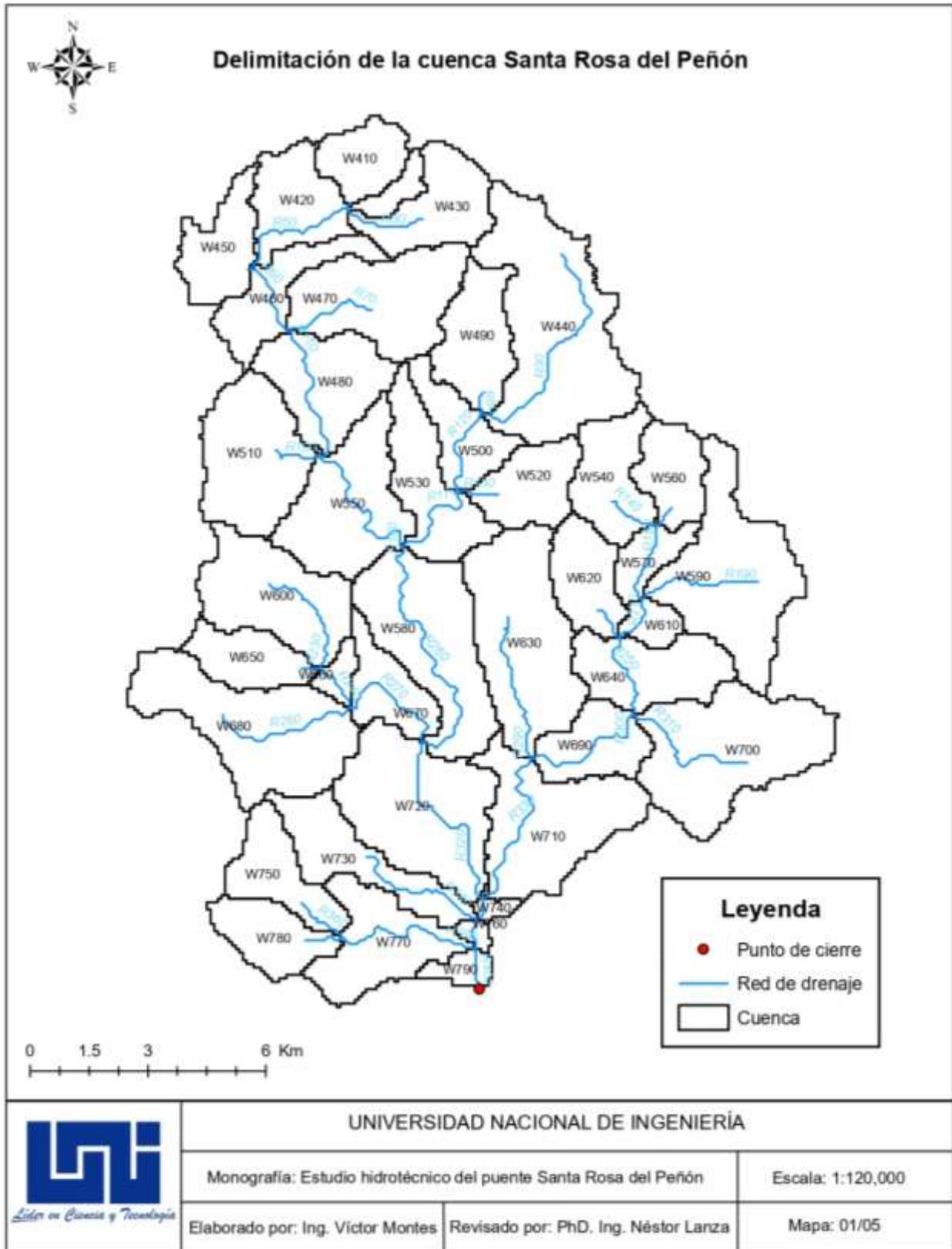
Federal Highway Administration, (10 de 08 de 2018). *Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition Volume 2*. Recuperado de U.S. Department of Transportation: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/pubs/09111/09112.pdf>

Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal. (2012). *Ficha técnica Municipal, Santa Rosa del Peñón*. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Santa_Rosa_del_Peñón_\(Nicaragua\)](https://www.ecured.cu/Santa_Rosa_del_Peñón_(Nicaragua))

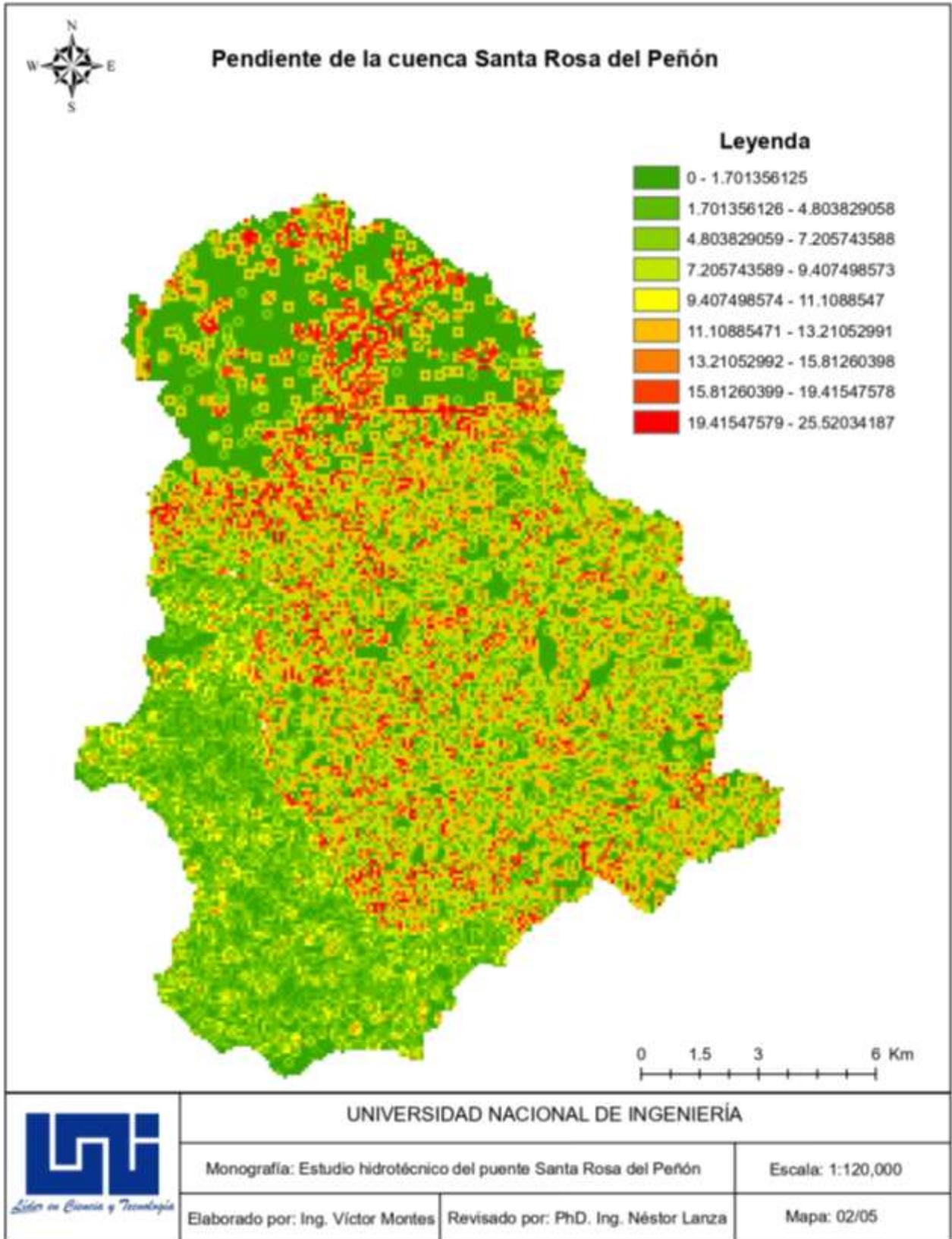
- Jardí, M. (1985). Forma de una Cuenca de Drenaje. *Revista de Geografía, XIX*.
- Lanza Mejía, N. J. (2008). *Introducción a la Hidrotecnia Vial*. Managua.
- Lanza Mejía, N. J. (2012). *Análisis Hidráulico de Puente*. Managua.
- Lanza Mejía, N. J. (2012). *Hidráulica de Canales. Capítulo 3*. Managua.
- Lanza Mejía, N. J. (2012). *Hidrología para Ingenieros Civiles*. Managua.
- Linsley, R., Kohler, M., (&) Paulus, J. (1981). *Hidrología para ingenieros*. México D.F.: McGraw-HILL.
- Magette. (1986). *Morphometry of Drainage Basins*.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (2012). *Situación de los puentes de la Red Vial Nacional*. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (2013). *Informe final del estudio hidrotécnico del puente del Río Santa Rosa del Peñón*. Managua
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (s.f.). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*, Perú.
- Montserrat. (1985), *Revista de Geografía, vol. XIX: Forma de una cuenca de drenaje*. Barcelona.
- Universidad del Cauca (2010). Recuperado de http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/Bibliografia/20_SOCAVACION_PUENTES_7_MEDIDAS_PROTECCION.pdf
- US Army of Engineering Corps. (2016). *Hydraulic Reference Manual HEC-RAS Version 5.0*. Recuperado de Hydrologic Engineering Center's: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>

ANEXOS

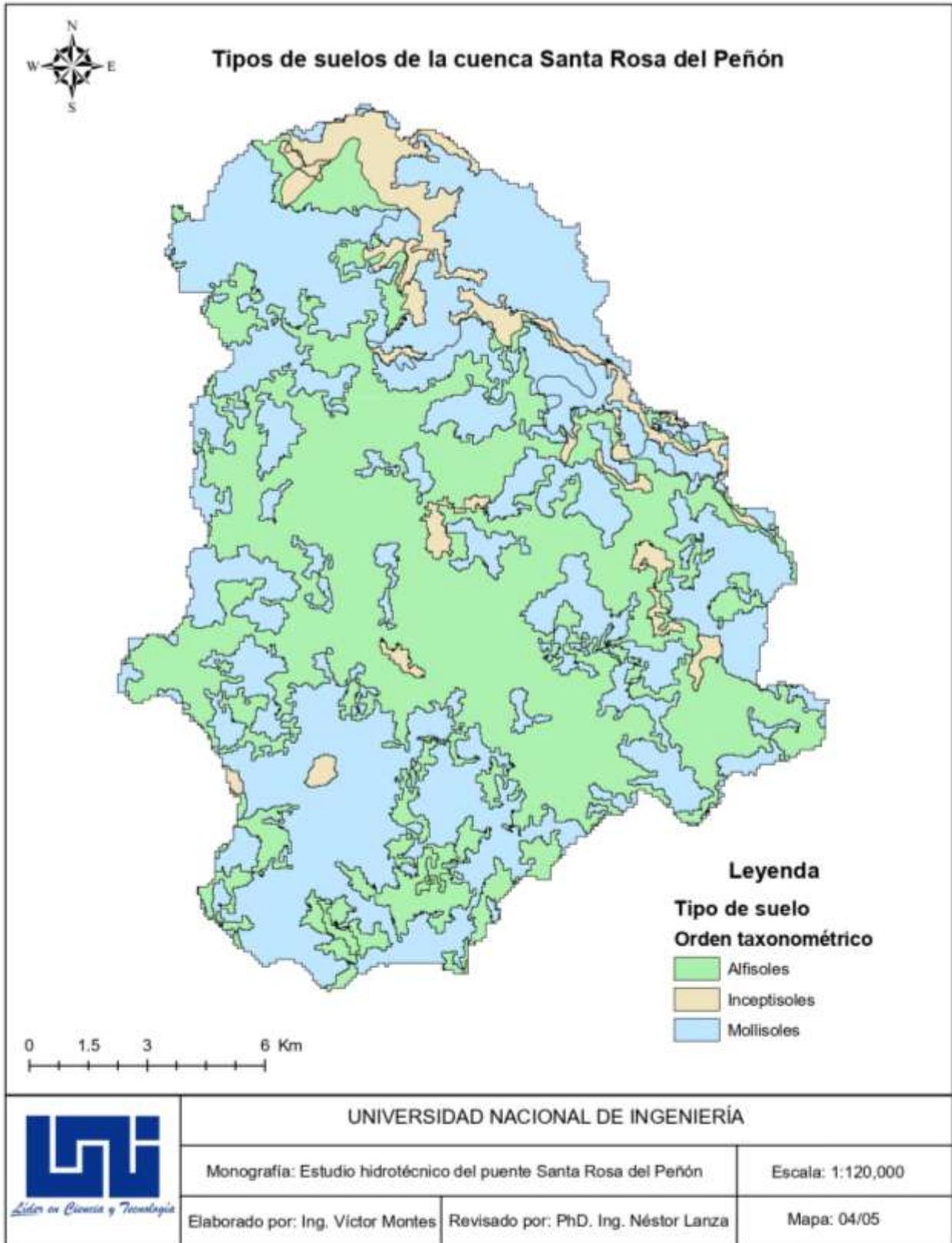
Anexo 1: Delimitación de la cuenca Santa Rosa del Peñón



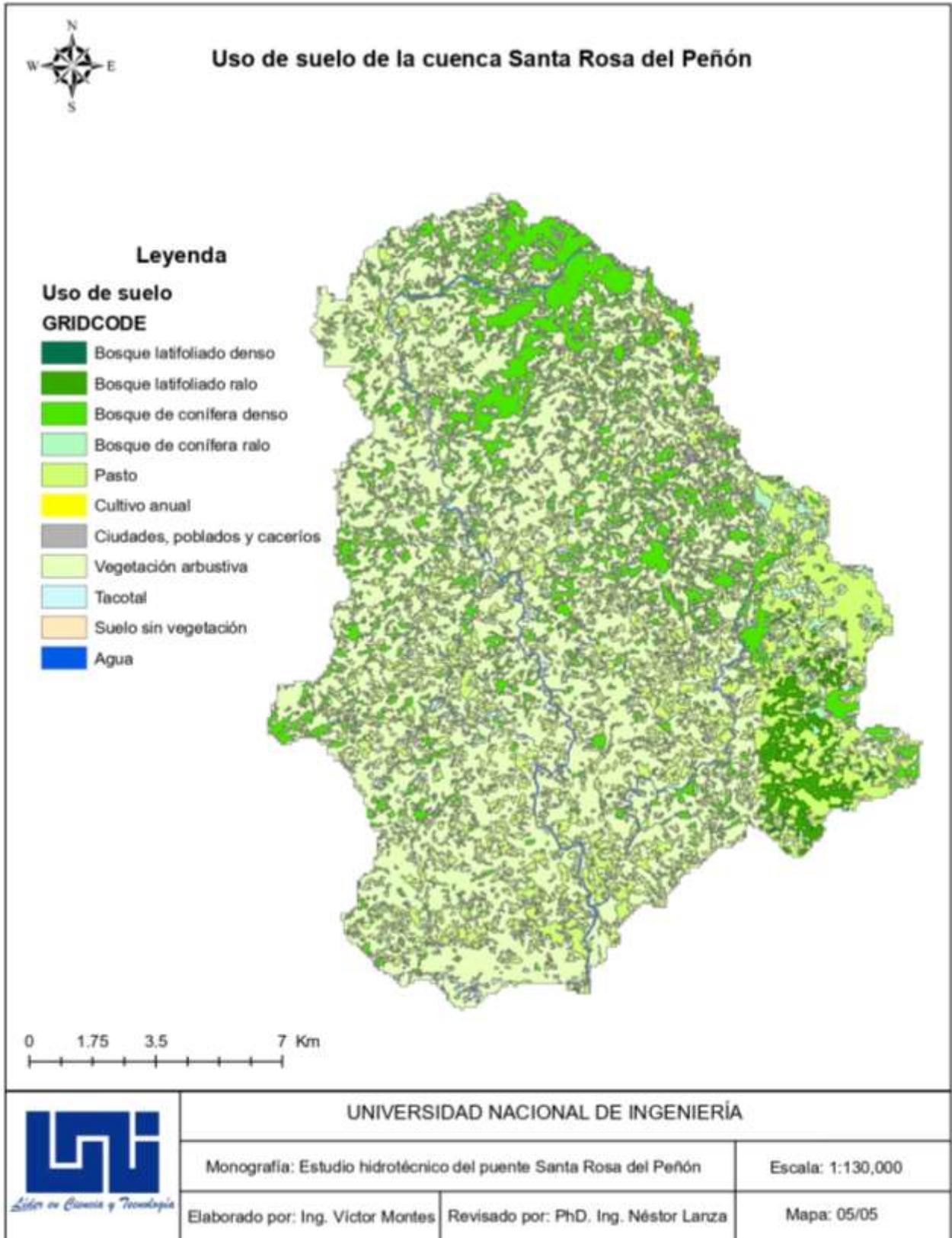
Anexo 2: Pendiente de la cuenca Santa Rosa del Peñón



Anexo 3: Tipos de suelos de la cuenca Santa Rosa del Peñón



Anexo 4: Uso de suelo de la cuenca Santa Rosa del Peñón



Anexo 5: Curvas IDF de la estación San Isidro

COMPARACIONES ENTRE DESV. MAXIMA Y EL VALOR CRITICO DE KOLGOMOROV(KV) PARA EL AJUSTE ANALITICO A LA DISTRIBUCION DE GUMBELL TIPO I

DURACION MINUTOS	DESV. MAXIMA DM	KV	DESV.
5	0.104	0.231	SAJ
10	0.223	0.231	SAJ
15	0.121	0.231	SAJ
30	0.098	0.231	SAJ
60	0.135	0.231	SAJ
120	0.138	0.231	SAJ
360	0.078	0.231	SAJ

SE ACEPTA EL AJUSTE (SAJ), SI $DM < KV$, CON UN NIVEL DE SIGNIFICACION DE 0.05
NO SE ACEPTA EL AJUSTE (SAJ), SI $DM > KV$.

INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO Y OBTENIDAS A TRAVES DEL AJUSTE ANALITICO

	5	10	15	30	60	120	360
1.5 años	122.6	94.9	78.0	53.0	33.1	18.9	8.9
2 años	135.1	102.1	85.1	59.1	37.5	21.4	10.5
5 años	165.9	119.8	101.1	74.1	48.2	27.5	14.3
10 años	186.3	131.5	111.7	84.0	55.4	31.6	16.8
15 años	197.8	138.2	117.7	89.6	59.4	33.9	18.2
25 años	212.0	148.4	125.1	96.5	64.4	36.8	20.0
50 años	231.1	157.3	135.1	105.8	71.0	40.6	22.4
100 años	250.0	165.3	144.0	115.0	77.7	44.5	24.7

PARAMETROS DE AJUSTE PARA LAS ECUACIONES DE LA FORMA $I = A/(t+d)^b$

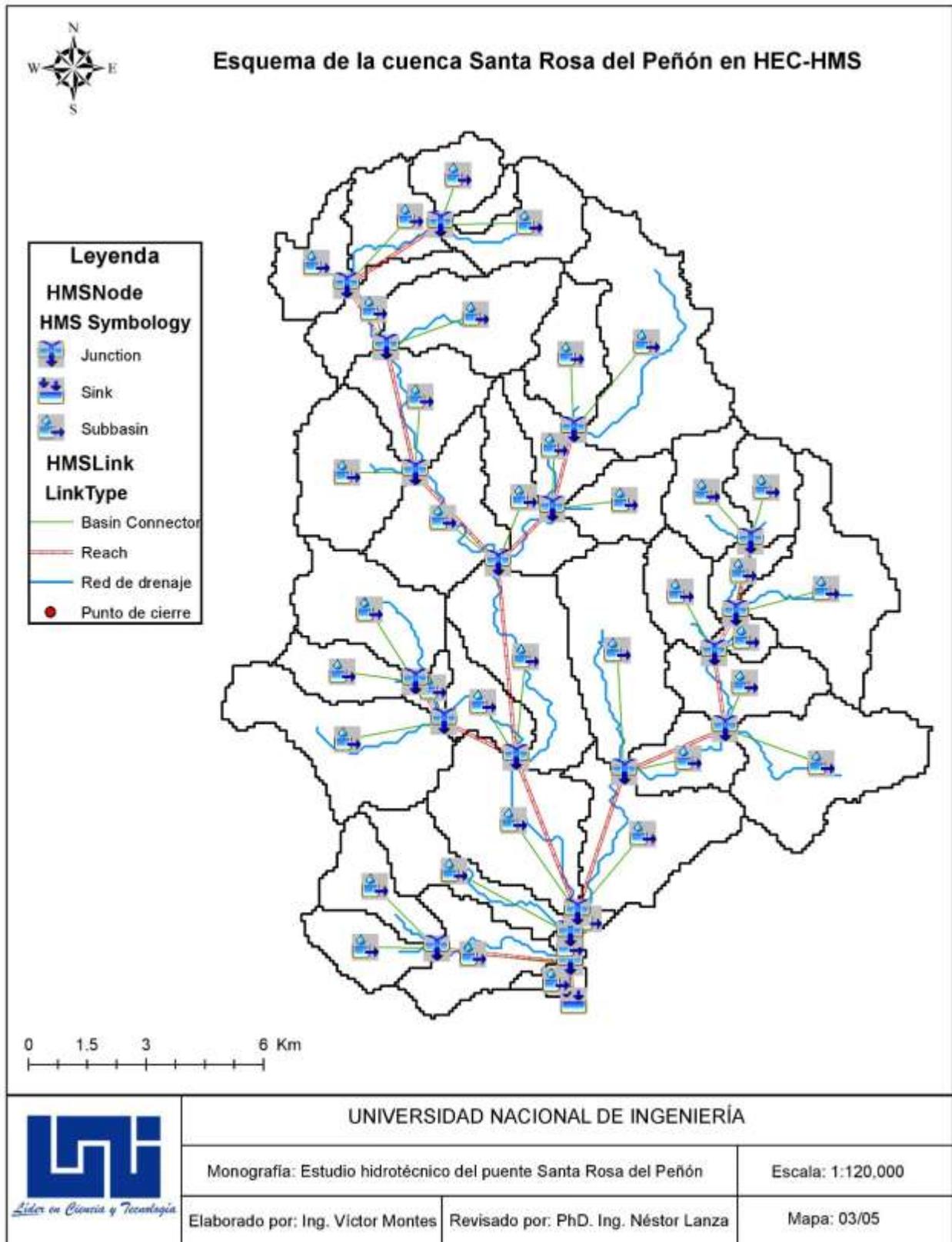
T. Años	r	A	d	b
1.5	-0.9993	707.427	5.0	0.741
2	-0.9992	727.195	5.0	0.719
5	-0.9985	1026.563	8.0	0.730
10	-0.9973	1266.463	10.0	0.740
15	-0.9966	1404.439	11.0	0.745
25	-0.9967	1252.745	9.0	0.708
50	-0.9964	1210.417	8.0	0.684
100	-0.9960	1185.342	7.0	0.661

INTENSIDADES EN (mm/h) OBTENIDAS DEL AJUSTE
ESTACION: SAN ISIDRO

	Tiempo en Minuto						
	5	10	15	30	60	120	360
1.5 años	128.4	95.1	76.8	50.8	32.1	19.8	8.9
2 años	138.8	103.7	84.3	56.4	36.1	22.6	10.4
5 años	157.8	124.4	104.0	72.1	47.1	29.7	13.7
10 años	170.6	137.8	110.9	82.5	54.5	34.5	15.9
15 años	178.1	145.4	124.0	88.3	58.7	37.2	17.1
25 años	193.3	155.7	132.0	93.6	62.5	40.1	19.1
50 años	211.2	169.1	143.0	101.5	68.2	44.2	21.5
100 años	229.6	182.4	153.8	109.1	73.7	48.3	24.0



Anexo 6: Resultados del análisis hidrológico para cada elemento del río Santa Rosa



En el esquema anterior de la cuenca Santa Rosa del Peñón, se identifican los nombres de cada punto de control que posee la cuenca, para una mejor identificación de los resultados presentados a continuación.

Para el periodo de retorno de 25 años se tienen los siguientes resultados del análisis hidrológico de cada componente que conforma la cuenca.

Tabla 43: Resultado de la simulación hidrológica en HMS para el TR 25 años

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
W790	1.210352	13.9	04nov2019, 02:20	67.75
W780	4.223536	34.4	04nov2019, 03:00	67.71
W770	6.889696	45	04nov2019, 03:30	67.13
W760	0.50784	8.2	04nov2019, 02:00	68.68
W750	4.722912	38.7	04nov2019, 03:00	68.94
W740	0.567088	7.1	04nov2019, 02:10	65.36
W730	6.1364	36.6	04nov2019, 03:50	69.6
W720	12.010416	60.6	04nov2019, 03:40	56.45
W710	10.224512	48.5	04nov2019, 03:40	52.46
W700	12.382832	49.8	04nov2019, 04:00	49.42
W690	4.375888	23.1	04nov2019, 03:20	49.37
W680	12.255872	74.1	04nov2019, 03:40	66.42
W670	3.97808	19.4	04nov2019, 03:20	46.9
W660	1.125712	9.5	04nov2019, 02:30	53.62
W650	3.901904	30	04nov2019, 03:10	67.56
W640	6.229504	39.3	04nov2019, 03:00	50.51
W630	11.968096	48.2	04nov2019, 04:00	48.36

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
W620	4.333568	24.2	04nov2019, 03:10	49.13
W610	1.506592	10.9	04nov2019, 02:30	46.66
W600	8.616352	69.2	04nov2019, 03:00	69.87
W590	11.832672	46.9	04nov2019, 04:00	48.63
W580	11.053984	42.2	04nov2019, 04:10	48.28
W570	2.36992	15.3	04nov2019, 02:50	49.65
W560	3.842656	23.1	04nov2019, 03:00	48.49
W550	9.208832	49.2	04nov2019, 03:30	53.32
W540	5.24768	25.1	04nov2019, 03:30	47.44
W530	6.449568	27.9	04nov2019, 03:40	47.18
W520	4.553632	18.3	04nov2019, 03:40	42.96
W510	8.794096	65.5	04nov2019, 03:00	60.94
W500	4.215072	22.9	04nov2019, 03:10	47.76
W490	5.645488	45.7	04nov2019, 02:50	63.49
W480	7.06744	62.7	04nov2019, 02:50	68.04
W470	9.293472	91.9	04nov2019, 02:50	75.6
W460	4.773696	56.7	04nov2019, 02:40	89.42
W450	4.494384	57	04nov2019, 02:30	81.72
W440	16.140848	88.4	04nov2019, 04:00	66.34
W430	5.687808	63.4	04nov2019, 02:30	75.95
W420	6.584992	70.3	04nov2019, 03:00	89.31
W410	3.563344	52.9	04nov2019, 02:10	78.49

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
Outlet1	247.986736	1219.9	04nov2019, 05:00	59.99
J84	8.946448	73.2	04nov2019, 03:00	68.36
J87	246.776384	1222.9	04nov2019, 04:50	59.97
J94	230.4324	1165.7	04nov2019, 04:40	59.42
J99	223.728912	1139.1	04nov2019, 04:40	59.13
J104	47.745424	203.3	04nov2019, 03:40	48.96
J107	64.089408	267.6	04nov2019, 04:00	48.86
J110	25.89984	174.7	04nov2019, 03:20	67.18
J113	137.404576	834.9	04nov2019, 04:10	64.71
J118	12.518256	99.1	04nov2019, 03:00	69.15
J125	29.133088	128.3	04nov2019, 03:30	48.45
J132	23.292928	100.7	04nov2019, 03:30	48.44
J139	9.090336	46.7	04nov2019, 03:10	47.89
J142	96.472672	681.6	04nov2019, 03:40	66.69
J149	30.55504	157.3	04nov2019, 03:30	59.75
J152	50.259232	466.5	04nov2019, 03:10	75.87
J157	21.786336	118.6	04nov2019, 03:30	65.6
J162	34.397696	364.2	04nov2019, 03:00	81.3
J167	20.330528	227.2	04nov2019, 02:40	82
J172	9.251152	110.3	04nov2019, 02:20	76.93
R50	9.251152	105.6	04nov2019, 02:40	76.93
R60	20.330528	221.6	04nov2019, 03:00	82

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
R110	34.397696	352.4	04nov2019, 03:20	81.3
R120	21.786336	118.4	04nov2019, 03:40	65.58
R160	50.259232	449.4	04nov2019, 03:40	75.87
R170	30.55504	156.5	04nov2019, 03:50	59.74
R180	9.090336	46.5	04nov2019, 03:20	47.89
R210	23.292928	100.5	04nov2019, 03:40	48.44
R240	12.518256	99.2	04nov2019, 03:10	69.15
R250	29.133088	126.9	04nov2019, 03:40	48.43
R270	25.89984	172.2	04nov2019, 03:40	67.18
R280	96.472672	634.9	04nov2019, 04:20	66.66
R300	47.745424	201	04nov2019, 04:00	48.94
R320	137.404576	806.3	04nov2019, 04:50	64.67
R330	64.089408	262.2	04nov2019, 04:20	48.82
R350	223.728912	1135.8	04nov2019, 04:40	59.13
R380	8.946448	69.8	04nov2019, 03:30	68.36
R390	230.4324	1165.6	04nov2019, 04:50	59.41
R400	246.776384	1219.6	04nov2019, 05:00	59.96

Fuente: Elaboración propia

Para el período de retorno de 50 años, se tienen los siguientes resultados del análisis hidrológico para cada componente que conforma la cuenca Santa Rosa:

Tabla 44: Resultados de la simulación hidrológica para el TR 50 años

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
W790	1.210352	17.7	04nov2019, 02:20	87.83
W780	4.223536	44.3	04nov2019, 03:00	87.79
W770	6.889696	58	04nov2019, 03:30	87.12
W760	0.50784	10.3	04nov2019, 01:50	88.9
W750	4.722912	49.7	04nov2019, 03:00	89.2
W740	0.567088	9.1	04nov2019, 02:10	85.07
W730	6.1364	47.1	04nov2019, 03:50	89.96
W720	12.010416	79.7	04nov2019, 03:40	74.53
W710	10.224512	64.2	04nov2019, 03:40	69.72
W700	12.382832	66.3	04nov2019, 04:00	66.02
W690	4.375888	30.7	04nov2019, 03:20	65.96
W680	12.255872	95.8	04nov2019, 03:40	86.3
W670	3.97808	25.9	04nov2019, 03:20	62.92
W660	1.125712	12.4	04nov2019, 02:30	71.14
W650	3.901904	38.6	04nov2019, 03:10	87.61
W640	6.229504	51.9	04nov2019, 03:00	67.35
W630	11.968096	64.2	04nov2019, 04:00	64.72
W620	4.333568	32.2	04nov2019, 03:10	65.66
W610	1.506592	14.4	04nov2019, 02:30	62.62

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
W600	8.616352	88.7	04nov2019, 03:00	90.26
W590	11.832672	62.5	04nov2019, 04:00	65.05
W580	11.053984	56.3	04nov2019, 04:10	64.61
W570	2.36992	20.2	04nov2019, 02:50	66.3
W560	3.842656	30.7	04nov2019, 03:00	64.88
W550	9.208832	65	04nov2019, 03:30	70.77
W540	5.24768	33.5	04nov2019, 03:30	63.59
W530	6.449568	37.3	04nov2019, 03:40	63.26
W520	4.553632	24.6	04nov2019, 03:40	58.02
W510	8.794096	85.2	04nov2019, 03:00	79.88
W500	4.215072	30.5	04nov2019, 03:10	63.97
W490	5.645488	59.2	04nov2019, 02:50	82.88
W480	7.06744	80.5	04nov2019, 02:50	88.16
W470	9.293472	116.4	04nov2019, 02:50	96.78
W460	4.773696	70.3	04nov2019, 02:40	112
W450	4.494384	71.2	04nov2019, 02:30	103.6
W440	16.140848	114.4	04nov2019, 04:00	86.19
W430	5.687808	80.3	04nov2019, 02:30	97.17
W420	6.584992	87.2	04nov2019, 03:00	111.88
W410	3.563344	66.4	04nov2019, 02:10	100.02
Outlet1	247.986736	1588.3	04nov2019, 05:00	78.47
J84	8.946448	94	04nov2019, 03:00	88.54

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
J87	246.776384	1592.3	04nov2019, 04:50	78.45
J94	230.4324	1518.9	04nov2019, 04:40	77.79
J99	223.728912	1483.7	04nov2019, 04:40	77.44
J104	47.745424	270.7	04nov2019, 03:40	65.45
J107	64.089408	356.3	04nov2019, 04:00	65.33
J110	25.89984	225.1	04nov2019, 03:20	87.16
J113	137.404576	1077.1	04nov2019, 04:10	83.99
J118	12.518256	127.3	04nov2019, 03:00	89.44
J125	29.133088	170.9	04nov2019, 03:30	64.82
J132	23.292928	134.2	04nov2019, 03:30	64.82
J139	9.090336	62.2	04nov2019, 03:10	64.14
J142	96.472672	874.3	04nov2019, 03:40	86.27
J149	30.55504	205.5	04nov2019, 03:30	78.3
J152	50.259232	591.1	04nov2019, 03:10	96.92
J157	21.786336	153.7	04nov2019, 03:30	85.33
J162	34.397696	456.9	04nov2019, 03:00	103.07
J167	20.330528	284.8	04nov2019, 02:40	103.86
J172	9.251152	139.1	04nov2019, 02:20	98.27
R50	9.251152	133.4	04nov2019, 02:40	98.27
R60	20.330528	277.8	04nov2019, 03:00	103.86
R110	34.397696	442.6	04nov2019, 03:20	103.07
R120	21.786336	153.4	04nov2019, 03:40	85.31

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
R160	50.259232	569.4	04nov2019, 03:40	96.92
R170	30.55504	204.5	04nov2019, 03:50	78.28
R180	9.090336	61.9	04nov2019, 03:20	64.14
R210	23.292928	133.9	04nov2019, 03:40	64.81
R240	12.518256	127.3	04nov2019, 03:10	89.44
R250	29.133088	169	04nov2019, 03:40	64.81
R270	25.89984	222	04nov2019, 03:40	87.15
R280	96.472672	815.5	04nov2019, 04:20	86.23
R300	47.745424	267.6	04nov2019, 04:00	65.42
R320	137.404576	1040.1	04nov2019, 04:50	83.95
R330	64.089408	349.3	04nov2019, 04:20	65.28
R350	223.728912	1480.4	04nov2019, 04:40	77.43
R380	8.946448	89.7	04nov2019, 03:30	88.54
R390	230.4324	1518.2	04nov2019, 04:50	77.77
R400	246.776384	1587.9	04nov2019, 05:00	78.43

Fuente: Elaboración propia

Para el período de retorno de 50 años, se tienen los siguientes resultados del análisis hidrológico para cada componente que conforma la cuenca Santa Rosa:

Tabla 45: Resultados de la simulación hidrológica para el TR 100 años

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
W790	1.210352	22.5	04nov2019, 02:20	112.92
W780	4.223536	56.5	04nov2019, 03:00	112.87
W770	6.889696	74.3	04nov2019, 03:30	112.11
W760	0.50784	13.1	04nov2019, 01:50	114.13
W750	4.722912	63.2	04nov2019, 03:00	114.48
W740	0.567088	11.6	04nov2019, 02:10	109.77
W730	6.1364	60.2	04nov2019, 03:50	115.32
W720	12.010416	103.9	04nov2019, 03:40	97.54
W710	10.224512	84.2	04nov2019, 03:40	91.84
W700	12.382832	87.5	04nov2019, 04:00	87.39
W690	4.375888	40.4	04nov2019, 03:20	87.33
W680	12.255872	122.8	04nov2019, 03:40	111.17
W670	3.97808	34.3	04nov2019, 03:20	83.65
W660	1.125712	16.2	04nov2019, 02:30	93.53
W650	3.901904	49.3	04nov2019, 03:10	112.67
W640	6.229504	68.1	04nov2019, 02:50	89.01
W630	11.968096	84.9	04nov2019, 04:00	85.83
W620	4.333568	42.3	04nov2019, 03:10	86.97
W610	1.506592	19	04nov2019, 02:30	83.29

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
W600	8.616352	112.9	04nov2019, 03:00	115.67
W590	11.832672	82.6	04nov2019, 04:00	86.22
W580	11.053984	74.4	04nov2019, 04:10	85.69
W570	2.36992	26.5	04nov2019, 02:50	87.75
W560	3.842656	40.4	04nov2019, 03:00	86.03
W550	9.208832	85	04nov2019, 03:30	93.09
W540	5.24768	44.2	04nov2019, 03:30	84.47
W530	6.449568	49.4	04nov2019, 03:40	84.07
W520	4.553632	32.8	04nov2019, 03:40	77.66
W510	8.794096	109.8	04nov2019, 03:00	103.79
W500	4.215072	40.2	04nov2019, 03:10	84.94
W490	5.645488	76	04nov2019, 02:50	107.26
W480	7.06744	102.4	04nov2019, 02:50	113.3
W470	9.293472	146.4	04nov2019, 02:50	122.96
W460	4.773696	86.5	04nov2019, 02:40	139.52
W450	4.494384	88.5	04nov2019, 02:30	130.46
W440	16.140848	146.8	04nov2019, 04:00	111.03
W430	5.687808	100.9	04nov2019, 02:30	123.4
W420	6.584992	107.5	04nov2019, 03:00	139.39
W410	3.563344	82.7	04nov2019, 02:10	126.55
Outlet1	247.986736	2052.7	04nov2019, 04:50	101.84
J84	8.946448	119.7	04nov2019, 03:00	113.72

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
J87	246.776384	2056.9	04nov2019, 04:50	101.8
J94	230.4324	1963.7	04nov2019, 04:40	101.02
J99	223.728912	1917.6	04nov2019, 04:40	100.62
J104	47.745424	357.2	04nov2019, 03:40	86.71
J107	64.089408	470.4	04nov2019, 04:00	86.56
J110	25.89984	287.8	04nov2019, 03:20	112.13
J113	137.404576	1379.3	04nov2019, 04:10	108.19
J118	12.518256	162.1	04nov2019, 03:00	114.74
J125	29.133088	225.6	04nov2019, 03:30	85.96
J132	23.292928	177.2	04nov2019, 03:30	85.95
J139	9.090336	82.1	04nov2019, 03:10	85.13
J142	96.472672	1113.6	04nov2019, 03:40	110.77
J149	30.55504	266.4	04nov2019, 03:30	101.74
J152	50.259232	743.8	04nov2019, 03:10	122.95
J157	21.786336	197.5	04nov2019, 03:30	110.05
J162	34.397696	569.9	04nov2019, 02:50	129.83
J167	20.330528	354.8	04nov2019, 02:40	130.69
J172	9.251152	174.3	04nov2019, 02:20	124.61
R50	9.251152	167.3	04nov2019, 02:40	124.61
R60	20.330528	346.2	04nov2019, 03:00	130.69
R110	34.397696	552.3	04nov2019, 03:20	129.83
R120	21.786336	197.2	04nov2019, 03:40	110.03

Hydrologic element	Drainage area (km ²)	Peak discharge (m ³ /s)	Time of peak	Volume (MM)
R160	50.259232	716.5	04nov2019, 03:40	122.95
R170	30.55504	264.9	04nov2019, 03:50	101.72
R180	9.090336	81.6	04nov2019, 03:20	85.13
R210	23.292928	176.8	04nov2019, 03:40	85.94
R240	12.518256	162.1	04nov2019, 03:10	114.74
R250	29.133088	223.1	04nov2019, 03:40	85.93
R270	25.89984	283.9	04nov2019, 03:40	112.12
R280	96.472672	1040.1	04nov2019, 04:20	110.73
R300	47.745424	353.2	04nov2019, 04:00	86.67
R320	137.404576	1331.6	04nov2019, 04:50	108.13
R330	64.089408	461.3	04nov2019, 04:20	86.49
R350	223.728912	1914.7	04nov2019, 04:40	100.61
R380	8.946448	114.4	04nov2019, 03:30	113.72
R390	230.4324	1962.1	04nov2019, 04:50	101.01
R400	246.776384	2051.9	04nov2019, 04:50	101.78

Fuente: Elaboración propia

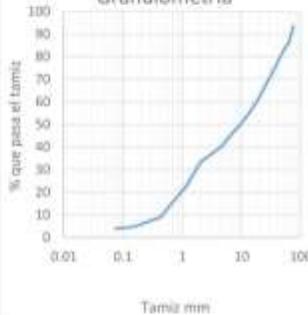
Anexo 7: Resultado del estudio de suelos realizado en el sitio

		LLANSA INGENIEROS S.A Proyecto: Puente Santa Rosa del peñón Análisis Granulométrico de Materiales	
Muestra N°	1	Ubicación:	500 metros Aguas Arriba del puente a una profundidad de 0 - 1 m de profundidad (margen derecho)
Descripción:	Arena limosa color café claro.		Fecha: 12/04/2019

Tamiz	Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz
N°	mm			
3"	75	1524	7	93
2 1/2"	62.5	1668	7	86
2"	50	943	4	82
1 1/2"	37.5	1547	7	76
1"	25	2030	9	67
3/4"	19	1373	6	61
1/2"	12.5	1700	7	54
3/8"	9.5	860	4	50
1/4"	6.3	1245	5	45
No. 4	4.75	973	4	41
Pasa No. 4		9468	41	
Suma		23331		

N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	91.2	7.4	66.8	33.2
No. 16	1.18	127.3	10.3	77.2	22.8
No. 40	0.425	171.3	13.9	91.1	8.9
No. 100	0.15	52.3	4.2	95.3	4.7
No. 200	0.075	9.6	0.8	96.1	3.9
Pasa No. 200		48.3	3.9		
Suma					

Granulometría



		1	2	3	4
Tara N°					
Peso de Tara					
Peso Húmedo + tara					
Peso Seco + Tara					
Humedad %					
Numero de golpes					
Limite Liquido			0.00		

N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	91.2	7.4	66.8	33.2
No. 16	1.18	127.3	10.3	77.2	22.8
No. 40	0.425	171.3	13.9	91.1	8.9
No. 100	0.15	52.3	4.2	95.3	4.7
No. 200	0.075	9.6	0.8	96.1	3.9
Pasa No. 200		48.3	3.9		
Suma					

Análisis Granulométrico De material Pasa 4

Tara	N
Peso Tara	0
Peso Sucio	500.0
Peso lavado seco	451.7

		1	2	3	4
Tara N°					
Peso de Tara					
Peso Húmedo + tara					
Peso Seco + Tara					
Humedad %					
Numero de golpes					
Limite Liquido			0.00		

N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	91.2	7.4	66.8	33.2
No. 16	1.18	127.3	10.3	77.2	22.8
No. 40	0.425	171.3	13.9	91.1	8.9
No. 100	0.15	52.3	4.2	95.3	4.7
No. 200	0.075	9.6	0.8	96.1	3.9
Pasa No. 200		48.3	3.9		
Suma					

Limite Liquido



		1	2	3	4
Tara N°					
Peso de Tara					
Peso Húmedo + tara					
Peso Seco + Tara					
Humedad %					
Limite Plástico					
LL					N/P
IP					N/P
Grupo					A-1-a (0)
IG					0

Clasificación del Material Método SUCS	
Descripción	

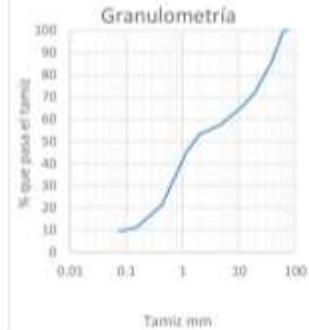


LLANSA INGENIEROS S.A

Proyecto: Puente Santa Rosa del peñón
Análisis Granulométrico de Materiales

Muestra N°	2	Ubicación	500 metros Aguas arriba del puente a una profundidad de 1m a mas (margen derecho)
Descripción:	Arena limosa color café claro.		Fecha: 12/04/2019

Tamiz	Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz
N°	mm			
3"	75	0	0	100
2 1/2"	62.5	0	0	100
2"	50	1025	6	94
1 1/2"	37.5	1400	9	85
1"	25	1275	8	77
3/4"	19	922	6	72
1/2"	12.5	865	5	67
3/8"	9.5	460	3	64
1/4"	6.3	590	4	60
No. 4	4.75	438	3	58
Pasa No. 4		9468	58	
Suma		16443		



N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	37.9	4.4	46.8	53.2
No. 16	1.18	68.85	7.9	54.7	45.3
No. 40	0.425	209.57	24.1	78.8	21.2
No. 100	0.15	87.6	10.1	88.9	11.1
No. 200	0.075	13.84	1.6	90.5	9.5
Pasa No. 200		82.84	9.5		
Suma					

Análisis Granulométrico De material Pasa 4

Tara	N
Peso Tara	0
Peso Sucio	500.0
Peso lavado seco	417.16

Tara N°	1	2	3	4
Peso de Tara				
Peso Húmedo + tara				
Peso Seco + Tara				
Humedad %				
Numero de golpes				



Tara N°	1	2	LL	N/P
Peso de Tara				
Peso Húmedo + tara			IP	N/P
Peso Seco + Tara			Grupo	A-1-b (0)
Humedad %			IG	0
Limite Plástico				

Clasificación del Material Método SUCS

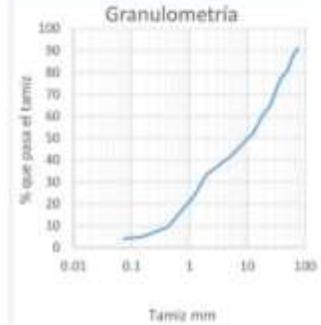
Descripción	
-------------	--



LLANSA INGENIEROS S.A
 Proyecto: Puente Santa Rosa del peñón
 Análisis Granulométrico de Materiales

Muestra N° 1 Ubicación: 100 metros Aguas abajo del puente a una profundidad de 0 - 1 m de profundidad (centro del cauce)
 Descripción: Arena limosa color café claro. Fecha: 12/04/2019

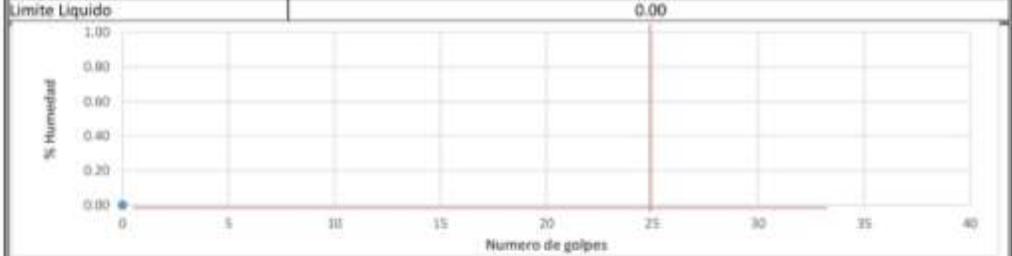
Tamiz	Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz
N°	mm			
3"	75	1960	9	91
2 1/2"	62.5	653	3	88
2"	50	1525	7	81
1 1/2"	37.5	871	4	77
1"	25	2614	12	65
3/4"	19	871	4	61
1/2"	12.5	1960	9	52
3/8"	9.5	653	3	49
1/4"	6.3	1089	5	44
No. 4	4.75	653	3	41
Pasa No. 4		8930	41	
Suma		21779		



N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	91.2	7.5	66.5	33.5
No. 16	1.18	125	10.3	76.7	23.3
No. 40	0.425	169.3	13.9	90.6	9.4
No. 100	0.15	54.1	4.4	95.0	5.0
No. 200	0.075	10.3	0.8	95.9	4.1
Pasa No. 200		50.1	4.1		
Suma					

Análisis Granulométrico De material Pasa 4	
Tara	N
Peso Tara	0
Peso Sucio	500.0
Peso lavado seco	453.7

	1	2	3	4
Tara N°				
Peso de Tara				
Peso Húmedo + tara				
Peso Seco + Tara				
Humedad %				
Numero de golpes				



	1	2			
Tara N°				LL	N/P
Peso de Tara				IP	N/P
Peso Húmedo + tara				Grupo	A-1-a (0)
Peso Seco + Tara					
Humedad %				IG	0
Limite Plástico					

Clasificación del Material Método SUCS

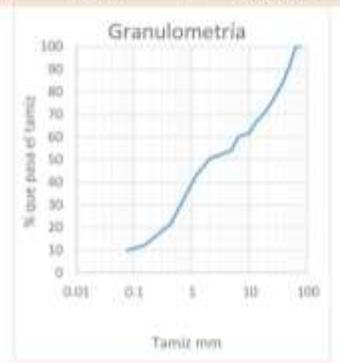
Descripción:



LLANSA INGENIEROS S.A
 Proyecto: Puente Santa Rosa del peñón
 Análisis Granulométrico de Materiales

Muestra N°	2	Ubicación	100 metros Aguas abajo del puente a una profundidad de 1m a mas (centro del cauce)
Descripción:	Arena limosa color café claro.		Fecha: 12/04/2019

Tamiz	Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz
N°	mm			
3"	75	0	0	100
2 1/2"	62.5	0	0	100
2"	50	1324	8	92
1 1/2"	37.5	1432	8	84
1"	25	1396	8	76
3/4"	19	841	5	72
1/2"	12.5	913	5	66
3/8"	9.5	823	5	62
1/4"	6.3	251	1	60
No. 4	4.75	1072	6	54
Pasa No. 4		9468	54	
Suma		17520		



N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	33.9	3.7	49.6	50.4
No. 16	1.18	67.3	7.3	56.9	43.1
No. 40	0.425	198.4	21.4	78.3	21.7
No. 100	0.15	88.4	9.6	87.9	12.1
No. 200	0.075	21.4	2.3	90.2	9.8
Pasa No. 200		90.6	9.8		
Suma					

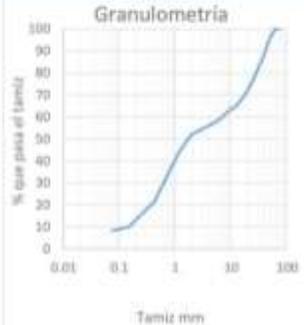
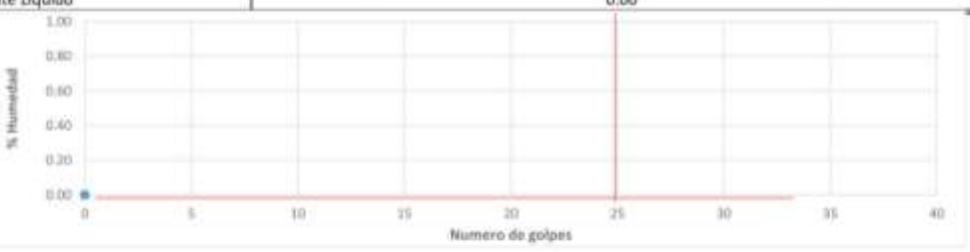
Análisis Granulométrico De material Pasa 4	
Tara	N
Peso Tara	0
Peso Sucio	500.0
Peso lavado seco	415.2

	1	2	3	4
Tara N°				
Peso de Tara				
Peso Húmedo + tara				
Peso Seco + Tara				
Humedad %				
Numero de golpes				



	1	2			
Tara N°				LL	N/P
Peso de Tara				IP	N/P
Peso Húmedo + tara				Grupo	A-1-b (0)
Peso Seco + Tara					
Humedad %				IG	0
Limite Plástico					

Clasificación del Material Método SUCS	
Descripción	

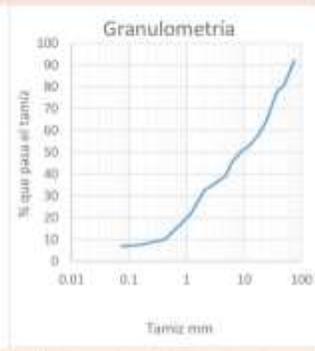
		LLANSA INGENIEROS S.A Proyecto: Puente Santa Rosa del peñón Análisis Granulométrico de Materiales																																																																							
Muestra N°	2	Ubicación	Debajo del puente a una profundidad de 1m a mas (margen izquierdo)																																																																						
Descripción:	Arena limosa color café claro.		Fecha: 12/04/2019																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>Peso Retenido</th> <th>Retención Parcial</th> <th>Retención Acumulada</th> <th>% que pasa el tamiz</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th>mm</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>75</td><td>0</td><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>2 3/4"</td><td>62.5</td><td>0</td><td>0</td><td>100</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50</td><td>587.56</td><td>4</td><td>96</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37.5</td><td>1322.01</td><td>9</td><td>87</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25</td><td>1468.9</td><td>10</td><td>77</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19</td><td>881.34</td><td>6</td><td>71</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12.5</td><td>881.34</td><td>6</td><td>65</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.5</td><td>293.78</td><td>2</td><td>63</td></tr> <tr><td>1/4"</td><td>6.3</td><td>587.56</td><td>4</td><td>59</td></tr> <tr><td>No. 4</td><td>4.75</td><td>293.78</td><td>2</td><td>57</td></tr> <tr><td>Pasa No. 4</td><td></td><td>8373</td><td>57</td><td></td></tr> <tr><td>Suma</td><td></td><td>14689.27</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		Tamiz	Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz	N°	mm				3"	75	0	0	100	2 3/4"	62.5	0	0	100	2"	50	587.56	4	96	1 1/2"	37.5	1322.01	9	87	1"	25	1468.9	10	77	3/4"	19	881.34	6	71	1/2"	12.5	881.34	6	65	3/8"	9.5	293.78	2	63	1/4"	6.3	587.56	4	59	No. 4	4.75	293.78	2	57	Pasa No. 4		8373	57		Suma		14689.27				
Tamiz	Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz																																																																					
N°	mm																																																																								
3"	75	0	0	100																																																																					
2 3/4"	62.5	0	0	100																																																																					
2"	50	587.56	4	96																																																																					
1 1/2"	37.5	1322.01	9	87																																																																					
1"	25	1468.9	10	77																																																																					
3/4"	19	881.34	6	71																																																																					
1/2"	12.5	881.34	6	65																																																																					
3/8"	9.5	293.78	2	63																																																																					
1/4"	6.3	587.56	4	59																																																																					
No. 4	4.75	293.78	2	57																																																																					
Pasa No. 4		8373	57																																																																						
Suma		14689.27																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>mm</th> <th>Peso retenido</th> <th>Retenido Parcial</th> <th>Retenido Acumulado</th> <th>% Que Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>No. 10</td><td>2</td><td>43.1</td><td>4.9</td><td>47.9</td><td>52.1</td></tr> <tr><td>No. 16</td><td>1.18</td><td>70.1</td><td>8.0</td><td>55.9</td><td>44.1</td></tr> <tr><td>No. 40</td><td>0.425</td><td>198.3</td><td>22.6</td><td>78.5</td><td>21.5</td></tr> <tr><td>No. 100</td><td>0.15</td><td>99.7</td><td>11.4</td><td>89.9</td><td>10.1</td></tr> <tr><td>No. 200</td><td>0.075</td><td>15.7</td><td>1.8</td><td>91.7</td><td>8.3</td></tr> <tr><td>Pasa No. 200</td><td></td><td>73.1</td><td>8.3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Suma</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa	No. 10	2	43.1	4.9	47.9	52.1	No. 16	1.18	70.1	8.0	55.9	44.1	No. 40	0.425	198.3	22.6	78.5	21.5	No. 100	0.15	99.7	11.4	89.9	10.1	No. 200	0.075	15.7	1.8	91.7	8.3	Pasa No. 200		73.1	8.3			Suma						<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Análisis Granulométrico De material Pasa 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tara</td><td>N</td></tr> <tr><td>Peso Tara</td><td>0</td></tr> <tr><td>Peso Sucio</td><td>500.0</td></tr> <tr><td>Peso lavado seco</td><td>417.16</td></tr> </tbody> </table>		Análisis Granulométrico De material Pasa 4		Tara	N	Peso Tara	0	Peso Sucio	500.0	Peso lavado seco	417.16												
N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa																																																																				
No. 10	2	43.1	4.9	47.9	52.1																																																																				
No. 16	1.18	70.1	8.0	55.9	44.1																																																																				
No. 40	0.425	198.3	22.6	78.5	21.5																																																																				
No. 100	0.15	99.7	11.4	89.9	10.1																																																																				
No. 200	0.075	15.7	1.8	91.7	8.3																																																																				
Pasa No. 200		73.1	8.3																																																																						
Suma																																																																									
Análisis Granulométrico De material Pasa 4																																																																									
Tara	N																																																																								
Peso Tara	0																																																																								
Peso Sucio	500.0																																																																								
Peso lavado seco	417.16																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tara N°</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Peso de Tara</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Peso Húmedo + tara</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Peso Seco + Tara</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Humedad %</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Numero de golpes</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Limite Líquido</td><td></td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> </tbody> </table>			1	2	3	4	Tara N°					Peso de Tara					Peso Húmedo + tara					Peso Seco + Tara					Humedad %					Numero de golpes					Limite Líquido			0.00																																	
	1	2	3	4																																																																					
Tara N°																																																																									
Peso de Tara																																																																									
Peso Húmedo + tara																																																																									
Peso Seco + Tara																																																																									
Humedad %																																																																									
Numero de golpes																																																																									
Limite Líquido			0.00																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tara N°</td><td></td><td></td><td></td><td>LL</td><td>N/P</td></tr> <tr><td>Peso de Tara</td><td></td><td></td><td></td><td>IP</td><td>N/P</td></tr> <tr><td>Peso Húmedo + tara</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">Grupo</td><td rowspan="2">A-1-b (0)</td></tr> <tr><td>Peso Seco + Tara</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Humedad %</td><td></td><td></td><td></td><td rowspan="2">IG</td><td rowspan="2">0</td></tr> <tr><td>Limite Plástico</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			1	2				Tara N°				LL	N/P	Peso de Tara				IP	N/P	Peso Húmedo + tara				Grupo	A-1-b (0)	Peso Seco + Tara				Humedad %				IG	0	Limite Plástico				Clasificación del Material Método SUCS																																	
	1	2																																																																							
Tara N°				LL	N/P																																																																				
Peso de Tara				IP	N/P																																																																				
Peso Húmedo + tara				Grupo	A-1-b (0)																																																																				
Peso Seco + Tara																																																																									
Humedad %				IG	0																																																																				
Limite Plástico																																																																									
Descripción																																																																									



LLANSA INGENIEROS S.A
 Proyecto: Puente Santa Rosa del peñón
 Análisis Granulométrico de Materiales

Muestra N° 1 Ubicación: Debajo del puente a una profundidad de 0 - 1 m de profundidad (margen izquierdo)
 Descripción: Arena limosa color café claro. Fecha: 12/04/2019

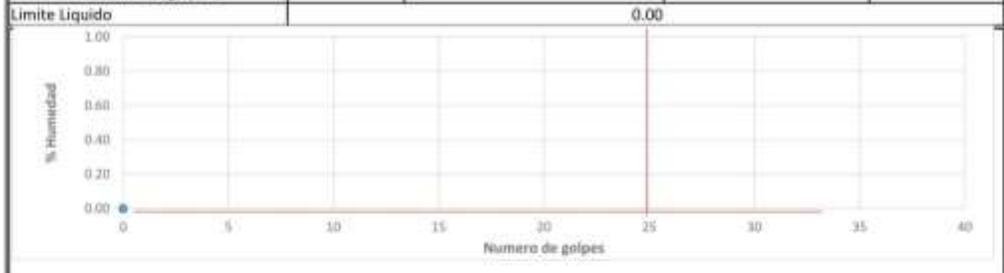
Tamiz		Peso Retenido	Retención Parcial	Retención Acumulada	% que pasa el tamiz
N°	mm				
3"	75	2025	8	8	92
2 1/2"	62.5	1265.7	5	13	87
2"	50	1518.84	6	19	81
1 1/2"	37.5	759.42	3	22	78
1"	25	3290.82	13	35	65
3/4"	19	1518.84	6	41	59
1/2"	12.5	1518.84	6	47	53
3/8"	9.5	506.28	2	49	51
1/4"	6.3	1265.7	5	54	46
No. 4	4.75	1771.98	7	61	39
Pasa No. 4		9873	39		
Suma		25314.42			



N°	mm	Peso retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Que Pasa
No. 10	2	87.4	6.8	67.8	32.2
No. 16	1.18	136.8	10.7	78.5	21.5
No. 40	0.425	147.9	11.5	90.0	10.0
No. 100	0.15	33.9	2.6	92.7	7.3
No. 200	0.075	5.9	0.5	93.1	6.9
Pasa No. 200		88.1	6.9		
Suma					

Análisis Granulométrico De material Pasa 4	
Tara	N
Peso Tara	0
Peso Sucio	500.0
Peso lavado seco	437.1

	1	2	3	4
Tara N°				
Peso de Tara				
Peso Húmedo + tara				
Peso Seco + Tara				
Humedad %				
Numero de golpes				



	1	2		
Tara N°			LL	N/P
Peso de Tara			IP	N/P
Peso Húmedo + tara			Grupo	A-1-a (0)
Peso Seco + Tara				
Humedad %			IG	0
Limite Plástico				

Clasificación del Material Método SUCS

Descripción

Anexo 4: Resultados hidráulicos en las secciones transversales del tramo analizado del río Santa Rosa del Peñón para los diferentes eventos analizados

Tabla 46: Resultados de la simulación hidráulica para el TR 25 años

HEC-RAS Plan: 01 River: Rio Sta. rosa Reach: Pte. Santa Rosa Profile: TR25												Reload Da
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Pte. Santa Rosa	68	TR25	1219.90	161.01	167.57	165.19	167.97	0.003053	2.94	446.50	88.54	0.41
Pte. Santa Rosa	67	TR25	1219.90	161.01	167.54		167.93	0.003132	3.01	443.14	88.54	0.41
Pte. Santa Rosa	66	TR25	1219.90	160.81	167.50		167.90	0.003186	3.06	440.35	88.63	0.41
Pte. Santa Rosa	65	TR25	1219.90	160.69	167.47		167.87	0.003094	2.98	447.24	91.26	0.41
Pte. Santa Rosa	64	TR25	1219.90	160.63	167.44		167.84	0.003173	2.96	445.28	93.52	0.41
Pte. Santa Rosa	63	TR25	1219.90	160.56	167.41		167.80	0.003035	2.95	450.51	94.29	0.40
Pte. Santa Rosa	62	TR25	1219.90	160.47	167.39		167.77	0.002845	3.02	455.70	92.05	0.40
Pte. Santa Rosa	61	TR25	1219.90	160.38	167.36		167.74	0.002681	2.89	457.69	89.21	0.39
Pte. Santa Rosa	60	TR25	1219.90	160.31	167.30		167.71	0.003000	3.00	440.73	86.79	0.40
Pte. Santa Rosa	59	TR25	1219.90	160.24	167.25		167.68	0.003157	3.04	428.34	83.83	0.41
Pte. Santa Rosa	58	TR25	1219.90	160.28	167.22		167.65	0.003093	3.06	429.29	82.89	0.41
Pte. Santa Rosa	57	TR25	1219.90	160.33	167.20		167.61	0.002931	3.02	436.87	82.93	0.40
Pte. Santa Rosa	56	TR25	1219.90	160.30	167.19		167.57	0.002736	2.89	451.98	84.62	0.38
Pte. Santa Rosa	55	TR25	1219.90	160.28	167.19		167.54	0.002389	2.80	475.49	87.67	0.36
Pte. Santa Rosa	54	TR25	1219.90	159.98	167.15		167.51	0.002428	2.87	471.49	87.75	0.37
Pte. Santa Rosa	53	TR25	1219.90	159.64	167.12		167.49	0.002406	2.90	468.98	87.37	0.37
Pte. Santa Rosa	52	TR25	1219.90	159.43	167.08		167.46	0.002490	2.95	462.01	86.93	0.38
Pte. Santa Rosa	51	TR25	1219.90	159.40	167.05		167.44	0.002556	2.94	458.51	86.17	0.38
Pte. Santa Rosa	50	TR25	1219.90	159.37	167.02		167.41	0.002677	3.02	454.10	86.34	0.38
Pte. Santa Rosa	49	TR25	1219.90	159.35	166.97		167.38	0.002834	3.10	446.06	86.75	0.40
Pte. Santa Rosa	48	TR25	1219.90	159.32	166.92		167.35	0.003030	3.15	436.69	87.11	0.41
Pte. Santa Rosa	47	TR25	1219.90	159.35	166.89		167.32	0.003149	3.08	431.57	86.75	0.41
Pte. Santa Rosa	46	TR25	1219.90	159.41	166.84		167.28	0.003231	3.16	426.75	86.31	0.42
Pte. Santa Rosa	45	TR25	1219.90	159.54	166.79		167.25	0.003326	3.25	421.38	86.07	0.43
Pte. Santa Rosa	44	TR25	1219.90	159.73	166.76		167.22	0.003331	3.29	421.80	86.16	0.43
Pte. Santa Rosa	43	TR25	1219.90	159.91	166.75		167.18	0.003017	3.20	438.32	88.24	0.41
Pte. Santa Rosa	42	TR25	1219.90	159.88	166.75		167.14	0.002742	2.96	456.02	91.24	0.39
Pte. Santa Rosa	41	TR25	1219.90	160.03	166.73		167.10	0.002595	2.92	464.81	92.90	0.38
Pte. Santa Rosa	40	TR25	1219.90	160.13	166.70		167.08	0.002540	2.94	468.10	93.05	0.38
Pte. Santa Rosa	39	TR25	1219.90	160.21	166.68		167.05	0.002505	2.82	470.34	94.04	0.37
Pte. Santa Rosa	38	TR25	1219.90	160.20	166.66		167.02	0.002485	2.86	472.10	95.38	0.37
Pte. Santa Rosa	37	TR25	1219.90	160.22	166.63		167.00	0.002544	2.89	470.34	97.21	0.38
Pte. Santa Rosa	36	TR25	1219.90	160.16	166.59		166.97	0.002619	2.94	468.90	100.00	0.38
Pte. Santa Rosa	35	TR25	1219.90	160.09	166.58		166.94	0.002548	2.90	474.31	100.00	0.38
Pte. Santa Rosa	34	TR25	1219.90	160.02	166.56		166.91	0.002419	2.85	486.66	100.00	0.37
Pte. Santa Rosa	33	TR25	1219.90	159.98	166.55		166.89	0.002281	2.79	497.82	100.00	0.36
Pte. Santa Rosa	32	TR25	1219.90	159.92	166.54		166.86	0.002140	2.71	507.86	100.00	0.35
Pte. Santa Rosa	31	TR25	1219.90	159.74	166.53		166.83	0.001983	2.61	521.55	100.00	0.34
Pte. Santa Rosa	30	TR25	1219.90	159.54	166.52		166.81	0.001925	2.61	525.16	100.00	0.33
Pte. Santa Rosa	29	TR25	1219.90	159.65	166.43		166.78	0.002426	2.67	477.09	100.00	0.36
Pte. Santa Rosa	27	TR25	1219.90	159.28	165.68	164.07	166.63	0.006822	4.31	283.02	82.75	0.59
Pte. Santa Rosa	26		Bridge									
Pte. Santa Rosa	25	TR25	1219.90	159.17	165.21	164.18	166.42	0.010909	4.89	249.67	51.33	0.71
Pte. Santa Rosa	18	TR25	1219.90	159.57	165.29		165.74	0.003771	3.03	418.65	99.48	0.44
Pte. Santa Rosa	17	TR25	1219.90	159.33	165.25		165.71	0.003713	3.01	417.69	98.23	0.44
Pte. Santa Rosa	16	TR25	1219.90	158.88	165.22		165.67	0.003746	2.97	416.65	97.11	0.44
Pte. Santa Rosa	15	TR25	1219.90	158.68	165.17		165.63	0.003505	3.02	417.62	95.97	0.43
Pte. Santa Rosa	14	TR25	1219.90	158.56	165.14		165.59	0.003491	2.98	418.66	96.00	0.43
Pte. Santa Rosa	13	TR25	1219.90	158.61	165.10		165.56	0.003854	2.99	412.24	96.11	0.44
Pte. Santa Rosa	12	TR25	1219.90	158.73	164.98		165.51	0.004342	3.21	385.95	92.74	0.47
Pte. Santa Rosa	11	TR25	1219.90	158.66	164.86		165.45	0.005226	3.40	361.16	87.66	0.51
Pte. Santa Rosa	10	TR25	1219.90	158.38	164.71		165.39	0.005973	3.67	339.63	87.06	0.55
Pte. Santa Rosa	09	TR25	1219.90	158.08	164.59		165.32	0.006958	3.79	324.92	87.00	0.58
Pte. Santa Rosa	08	TR25	1219.90	158.00	164.47		165.24	0.007797	3.89	314.44	80.90	0.61
Pte. Santa Rosa	07	TR25	1219.90	158.06	164.38		165.16	0.008139	3.91	311.77	77.71	0.62
Pte. Santa Rosa	06	TR25	1219.90	158.13	164.26		165.07	0.008588	4.00	305.20	80.39	0.64
Pte. Santa Rosa	05	TR25	1219.90	158.16	164.02		164.97	0.010469	4.30	283.78	75.63	0.70
Pte. Santa Rosa	04	TR25	1219.90	158.05	163.96		164.85	0.009616	4.18	293.40	80.70	0.68
Pte. Santa Rosa	03	TR25	1219.90	157.94	163.91		164.74	0.009007	4.04	304.09	84.04	0.66
Pte. Santa Rosa	02	TR25	1219.90	157.94	163.76	162.87	164.64	0.009430	4.16	297.87	86.76	0.67
Pte. Santa Rosa	01	TR25	1219.90	158.00	162.96	162.96	164.46	0.023051	5.43	224.98	76.70	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Resultados de la simulación hidráulica para el TR 50 años

HEC-RAS Plan: 01 River: Rio Sta. rosa Reach: Pte. Santa Rosa Profile: TR50												Reload Da
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Pte. Santa Rosa	68	TR50	1588.30	161.01	168.57	165.73	169.04	0.002912	3.22	534.97	88.54	0.41
Pte. Santa Rosa	67	TR50	1588.30	161.01	168.54		169.01	0.002975	3.28	531.82	88.54	0.41
Pte. Santa Rosa	66	TR50	1588.30	160.81	168.50		168.98	0.003015	3.33	529.41	88.63	0.41
Pte. Santa Rosa	65	TR50	1588.30	160.69	168.48		168.94	0.002902	3.23	539.44	91.26	0.40
Pte. Santa Rosa	64	TR50	1588.30	160.63	168.46		168.91	0.002931	3.19	540.48	93.52	0.40
Pte. Santa Rosa	63	TR50	1588.30	160.56	168.43		168.88	0.002809	3.17	547.93	95.78	0.39
Pte. Santa Rosa	62	TR50	1588.30	160.47	168.41		168.85	0.002685	3.26	550.78	94.45	0.40
Pte. Santa Rosa	61	TR50	1588.30	160.38	168.38		168.83	0.002570	3.15	549.40	91.32	0.39
Pte. Santa Rosa	60	TR50	1588.30	160.31	168.32		168.80	0.002870	3.28	529.69	88.80	0.40
Pte. Santa Rosa	59	TR50	1588.30	160.24	168.26		168.76	0.003042	3.33	514.05	86.40	0.41
Pte. Santa Rosa	58	TR50	1588.30	160.28	168.23		168.73	0.002993	3.35	513.95	85.34	0.41
Pte. Santa Rosa	57	TR50	1588.30	160.33	168.21		168.70	0.002854	3.32	521.69	85.42	0.40
Pte. Santa Rosa	56	TR50	1588.30	160.30	168.20		168.66	0.002675	3.18	538.39	86.54	0.39
Pte. Santa Rosa	55	TR50	1588.30	160.28	168.21		168.63	0.002350	3.08	565.26	89.04	0.37
Pte. Santa Rosa	54	TR50	1588.30	159.98	168.17		168.60	0.002381	3.15	561.33	89.11	0.38
Pte. Santa Rosa	53	TR50	1588.30	159.64	168.13		168.57	0.002369	3.18	558.52	89.12	0.38
Pte. Santa Rosa	52	TR50	1588.30	159.43	168.09		168.55	0.002442	3.23	551.11	88.71	0.38
Pte. Santa Rosa	51	TR50	1588.30	159.40	168.07		168.52	0.002499	3.22	546.53	87.62	0.38
Pte. Santa Rosa	50	TR50	1588.30	159.37	168.03		168.50	0.002599	3.29	542.40	87.40	0.39
Pte. Santa Rosa	49	TR50	1588.30	159.35	167.99		168.47	0.002722	3.36	535.22	88.24	0.40
Pte. Santa Rosa	48	TR50	1588.30	159.32	167.95		168.44	0.002870	3.39	526.56	88.79	0.41
Pte. Santa Rosa	47	TR50	1588.30	159.35	167.91		168.41	0.002959	3.33	521.18	88.53	0.41
Pte. Santa Rosa	46	TR50	1588.30	159.41	167.86		168.38	0.003031	3.41	516.10	88.10	0.42
Pte. Santa Rosa	45	TR50	1588.30	159.54	167.82		168.35	0.003111	3.50	510.86	88.17	0.42
Pte. Santa Rosa	44	TR50	1588.30	159.73	167.79		168.32	0.003113	3.54	511.81	88.39	0.42
Pte. Santa Rosa	43	TR50	1588.30	159.91	167.78		168.28	0.002843	3.44	531.78	91.98	0.41
Pte. Santa Rosa	42	TR50	1588.30	159.88	167.79		168.24	0.002571	3.20	552.32	93.94	0.39
Pte. Santa Rosa	41	TR50	1588.30	160.03	167.77		168.21	0.002435	3.15	563.07	95.33	0.38
Pte. Santa Rosa	40	TR50	1588.30	160.13	167.75		168.18	0.002390	3.17	566.98	95.71	0.38
Pte. Santa Rosa	39	TR50	1588.30	160.21	167.73		168.16	0.002345	3.05	570.81	97.09	0.37
Pte. Santa Rosa	38	TR50	1588.30	160.20	167.71		168.13	0.002325	3.08	574.40	99.10	0.37
Pte. Santa Rosa	37	TR50	1588.30	160.22	167.69		168.11	0.002349	3.10	575.77	100.00	0.37
Pte. Santa Rosa	36	TR50	1588.30	160.16	167.66		168.08	0.002383	3.13	575.46	100.00	0.38
Pte. Santa Rosa	35	TR50	1588.30	160.09	167.64		168.06	0.002325	3.09	581.07	100.00	0.37
Pte. Santa Rosa	34	TR50	1588.30	160.02	167.63		168.03	0.002219	3.04	593.62	100.00	0.36
Pte. Santa Rosa	33	TR50	1588.30	159.98	167.62		168.00	0.002111	2.98	604.92	100.00	0.35
Pte. Santa Rosa	32	TR50	1588.30	159.92	167.61		167.98	0.001999	2.92	615.05	100.00	0.35
Pte. Santa Rosa	31	TR50	1588.30	159.74	167.61		167.95	0.001869	2.82	628.80	100.00	0.33
Pte. Santa Rosa	30	TR50	1588.30	159.54	167.59		167.93	0.001821	2.82	632.55	100.00	0.33
Pte. Santa Rosa	29	TR50	1588.30	159.65	167.51		167.91	0.002187	2.85	584.83	100.00	0.35
Pte. Santa Rosa	27	TR50	1588.30	159.28	166.54	164.81	167.74	0.007104	4.85	327.57	92.04	0.62
Pte. Santa Rosa	26		Bridge									
Pte. Santa Rosa	25	TR50	1588.30	159.17	165.84	164.94	167.46	0.012331	5.63	282.13	52.26	0.76
Pte. Santa Rosa	18	TR50	1588.30	159.57	166.06		166.61	0.003760	3.34	496.12	100.00	0.45
Pte. Santa Rosa	17	TR50	1588.30	159.33	166.02		166.58	0.003732	3.33	493.67	98.49	0.45
Pte. Santa Rosa	16	TR50	1588.30	158.88	165.99		166.54	0.003763	3.30	491.61	97.28	0.45
Pte. Santa Rosa	15	TR50	1588.30	158.68	165.94		166.50	0.003604	3.36	491.10	96.08	0.45
Pte. Santa Rosa	14	TR50	1588.30	158.56	165.91		166.46	0.003592	3.33	492.75	98.04	0.44
Pte. Santa Rosa	13	TR50	1588.30	158.61	165.87		166.42	0.003879	3.32	486.53	98.15	0.46
Pte. Santa Rosa	12	TR50	1588.30	158.73	165.73		166.37	0.004437	3.58	456.04	95.48	0.49
Pte. Santa Rosa	11	TR50	1588.30	158.66	165.59		166.32	0.005341	3.80	424.89	88.85	0.53
Pte. Santa Rosa	10	TR50	1588.30	158.38	165.41		166.25	0.006131	4.09	401.31	88.33	0.57
Pte. Santa Rosa	09	TR50	1588.30	158.08	165.28		166.18	0.007039	4.21	385.72	88.58	0.60
Pte. Santa Rosa	08	TR50	1588.30	158.00	165.15		166.10	0.007836	4.32	373.54	88.02	0.63
Pte. Santa Rosa	07	TR50	1588.30	158.06	165.06		166.02	0.008198	4.34	369.14	87.13	0.64
Pte. Santa Rosa	06	TR50	1588.30	158.13	164.93		165.93	0.008608	4.44	362.15	86.25	0.66
Pte. Santa Rosa	05	TR50	1588.30	158.16	164.65		165.82	0.010636	4.80	335.21	84.81	0.73
Pte. Santa Rosa	04	TR50	1588.30	158.05	164.59		165.69	0.009752	4.66	347.54	90.86	0.70
Pte. Santa Rosa	03	TR50	1588.30	157.94	164.55		165.58	0.009046	4.49	360.76	94.99	0.67
Pte. Santa Rosa	02	TR50	1588.30	157.94	164.41	163.47	165.48	0.009481	4.62	355.44	95.45	0.69
Pte. Santa Rosa	01	TR50	1588.30	158.00	163.60	163.60	165.31	0.020284	5.79	278.50	87.45	0.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Resultados de la simulación hidráulica para el TR 100 años

HEC-RAS Plan: 01 River: Rio Sta. rosa Reach: Pte. Santa Rosa Profile: TR100											Reload Da	
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chi
Pte. Santa Rosa	68	TR100	2052.70	161.01	169.77	166.37	170.31	0.002743	3.50	640.82	88.54	0.41
Pte. Santa Rosa	67	TR100	2052.70	161.01	169.74		170.28	0.002792	3.56	637.94	88.54	0.41
Pte. Santa Rosa	66	TR100	2052.70	160.81	169.70		170.25	0.002822	3.60	635.96	88.63	0.41
Pte. Santa Rosa	65	TR100	2052.70	160.69	169.69		170.22	0.002695	3.48	649.71	91.26	0.40
Pte. Santa Rosa	64	TR100	2052.70	160.63	169.67		170.19	0.002689	3.43	654.06	93.52	0.40
Pte. Santa Rosa	63	TR100	2052.70	160.56	169.65		170.16	0.002566	3.40	664.80	95.78	0.39
Pte. Santa Rosa	62	TR100	2052.70	160.47	169.63		170.13	0.002486	3.50	667.82	97.20	0.39
Pte. Santa Rosa	61	TR100	2052.70	160.38	169.59		170.11	0.002419	3.41	661.68	94.13	0.39
Pte. Santa Rosa	60	TR100	2052.70	160.31	169.53		170.08	0.002697	3.55	638.53	91.45	0.40
Pte. Santa Rosa	59	TR100	2052.70	160.24	169.46		170.05	0.002865	3.61	619.88	89.16	0.41
Pte. Santa Rosa	58	TR100	2052.70	160.28	169.43		170.02	0.002834	3.64	618.38	88.30	0.41
Pte. Santa Rosa	57	TR100	2052.70	160.33	169.41		169.99	0.002716	3.61	626.34	88.39	0.41
Pte. Santa Rosa	56	TR100	2052.70	160.30	169.41		169.95	0.002559	3.47	644.73	89.53	0.39
Pte. Santa Rosa	55	TR100	2052.70	160.28	169.42		169.91	0.002265	3.36	674.19	90.67	0.37
Pte. Santa Rosa	54	TR100	2052.70	159.98	169.38		169.89	0.002287	3.42	670.62	91.17	0.38
Pte. Santa Rosa	53	TR100	2052.70	159.64	169.35		169.86	0.002277	3.45	667.89	91.21	0.38
Pte. Santa Rosa	52	TR100	2052.70	159.43	169.31		169.84	0.002338	3.50	660.07	90.83	0.38
Pte. Santa Rosa	51	TR100	2052.70	159.40	169.28		169.82	0.002389	3.49	654.11	89.74	0.38
Pte. Santa Rosa	50	TR100	2052.70	159.37	169.25		169.79	0.002475	3.55	649.48	89.18	0.39
Pte. Santa Rosa	49	TR100	2052.70	159.35	169.21		169.76	0.002563	3.62	644.16	90.37	0.40
Pte. Santa Rosa	48	TR100	2052.70	159.32	169.17		169.74	0.002666	3.64	636.67	90.98	0.40
Pte. Santa Rosa	47	TR100	2052.70	159.35	169.14		169.71	0.002730	3.58	630.99	90.72	0.41
Pte. Santa Rosa	46	TR100	2052.70	159.41	169.09		169.68	0.002794	3.65	625.95	90.78	0.41
Pte. Santa Rosa	45	TR100	2052.70	159.54	169.05		169.65	0.002852	3.73	621.29	90.86	0.42
Pte. Santa Rosa	44	TR100	2052.70	159.73	169.02		169.62	0.002868	3.78	625.02	95.38	0.42
Pte. Santa Rosa	43	TR100	2052.70	159.91	169.03		169.58	0.002607	3.66	648.42	95.56	0.40
Pte. Santa Rosa	42	TR100	2052.70	159.88	169.03		169.54	0.002361	3.42	671.45	97.08	0.38
Pte. Santa Rosa	41	TR100	2052.70	160.03	169.02		169.52	0.002240	3.37	683.96	98.01	0.37
Pte. Santa Rosa	40	TR100	2052.70	160.13	169.00		169.49	0.002203	3.38	688.57	98.38	0.37
Pte. Santa Rosa	39	TR100	2052.70	160.21	168.99		169.47	0.002150	3.26	694.50	100.00	0.37
Pte. Santa Rosa	38	TR100	2052.70	160.20	168.97		169.44	0.002121	3.29	700.45	100.00	0.36
Pte. Santa Rosa	37	TR100	2052.70	160.22	168.95		169.42	0.002133	3.30	702.18	100.00	0.37
Pte. Santa Rosa	36	TR100	2052.70	160.16	168.93		169.40	0.002154	3.32	702.23	100.00	0.37
Pte. Santa Rosa	35	TR100	2052.70	160.09	168.91		169.38	0.002108	3.29	708.02	100.00	0.36
Pte. Santa Rosa	34	TR100	2052.70	160.02	168.90		169.35	0.002025	3.24	720.70	100.00	0.36
Pte. Santa Rosa	33	TR100	2052.70	159.98	168.89		169.33	0.001942	3.19	732.12	100.00	0.35
Pte. Santa Rosa	32	TR100	2052.70	159.92	168.88		169.30	0.001854	3.13	742.35	100.00	0.34
Pte. Santa Rosa	31	TR100	2052.70	159.74	168.88		169.28	0.001748	3.04	756.16	100.00	0.33
Pte. Santa Rosa	30	TR100	2052.70	159.54	168.86		169.26	0.001708	3.04	760.05	100.00	0.33
Pte. Santa Rosa	29	TR100	2052.70	159.65	168.79		169.24	0.001962	3.04	712.76	100.00	0.35
Pte. Santa Rosa	27	TR100	2052.70	159.28	167.57	165.66	169.05	0.007147	5.38	381.38	100.00	0.63
Pte. Santa Rosa	26											
Pte. Santa Rosa	25	TR100	2052.70	159.17	166.52	165.80	168.66	0.014047	6.49	316.45	53.46	0.83
Pte. Santa Rosa	18	TR100	2052.70	159.57	166.93		167.60	0.003786	3.69	582.40	100.00	0.47
Pte. Santa Rosa	17	TR100	2052.70	159.33	166.88		167.56	0.003784	3.69	578.11	98.49	0.47
Pte. Santa Rosa	16	TR100	2052.70	158.88	166.84		167.52	0.003816	3.66	574.82	97.28	0.47
Pte. Santa Rosa	15	TR100	2052.70	158.68	166.79		167.48	0.003724	3.75	572.58	96.08	0.47
Pte. Santa Rosa	14	TR100	2052.70	158.56	166.76		167.44	0.003691	3.70	576.61	98.65	0.46
Pte. Santa Rosa	13	TR100	2052.70	158.61	166.72		167.40	0.003920	3.68	571.02	100.00	0.47
Pte. Santa Rosa	12	TR100	2052.70	158.73	166.56		167.35	0.004519	3.97	536.47	97.75	0.50
Pte. Santa Rosa	11	TR100	2052.70	158.66	166.38		167.29	0.005486	4.23	496.49	91.03	0.55
Pte. Santa Rosa	10	TR100	2052.70	158.38	166.19		167.21	0.006306	4.54	470.72	90.36	0.59
Pte. Santa Rosa	09	TR100	2052.70	158.08	166.05		167.14	0.007114	4.66	455.04	90.91	0.62
Pte. Santa Rosa	08	TR100	2052.70	158.00	165.91		167.06	0.007850	4.77	441.08	89.13	0.65
Pte. Santa Rosa	07	TR100	2052.70	158.06	165.81		166.98	0.008205	4.80	435.20	88.10	0.66
Pte. Santa Rosa	06	TR100	2052.70	158.13	165.67		166.89	0.008652	4.91	426.59	87.30	0.68
Pte. Santa Rosa	05	TR100	2052.70	158.16	165.34		166.77	0.010770	5.32	394.79	86.47	0.75
Pte. Santa Rosa	04	TR100	2052.70	158.05	165.32		166.64	0.009694	5.13	414.08	93.09	0.71
Pte. Santa Rosa	03	TR100	2052.70	157.94	165.30		166.51	0.008847	4.92	431.79	95.35	0.68
Pte. Santa Rosa	02	TR100	2052.70	157.94	165.17	164.15	166.42	0.009070	5.01	430.77	98.32	0.69
Pte. Santa Rosa	01	TR100	2052.70	158.00	164.29	164.29	166.24	0.018729	6.24	339.44	95.08	0.96

Fuente: Elaboración propia