

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO SECHÍN
EN EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100
AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA,
DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:

Bach. HUERTA VASQUEZ, Cinthia
Bach. PILLACA COLLANTES, Giancarlo André

ASESOR:

Ms. SPARROW ALAMO, Edgar Gustavo

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2020

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 02 días del mes de noviembre del año dos mil veinte, siendo las diecisiete horas, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 141-2020-UNS-CFI, integrado por los docentes Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Presidenta), Ms. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 333-2020-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO SECHIN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA, DEPARTAMENTO DE ANCASH**" presentado por los Bachilleres: **HUERTA VÁSQUEZ CINTHIA** y **PILLACA COLLANTES GIANCARLO ANDRÉ**, quienes fueron asesorados por el Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 292-2017-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PILLACA COLLANTES GIANCARLO ANDRÉ	16	BUEÑO

Siendo las dieciocho horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 02 de noviembre del 2020.


Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Presidenta


Ms. Atilio Rubén López Carranza
Secretario


Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Integrante

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 02 días del mes de noviembre del año dos mil veinte, siendo las diecisiete horas, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 141-2020-UNS-CFI, integrado por los docentes Ms. Janet Verónica Saavedra Vera (Presidenta), Ms. Atilio Rubén López Carranza (Secretario), Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 333-2020-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO SECHIN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA, DEPARTAMENTO DE ANCASH**" presentado por los Bachilleres: **HUERTA VÁSQUEZ CINTHIA Y PILLACA COLLANTES GIANCARLO ANDRÉ**, quienes fueron asesorados por el Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 292-2017-UNS-FI .

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
HUERTA VÁSQUEZ CINTHIA	16	BUENO

Siendo las dieciocho horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 02 de noviembre del 2020.



Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Presidenta



Ms. Atilio Rubén López Carranza
Secretario



Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Integrante

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO SECHÍN
EN EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE
100 AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE
CASMA, DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

TESISTA:

Bach. HUERTA VASQUEZ, Cinthia

Bach. PILLACA COLLANTES, Giancarlo André

ASESOR:

Ms. SPARROW ALAMO, Edgar Gustavo

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO SECHÍN EN
EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100
AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA,
DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Revisado por:

Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Asesor de Tesis

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO SECHÍN EN
EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100
AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA,
DEPARTAMENTO DE ANCASH”**

PROYECTO DE TESIS SUSTENTADA Y APROBADO POR EL SIGUIENTE
JURADO:

Ms. Janet Verónica Saavedra Vera
Presidenta

Ms. Atilio Rubén López Carranza
Secretario

Ms. Edgar Gustavo Sparrow Alamo
Integrante

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2020

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Guidi y Nora, quienes son un ejemplo de perseverancia. Gracias a su apoyo y comprensión pude superarme para culminar mi carrera.

A mis hermanos Lesli y Ludwig, que siempre estuvieron presentes apoyándome de una u otra manera para terminar el proyecto de tesis.

A mi Mami Clotilde y Leslie R.A. que siempre me apoyaron moralmente, aunque ya no se encuentran con nosotros, fueron dos grandiosas personas que llenaron mi vida de alegría.

A mi amiga Keyko, quien me apoyo con sus consejos, ánimos y sobre todo su tiempo para realizar este proyecto de tesis.

CINTHIA HUERTA VASQUEZ

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien nunca me abandono en todo el transcurso de mi vida, quien siempre me da fuerzas para salir adelante y poder vencer las adversidades.

A mis padres Alberto Pillaca Bernal y María Collantes Reyes que con su infinito amor, supieron guiar en mis momentos de duda, quienes me educaron para hacerme una persona de bien y siempre me dieron su apoyo de manera incondicional a quienes les debo mis principios.

A mi abuelo Alejandro Collantes Salinas que está en el cielo quien siempre cuidó de su familia y fue un ejemplo de persona para mí.

GIANCARLO ANDRÉ PILLACA COLLANTES

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por darnos la perseverancia para la culminación de nuestro trabajo y estar con nosotros en cada momento de nuestras vidas.

A nuestro asesor el Ing. Edgar Sparrow Álamo quien nos brindó su desinteresada orientación y guía en la elaboración en el presente trabajo de investigación.

Y por último agradecemos a nuestros amigos y familiares, que estuvieron con nosotros brindándonos el apoyo necesario e incondicional para seguir este difícil, pero gratificante camino para ser buenos profesionales.

LOS AUTORES

ÍNDICE

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: DESARROLLO Y METODOLOGÍA.....	3
1.1. ASPECTO INFORMATIVO	3
1.1.1. TÍTULO.....	3
1.1.2. UBICACIÓN DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO.....	3
1.2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. ANTECEDENTES.....	3
1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	9
1.2.4. OBJETIVOS	10
1.2.5. HIPÓTESIS.....	10
1.2.6. VARIABLES	10
1.2.7. DISEÑO DEL ESTUDIO	11
1.2.8. ESTRATEGIA DE TRABAJO.....	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1. TÉRMINOS BÁSICOS	16
2.1.1. HIDROLOGIA	16

2.1.2. HIDRAULICA	16
2.1.3. CICLO HIDROLÓGIO	16
2.2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA	18
2.3. CONDICIONES METEOROLÓGICAS	19
2.4. CUENCA HIDROGRÁFICA	21
2.4.1. DEFINICIÓN	21
2.4.2. CARACTERISTICAS DE UNA CUENCA	22
2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS HIDROLÓGICOS DE LA SUB CUENCA23	
2.5.1. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN	23
2.5.2. CÁLCULO DE VARIABLES PROBABILÍSTICAS	28
2.5.3. MÉTODO DE DYCK PESCHKE.....	29
2.6. PERIODO DE RETORNO.....	30
2.7. CAUDALES MÁXIMOS.....	31
2.7.1. MÉTODO RACIONAL CLÁSICO.....	32
2.8. NUMERO DE CURVAS	33
2.9. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	37
2.10. TIEMPO DE RETRASO.....	40
2.11. MÉTODO DE DESCARGA PICOS.....	41
2.12. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)	42
2.13. HIETOGRAMA.....	42

2.14. MODELACIÓN HIDRAULICA.....	43
2.14.1. PREMISAS PARA LA EVALUACIÓN.....	44
2.15. MODELOS MATEMÁTICOS	57
2.15.1. MODELACIÓN CON ARCGIS	57
2.15.2. MODELO HIDROESTA	58
2.15.3. MODELO HEC – HMS	59
2.15.4. MODELO HEC – RAS.....	61
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	62
3.1. MATERIALES	62
3.1.1. MATERIALES DE GABINETE	62
3.1.2. MATERIALES USADOS EN CAMPO	64
3.1.3. SERVICIOS	64
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	65
3.2.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN	65
3.3. MÉTODOS USADOS	66
3.4. UNIVERSO Y/O POBLACIÓN.....	66
3.5. DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	67
3.6. ESTRATEGIA DE ESTUDIO.....	69
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	70
3.8. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	71
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	97

4.1. RESULTADOS.....	97
4.1.1. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO SECHÍN.....	97
4.1.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA CUENCA DEL RÍO SECHÍN	103
4.2. DISCUSIÓN.....	106
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
5.1. CONCLUSIONES.....	107
5.2. RECOMENDACIONES	109
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Periodo de Retorno para Tipos de Estructuras	31
Tabla 2 Profundidad de escorrentía para el CN y Lluvia	34
Tabla 3 Descripción del Uso de Tierra.....	36
Tabla 4 Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración	38
Tabla 5 Factor de ajuste (Fp) para áreas de estanques y pantanos	41
Tabla 6 Valores del coeficiente de rugosidad n (las cifras en negritas son los valores generalmente recomendados para el diseño)	52
Tabla 7 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca del Río Sechín.....	74
Tabla 8 Registro de estación Pluviométrica	75
Tabla 9 Precipitaciones Diarias máximas anuales (mm)	76
Tabla 10 Métodos de Relaciones Descargas – Precipitación.....	80
Tabla 11 Resultado de las Precipitaciones máximas 24 horas	98
Tabla 12 Precipitaciones máximas diarias para diferentes tiempos de duración de lluvias.....	99
Tabla 13 Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno.....	100
Tabla 14 Resumen de caudales Picos.....	102
Tabla 15 Coeficiente de Manning para las Secciones Transversales.....	103
Tabla 16 Periodos de Retorno y Secciones promedios de las propensas inundaciones.....	104

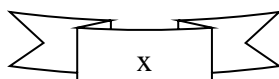
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo hidrológico	17
Figura 2 El ciclo hidrológico para la precipitación terrestre.....	18
Figura 3 Tipos de Cuencas	22
Figura 4 Solución de la ecuación de escorrentía.....	34
Figura 5 Hietograma de Precipitación.....	43
Figura 6 Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo.....	45
Figura 7 Pendientes: Línea de energía, línea piezométrica y fondo del canal	50
Figura 8 Tirante vertical y normal (perpendicular a la sección)	50
Figura 9 Emulación del software HidroEsta	59
Figura 10 Entorno del modelo HMS concerniente a la cuenca hidrográfica del Puente Sechín.	60
Figura 11 Emulación del software Hec – RAS	62
Figura 12 Localización de la zona de estudio	67
Figura 13 Vista del Puente Bailey Sechin.....	68
Figura 14 Hidrogeología Cuenca del Rio de Casma.....	69
Figura 15 Unidades hidrográfica Cuenca del Rio de Casma	72
Figura 16 Figura de la delimitación de la Sub cuenca del Rio Sechín.....	73
Figura 17 Ventana para el ingreso de datos – precipitaciones.....	77
Figura 18 Emulación de la Distribución de Log Gumbel – HidroEsta	78
Figura 19 Resultados de las precipitaciones diarias máximas para cada T.....	79
Figura 20 Mapa de la cuenca con los elementos hidrológicos.....	81
Figura 21 Componentes de la Subcuenca.....	82
Figura 22 Ventana de Editor de Componestes - Loss	82

Figura 23 Ventana de Editor de Componestes – Transform	83
Figura 24 Ventana de Editor de Componestes–Meteorologic Model – T =10 años	83
Figura 25 Ventana de Editor de Componestes–Meteorologic Model – T =10 años	84
Figura 26 Ventana de Editor de Componestes–Meteorologic Model – T =25 años	85
Figura 27 Ventana de Editor de Componestes–Meteorologic Model – T =50 años	85
Figura 28 Ventana de Editor de Componestes–Meteorologic Model – T =100 años	86
Figura 29 Ventana de Editor de Componestes– Control Specifications	87
Figura 30 Secciones transversales del Rio Sechín	88
Figura 31 Vista del Puentes Sechín aguas arriba.	89
Figura 32 Se observa parte de la sección del rio Sechín aguas abajo.	90
Figura 33 Ventana principal del programa de HEC – RAS	91
Figura 34 Ventana de la Geometría para el software HEC-RAS	91
Figura 35 Ventana de ingreso de Datos del Coeficiente Manning n.....	92
Figura 36 Ventana de ingreso de Datos de la alcantarilla del Puente Sechín	93
Figura 37 Ventana de ingreso de datos del Caudal constante.	94
Figura 38 Ventana de ingreso de datos de la pendiente.	94
Figura 39 Ventana de Análisis de Flujo Constante.	95
Figura 40 Ventana de la Sección Transversal	96
Figura 41 Ventana de la Perspectiva del Rio Sechín.	96

ÍNDICE DE GRAFICO

Grafica 1 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia	102
--	-----



ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO 01 IMAGEN SATELITAR
- ANEXO 02 CARTA NACIONAL
- ANEXO 03 MAPA HIDROGRAFICA
- ANEXO 04 PLANOS
- ANEXO 05 PRECIPITACIONES DE UNIDAD HIDROLOGICA
- ANEXO 06 EVALUACIÓN CON HIDROESTA
- ANEXO 07 EVALUACIÓN CON HEC - HMS
- ANEXO 08 EVALUACIÓN CON HEC - RAS
- ANEXO 09 PANEL FOTOGRAFICO

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación: “EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO SECHÍN EN EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA, DEPARTAMENTO DE ANCASH” se realizará la evaluación hidrológica e hidráulica de la cuenca del Río Sechín, donde surge la necesidad de estudiar la problemática a lo largo de su cauce en cuanto a la crecida de su caudal.

Por lo tanto, será necesario conocer las precipitaciones y su distribución que se caracteriza en el espacio y tiempo, además de la frecuencia o probabilidad de ocurrencia (uso de un pluviografo), cuyo objetivo general es hallar mediante cálculos matemáticos los caudales picos para los diferentes periodos de retornos como 10, 25, 50 y 100 años y con la ayuda del Software HEC – HMS podremos alcanzar ese objetivo obteniendo resultados más exactos.

Por último, se realiza la evaluación hidráulica del puente Sechín, utilizando el software HEC-RAS, el cual nos permite conseguir los niveles de agua máximos de la quebrada mencionada. Dicho software, requiere contar con las características de la cuenca y por medio del estudio hidrográfico previo contaremos con ese dato, además hace falta contar con información de las secciones transversales de la quebrada y coeficiente de rugosidad, por ello se realizó un levantamiento topográfico de las mismas.

ABSTRACT

In this research project: "HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC EVALUATION OF THE SECHÍN RIVER IN THE SECHÍN BRIDGE UP TO A RETURN PERIOD OF 100 YEARS IN THE DISTRICT OF CASMA, PROVINCE OF CASMA, DEPARTMENT OF ANCASH"

the hydrological and hydraulic evaluation of the River Sechín basin, where the need arises to study the problem along its channel in terms of the increased flow.

Therefore, it will be necessary to know the rainfall and its distribution that is characterized in space and time, in addition to the frequency or probability of occurrence (use of a pluviograph), the general objective of which is to find through mathematical calculations the peak flows for the different return periods such as 10, 25, 50 and 100 years and with the help of the HEC - HMS Software we will be able to achieve this objective obtaining more exact results.

Finally, the hydraulic evaluation of the Sechín bridge is carried out, using the HEC-RAS software, which allows us to achieve the maximum water levels of the mentioned stream. Said software requires having the characteristics of the basin and by means of the previous hydrographic study we will have this data, in addition it is necessary to have information on the cross sections of the creek and the roughness coefficient, for this reason a topographic survey of the themselves.

INTRODUCCIÓN

En el último año la ciudad de Casma se vio afectada por el aspecto del cambio climático lo cual originan transformaciones en los patrones atmosféricos, las cuales ocasionaron problemas de inundaciones, el colapso del puente Sechín y en general pérdidas económicas a muchos sectores de la población. Por ello la problemática venidera en el Perú será cómo poder manejar los recursos hídricos.

Esta zona sufrió los estragos especialmente con las fuertes precipitaciones en el mes de marzo del año 2017, causando una hecatombe en el entorno del puente Sechín, generando el cierre de las vías y perjuicios para las personas. Por esta razón se ha desarrollado un estudio hidráulico e hidrológico de la subcuenca hidrográfica del Río Sechín, ubicada en la provincia de Casma departamento de Ancash en el tramo del kilómetro 376 de la carretera Panamericana Norte con la finalidad de poder proyectar soluciones para prevenir daños ante una crecida de niveles de agua.

Por ello el estudio hidrológico radica en evaluar las descargas (Caudal máximo) a partir de reporte de precipitaciones máximas registradas en la estación cercana a la zona de estudio, para los distintos periodos de retornos de 10, 25, 50 y 100 años, procediendo a efectuar un análisis de frecuencia empleando el programa HIDROESTA (Autor: Ing. Máximo Villón Béjar)

Una vez realizado lo anterior podremos definir los caudales máximos que comprende la cuenca con la ayuda del Programa HEC-HMS, para los distintos periodos de retornos de 10, 25, 50 y 100 años, así obtener resultados más reales.

Por último, para el desarrollar el estudio hidráulico se empleó el programa HEC-RAS, para obtener los niveles máximos del agua en las quebradas y el modelamiento de la cuenca. Para el uso del programa se necesita la información de las dimensiones de las secciones transversales del río y el coeficiente de rugosidad, por ello se realizó un levantamiento topográfico. De esta

manera se pretende realizar la evaluación hidráulica, con el fin de control de eventos de condiciones extremas de lluvias que pueden afectar a la población.

CAPÍTULO I

DESARROLLO Y METODOLOGÍA

ASPECTO INFORMATIVO Y PLANTEAMIENTO DE
LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I: DESARROLLO Y METODOLOGÍA

En este primer Capítulo de desarrollo y metodología se va a realizar en forma clara y precisa la información del Proyecto de investigación y el planteamiento de la Investigación, teniendo en cuenta los siguientes criterios para su formulación y la justificación del problema, además se describe los objetivos y técnicas de estudios.

1.1. ASPECTO INFORMATIVO

1.1.1. TÍTULO

“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO DE SECHÍN EN EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DEL CASMA, DEPARTAMENTO DE ANCASH”

1.1.2. UBICACIÓN DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO

REGIÓN : ANCASH
DEPARTAMENTO : ANCASH
PROVINCIA : CASMA
DISTRITO : CASMA
LOCALIDAD : PUENTE SECHIN DE CASMA.

1.2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. ANTECEDENTES

Los recursos hídricos son elementos vitales para el suministro de uso poblacional urbana y rural, energético y otros a nivel mundial, por lo tanto es significativo el manejo y conservación de agua, de tal manera se garantizará el bienestar de la población.

En el Perú en un tiempo remoto por los años 60, entablaron investigaciones hidrológicas para la valoración y cuantificación de requerimientos hídricos en cuencas y micro cuencas para el desarrollo agropecuario de nuestro país. Por tal motivo se han realizado varios trabajos en la cuenca del río Casma, los cuales han tratado temáticas como estudios hidrológicos.

En el año 2017, pese a las frecuentemente inspecciones técnicas y recomendaciones, reportados por INDECI, para evitar los riesgos asociados a los procesos que causan desastres en la cuenca, La ciudad de Casma se reportó en estado de emergencia por los continuos desastres ocurridos por los fenómenos naturales del río Sechín, provocando el colapso del puente Sechín donde en la actualidad existe un puente Bailey provisional para el tránsito de los vehículos pesados y livianos.

A continuación se presentará los resultados de algunas investigaciones relacionadas al tema.

Antecedentes Internacionales:

- a) Segura, L. Casasola, R (2011), menciona en su investigación titulada: **“MODELACIÓN HIDRÁULICA PARA EL ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES EN FINCA VALLE LA ESTRELLA”**, para optar de grado de Magister Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción, otorgado por la Instituto Tecnológico de Costa Rica. Teniendo como finalidad el modelar hidráulicamente las secciones del río Estrella, apoyándose con los programas HEC-RAS y HEC-GeoRAS. Se realizó el análisis en 34 secciones en total para una distancias de 500 m de longitud y 21 tramos de hasta los 23.66 m en el río Estrella, dando resultados de un caudal de

calibración de 3496 m³/s para las secciones 34 – 30, donde no se desbordaron pero el nivel del agua fueron más altos que los reales. Concluyendo así, el modelamiento por tramos usando el HEC-GeoRAS, es una buena opción porque permite visualizar dónde ubicar y cuantas secciones transversales se requiere utilizar, para ser efectiva la gestión de recursos naturales.

- b) Según Arnedo, P. Sierra, Y. (2016), cita en su investigación titulada: **“EVALUACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA DE LA CUENCA DEL “ARROYO GRANDE” Y POSIBLES ALTERNATIVAS DE SOLUCION PARA EL CONTROL DE LAS INUNDACIONES EN EL SECTOR DE MAMONAL”**, para optar el título de Ingeniero Civil, otorgada por la Universidad de Cartagena, que tuvo como finalidad realizar el diagnóstico de la cuenca hidrográfica del Arroyo Grande, con el fin de mitigar el impacto de los desbordamientos. Una vez delimitada la cuenca del Arroyo Grande, se obtuvo como resultado, las precipitaciones máximas sobre toda la cuenca en los años 1997 con 138.18 mm, además el cálculo de los caudales máximos y los hidrogramas para cada periodo de retorno, obteniendo una escorrentía máxima de 75.8 m³/s. Después de haber realizado el estudio hidrológico e hidráulico de la cuenca Arroyo Grande, se planteó dos alternativas: la primera fue, modificar las secciones del conflicto y enrocado confinado, para estabilizar los taludes; la segunda alternativa fue, plantear una construcción de embalse con un área de 4m de profundidad y un vertedero de 2m, dejando un caudal de salida de 24,7m³/s, para que sea suficiente transportar la descarga hacia la bahía.

Antecedentes Nacionales:

- a) Según el autor Puelles, J. (2015), quien nos menciona en su investigación titulada: **“ESTUDIO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DE LA CUENCA ALTO PERÚ Y EL PORVENIR EN EL ASENTAMIENTO HUMANO LAS MERCEDES ALTO PERÚ, DISTRITO LA OROYA, PROVINCIA YAULI – JUNÍN”**, el autor tuvo como meta proyectar el estudio hidráulico e hidrológico de la Quebrada Alto Perú y el Porvenir, con la única finalidad de prevenir daños en viviendas y vías de accesos a la población. Como resultado de la investigación se obtuvo lo siguiente: con el software HEC-RAS, se realizó modelamiento hidráulico tomando tres tramos, Tramo I - Quebrada El Porvenir: desde la progresiva 0+290 hasta los 150 m aguas arriba, donde se estableció un caudal pico de 21.81 m³/s para un tiempo de retorno de 200 años; Tramo II - Quebrada Alto Perú: desde la progresiva 0+260 hasta 0+370, donde se estableció un caudal máximo de 22.00 m³/s para el mismo tiempo de retorno; Tramo III - Quebrada Alto Perú - Confluencia: desde la progresiva 0+000 hasta 0+260, en la progresiva +0.260 confluyen los caudales Tramo I y Tramo II, generando un caudal máximo de 43.81 m³/s para un tiempo de retorno de 200 años. Se concluyó que las precipitaciones máximas de un día con un periodo de retorno de 100 años con el uso del software HIDROESTA será de 30.4 mm, el caudal de diseño con el método racional fue para El Porvenir y Alto Perú de 19.03 m³/s cada uno, en cambio con el uso de Hec-HMS los caudales fueron 15.4 m³/s para Alto Perú y 15.1 m³/s para El Porvenir.

b) El autor Castillo, E. (2017), cita en su investigación titulada: **“EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE LOS DRENAJES TRANSVERSALES EN LA CARRETERA COCAHUAYCO – COCACHIMBA – BONGARÁ - AMAZONAS”**, para obtener el título de Ingeniero Civil, otorgada por la Universidad Nacional de Cajamarca, el autor planteó como objetivo general evaluar un sistema de drenaje transversal proponiendo un mejoramiento de taludes de la carretera Cocahuayco – Cocachimba. Dando como resultado de los parámetros Geomorfológicos estimados: Estudio Hidrológico Cuenca Cajahuache, perímetro de 14.165 Km de longitud línea de divortio aquarum y con un área de superficie drenada de 9.863 Km², se obtuvo la una pendiente de cuenca de 27% con una longitud máximo de recorrido de 5.76 Km. Micro Cuenca I, perímetro de 4.445 Km de longitud línea de divortio aquarum y con un área de superficie drenada de 1.191 Km², se obtuvo la una pendiente de cuenca de 47% con una longitud máximo de recorrido de 0.736 Km. Micro Cuenca II, perímetro de 3.379 Km de longitud línea de divortio aquarum y con un área de superficie drenada de 1.191 Km², se obtuvo la una pendiente de cuenca de 30% con una longitud máximo de recorrido de 1.58 Km. Intensidad máxima 120.01 con un tiempo de retorno de 35 años. Además se realizó el dimensionamiento de las cunetas de un sistema de drenaje para un caudal promedio 0.23 m³/s con una velocidad de 2.05 m/s. Se pudo concluir en la investigación la evaluación del sistema de drenaje transversal, lo cual se realizó un diseño hidráulico comparando entre de las estructuras ya existentes y las diseñadas, modificando los diámetros

por alcantarillas de 36” y que las encontradas en campo sean reemplazadas por pontones de drenaje para un mejor evacuación.

Antecedentes Locales:

- a) El Ing. Romero, C. (2007), responsable del proyecto titulada: “**ESTUDIO HIDROLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO CASMA**”, marcó como objetivo realizar los estudios hidrológicos para el funcionamiento de la cuenca del río Casma. Dando como resultado una extensión de 2990.7 Km² para toda la cuenca, su curso principal recorre 107.026 Km, donde sus nacimiento es en la quebrada Huarancayoc a 4590 m.s.n.m. hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, con una pendiente de 8% en sus nacimiento, en el curso medio de 3% y en la desembocadura con 4%. En los Balances Hídrico de los valles Casma, Sechín y Yaután, tienen demanda actual de 103,06 MMC, pero el balance hídrico nos da como evidencia un déficit del 43,33 MMC, estos datos compromete a todos los meses a excepción de febrero y marzo en donde presentan superávit. Se concluyó que el estudio de la cuenca del río Casma en tiempos de sequías, las demandas fue de 1.65 m³/s del río Sechín, para un ciclo de 28 años (1974 – 2001), además se considera una demanda por la comisión de regantes para el valle de Sechín de 43.33 MMC, por ellos presenta problemas de rendimiento y producción de cultivos.

1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente debido a las variaciones que se presentan en los caudales de los ríos producto de las lluvias quienes son una gran aporte de agua en las cuencas hidrográficas y cuyas aguas discurren superficialmente hasta llegar a un colector o drenaje común, el cual forma el curso de un río como el caso del río Sechín,

que a su vez cruza una vía de transporte (carretera Panamericana Sur) la cual necesita de una estructura para cruzarlo como el puente Sechín cuyo dimensionamiento dependen del caudal que atraviesa.

Este caudal puede variar en algún momento debido a algún fenómeno climático, el cual generara mayor precipitación y por lo tanto mayor aporte de agua a la cuenca, quien evacua dichas aguas hacia las partes más bajas ocurriendo colapsos en el puente Sechín y desbordes originando inundaciones en la ciudad de Casma como se observó en el año 2017 por la llegada del fenómeno del Niño. Por todo eso, se desea resolver la siguiente definición del problema:

¿EN QUE MEDIDA LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA INFLUYE EN LA EVALUACIÓN DEL CAUDAL PICO HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN EL PUENTE SECHIN EN EL DISTRITO DE CASMA?

1.2.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de investigación se realizará para obtener el caudal de diseño para un periodo de retorno de hasta 100 años, el cual nos permitirá hallar la sección hidráulica apropiada para el río Sechín. El régimen del Río Sechín es irregular y desemboca en el Río Casma, por lo que permanece seco por largos periodos, percibiendo así un aumento en su caudal solo en temporada de lluvia en la región de la sierra. La presente investigación tiene como propósito mejorar la sección hidráulica del río Sechín, para evitar futuras desbordes que causan inundaciones y desastres en la ciudad de Casma, como lo ocurrido en el año 2017, donde se reportó en estado de emergencia por los continuos desastres ocurridos por los fenómenos naturales en el río Sechín.

Por ello se justifica la necesidad de ejecutar esta investigación para estudiar los recursos hídricos, así mejorar las condiciones de vida de los pobladores en la Ciudad de Casma.

1.2.4. OBJETIVOS

1.2.4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar la evaluación Hidrológica e Hidráulica del río Sechín para un periodo de retorno de hasta 100 años.

1.2.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir las características de la cuenca del Río Sechín
- Determinar el caudal máximo (Q_{max}) para un periodo de retorno de hasta 100 años.
- Definir las características hidráulicas del Río Sechín.
- Analizar el dimensionamiento hidráulico de la sección del río.

1.2.5. HIPÓTESIS

Si se aplica la evaluación hidrológica e hidráulica del río Sechín hasta un periodo de retorno de hasta 100 años, entonces se podrá mejorar el dimensionamiento en el puente Sechín para que cumpla su función como estructura.

1.2.6. VARIABLES

1.2.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

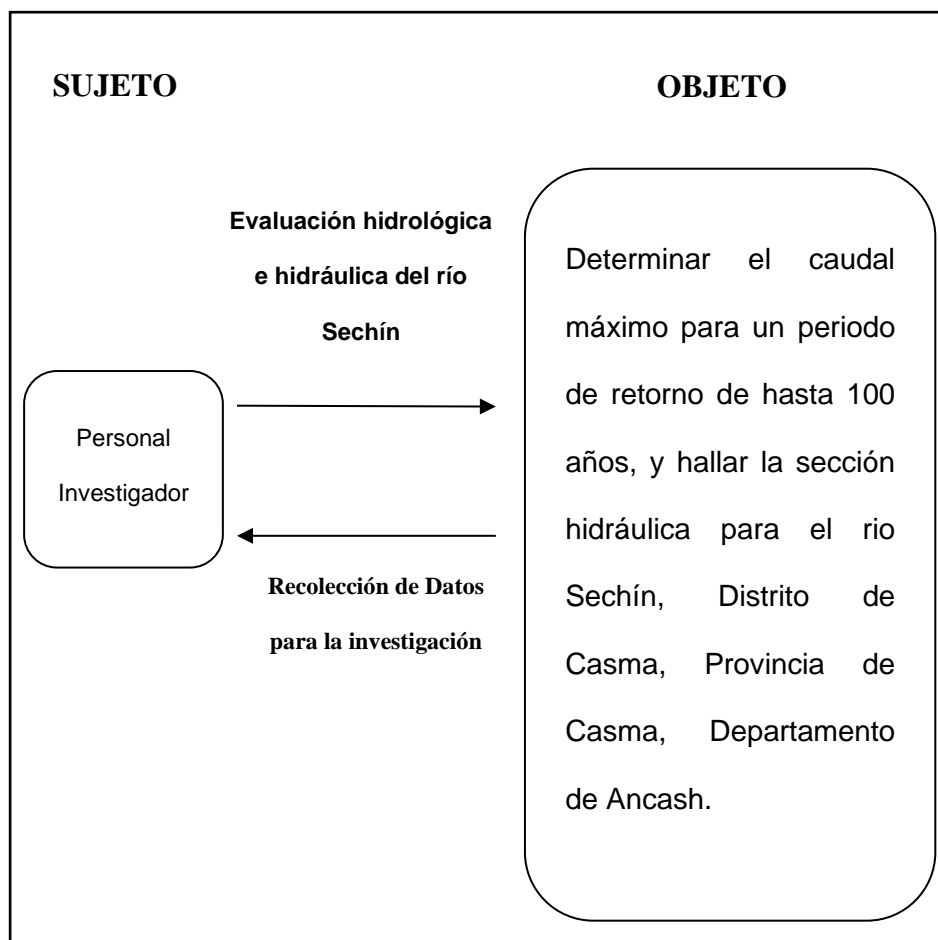
Condiciones meteorológicas de la cuenca.

1.2.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Determinación del caudal máximo para un periodo de retorno de hasta 100 años.

1.2.7. DISEÑO DEL ESTUDIO

Para el diseño de estudio de esta presente investigación se resolvió que es de tipo descriptivo, debido a que se realiza una investigación y se determina las características del objeto de estudio para la evaluación hidrológica e hidráulica del río Sechín, del cual se recopilará datos para la investigación, sin manipular la misma. Además es de tipo explicativa, debido a que se va explicar las condiciones meteorológicas, centrándonos en la comprobación de la hipótesis, determinando el caudal máximo hasta un periodo de retorno de hasta 100 años para lograr dimensionar adecuadamente la sección del río Sechín en el Puente Sechín.



1.2.8. ESTRATEGIA DE TRABAJO

1.2.8.1. MÉTODO DE ESTUDIO

- En este trabajo de investigación, se realizará mediante la visita y observación de la zona de estudio, recopilando datos en campo para computar el caudal pico para los diferentes periodos de retorno, utilizando el software HIDROESTA.
- Proyectar el trabajo de investigación desarrollándolo en gabinete la delimitación de la cuenca, que servirán para el cálculo del caudal pico.
- Captar datos pluviométricos de campo de una estación, en donde se muestre las precipitaciones mensuales y anuales, por lapso de veinte años, que servirán para hallar del caudal pico y se utilizará el software HEC-HMS.
- Con la toma de datos de campo realizando un levantamiento topográfico y para obtener las longitudes de sección del río, utilizaremos el software HEC-RAS para realizar la modelación de la sección del río en el Puente Sechín

1.2.8.2. POBLACIÓN

Lugar de evaluación es el rio Sechín en el Distrito de Casma, Provincia de Casma, Departamento de Ancash.

1.2.8.3. MUESTRA

El tipo de muestra será probabilístico, donde se calculará el caudal máximo para un periodo de retorno de hasta 100 años, como también la sección del río Sechín.

1.2.8.4. UNIDAD DE ANALISIS

Caudal de la Sub Cuenca del Rio Sechín en metros cúbicos por segundos.

1.2.8.5. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de recolección de datos que realizaremos será un levantamiento topográfico del área de investigación (uso de fichas de datos) y la recopilación de información sobre la cuenca (Registros pluviométricos de precipitaciones de la estación de Casma), para la determinación de la sección hidráulica del río Sechín.

1.2.8.6. TECNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS

La técnica de procesamiento de datos será en gabinete utilizando cálculos matemáticos con diferentes softwares (HIDROESTA, HEC-HMS y HEC-RAS).

Se usarán Estudios pluviométrico, cuadros y gráficos estadísticos de recolección de datos en campo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

MARCO TERORICO Y CONCEPTUAL

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se denota el marco teórico donde se fundamentará los conceptos teóricos del estudio hidrológico e hidráulico de una cuenca para dar una mayor comprensión acerca de este tema. Se encontrará términos básicos, conceptos complementarios y específicos.

2.1. TÉRMINOS BÁSICOS

2.1.1. HIDROLOGIA

El autor (**Mijares, 1992**) , cita como concepto de hidrología, es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

Como observamos el concepto de hidrología juega un papel fundamental en el estudio y ejecución de estructuras hidráulicas.

2.1.2. HIDRAULICA

Para el autor (**Castillo, 2017**) , quien emprende desde la etimología de la palabra hidráulica refiriéndose a la “conducción del agua”; además hace mención que la hidráulica se define como el estudio del comportamiento del agua y de otros líquidos ya sea en reposo o en movimiento. Como otro concepto de la hidráulica que da alusión el autor es que se enfoca en el diseño y operación de obras civiles, por lo que los estudios hidráulicos comprenden el diseño de las estructuras grandes y pequeñas con una capacidad conveniente empleando los caudales máximos generados en el estudio hidrológico.

2.1.3. CICLO HIDROLÓGICO

Para el autor (**Villón M. , Hidrología, 2002**), nos cita como denominación del ciclo hidrológico, es la transformación que experimenta el agua natural, tanto

en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.).

A continuación un esquema del ciclo hidrológico en las diferentes formas y estados en que se presenta el agua (*Figura 1*)

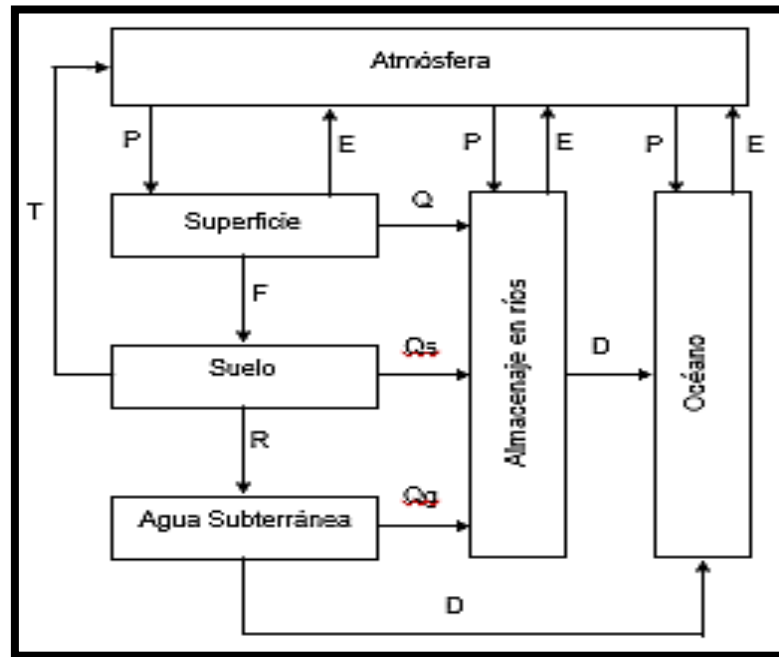


Figura 1 Ciclo hidrológico.

Fuente: (Villón M. , Hidrología, 2002)

E : Evaporación	P : Precipitación	T : Transpiración
Q : Escurrimiento superficial	Qs : Escurrimiento Sub superficial	Qg : Escurrimiento Subterráneo
F : Infiltración	D : Descarga a los Océanos	R : Recarga

Los autores (Chow, Maidment, & Mays, 1994) mencionan como conceptos “ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, No tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua”.(Parr 2)

En la *Figura 2*, se muestra un esquema de cómo se evapora el agua desde el océano y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmosfera; transportando y elevando el vapor del agua en la atmosfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos.

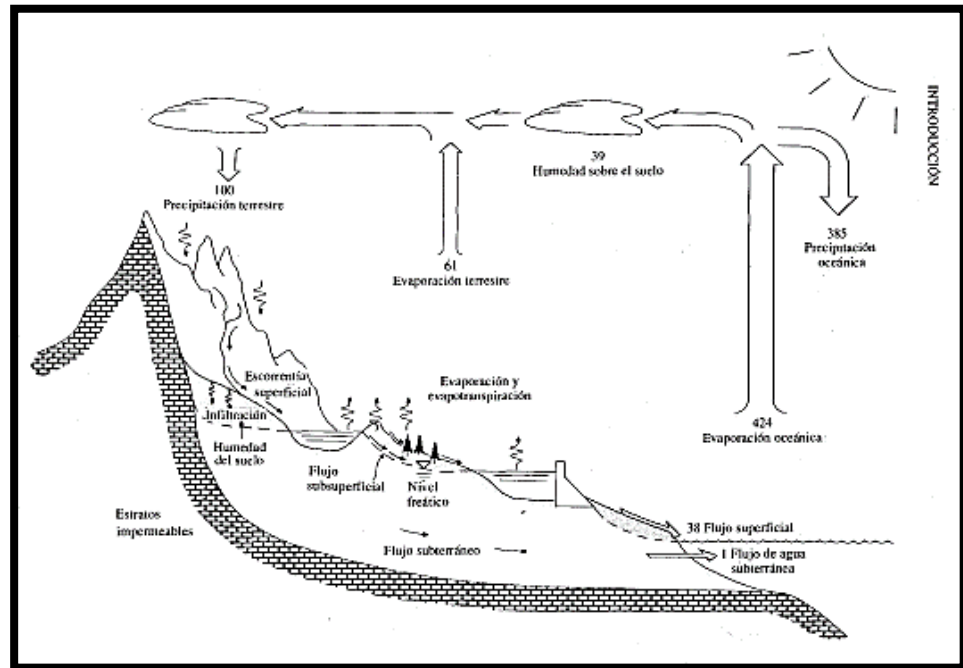


Figura 2 El ciclo hidrológico para la precipitación terrestre.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

2.2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Para el autor (Villón M. , HidroEsta, 2012) hace referente a que es un componente para el análisis hidrológico de la cuenca, lo que extrapolándolo a términos de modelación hidrológica se reduce a un modelo digital de elevaciones (MDE) y con la ayuda del programa HIDROESTA, se obtiene el cálculo hidrológico, donde es necesarios partir de los datos de las precipitaciones, caudal temperatura, evaporación, etc., de lo que origina la red de drenaje y el resto de elementos hidrológicos necesarios para el modelo (subcuencas, tramos, confluencias, derivaciones, fuentes y sumideros).

En cambio para el autor (Nanía, 2007), menciona que “la transmutación de datos de lluvia máxima (tormentas de diseño por periodos de retorno) a esorrentía se ha empleado el software HEC-HMS 3.0.0 con la extensión de ArcView o ArcGis”.

Para los autores contemplan como modelación hidrológica la visualización de la información y la documentación de las características de la cuenca, dándonos a conocer un procedimiento para realizar el modelamiento con la ayuda de los softwares, como por ejemplo empezando con delinear cuencas y cauces, construir las entradas para modelos hidrológicos.

2.3. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

2.3.1. CLIMA

Según el autor (Chereque, 1980) , quien cita la definición la palabra "clima" deriva de una voz griega que significa inclinación, a ludiendo seguramente a la inclinación del eje terrestre. Como se sabe las estaciones tienen lugar debido al movimiento de traslación de la Tierra al rededor del sol, con su eje de rotación inclinado con respecto al plano de traslación. (Parr 1)

2.3.2. VARIABLES CLIMATICAS

Los principales elementos que nos permiten distinguir un clima son:

A. RADIACIÓN

Según los autores (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977), quienes mencionan que la radiación solar es la fuente principal de energía de nuestro planeta y señala sus características climatológicas. Lo que el autor nos quiere reflejar que tanto la tierra como el sol irradian energía como cuerpos negros, por lo que emiten para cada longitud de onda las cuales se consideran cortas, además son cantidades de radiación dispersadas y absorbidas en la atmosfera por lo que se refleja en las nubes y en la tierra. (Parr 1)

B. TEMPERATURA

Según los autores (Fattorelli & Fernández, 2008) donde cita que la “radiación solar está altamente correlacionada con la temperatura, los métodos para estimar la evaporación o la fusión nivel usan con mayor frecuencia la temperatura como parámetro de medición, por ser común y de fácil evaluación”.

También hacen mención los autores que la temperatura del aire y de la superficie terrestre son alta, entonces existe mayor evaporación, por el motivo que la energía calórica que se disponible es mayor. Además, el aire caliente puede contener gran cantidad de humedad y su capacidad de absorber vapor de agua aumenta. Por lo tanto, la temperatura del aire señala un doble efecto sobre la evaporación: directa por el suministro de energía calórica e otra indirecta por aumentar la capacidad del aire para retener humedad.

C. HUMEDAD

Para el autor (Chereque, 1980), cita como concepto de La humedad, expresa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, vapor de agua que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelos húmedos o a través de las plantas. Además la humedad interesa a la Hidrología por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación y porque determina en cierto modo la velocidad con que tiene lugar la evaporación.

D. EVAPORACIÓN

La evaporación se produce básicamente por el aumento de energía cinética que experimentan las moléculas de agua cercanas a la superficie de un suelo

húmedo o una masa de agua, producido por la radiación solar, el viento y las diferencias en presión de vapor. (Mijares, 1992)

E. EVAPOTRANSPIRACIÓN

Del agua que una planta absorbe del suelo sólo una parte muy pequeña se queda para formar los tejidos de la planta; el resto regresa a la atmósfera en forma de vapor, configurando la transpiración. Este fenómeno de la transpiración constituye una fase muy importante del ciclo hidrológico, porque es el mecanismo principal por medio del cual el agua precipitada a tierra regresa a la atmósfera. (Chereque, 1980)

F. PRECIPITACIÓN

Para el autor define la precipitación como la inclusión de la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre. Además la precipitación, es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: Lluvia, granizadas, garúas, nevadas. (Villón M. , Hidrología, 2002)

2.4. CUENCA HIDROGRÁFICA

2.4.1. DEFINICIÓN

Para los autores (Breña & Jacobo, 2006), hace referencia como concepto lo siguiente:

La cuenca es una superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras

cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología”.

Desde el punto de vista de su salida existen dos tipos de cuencas: endorreicas (cerradas) y exorreicas (abiertas). (Breña & Jacobo, 2006)

a) En el primer tipo, el punto de salida se ubica dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago.

b) En el segundo tipo, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y a su vez la descarga se vierte en una corriente o en el mar, tal como se observa en la (figura 3).

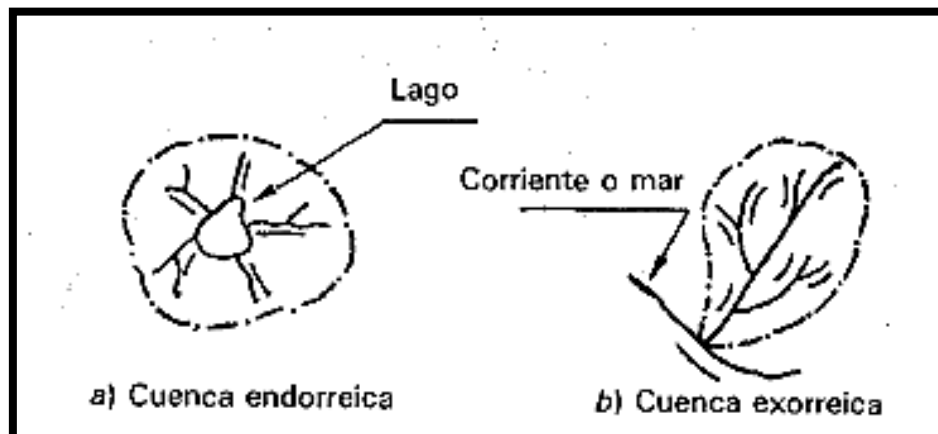


Figura 3 Tipos de Cuencas

Fuente: (Mijares, 1992)

2.4.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA

Según el autor (Bateman, 2007), que hace referencia de las características de una cuenca a unas líneas imaginarias que dividen la parte más alta de la cuenta, de esa forma las lluvias que caen en la superficie terrestre se reparten formando cuencas, donde solos tienen una salida por donde pasa el cauce mientras que los demás tienen cursos, desembocando en el cauce principal denominados tributos. Además se formaron cuencas llamadas cauce tributario o subcuencas, manifestándose así por su mayor densidad de tributarios respondiendo más

rápido a una precipitación o tormenta. Estas subcuencas se distinguen por su forma y su orden de los tributarios que lo conforman.

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS HIDROLÓGICOS DE LA SUBCUENCA

2.5.1. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN

Para este modelo se acostumbra hacer el análisis de frecuencia para cuantificar las precipitaciones, intensidades o caudales máximos, todos estos cálculos que obtendremos serán procesados para los diferentes periodos de retorno, mediante la aplicación del software HIDROESTA, donde se aplican modelos probabilísticos, en función de distribución de probabilidad teórica, a continuación recomendamos utilizar las siguientes funciones:

a) Distribución Normal

Esta distribución es la estimación de parámetros variables que para cada conjunto de datos un valor se define. Una vez definida la función de densidad o una función de distribución acumulada se puede escribir como función variable aleatoria X, la probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \quad \dots (1)$$

Donde:

$f(x)$: Función densidad normal de la variable x

μ : Parámetro de localización, o media aritmética de x.

S : Parámetro de escala, o desviación estándar de x.

(Monsalve, 1995)

b) Distribución Log Normal 2 parámetros

Para esta distribución se tiene una variable aleatoria X positiva, de la cual tiene una distribución log-normal de 2 parámetros, donde la variable aleatoria: $Y = \ln X$, es normalmente distribuida con media μ y varianza S^2 , por lo tanto estos parámetros son utilizados para la distribución logarítmica, porque también se puede usar la media y la varianza de X, la función de distribución Log Normal 2 de densidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-(x-\bar{X})^2/2s^2} dx \quad \dots (2)$$

Dónde:

\bar{X} y S : Parámetros de distribución.

La variable X de la ecuación (1) se sustituye en la función $y = f(x)$, tal que $y = \log(x)$, la función puede ser normal, modificándose en una ley de probabilidad denominada *log-normal*, N (Y, Sy). Por tanto las variables iniciales de la variable aleatoria X, deben ser modificada a $y = \log(x)$, de tal manera que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \quad \dots (3)$$

Donde:

\bar{Y} : Media de los datos de la muestra transformada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad \dots (4)$$

Dónde:

S_y : Desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

Además, se tiene las siguientes relaciones:

$$C_s = a/S_y^3 \quad \dots (5)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad \dots (6)$$

Dónde:

C_s : Coeficiente de oblicuidad de los datos de la muestra transformada. (Monsalve, 1995)

c) Distribución Log Normal 3 parámetros

Si se tiene una variable aleatoria X, se dice que se tiene una distribución Log Normal 3 parámetros, donde la probabilidad de la función de densidad es:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{2\pi S_y}} e^{-1/2(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{S_y})^2} \quad \dots (7)$$

Para: $0 < x < \infty$

$$x \sim \log N(\mu_y, S_y^2)$$

μ_y, S_y^2 : Media y desviación estándar de las muestras transformadas.

$\ln x$: Parámetro de escala y de distribución. (Monsalve, 1995)

d) Distribución Gamma 2 parámetros

Si se tiene una variable aleatoria X, se dice que se tiene una distribución Gamma de 2 parámetros, donde la probabilidad de la función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad \dots (8)$$

Para:

$$0 < x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

$\Gamma(\gamma)$: Función Gamma definida como:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx, \text{ que converge si } \gamma > 0$$

e) Distribución Gamma 3 parámetros

Si se tiene una variable aleatoria X, se dice que se tiene una distribución Gamma de 3 parámetros, donde la probabilidad de la función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad \dots (9)$$

Para:

$$x_0 < x < \infty$$

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

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

x_0 : Parámetro de posición.

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

f) Distribución Log Pearson tipo III

Si se tiene una variable aleatoria X , se dice que se tiene una distribución Log Pearson tipo III, y la probabilidad de la función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad \dots (10)$$

Para:

$$x_0 < x < \infty$$

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

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Dónde:

x_0 : Parámetro de posición.

γ : Parámetro de forma.

β : Parámetro de escala.

g) Distribución Gumbel

Según el autor (Chow, Maidment, & Mays, 1994), donde cita que “la distribución de Gumbel es un valor extremo llamada también Valor extremo tipo I, Fisher-Tippett tipo I o distribución doble exponencial”. La distribución acumulada de Gumbel tiene la forma:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \dots (11)$$

Dónde, se utilizó el método de momentos, y se obtiene las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{s} \dots (12)$$

$$\beta = \mu - 0.45S \dots (13)$$

Dónde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según el autor, distribución se puede expresar como la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + kS_x \dots (14)$$

Dónde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia

h) Distribución Log Gumbel

Para autor Paulet, 1977, quien cita el método de Log Gumbel, donde se “utiliza para conjeturar magnitudes máximas de variables hidrológicas aceptando a estos valores como independientes entre sí, a demás son aprovechadas para el estudio de magnitud-duración-frecuencias de lluvias”.

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \dots (15)$$

De la ecuación anterior, la función se reduce a lo siguiente:

$$G_{(y)} = e^{-e^{-y}} \dots (16)$$

2.5.2. CÁLCULO DE VARIABLES PROBABILÍSTICAS

- Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots (17)$$

Donde:

n : tamaño de la muestra

x_i : Desviación en cada punto

\bar{x} : Media aritmética previamente calculada mediante las siguientes fórmulas.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots (18)$$

- Variable Reducida por la expresión:

$$y = \alpha * (x - \mu) \dots (19)$$

Donde:

μ : Modo de la distribución

α : Parámetro de dispersión

Si se tiene una muestra con tamaño limitado, Gumbel halló las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \dots (20)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \dots (21)$$

- Variable de Gumbel:

$$Y_t = \ln(\ln(T/T - 1)) \dots (22)$$

Donde:

Y_t : Variable de Gumbel

T : Tiempo de retorno

2.5.3. MÉTODO DE DYCK PESCHKE

Del manual de hidrología con autor (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2008), señala que este “método se ejecuta cuando la duración

de la tormenta es menos a 1 hora o también cuando no se cuenta con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, por lo tanto se puede calcular mediante este método.”

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25} \dots (23)$$

Donde:

P_D : Precipitación total (mm)

D : Duración en minutos

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas (mm)

2.6. PERIODO DE RETORNO

Para el autor (Villón M. , Hidrología, 2002), nos menciona que para “el caso de un caudal de diseño, el período de retorno se define, como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud Q , puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en el promedio.”

Si un evento igual o mayor a Q , ocurre una vez el T años, su probabilidad de ocurrencia P , es igual a 1 en T casos, es decir:

$$P = \frac{1}{T} \text{ ó } T = \frac{1}{P} \dots (24)$$

Dónde:

P : Probabilidad de ocurrencia de un caudal (Q)

T : Período de retorno

Tabla 1 Periodo de Retorno para Tipos de Estructuras

Tipo de Estructuras	Periodo de Retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50 - 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarilla sobre carretera importante	25
Alcantarilla sobre camino secundario	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamientos con lluvia de corta duración	1 – 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 – 10
Drenaje Agrícola	5 – 10
Muros de encauzamiento	2 – 50

Fuente: (Villón M.)

Para los siguientes autores (**Arnedo Pacheco & Sierra Passo, 2016**), quienes definen que el periodo de retorno en la hidrología siempre varían de entre 10 a 100 años en lugares donde la Precipitación Máxima Probable no ha sido definida, hasta 10,000 años. La selección de período de retorno depende de varios factores, entre los cuales se incluyen el tamaño de la cuenca, la importancia de la estructura, y el grado de seguridad deseado. Entonces de acuerdo a la *Tabla 1* se calculará el periodo de retorno para 50 y 100 años, según el tipo de estructura en este caso es un puente sobre una carretera importante.

2.7. CAUDALES MÁXIMOS

Para el autor (Sotero, 1987) , quien cita “Los caudales máximos se define por su mayor volumen de agua que pasa por un determinado punto de control, a consecuencia de las fuertes precipitaciones.”

Para el autor (Villón M. , Hidrología, 2002), menciona que “La magnitud del caudal máximo, es función directa del periodo de retorno que se le asigne, el que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de ésta.”

Según el autor (Hinojosa, 1987) , donde hace mención que Las expresiones del cálculo de caudales máximos necesitan de la intensidad de las precipitaciones pluviales. Estas expresiones (la intensidad, frecuencia y duración de las lluvias) es una información que debe ser precisa para la precisión de los valores de caudal máximo calculados teóricamente.

Por ello uno de los métodos más usados para el cálculo del caudal máximo, se denomina:

2.7.1. MÉTODO RACIONAL CLÁSICO

Según el autor (Hinojosa, 1987), quien nos hace referencia del método que considera como constante el coeficiente de escorrentía C de cada cuenca, donde la escorrentía sería la hipótesis idónea, cuando en realidad el periodo de retorno es el que debe aumentar, mediante esta hipótesis acontecerá una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca que corresponde a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección.

$$Q_T = C \times I \times A \quad \dots (25)$$

Dónde:

QT : Caudal o descarga, en m³/s

C : Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca, adimensional.

A : Área de la cuenca, en hectáreas (ha)

I : Intensidad en mm/hora; es la máxima precipitación media correspondiente al periodo de retorno e intervalo de tiempo más desfavorable (tiempo de concentración).

2.8. NUMERO DE CURVAS

El método de número de curva de escorrentía (CN) de SCS se describe en detalle en NEH-4 (SCS 1985). La escorrentía de SCS ecuación es

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots (26)$$

Dónde:

- Q : Esguerrimiento (in)
P : Lluvia, precipitación (in)
S : Retención máxima potencial después de la escorrentía comienza (in)
I_a : Abstracción inicial (in)

- **La abstracción inicial (I_a)**, se refiere a todas las pérdidas antes de la escorrentía comience e incluye agua retenida en depresiones superficiales, agua obstruidas por vegetación, evaporación, y la infiltración. La abstracción inicial (I_a) se percibe como una variable pero generalmente es correlacionado con los tipos de suelo y cubierta. Mediante estudios de muchas pequeñas cuencas agrícolas, (I_a) fue encontrado para ser aproximado por el siguiente empírico ecuación:

$$I_a = 0.2S \dots (27)$$

Si eliminamos I_a como un parámetro independiente, este a su vez nos permite el uso de una combinación de S y P para producir una cantidad de escorrentía única. Sustituyendo la ecuación 13 en la ecuación 12 da:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P - 0.8S)} \dots (28)$$

Según (United States Department of Agriculture (USDA), 1986) quienes indican que encontró el CN, las cuales tienen un rango de $0 \leq CN \leq 100$.

La Figura 4 y la tabla 2 resuelven las ecuaciones 5 y 6 para una gama de CN y precipitaciones.

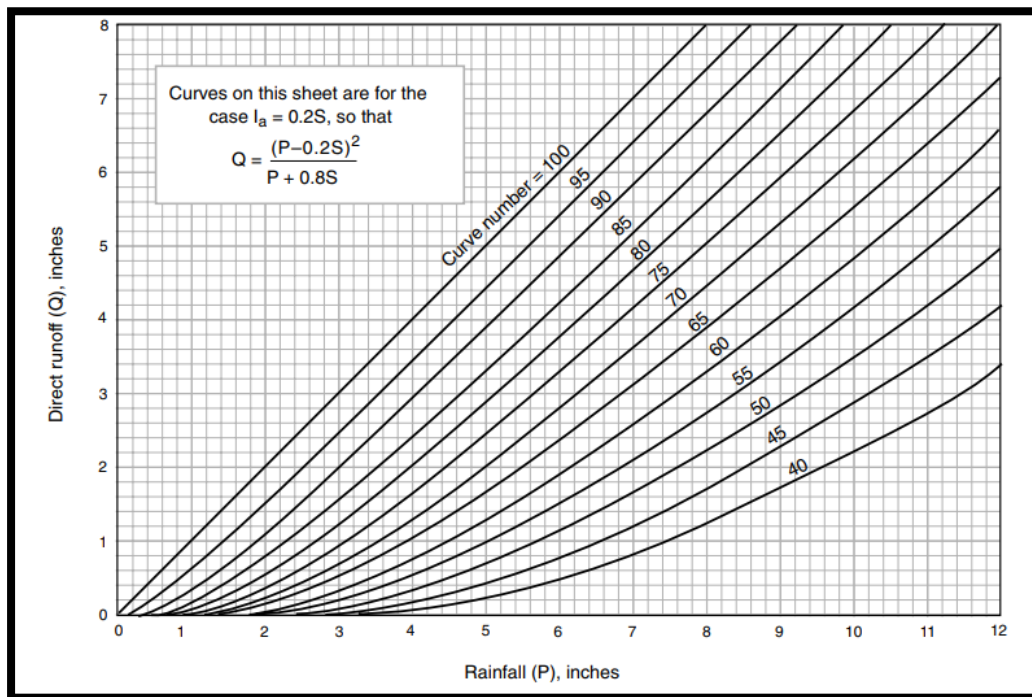


Figura 4 Solución de la ecuación de escorrentía.

Fuente: (United States Department of Agriculture (USDA), 1986)

Tabla 2 Profundidad de escorrentía para el CN y Lluvia

Rainfall	Runoff depth for curve number of—												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98
	inches												
1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	0.17	0.32	0.56	0.79
1.2	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.15	.27	.46	.74	.99
1.4	.00	.00	.00	.00	.00	.02	.06	.13	.24	.39	.61	.92	1.18
1.6	.00	.00	.00	.00	.01	.05	.11	.20	.34	.52	.76	1.11	1.38
1.8	.00	.00	.00	.00	.03	.09	.17	.29	.44	.65	.93	1.29	1.58
2.0	.00	.00	.00	.02	.06	.14	.24	.38	.56	.80	1.09	1.48	1.77
2.5	.00	.00	.02	.08	.17	.30	.46	.65	.89	1.18	1.53	1.96	2.27
3.0	.00	.02	.09	.19	.33	.51	.71	.96	1.25	1.59	1.98	2.45	2.77
3.5	.02	.08	.20	.35	.53	.75	1.01	1.30	1.64	2.02	2.45	2.94	3.27
4.0	.06	.18	.33	.53	.76	1.03	1.33	1.67	2.04	2.46	2.92	3.43	3.77
4.5	.14	.30	.50	.74	1.02	1.33	1.67	2.05	2.46	2.91	3.40	3.92	4.26
5.0	.24	.44	.69	.98	1.30	1.65	2.04	2.45	2.89	3.37	3.88	4.42	4.76
6.0	.50	.80	1.14	1.52	1.92	2.35	2.81	3.28	3.78	4.30	4.85	5.41	5.76
7.0	.84	1.24	1.68	2.12	2.60	3.10	3.62	4.15	4.69	5.25	5.82	6.41	6.76
8.0	1.25	1.74	2.25	2.78	3.33	3.89	4.46	5.04	5.63	6.21	6.81	7.40	7.76
9.0	1.71	2.29	2.88	3.49	4.10	4.72	5.33	5.95	6.57	7.18	7.79	8.40	8.76
10.0	2.23	2.89	3.56	4.23	4.90	5.56	6.22	6.88	7.52	8.16	8.78	9.40	9.76
11.0	2.78	3.52	4.26	5.00	5.72	6.43	7.13	7.81	8.48	9.13	9.77	10.39	10.76
12.0	3.38	4.19	5.00	5.79	6.56	7.32	8.05	8.76	9.45	10.11	10.76	11.39	11.76
13.0	4.00	4.89	5.76	6.61	7.42	8.21	8.98	9.71	10.42	11.10	11.76	12.39	12.76
14.0	4.65	5.62	6.55	7.44	8.30	9.12	9.91	10.67	11.39	12.08	12.75	13.39	13.76
15.0	5.33	6.36	7.35	8.29	9.19	10.04	10.85	11.63	12.37	13.07	13.74	14.39	14.76

Fuente: (United States Department of Agriculture (USDA), 1986)

- **La retención máxima S**, está relacionado con CN por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \dots (29)$$

Donde S tiene unidad de medidas en pulgadas, además se encuentra relacionado con el tipo de suelo y las condiciones de cobertura de la cuenca a través de la CN. Tenemos los números de curva que se muestran en la figura 4 mencionada anteriormente, utilizando las condiciones de los antecedentes de humedad las cuales son:

- (AMC I) para condiciones secas
- (AMC II) para condiciones normales
- (AMC III) para condiciones húmedas

Del cual los números de curvas equivalentes pueden calcularse por:

$$CN = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \dots (30)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad \dots (31)$$

Según a organización (United States Department of Agriculture (USDA), 1986), se definen cuatro grupos de suelos:

Grupo A: En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Son de textura gruesa, arena Profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. Son de textura franco – arenosa, con suelos pocos profundos depositados por vientos, marga arenosa

Grupo C: Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración lenta. El suelo es de media profunda con textura franco – arenosa, arcillosas, margas

Parqueaderos pavimentos, techos, accesos, etc	98	98	98	98
Calles y Carreteras				
Pavimentos con cunetas y alcantarillado	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: (United States Department of Agriculture (USDA), 1986)

2.9. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Se observa que el tiempo de concentración es el recorrido que hace una gota de agua desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. Por lo que una vez transcurrido el tiempo de concentración se debe considerar que toda la cuenca aporta a la salida. La relación que existe entre la duración de una tormenta y su intensidad es inversa (se dice que a mayor duración disminuye la intensidad), por lo tanto se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . Para el tiempo de concentración real necesita de muchos factores, entre ellos está la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de la pendiente puesto que a mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración, en ellos también está el área que conforma la cuenca, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. De todos las formulas estudiadas los más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área. Entonces el tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial y se representa con la siguiente formula:

$$t_c = t_o + t_f \dots (32)$$

Donde:

t_o : Tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla.

t_f : Tiempo de flujo en los alcantarillados hasta el punto de interés

$$= \sum L_i / V_i.$$

Las ecuaciones para calcular el tiempo de concentración se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

MÉTODO/ FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0197 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisorio de aguas y la salida, m.</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.
Izzard (1946)	$t_c = \frac{525 \times (0.000276 \times i + c) \times L^{0.33}}{S^{0.333} \times i^{-0.667}}$ <p>i = intensidad de lluvia, mm/h c = coeficiente de retardo L = longitud de la trayectoria de flujo, m. S = pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.</p>	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y Áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos

		muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = \frac{0.7035 \times (1.1 - C) \times L^{0.50}}{S^{0.333}}$ <p>C = coeficiente de escorrentía del método racional. L = longitud del flujo superficial, m. S = pendiente de la superficie, m/m</p>	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers: el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.
Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = \frac{7 \times L^{0.6} \times n^{0.6}}{I^{0.4} \times S^{0.3}}$ <p>L = longitud del flujo superficial, m. n = coeficiente de rugosidad de Manning. I = intensidad de lluvia, mm/h. S = pendiente promedio del terreno-m/m.</p>	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto I (Intensidad de lluvia) como t_c son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad – duración – frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0.0136 \times L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ <p>L = longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m. CN = Número de</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a

curva SCS $S =$ pendiente promedio de la 800 Ha; se ha encontrado que
cuenca, m/m generalmente es buena cuando
el área se encuentra
completamente pavimentada;
para áreas mixtas tiene
tendencia a la sobreestimación;
se aplican factores de ajuste
para corregir efectos de mejoras
en canales e
impermeabilización de
superficies; la ecuación supone
que $t_c = 1.67 \times$ retardo de la
cuenca.

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2008)

2.10. TIEMPO DE RETRASO

$$t_c = \frac{L^{0.3} \times (d+1)^{0.7}}{735 \times S^{-0.385}} \dots (33)$$

Donde:

- Tc : Tiempo de retardo (horas)
L : Longitud máximo recorrido del agua (metros)
S : Pendiente de la cuenca (%)
d : Valor de sustracción (pulgadas)

La fórmula para calcular el tiempo de retardo está relacionado con el tiempo de concentración por medio de la siguiente fórmula:

$$t_r = 0.6 \times t_c \dots (34)$$

2.11. MÉTODO DE DESCARGA PICOS

Para (United States Department of Agriculture (USDA), 1986), quienes nos hace referencia de una muestra de descarga de picos y su método para calcular la descarga máxima de zonas rurales y áreas urbanas. Este método gráfico se desarrolló a partir de los análisis de hidrogramas utilizando TR-20, “Programa de computadora para la formulación de proyectos: hidrología” (SCS 1983). La ecuación de descarga máxima utilizada es:

$$q_p = q_u A Q F_p \dots (35)$$

Dónde:

- q_p : Pico de descarga (cfs)
- q_u : Unidad de descarga máxima (csm / in)
- A_m : Área de drenaje (mi²)
- Q : Escurrimiento (en)
- F_p : Factor de ajuste de estanque y pantano

Los requisitos de entrada para el método gráfico son de la siguiente manera: (1) T_c (hr), (2) área de drenaje (mi²), (3) distribución apropiada de lluvia (I, IA, II o III), (4) 24 horas de lluvia (in), y (5) CN. Si hay estanque y pantano las áreas se extienden por toda la cuenca y no son considerados en el cálculo de T_c , También se necesitan áreas de estanques y pantanos.

Tabla 5 Factor de ajuste (F_p) para áreas de estanques y pantanos

Percentage of pond and swamp areas	F_p
0	1.00
0.2	0.97
1.0	0.87
3.0	0.75
5.0	0.72

Fuente: (United States Department of Agriculture (USDA), 1986)

2.12. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF)

Según el autor (Villón M. , Hidrología, 2002), quien menciona la definición de “las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son resultantes al unir puntos representativos de la Intensidad media en intervalos de diferente duración correspondientes a una misma frecuencia o periodo de retorno.”

a) **Intensidad**, para calcular la intensidad se necesita una cantidad máxima de agua caída (tormenta) por unidad de tiempo. Por lo que la intensidad se expresa de la siguiente forma:

$$i_{max} = \frac{P}{t} \dots (36)$$

Dónde:

- i_{max} : Intensidad máxima, en mm/hora
P : Precipitación en altura de agua, en mm
t : Tiempo en horas

b) **Duración**, el autor nos dice que es el tiempo que transcurre de comienzo y a fin de la tormenta, donde se recomienda definir los periodos de tiempo (minutos u horas).

c) **Frecuencia**, se refiere al número de veces que se repite una tormenta, con características de intensidad y duración precisando el periodo de tiempo en años.

2.13. HIETOGRAMA

El autor (Villón M. , Hidrología, 2002), menciona que el hietograma es un “el grafico de forma escalonada donde se representa la variación de la intensidad expresa en mm/horas de la tormenta (minutos u horas)”. Con la ayuda de este hietograma se puede visualizar la hora donde la precipitación adquirió su máxima intensidad y cuál fue el

valor de esta (Ver la Figura 5). Matemáticamente este gráfico presenta la siguiente relación:

$$i = \frac{dP}{dt} \dots (*)$$

Dónde:

i : Intensidad
 P : Precipitación
 t : Tiempo

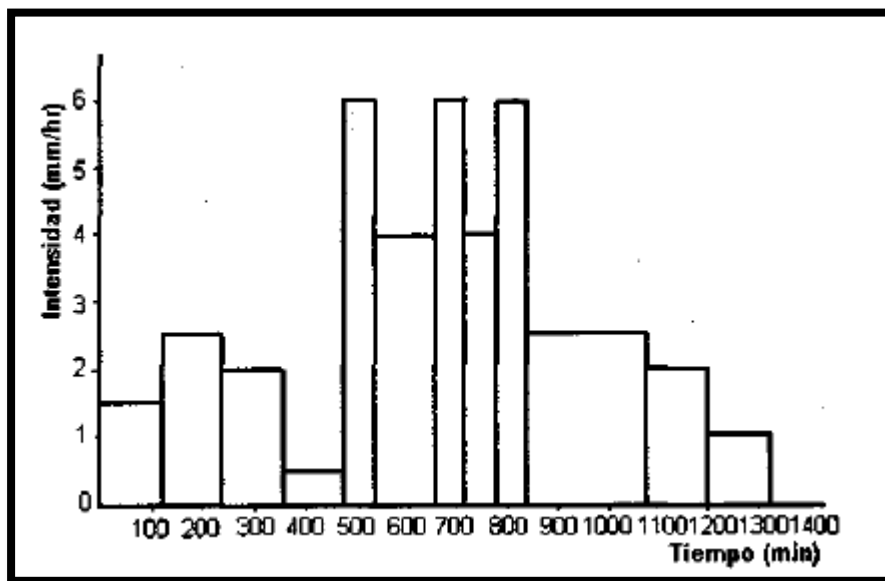


Figura 5 Hietograma de Precipitación

Fuente: (Villón M. , Hidrología, 2002)

2.14. MODELACIÓN HIDRAULICA

Para el autor (García & Carmelo, 2011), quien nos alude el concepto de modelación hidráulica, con la ayuda de software HEC-RAS, del cual nos entrega datos sobre corriente estable e inestable, subcrítica, su-percrítica, además nos permite realizar los cálculos del perfil de regímenes mixtos para una red Fluvial. Los datos del perfil se obtienen al realizar el procedimiento estándar del levantamiento topográfico detallada

del cauce para la transmisión de desbordamiento y ser procesada de modo creciente para cada coordenada y cambios de rugosidad, para poder definir la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo la cual discurre por un cauce natural en forma transitoria.

2.14.1. PREMISAS PARA LA EVALUACIÓN

A. CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

Para realizar la evaluación de se da como premisa el levantamiento topográfico para trabajar el modelo hidráulico del cauce principal de la quebrada seca reviene del rio Sechín. Para la zona de estudio se definió en el puente Sechín, realizando el estudio con la ayuda del equipo estación total, para el levantamiento topográfico de 41 secciones transversales.

En la actualidad este puente se encuentra con un puente bailey en proceso de sustitución. La topografía se estipula un kilómetro aguas abajo y un kilómetro aguas arriba de este puente aproximadamente.

B. EVALUACIÓN HIDRÁULICA

Al realizar la evaluación hidráulica, nos menciona a la identificación de la subcuenca hidrográfica donde intercepta el alineamiento de la carretera, con el único objetivo de premeditar los caudales de diseño para los diferentes periodos de retornos y efectos de las crecidas. Donde se pretende señalar la superficie, las pendientes y longitudes del cauce principal, su forma, relieve, el tipo de cobertura vegetal, calidad y uso de suelos, así como también los cambios realizados por el hombre (embalses y otras obras de cruce que puedan alterar las características del flujo).

C. CALCULO DEL CAUDAL

El autor (Chow, Maidment, & Mays, 1994), nos hace referencia al “cálculo del caudal de río utilizando un correntómetro para medir la velocidad corriente, utilizando una barra o una cuerda con contrapeso desde la superficie hasta el lecho del río se mide la profundidad de la sección transversal”. Por lo que nos permitirá calcular el caudal en una sección transversal de área A, haciendo uso de la siguiente formula:

$$Q = \int_A \int V * dA \dots (37)$$

En la ecuación 37, dónde se calcula el integral del sumando de los caudales incrementales para cada medición i , ($i = 1, 2, \dots, n$), de la velocidad V_i y profundidad d_i (Ver la Figura 5). Todas las medidas son reemplazadas por valores promedio a lo largo de un ancho ΔW_i de la corriente, por lo que se estipula como:

$$Q = \sum_{i=1}^n V_i d_i \Delta w_i \dots (38)$$

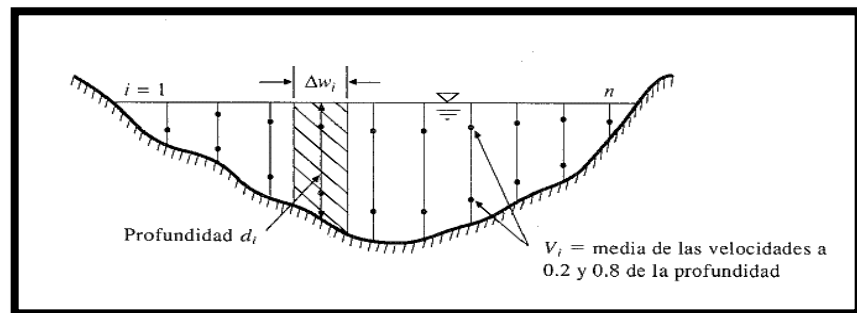


Figura 6 Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

D. FLUJO EN CANALES ABIERTOS

Para el autor (Te chow, 2004), donde cita la definición de canales abiertos una superficie libre que está sujeta a una presión atmosférica, donde las condiciones del flujo en canales abiertos varían por el tiempo,

el espacio, por la profundidad, el caudal y las pendientes, por lo tanto se obtiene una variación en las secciones transversales. Alegando que la rugosidad del canal abierto varía con la posición de la superficie libre. Por lo tanto el coeficiente de fricción implica es preciso hacer el cálculo con un método empírico.

E. TIPOS DE FLUJO EN CANALES ABIERTOS

- Flujo Permanente

Según el autor (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007), quien hace mención al tipo de flujo permanente con la clasificación de acuerdo al cambio de profundidades en el flujo con respecto al tiempo y el espacio

- Flujo No Permanente

El autor (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007), quien menciona que el flujo no permanente encasilla una variación en la dirección de la corriente (flujo) con respecto al espacio y tiempo.

F. ESTADO DEL FLUJO

Según el autor (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007), menciona el estado del flujo en los canales abiertos que están sujetos a dos efectos causados por la viscosidad y gravedad en relación a la fuerza de inercia del flujo.

- Efecto de viscosidad,** el autor (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007) quien nos indica que el efecto de viscosidad es un flujo laminar, turbulento o transicional en relación a la inercia. Por lo tanto

existe un nexo conocida como el Numero de Reynolds, a continuación la expondremos de las siguiente manera:

$$R_e = \frac{vR}{u} \dots (39)$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds

R : Radio hidráulico de la sección transversal (m)

V : Velocidad Media (m/s)

U : Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

Por lo tanto:

Re < 580 → Flujo laminar

Re > 750 → Flujo turbulento

580 < Re > 750 → Flujo transitorio

- **Efecto por gravedad**, para el autor (Te chow, 2004), nos menciona que el efecto de gravedad se presenta en la relación entre las fuerzas de inercia y las gravitacionales. Por esta razón tenemos el nexo conocida como por el Número de Froude, donde definimos a continuación:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD_H}} \dots (40)$$

Dónde:

Fr : Número de Froude

V : Velocidad Media (m/s)

g : Gravedad

D_H : Profundidad hidráulica media (medida entre el área mojada y el ancho del espejo de agua)

Si:

Fr	=	1	→	Flujo Crítico
Fr	>	1	→	Flujo supercrítico
Fr	<	1	→	Flujo Subcrítico

G. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL

El autor (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007), nos hace referencia que los elementos geométricos pueden ser determinados por la geometría de la sección y la profundidad del flujo para realizar el cálculo del flujo. Continuación se definirá cada elemento:

- **Profundidad de Flujo**, el autor dispone tomar el punto más bajo de la sección y perpendicular a este midiendo la distancia en forma vertical hasta la superficie libre.
- **Ancho superficial T**, el autor define como el ancho superficial a la sección del canal, perpendicular a la dirección del flujo con superficie libre.
- **Perímetro mojado P**, el autor se refiere a la longitud de la superficie mojada con la intersección del plano transversal y perpendicular de la dirección del flujo.
- **Radio hidráulico R**, el autor calcula el radio mediante la relación entre el área de la sección mojado y el perímetro mojado, como:

$$R = \frac{A}{P} \quad \dots (41)$$

- **Profundidad hidráulica D**, el autor calcula la profundidad mediante la relación entre el área de la sección mojada y el ancho de la superficie, como:

$$D = \frac{A}{T} \quad \dots (42)$$

- **Factor de sección para el cálculo del flujo crítico Z**, el autor calcula el factor de sección mediante el producto entre el área de la sección mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica, como:

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}} \quad \dots (43)$$

H. PENDIENTE LONGITUDINAL

Según el autor (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007), quien cita que el flujo uniforme no cambia con respecto al espacio de los parámetros (tirante, velocidad, área, etc). Por lo que la profundidad, el área transversal, la velocidad y el caudal del flujo de la sección del canal son constantes, lo cual lugar que la pendiente de la línea de energía (S_E), la pendiente de la superficie libre de agua (S_W) y la pendiente del fondo del canal (S_0) sean iguales por lo tanto son paralelas (ver en la Figura 6), se tiene:

$$S_E = S_W = S_0 = S \quad \dots (44)$$

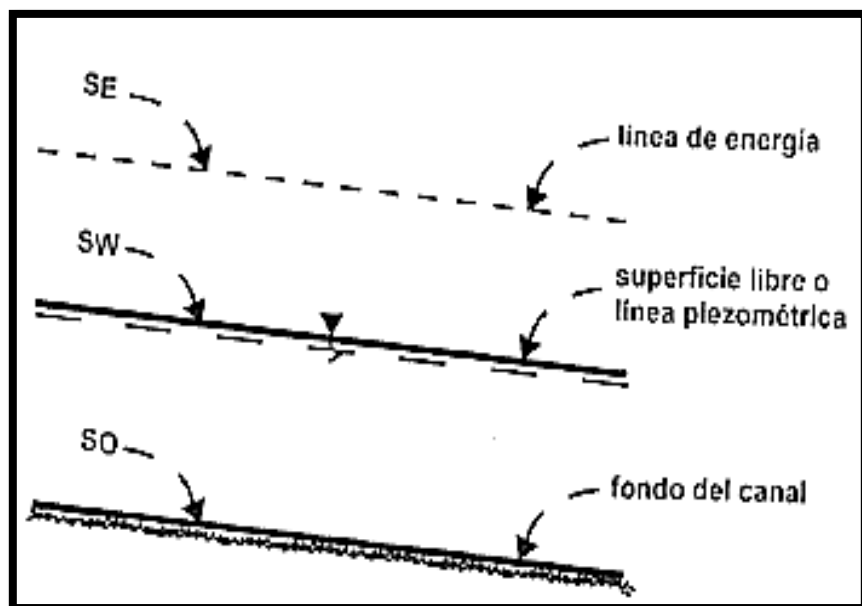


Figura 7 Pendientes: Línea de energía, línea piezométrica y fondo del canal

Fuente: (Villón M. , Hidraulica de Canales, 2007)

Además el autor nos permite desarrollar un flujo uniforme, donde la pendiente debe ser diminuto por tanto los tirantes normales (perpendiculares) son iguales a los tirantes verticales como se ve en la Figura 7.

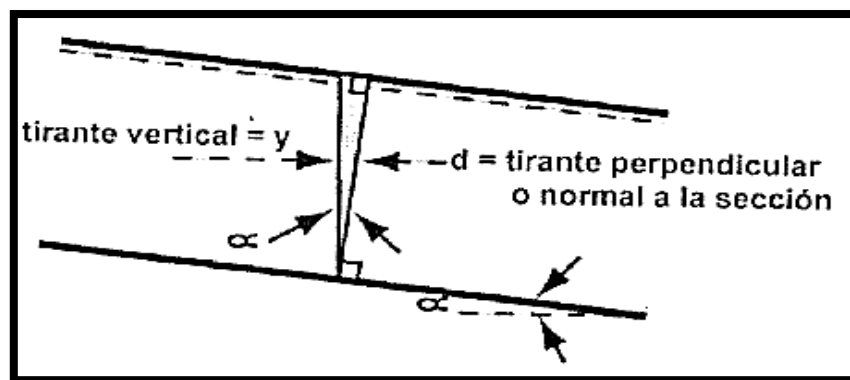


Figura 8 Tirante vertical y normal (perpendicular a la sección)

De la Figura 7, se tiene:

$$\cos \alpha = d/y \rightarrow y = d/\cos \alpha \quad \dots (45)$$

Dónde, α es pequeño, $\cos \alpha \approx 1$, entonces $y = d$

I. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE CAUCES NATURALES

Para el autor (Te chow, 2004), quien menciona que la rugosidad superficial en un canal abierto, se representa por el tamaño y forma del perímetro mojado y que efectos producen el retardo del flujo. Este coeficiente de rugosidad se considera único factor, se puede dar granos finos entonces el resultado del valor será relativamente bajo de n , y si es grano grueso el valor es alto a n .

La **vegetación** se considera como una clase de rugosidad solo superficial por lo que retarda el flujo en el canal.

Otra clase de rugosidad se presenta en la **irregularidad** del canal, donde se determina el perímetro mojado y los cambios en la sección transversal, por su forma y tamaño.

Otro valor de rugosidad es el **alineamiento** del canal, en eso tenemos las curvas suaves con radios grandes donde el valor es bajo de n .

La **sedimentación** es otra clase de rugosidad que cambia en un canal irregular a uno uniforme, disminuyendo el n , pero para la **socavación** sucede lo contrario por lo que incrementa el n . Lo consiguiente es la sedimentación que dependerá de la naturaleza que hacer el depósito de material, uniformes o no, como barras u ondulaciones de arena, por lo que contribuye al incremento del valor de n .

Se considera la **obstrucción** como coeficiente de rugosidad por la presencia de obstrucciones de troncos, pilas de puente y estructuras similares que por lo consiguiente incrementa el valor de n .

Para el autor no existe evidencia definitiva que asegure que el **tamaño y forma** del canal son factores que afecten el valor de n , además según las condiciones del canal si en caso hay un incremento en el radio hidráulico entonces puede dar aumento o disminución de n .

Por último se considera el nivel y caudal como otro factor de variación en el valor de n , ya que el aumento del nivel y el caudal siempre disminuye el valor de n .

En la siguiente tabla 6, se presenta valores de coeficientes de rugosidad n de Manning (las cifras en **negrillas** son los valores generalmente

recomendados para el diseño), donde el valor del coeficiente de rugosidad depende de varios factores antes mencionados como la vegetación, geomorfología y las características geométricas del cauce natural.

Tabla 6 Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de Canal y Descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	0.010	0.013
b. Acero			
1. Estriado y solado	0.010	0.012	0.014
2. Ribeteado y en espiral	0.013	0.016	0.016
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.015
2. No recubierto	0.011	0.014	0.017
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.013	0.024	0.030
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.009	0.010
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.013
A-2. No Metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.010
b. Vidrio	0.009	0.024	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.110	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de			
basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas,			
conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales,			
con pozos de inspección,			
entradas, etc, recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado			
metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en			
madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en			
madrea rugosa	0.015	0.017	0.020

	e. Madera			
	1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
	2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
	f. Arcilla			
	1. Canaleta común de baldosas	0.011	0.013	0.017
	2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
	3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
	4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
	g. Mampostería en ladrillo			
	1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
cemento	2. Revestida con mortero de	0.012	0.015	0.017
	h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
	i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
	j. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030
	B. Canales revestidos o desarmables			
	B-1. Metal			
	a. Superficie lisa de acero			
	1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
	2. Pintada	0.012	0.013	0.017
	B-2. No metal	0.021	0.025	0.030
	a. Cemento			
	1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
	2. Mortero	0.011	0.013	0.015
	b. Madera			
	1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
	2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
	3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
	4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
	5. Forrada con papel	0.010	0.014	0.017
impermeabilizante	c. Concreto			
	1. Terminado con llana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
	2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
	3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
	4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
	5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
	6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
	7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
excavada	8. Sobre roca irregularmente	0.022	0.027	

	d. Fondo de concreto terminado con llana de madera y con lados de			
	1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
mortero	2. Piedra sin seleccionar, sobre	0.017	0.020	0.024
	3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
cementada	4. Mampostería de piedra	0.020	0.025	0.030
	5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
	e. Fondo de gravas con lados de			
	1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
mortero	2. Piedra sin seleccionar, sobre	0.020	0.023	0.026
	3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036
	f. Ladrillo			
	1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
	2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
	g. Mampostería			
	1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
	2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
	h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
	i. Asfalto			
	1. Liso	0.013	0.013	
	2. Rugoso	0.016	0.016	
	j. Revestimiento vegetal	0.030	-----	0.50
	C. Excavado o dragado			
	a. En tierra, recto y uniforme			
	1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
	2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
limpio	3. Con gravas, sección uniforme,	0.022	0.025	0.030
malezas	4. Con pastos cortos, algunas	0.022	0.027	0.033
	b. En tierra, serpenteante y lento			
	1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
	2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
	3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
pedra	4. Fondo en tierra con lados en	0.028	0.030	0.035
	5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
	6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
	c. Excavado con pala o dragado			
	1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033

	2. Afiliados e irregulares	0.035	0.050	0.060
	d. Cortes en roca			
	1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
	2. Afiliados e irregulares	0.035	0.040	0.050
	e. canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
	1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
lados	2. Fondo limpio, matorrales en los	0.040	0.050	0.080
	3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
	4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
	D. Corrientes naturales			
	D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
	a. Corrientes en planicies			
	1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
	2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
	3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de área	0.033	0.040	0.045
	4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
	5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
	6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
	7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
	8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
	b. Corriente montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empindas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
	1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
	2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
	D-2. Planicies de inundación			
	a. Pastizales, sin matorrales			
	1. Pasto corto	0.025	0.030	0.350
	2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
	b. Áreas cultivadas			
	1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040

	2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
	3. Campos de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
	c. Matorrales			
maleza	1. Matorrales dispersos, mucha	0.035	0.050	0.070
	2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
	3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
	4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
	5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
	d. Árboles			
verano	1. Sauces densos, rectos y en	0.110	0.150	0.200
	2. Terreno limpio, con troncos son retoños	0.030	0.040	0.050
	3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
	4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
	5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
	D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva			
	a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	-----	0.060
	b. Sección irregular y rugosa	0.035	-----	0.100

Fuente: (Te chow, 2004)

J. FÓRMULA DE MÁNNING

Esta fórmula que proviene de la formula Chezy donde el coeficiente C toma la forma monómica igual a:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \dots (46)$$

Al sustituir en la fórmula de Chezy, se tiene:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots (47)$$

Dónde:

- v : Velocidad Media (m/s)
 R : Radio hidráulico (m)
 S : Pendiente de la línea en energía (m/m)
 n : Coeficiente de rugosidad, en la tabla 6

Formula de Manning donde se combina con la ecuación de continuidad, para el cálculo del caudal, donde se obtiene lo siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \dots (48)$$

Dónde:

- Q : Caudal o gasto, en (m³/s)
 A : Área de la sección transversal, en (m²)

2.15. MODELOS MATEMÁTICOS

2.15.1. MODELACIÓN CON ARCGIS

Según el tesista (Puelles Maza, 2015), nos hace referencia que “la modelación con el software ArcGIS es una herramienta que permite realizar un análisis el terreno”.

Este software nos dispone a más opciones para realizar análisis y evaluaciones de recursos hídricos, los cuales nos ayudara para desarrollo y elaboración de proyectos en cualquier terreno, obteniendo la información necesaria para el procesamiento de los datos hidrológicos y cálculos de cantidad del agua de una cuenca o región. Dicha información es fundamental para:

- Proyectar los recursos hidrológicos del territorio.
- Ejecutar los recursos hídricos de forma eficiente y sostenible.
- Ejecutar los estudios hidrológicos.
- Programar y controlar las masas de agua superficiales.

2.15.2. MODELO HIDROESTA

Se utilizó la ayuda del software HidroEsta, para el cálculo hidrológico y métodos estadísticos aplicados a la hidrología. El software nos reduce los cálculos laboriosos, y el proceso del análisis de la información que se debe realizar para un estudio hidrológico. Por lo que nos permite obtener el cálculo de las precipitaciones diarias máximas para distintos periodos de retornos y los cálculo de caudales máximos son realizados con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash). Se toman los cálculos a partir de la curva de variación estacional o de duración, estos sucesos de diseño con una determinada probabilidad de ocurrencia, también se realiza el análisis de una tormenta y se calcula las intensidades máximas a partir de datos reales de pluviografo.

La importancia de este software es la contribución que presenta para simplificar los estudios hidrológicos, permitiendo trabajar con extensa información, simular los parámetros de diseño

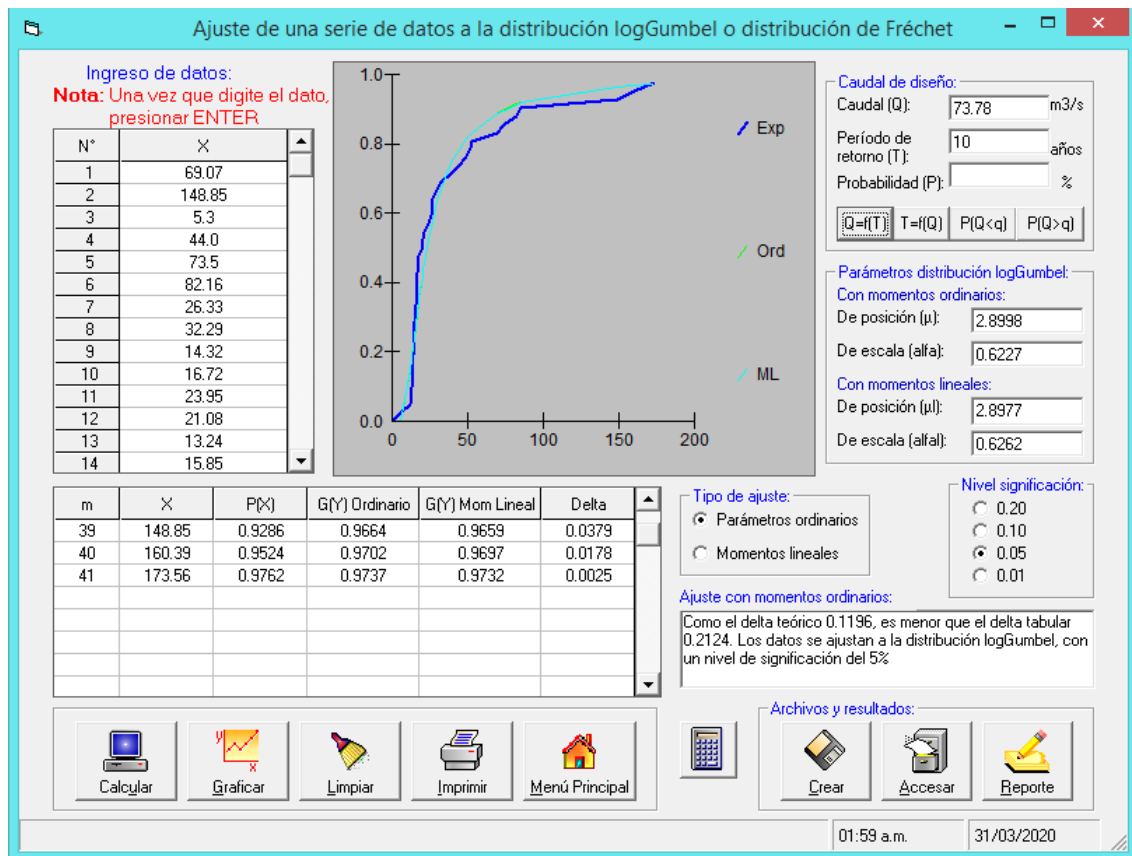


Figura 9 Emulación del software HidroEsta

Fuente: (Villón M. , HidroEsta, 2012)

2.15.3. MODELO HEC – HMS

Según el autor (Oreamuno & Villalobos, 2015), quien nos menciona que la modelación con el software HEC-HMS para un Modelo Hidrológico del Centro de Estudios Hidrológicos del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, quienes emplean elementos para crear modelos hidrológico de un sistema de cuenca hidrológica. Por lo que los elementos se dividen en cuatro apartados, los modelos de cuenca, los modelos meteorológicos, las especificaciones de control, y los datos de series temporales.

Como resultados que se obtienen al procesar el modelo de HEC-HMS son los hidrogramas de frecuencia y cuadros el caudal pico de cada hidrograma de creciente.

Además para el autor se modela el tránsito y la acumulación de los hidrogramas de aguas arriba hasta aguas debajo obteniendo así hidrogramas acumulados en puntos de control claves dentro de la cuenca.

El propósito para este proyecto de modelación es obtener un hidrograma a final y a la vez el caudal de diseño con periodos de retornos e hietograma de diseño, para una adecuada obra de drenaje, ingresando la información necesaria de la cuenca hidrográfica respectiva.

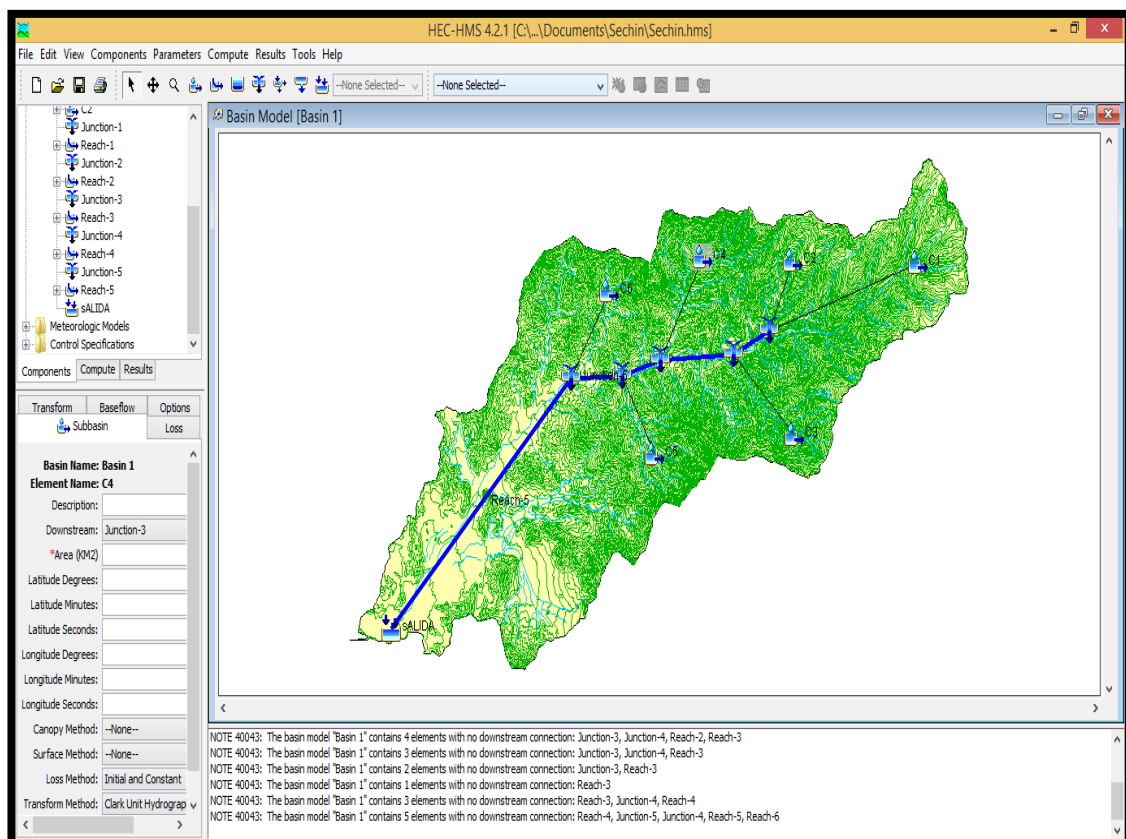


Figura 10 Entorno del modelo HMS concerniente a la cuenca hidrográfica del Puente Sechín.

Fuente: (HEC-HMS 4.2.1., 2017)

2.15.4. MODELO HEC – RAS

El software HEC-RAS, es un de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos:

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

Se dice también que es utilizado para realizar la modelación hidráulica de canales naturales y artificiales bajo condiciones de flujo permanente y no permanente, y regímenes de flujo subcrítico, crítico, supercrítico y mixto, siendo idóneo para realizar estudios y establecer la presencia de zonas inundables.

Para el autor (Cárdenas, 2000), quien cita que el modelo permite realizar el cálculo de perfiles de flujo solucionando las ecuaciones de continuidad y de momentum a través de un esquema implícito de diferencias finitas solucionado iterativamente utilizando la técnica de Newton-Raphson. El principal parámetro del modelo es el coeficiente de rugosidad n de Manning, para el cual no existen estrategias automáticas de calibración en el modelo, y por ende debe ser calibrado manualmente a partir de la comparación de niveles de agua registrados y simulados. Otros parámetros del modelo incluyen los coeficientes de pérdidas por expansiones y contracciones.

Para los autores (Segura Serrano & Casasola Ramírez, 2011), nos mencionan que “La interfaz permite la preparación de los datos geométricos para la

importación en HEC-RAS desde ArcGIS y los resultados de los procesos de simulación se exportan a ArcGIS de HEC-RAS para elaborar mapas de las elevaciones del nivel del agua”.

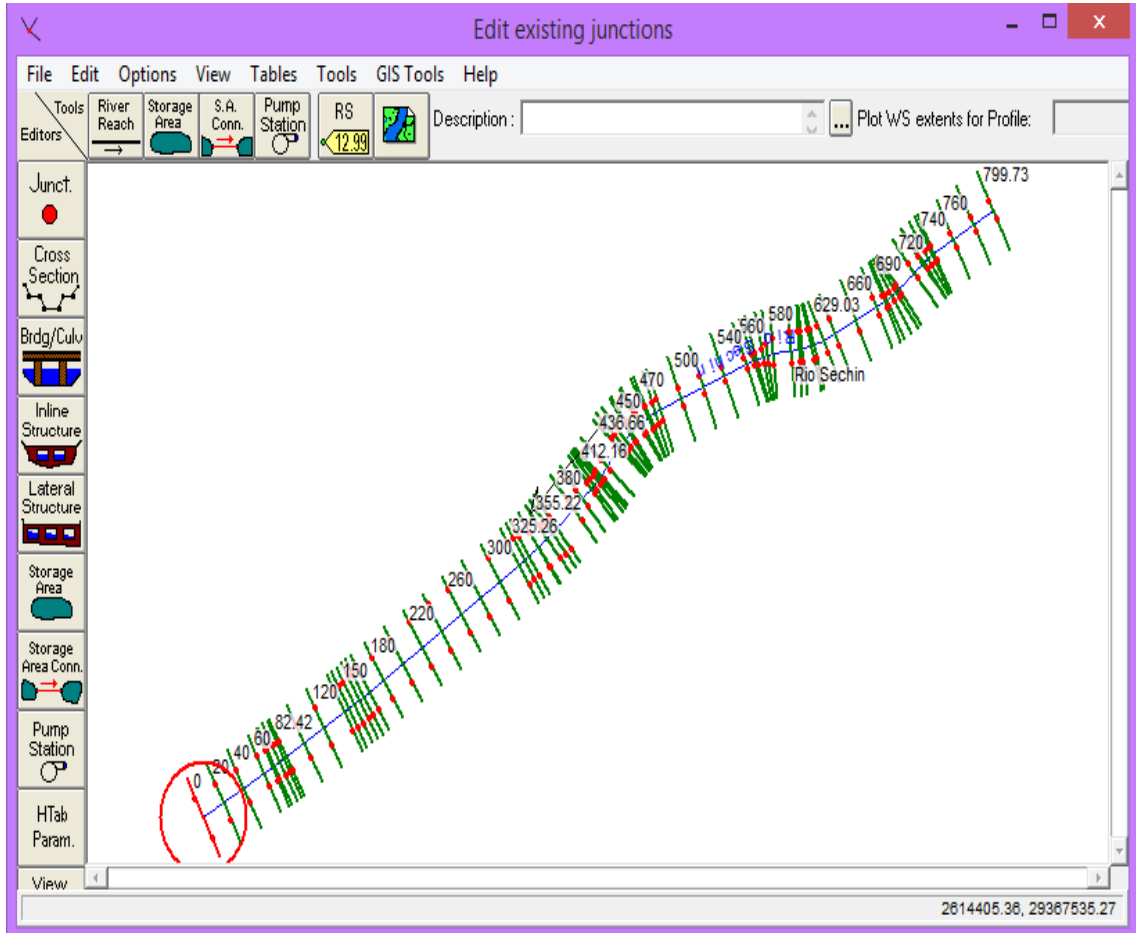


Figura 11 Emulación del software Hec – RAS

Fuente: (Brunner & HEC, 2010)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se va a realizar a detalle y de manera clara el desarrollo de los materiales y métodos de investigación que se utilizaron para la elaboración del presente proyecto de investigación.

3.1. MATERIALES

El detalle de los materiales hace referencia a la elaboración total del proyecto de investigación mediante el uso de herramientas o utensilios, que fueron utilizados para registrar los datos recopilados a través de los métodos, de esa manera procesarlos y analizarlos para alcanzar los resultados correctos.

3.1.1. MATERIALES DE GABINETE

A. MATERIALES BIBLIGRÁFICOS

En los materiales bibliográficos que se utilizaron para elaborar el informe de tesis compendia los siguientes: Libro en físico y digitales de conceptos de evaluación hidrológica e hidráulica de una cuenca, artículo e informes de investigación científica (abarca tesis y publicaciones de instituciones relacionadas al tema); Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. Manuales para el mayor entendimiento de los programas ArcGis, HEC-HMS y HEC-RAS.

B. SOFTWARE

Los softwares que se empleó para el desarrollo de la esta investigación son los siguientes:

- Microsoft Word 2013, este programa se empleó para la elaboración total de la redacción del presente informe de tesis.

- Microsoft Excel 2013, esta aplicación de hoja de cálculo, se utilizó para realizar cálculos con fórmulas (cálculo del caudal de diseño, periodo de retorno), gráficas y tablas de datos (precipitación).
- El programa AutoCAD 2016, este programa fue utilizado para modelar los planos de levantamiento topográficos de toda la cuenca.
- El programa AutoCAD CIVIL 3D 2019, este programa fue utilizado para modelar los planos de levantamiento topográficos y las secciones para el puente, para luego exportar al HEC - RAS.
- ArcGis 10.2, esta aplicación se empleó para ingresar datos y realizar búsquedas geográficas, para luego delimitar la cuenca con mayor facilidad, para luego exportar al AutoCAD 2016.
- HidroEsta, esta aplicación se empleó para ingresar datos de precipitación máximos anuales, para luego calcular al caudal para los distintos periodos de retornos.
- HEC-HMS 4.2.1., esta aplicación se empleó para el cálculo de los caudales picos con distintos periodos de retornos hasta 100 años, mediante el ingreso de datos de precipitaciones, consiguiendo las gráficas hidrogramas, con estos datos se podrá hacer el uso el programa HEC-RAS.
- HEC-RAS 4.1.0., este programa se empleó para evaluar las alturas del agua a partir de la sección de un río, teniendo en cuenta el caudal máximo y las secciones del río como datos conocidos, así lograr el cálculo de área de inundación.

C. EQUIPOS

En estos tiempos la recopilación de información es digitalizada por eso en los equipos utilizados para esta investigación cabe mencionar que son los siguientes:

- Cámara digital (Panel fotográfico para el informe)
- Laptop Lenovo (Redacción total del informe)
- Memoria USB de 16 GB (Almacenar información virtual)
- Impreso y Plotter (Presentación en físico del informe)
- CD (Guardar la información completa de la tesis)

D. OTROS

En otros materiales que se emplearon fueron:

- Papel bond blanco A4 de 80 gr.
- Útiles de escritorio.

3.1.2. MATERIALES USADOS EN CAMPO

Para elaborar esta presente investigación realizamos un levantamiento topográfico de la zona de estudio y los materiales usados en campo para recopilar datos fueron los siguientes: GPS, wincha de 100 metros, Teodolito, mira, trípode, papel bond, folder y lapicero.

3.1.3. SERVICIOS

Se consideró en uso de servicios durante la elaboración del proyecto de investigación, lo siguiente:

- Ploteo de planos.
- Impresión y empaste del informe final.

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

A. SEGÚN SU OBJETIVO DE ESTUDIO

La investigación es Aplicativa, porque se va utilizar la experiencia y los conocimientos estudiados aplicándolos en campo para el cálculo del caudal.

B. SEGÚN EL TIEMPO EN QUE SE EFECTÚAN

Es investigación Diacrónicas, por lo que abarca un periodo largo para verificar la evaluación de los cambios de clima.

C. SEGÚN LA NATURALEZA DE LA INFORMACIÓN QUE SE RECOGE PARA RESPONDER EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La investigación es cuantitativa, porque se va evaluar los datos de reportes de la precipitación, usando la metodología analítica, descriptiva y experimental, para poder llegar al objetivo.

D. SEGÚN LA EXTENSIÓN DEL ESTUDIO

Se realizó una investigación de Campo, a partir de casos, porque se obtuvo datos estadísticos recopilados en campo.

E. SEGÚN LAS TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE DATOS

La investigación es Participativa, porque los datos recopilados para la evaluación hidrológica e hidráulica que forma parte de la problemática.

F. SEGÚN SU UBICACIÓN TEMPORAL

La investigación es Histórica, porque se necesita datos de reportes de precipitaciones de años anteriores para evaluar la cuenca en su estado actual.

G. SEGÚN SU OBJETIVO GENERAL

La investigación que se realizó fue predictiva, porque tiene un propósito de anticipar futuras desbordes que causan inundaciones en el río Sechín.

H. SEGÚN LA CAPACIDAD DE LA INFORMACIÓN

Presenta un diseño prospectivo, porque se tendrá una ventaja al recopilar datos con el levantamiento topográfico de la cuenca.

3.3. MÉTODOS USADOS

Los métodos usados en esta investigación son:

A. MÉTODO INDUCTIVO

Se desarrolló el método inductivo mediante la observación realizada en campo, basados en datos reales encontrados, donde se logró determinar el caudal máximo hasta un periodo de retorno de 100 años, para así lograr dimensionar adecuadamente la sección del río.

B. MÉTODO DEDUCTIVO

Para el desarrollo de la investigación nos basamos en la observación directa, para analizar y sintetizar los datos tomados en campo, para luego evaluarlos así finalmente llegar a una conclusión lógica.

3.4. UNIVERSO Y/O POBLACIÓN

El universo y/o población para esta investigación se consideró UNA zona de evaluación al río Sechín en el puente Sechín en el Distrito de Casma, Provincia de Casma, Departamento de Ancash.

3.5. DISEÑO Y CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA

El tipo de muestra será probabilístico y se tomará como muestra las secciones del río Sechín cada 20 metros aguas arriba y aguas abajo, para calcular el caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, así como también el cálculo de área de inundación de la sección en el puente Sechín.

3.5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona estudiada está ubicada en la Región Ancash, Provincia de Casma y Distrito de Casma. Sus coordenadas geográficas son 9° 28' 30" de Latitud Sur y 78° 17' 03" longitud Oeste. A su vez la zona evaluada es la cuenca del río Sechín que cuenta con un área de 744 Km².



Figura 12 Localización de la zona de estudio

Fuente: (Google Maps)



Figura 13 Vista del Puente Bailey Sechin

Fuente: (Propia)

3.5.2. CLIMA DE LA ZONA

El clima de la esta zona de estudio es cálido, seco, suave y su temperatura varía entre los 13° C como mínima y los 31° C como máxima, otras características que tiene la ciudad de Casma es que presenta una temperatura cálida durante el verano y suave, abrigado durante el invierno, lo que hace que solo estas dos estaciones se noten durante todo el año, conocida como “LA CIUDAD DEL ETERNO SOL”

3.5.3. HIDROGRAFÍA

El Río Sechín tiene una dirección de flujo irregular y desemboca en el Río Casma, no cuenta con un flujo constante lo cual se mantiene seco por largas

temporadas, aumentando su caudal solo cuando es temporada de lluvia en la sierra, por esta razón se le conoce como “Río Loco”

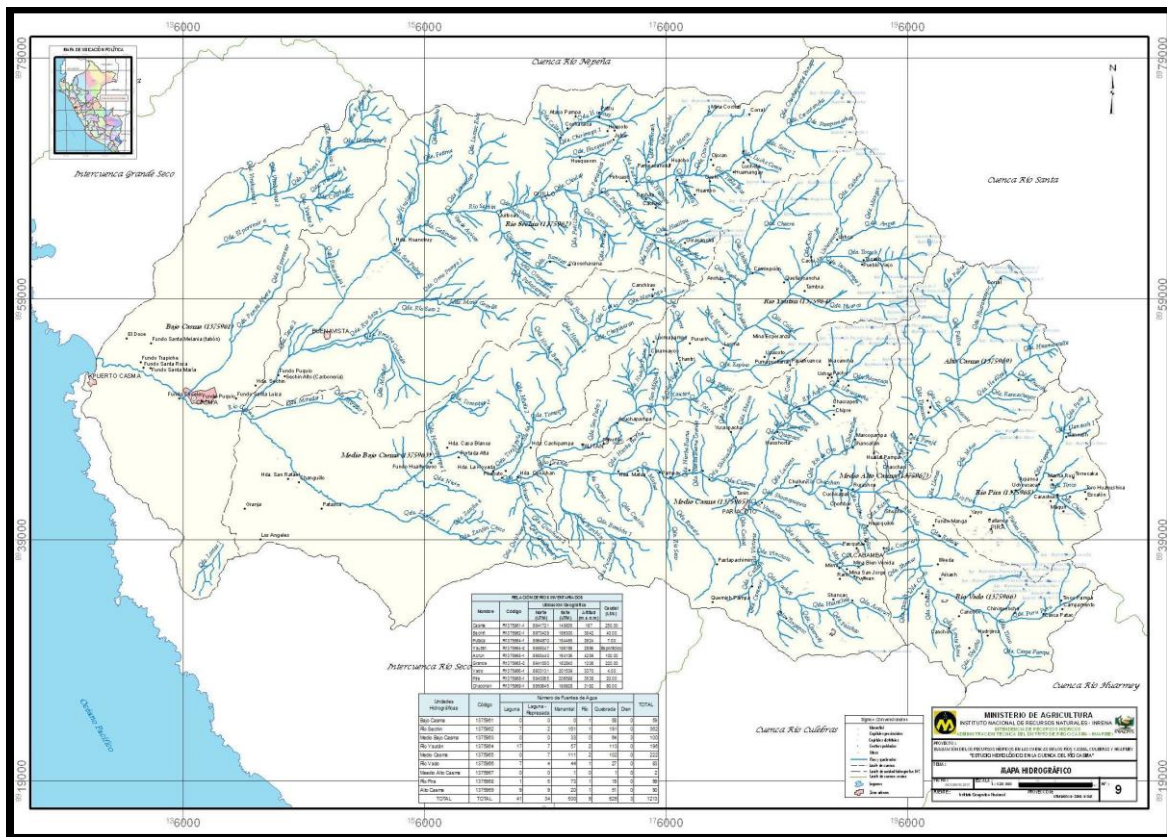


Figura 14 Hidrogeología Cuenca del Río de Casma

Fuente: (Administración Técnica del Distrito de Riego Casma - Huarney, 2007)

3.6. ESTRATEGIA DE ESTUDIO

En este trabajo de investigación, se hará ordenadamente mediante la observación de la zona de estudio, recopilación de datos de campo, mediante levantamiento topográfico, sección del río y medición del caudal del río Sechín, para así obtener los datos y resultados más precisos posibles.

Se realizara la técnica de partición activa del investigador desarrollando en gabinete la delimitación de la cuenca, cálculo de los parámetros fisiográficos de la cuenca, además

se empleará métodos para el diseño del caudal de diseño para diferentes periodos de retorno.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. TÉCNICAS

En la presente investigación se empleó las técnicas de análisis de documentos (recolección de datos de informes hídricos y fichas de recolección de datos) para determinar el caudal de diseño para un periodo de hasta 100 años, como también la técnica de observación experimental para obtener la evaluación hidrológica e hidráulica del río Sechín en el puente Sechín, mediante la selección de juicios y percepción directa de los hechos en investigación.

3.7.2. INSTRUMENTOS

Para la elaboración de esta investigación se utilizó como instrumento las fichas de recolección de datos, que fue una guía de observación validada, donde se aplicó la técnica de un listado de ítems (informe de estaciones de pluviografos) otorgado por la Junta de Usuarios de Casma (JUC).

3.7.3. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

En este presente proyecto de investigación se usará la técnica para reflejar su validez y confiabilidad, mediante el uso de conceptos teóricos, informe de estaciones de pluviografos y fichas de recolección de datos, para evaluar la relación de los resultados y los criterios de diseño. Además podemos mencionar que el trabajo de investigación será desarrollado por los autores con evidencia empírica para demostrar su validez.

3.8. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La técnica de procesamiento de la información está enfocada en el método cuantitativo, donde se utilizó gráficos, ábacos (USDA) para la evaluación de las condiciones meteorológicas de la cuenca, la determinación del caudal de diseño hasta un periodo de retorno de 100 años y la sección del río en el Puente Sechín.

Además se usó tablas donde se muestran información agrupada con la finalidad de responder al problema, así como los objetivos y a la hipótesis del proyecto de tesis.

A continuación se detalla la metodología utilizada para cumplir con los objetivos, se consideró lo siguiente:

3.8.1. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA

Para poder elaborar la evaluación hidrológica y realizar el análisis de los datos obtenidos de la cuenca del Río Sechín, es necesario recolectar información de fuentes fiables, las cuales se mencionan a continuación:

A. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

La delimitación de la cuenca se realizará con la ayuda del ArcGis, herramienta muy útil y precisa, ya que evalúa las coordenadas de la carta nacional de Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Cartografía: La cuenca del río Sechín incluye (02) cartas nacionales, (01) carta 19 – g en la zona 17 y la otra (01) carta 19 – h en la zona 18. Esta información es proporcionada por el Instituto geográfico Nacional (ING) (Ver la figura 9), a continuación se aprecia estas cartas:

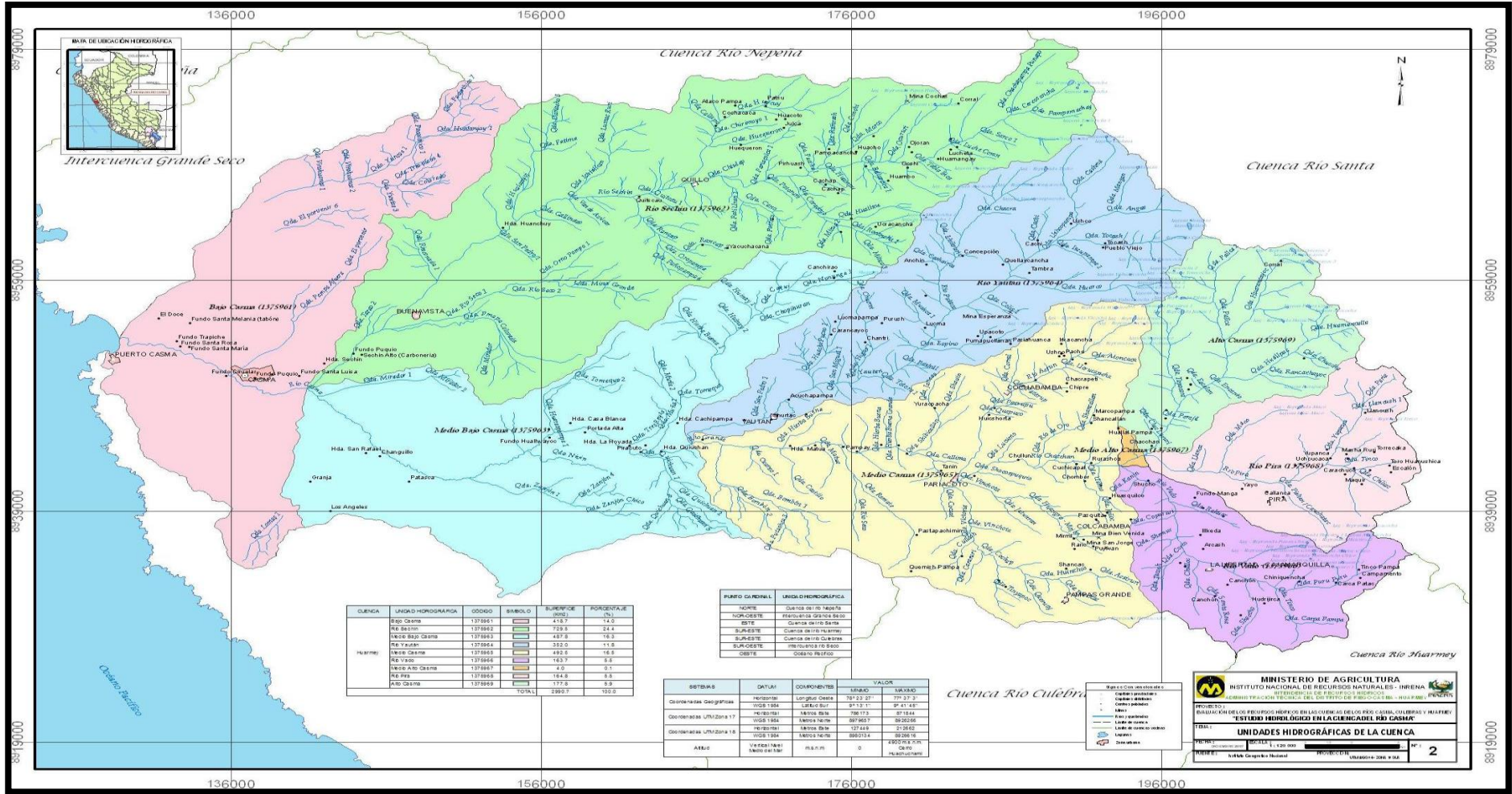


Figura 15 Unidades hidrográfica Cuenca del Rio de Casma

Fuente: (Administración Técnica del Distrito de Riego Casma - Huarmey, 2007)

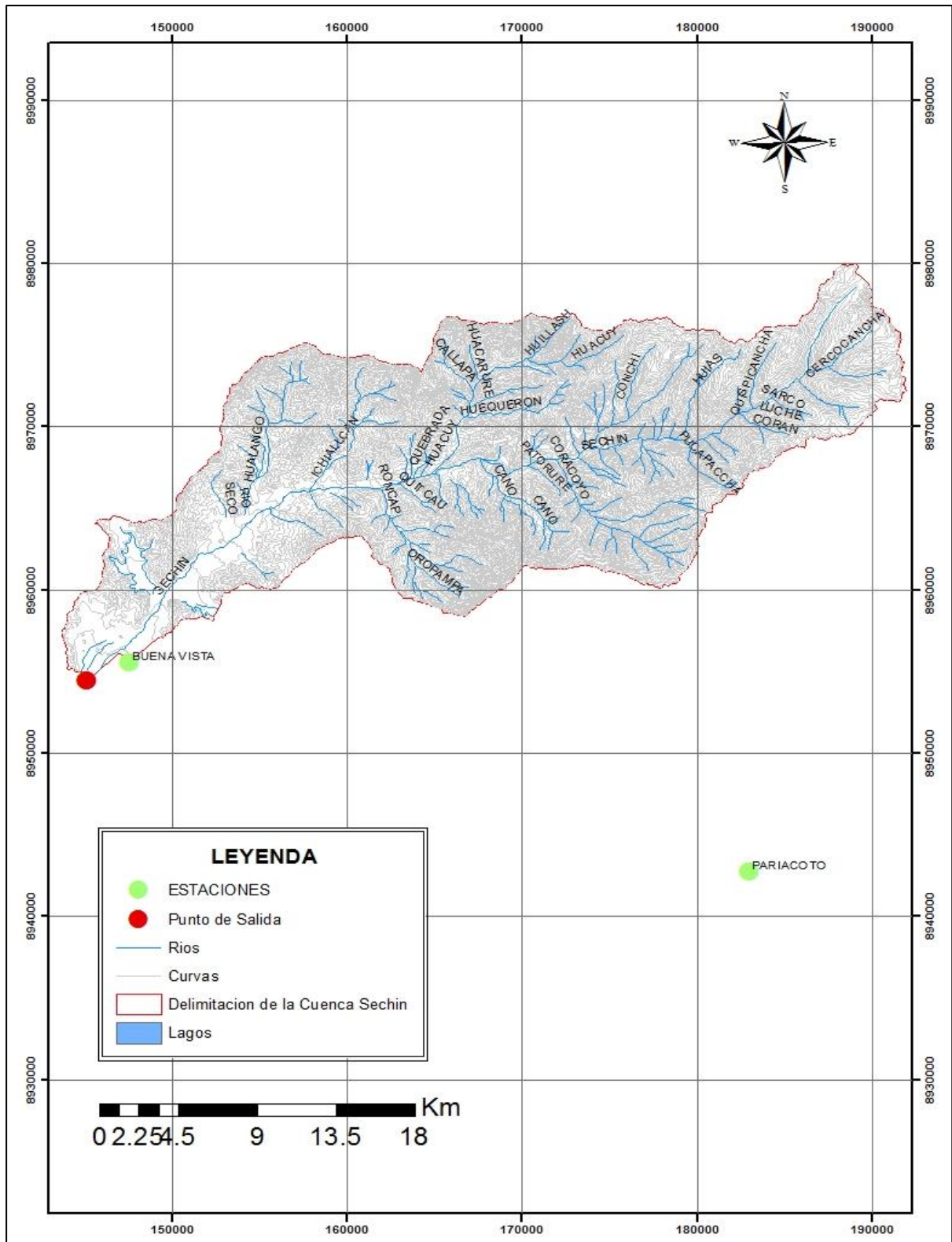


Figura 16 Figura de la delimitación de la Sub cuenca del Rio Sechin

Fuente: Programa ArcGis.

B. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA

La caracterización de la cuenca del Río Sechín se desarrolla a partir de los conceptos descritos en el Capítulo II, los cuales comprende calcular el área de la cuenca (Km²), la Máxima longitud del recorrido (m) y pendiente (%).

Para facilitar el cálculo de los parámetros geomorfológicos, se empleó el ArcGis 10.2 y el AutCAD 2016, con la finalidad de georreferenciar la carta Nacional correspondiente al estudio y poder delimitar el área de la cuenca. Además se empleó el Excel 2013, para obtener los resultados numéricos los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca del Río Sechín.

N° de cuenca	Area (km2)	LONGITUD (m)	Pendiente
1	729.5	5789.47	0.16

Fuente:

(Elaboración Propia)

C. INFORMACIÓN METEREOLÓGICA – HIDROMÉTRICA

La escorrentía producida en la zona de estudio, procede de las precipitaciones pluviales, no contándose en la cuenca con estaciones hidrométricas ni pluviométricas.

En el SENAMHI sólo se encontró datos de la estación pluviométrica BUENA VISTA que se encuentra ubicada a una altura aproximada a la altura media de la cuenca en estudio, adicionalmente a ello las características climatológicas, topográficas y geográficas de ambas cuencas son similares, con registros de precipitaciones máximas en 24 Horas de 41 años.

Tabla 8 Registro de estación Pluviométrica

Estación Pluviométrica	Ubicación		Provincia	Altitud m.s.n.m.
	Latitud Sur	Longitud Oeste		
BUENA VISTA	9°26'	78°12'	CASMA	220

Fuente: (Administración Técnica del Distrito de Riego Casma -

Huarmey, 2007)

- Hidrométrica:

La cuenca del Rio Sechín y las cuencas aledañas no cuentan con estaciones de medición de caudales.

D. CALCULO DE LAS PRECIPITACIONES Y AVENIDAS

- PRECIPITACIÓN DIARIA MÁXIMA ANUAL (PDMáx)

Para la ejecución de esta evaluación se recurrió a la información de las precipitaciones Diarias Máxima Anual (mm) de la estación de Buena Vista, para el periodo 1966 – 2006, de registro proporcionada por la Junta De Usuarios Del Sub Distrito De Riego Casma - Sechín, como se apreciará en la Tabla 9

Tabla 9 Precipitaciones Diarias máximas anuales (mm)

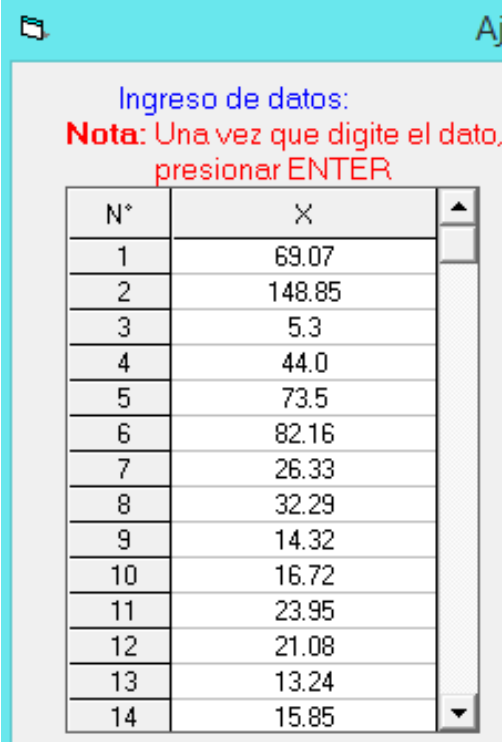
Año	PDMáx	Año	PDMáx
1966	69.1	1987	14.1
1967	148.9	1988	13.7
1968	5.3	1989	20.6
1969	44.0	1990	16.2
1970	73.5	1991	14.6
1971	82.2	1992	14.3
1972	26.3	1993	19.7
1973	32.3	1994	15.3
1974	14.3	1995	16.3
1975	16.7	1996	25.5
1976	24.0	1997	26.3
1977	21.1	1998	173.6
1978	13.2	1999	185.3
1979	15.9	2000	212.1
1980	29.9	2001	16.2
1981	51.3	2002	52.6
1982	12.9	2003	14.3
1983	160.4	2004	39.1
1984	17.8	2005	14.0
1985	17.1	2006	48.9
1986	13.8		

Fuente: Elaboración propia

E. USO DEL SOFTWARE HIDROESTA

Para realizar el cálculo del diseño de tormenta, con registros de altura - duración - periodo, utilizando el software Hidroesta y información de las precipitaciones anuales obtenidas por la Junta de Usuarios de Casma.

Para ingresar los datos de las precipitaciones, nos dirigimos a la ventana de menu principal de HidroEsta, hacemos clic en distribución y elegimos la opción Log Gumbel.



N°	X
1	69.07
2	148.85
3	5.3
4	44.0
5	73.5
6	82.16
7	26.33
8	32.29
9	14.32
10	16.72
11	23.95
12	21.08
13	13.24
14	15.85

Figura 17 Ventana para el ingreso de datos – precipitaciones.

Fuente: Software HidroEsta

Luego guardamos los datos, para ejecutar los datos hacemos clic en calcular y para ver el gráfico damos clic en gráfica, con esos pasos conseguiremos lo siguiente:

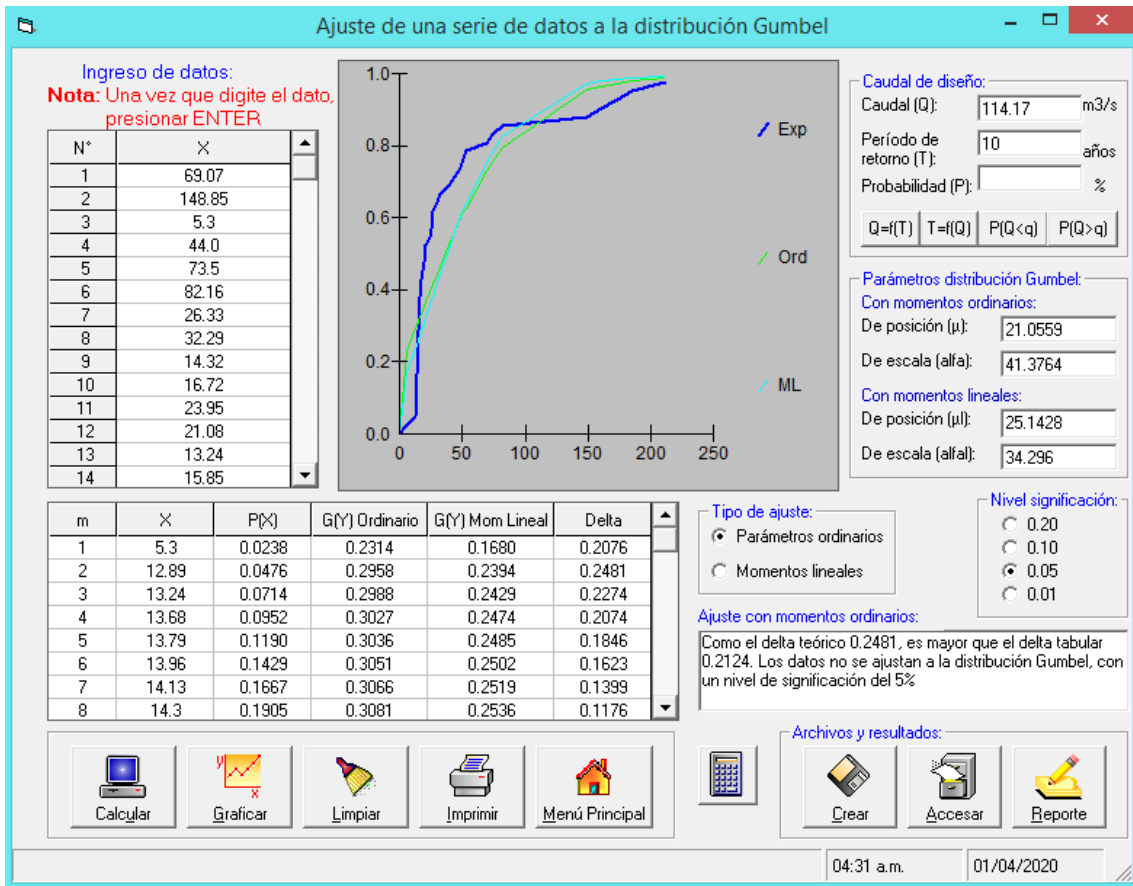


Figura 18 Emulación de la Distribución de Log Gumbel – HidroEsta

Fuente: Software HidroEsta

Ahora generaremos las precipitaciones diarias máximas para T = 10, 25, 50 y 100 años, para esto, debemos dirigirnos al campo periodo de retorno e ingresar el valor correspondiente a T, se hace clic en el botón Q=f(T), y nos mostrará la precipitación diaria máxima para el T indicado.

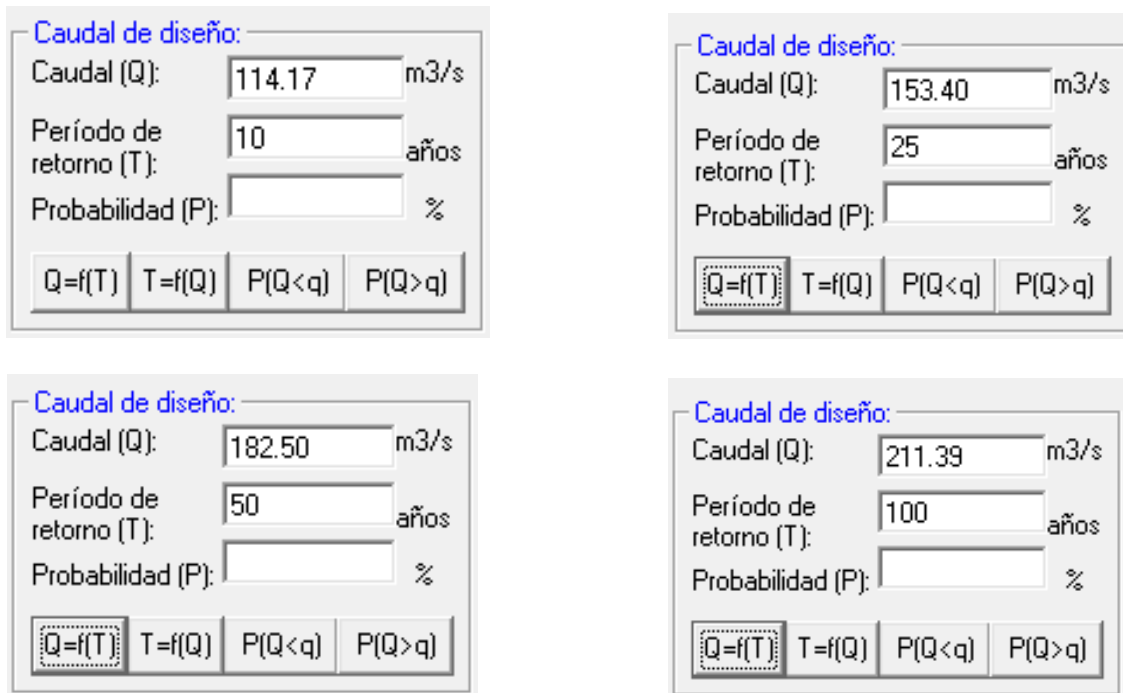


Figura 19 Resultados de las precipitaciones diarias máximas para cada T.

Fuente: Software HidroEsta

Se dice que la duración de tormenta cuando es menor a 1 hora o no se cuente con registros pluviográficos donde podemos obtener los datos de las intensidades máximas como en este caso, se procedió a realizar el calcular mediante el criterio de Dyck Peschke las precipitaciones máximas por 24 horas como se muestra en la ecuación, para los diferentes periodos de retorno.

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25} \dots (9)$$

F. DETERMINACIÓN DE CAUDALES

Según el área ya determinada de la cuenca se escogerá el método apropiado, los cuales describiremos a continuación:

Tabla 10 Métodos de Relaciones Descargas – Precipitación

Método	Área de la Cuenca
Método Soil Conservation Service	60 Km ² – 2590 Km ²
Generación de Descargas de Mac Math	2 Km ² – 60 Km ²
Método Racional	< 2 Km ²

Como se puede apreciar de la tabla 10 la cuenca del río Sechín tiene una extensión de 729.5 Km² de área por lo se utiliza el Método de Soil Conservation Service y se realizará los cálculos convenientes.



G. USO DEL SOFTWARE HEC - HMS

El software HEC-HMS, se empleó para simular la respuesta que tendrá de la cuenca del río en su escurrimiento superficial, como resultado el caudal pico para los distintos Tiempos de retorno.

De la información recopilada y cálculos previos, se procedió a ejecutar el programa HEC – HMS.

Se crea un proyecto en este caso colocamos Sub cuenca Rio Sechin y para definir el modelo de la cuenca nos dirigimos al menú del Hec- HMS y hacemos clic en *Components/Basin* y elegimos la opción *Basin Model Manager*, de le damos el nombre a la Subcuenca.

Luego incluimos el mapa de la delimitación de la cuenta trabajada con el Software ArcGis y crearemos elementos hidrológicos, como la cuenca es única

se agregó un subcuenca  y al final de la cuenca se colocará una unión ,

por la cuenca continua aguas abajo. Colocar los elementos como se ve en la Figura 19, para luego conectarlo aguas arriba con aguas abajo.

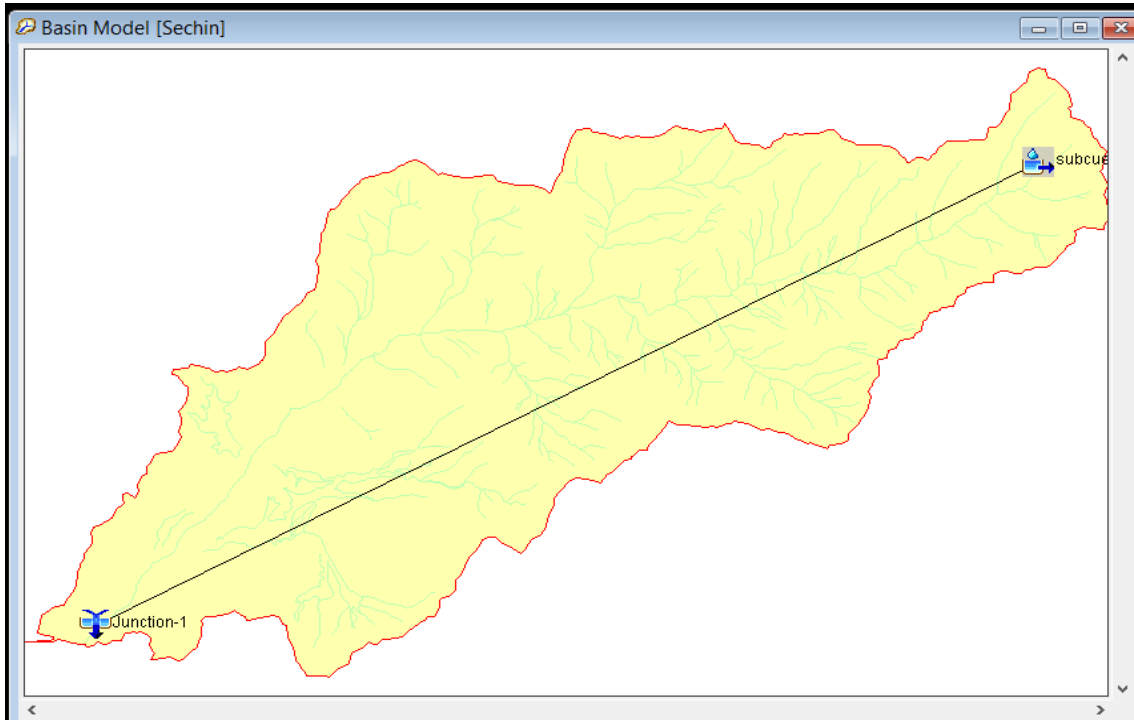


Figura 20 Mapa de la cuenca con los elementos hidrológicos

Fuente: Software Hec – HMS

Ahora introduciremos los valores para la subcuenca como se puede apreciar en la figura 20.

Components		Compute	Results
Subbasin		Loss	Transform
Options			
Basin Name: Sechin			
Element Name: subcuenca			
Description:	Sbucuenca unica		
Downstream:	Junction-1		
*Area (KM2)	729.5		
Latitude Degrees:			
Latitude Minutes:			
Latitude Seconds:			
Longitude Degrees:			
Longitude Minutes:			
Longitude Seconds:			
Canopy Method:	--None--		
Surface Method:	--None--		
Loss Method:	SCS Curve Number		
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph		
Baseflow Method:	--None--		

Figura 21 Componentes de la Subcuenca.

Fuente: Software Hec - HMS

Después se ingresa los siguientes valores en la ventana *Loss y Transform* (Ver las Figuras 21 y 22)

Components		Compute	Results
Subbasin		Loss	Transform
Options			
Basin Name: Sechin			
Element Name: subcuenca			
Initial Abstraction (MM)	36.13		
*Curve Number:	58.44		
*Impervious (%)	10		

Figura 22 Ventana de Editor de Componentes - Loss

Fuente: Software Hec - HMS

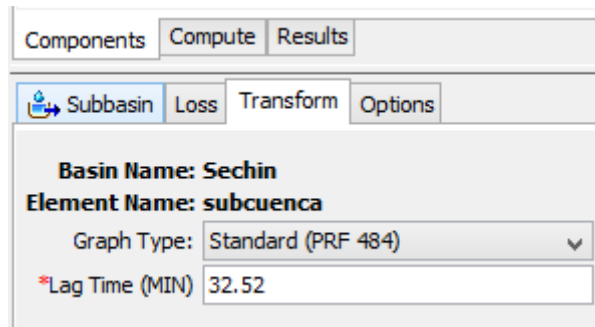


Figura 23 Ventana de Editor de Componentes – Transform

Fuente: Software Hec - HMS

Para introducir los datos del modelo meteorológico haremos al menú y hacemos clic en *Components/Basin* y elegimos la opción *Meteorologic Models* , luego creamos modelos para los distintos ciclos de reanudación. En el editor de componentes buscaremos la opción *Frequency Storm* le damos clic y luego pasamos a la ventana *Basins* ahí cambiaremos el *NO* por el *YES*.

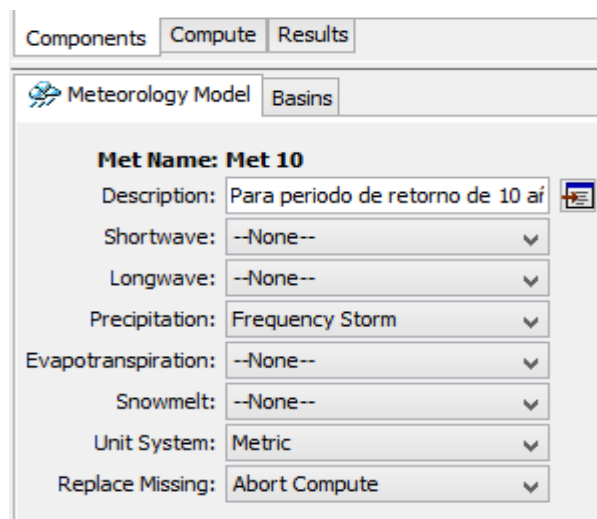




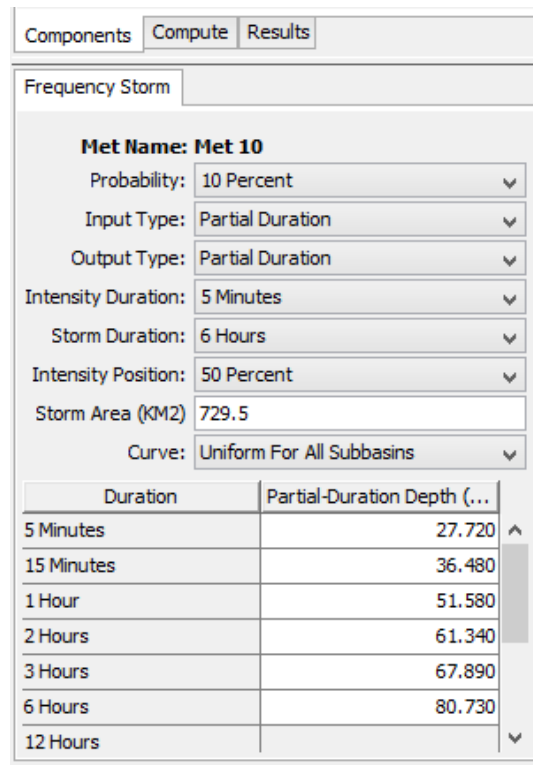
Figura 24 Ventana de Editor de Componentes–Meteorologic Model – T =10

años

Fuente: Software Hec - HMS

Buscamos en el explorador de la cuenca para hacer clic en

 Met 10
 Frequency Storm y ingresamos los siguientes datos.



Duration	Partial-Duration Depth (...)
5 Minutes	27.720
15 Minutes	36.480
1 Hour	51.580
2 Hours	61.340
3 Hours	67.890
6 Hours	80.730
12 Hours	

Figura 25 Ventana de Editor de Componentes–Meteorologic Model – T
=10 años

Fuente: Software Hec - HMS

Se repite el mismo procedimiento de crear un Meteorologic Model para los tiempos de retorno de T = 25, 50 y 100 años (Ver las figuras 25, 26 y 27)

Components Compute Results

Frequency Storm

Met Name: Met 25

Probability: Other

Input Type: Partial Duration

Output Type: Annual Duration

Intensity Duration: 5 Minutes

Storm Duration: 6 Hours

Intensity Position: 50 Percent

Storm Area (KM2): 729.5

Curve: Uniform For All Subbasins

Duration	Partial-Duration Depth (...)
5 Minutes	37.240
15 Minutes	49.010
1 Hour	69.310
2 Hours	82.420
3 Hours	91.220
6 Hours	108.47
12 Hours	

Figura 26 Ventana de Editor de Componentes–Meteorologic Model – $T = 25$ años

Fuente: Software Hec - HMS

Components Compute Results

Frequency Storm

Met Name: Met 50

Probability: Other

Input Type: Partial Duration

Output Type: Annual Duration

Intensity Duration: 5 Minutes

Storm Duration: 6 Hours

Intensity Position: 50 Percent

Storm Area (KM2): 729.5

Curve: Uniform For All Subbasins

Duration	Partial-Duration Depth (...)
5 Minutes	44.300
15 Minutes	58.310
1 Hour	82.460
2 Hours	98.060
3 Hours	108.52
6 Hours	129.06
12 Hours	

Figura 27 Ventana de Editor de Componentes–Meteorologic Model – $T = 50$ años

Fuente: Software Hec - HMS

Components Compute Results

Frequency Storm

Met Name: Met 100

Probability: Other

Input Type: Partial Duration

Output Type: Annual Duration

Intensity Duration: 5 Minutes

Storm Duration: 6 Hours

Intensity Position: 50 Percent

Storm Area (KM2) 729.5

Curve: Uniform For All Subbasins

Duration	Partial-Duration Depth (...)
5 Minutes	51.320
15 Minutes	67.540
1 Hour	95.510
2 Hours	113.58
3 Hours	125.70
6 Hours	149.48
12 Hours	

Figura 28 Ventana de Editor de Componentes–Meteorologic Model – T = 100 años

Fuente: Software Hec - HMS

A demás se creará el Component/Control Specifications que se encuentra en menú en la ventana. Se procedio ingresar la fecha como se ve en la Figura 28. Para luego ejecutar la simulación.

Components Compute Results

Control Specifications

Name: Control 1

Description:

*Start Date (ddMMYYYY) 20mar 1998

*Start Time (HH:mm) 14:00

*End Date (ddMMYYYY) 20mar 1998

*End Time (HH:mm) 23:00

Time Interval: 5 Minutes

Fuente: Software Hec - HMS

3.8.2. EVALUACIÓN HIDRAULICA

A. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para proyectar esta investigación se realizó el levantamiento topográfico, procesando el modelo hidráulico del cauce principal del río Sechín. La zona de estudio se definió en el puente Sechín y se realizó con estación total el levantamiento topográfico de 41 secciones transversales cada 20 metros.

Los efectos de la manifestación natural se han visto reflejado en la alteración de este puente, ya que encontramos con un puente bailey en proceso de sustitución. La topografía de la cuenca se extiende aproximadamente un kilómetro aguas abajo y un kilómetro aguas arriba de este puente.

B. CALCULO DEL CAUDAL

Se procedió a realizar el cálculo de los caudales máximos de diseño para tiempos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, cálculos que se obtendrá de la evaluación Hidrológica a partir del modelamiento con Hec – HMS. (Ver la Tabla 14)

C. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

Las secciones transversales se obtuvieron de los planos de secciones del río Sechín (Ver anexo 4)

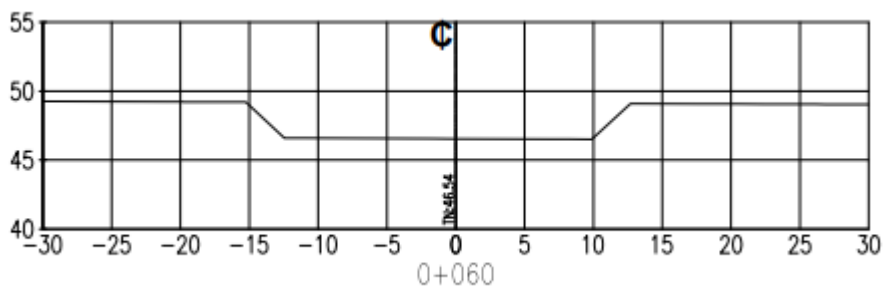
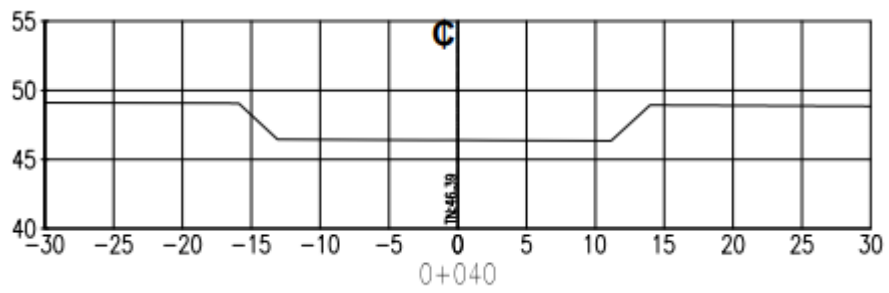
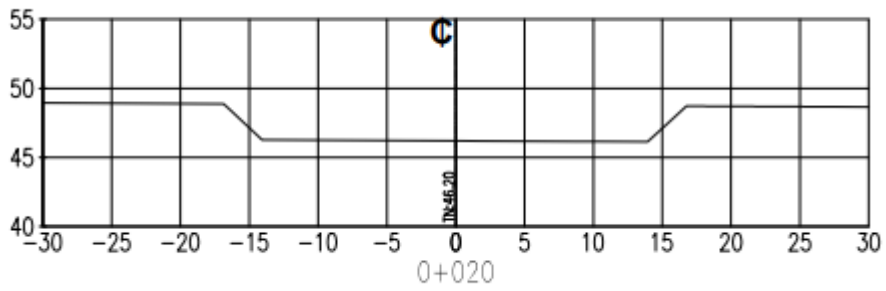
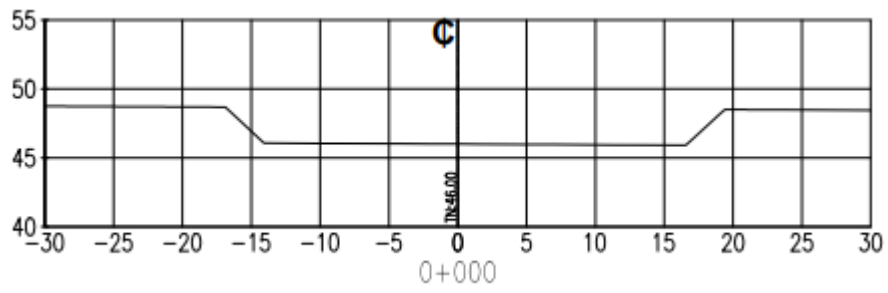


Figura 30 Secciones transversales del Rio Sechín

Fuente: Elaboración propia

D. PENDIENTE LONGITUDINAL

Para determinar las pendientes longitudinales de los cauces de la cuenca hidrográfica Sechín, se obtuvo en cuenta la topografía del terreno tomando una sola pendiente uniforme en todos los tramos, se hizo la diferencia de alturas entre la cota más alta 56.83 y la más baja 46.00 con una longitud de 800 m. $P_{min}=0.15\%$
 $P_{max}=6.61\%$

E. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE CAUCES NATURALES

Este coeficiente de rugosidad n se considera al observar el río teniendo en cuenta las siguientes clases de rugosidad que puede ser por vegetación, irregularidades, alineamiento, sedimentación, obstrucción y por ultimo tamaño y forma (Ver la Figura 31). Por lo consiguiente haremos el uso de la tabla 6, donde presenta valores para coeficiente de rugosidad.



Figura 31 Vista del Puentes Sechín aguas arriba.

Fuente: Elaboración propia



Figura 32 Se observa parte de la sección del río Sechín aguas abajo.

Fuente: Elaboración propia

F. USO DEL SOFTWARE

Para el modelamiento hidráulico de un río, se desarrolló con el uso del software Hec – RAS, los datos geométricos obtenidos por el levantamiento topográfico, la información de los caudales para los diferentes tiempos de retornos ya obtenidos por el software Hec – HMS, y las condiciones del entorno.

En la Figura 33, se empezó el modelamiento creando un proyecto nuevo, además se cambiará la configuración de nuestro ordenador para un sistema métrico.

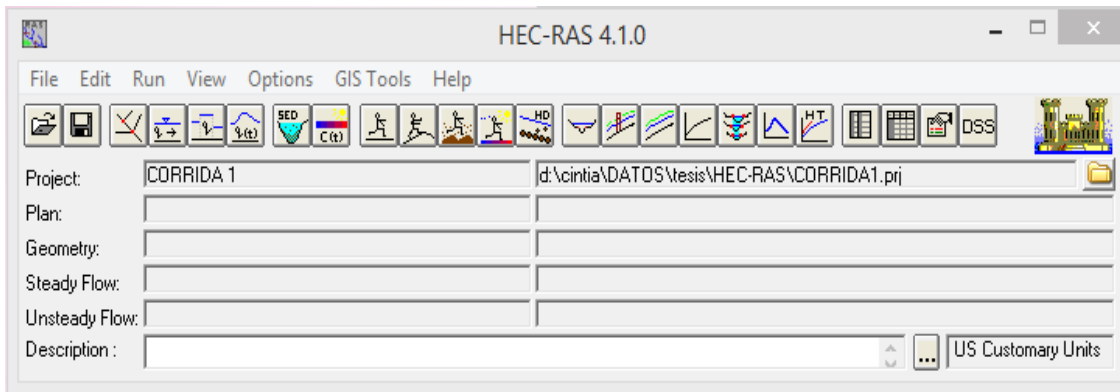


Figura 33 Ventana principal del programa de HEC – RAS

Fuente: Software HEC – RAS

Luego se importó la geometría del plano topográfico donde se encuentran las secciones transversales para la modelación con el software HEC-RAS, (ver la Figura 34)

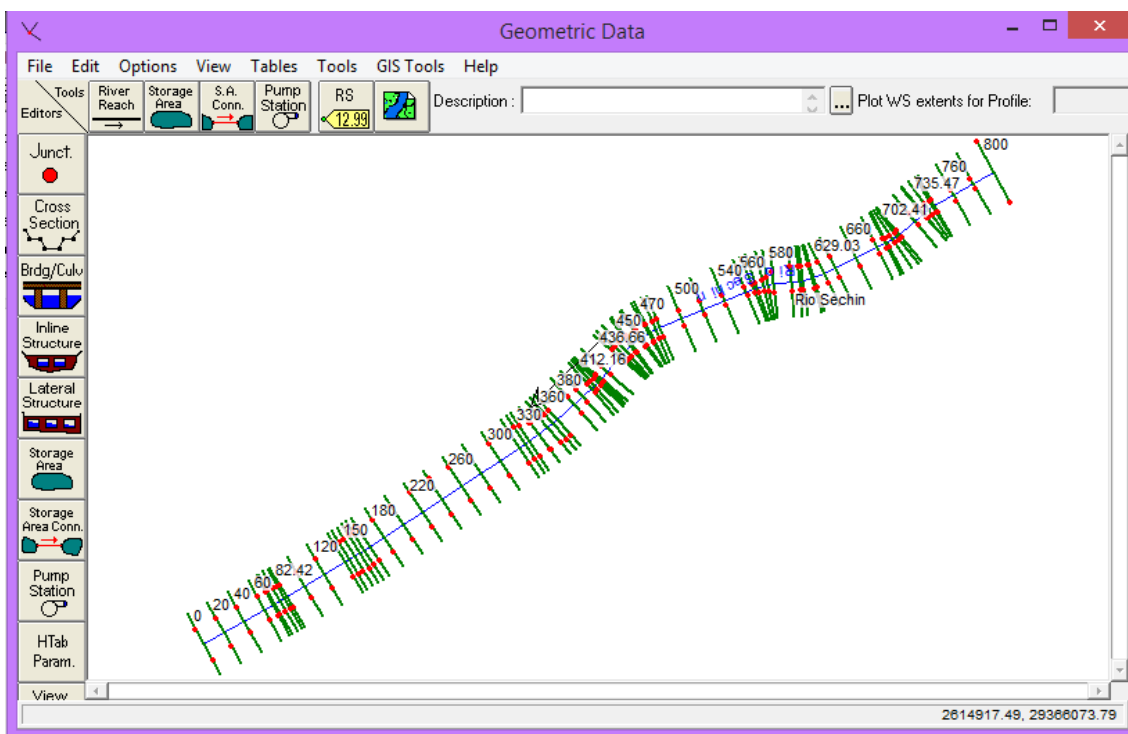


Figura 34 Ventana de la Geometría para el software HEC-RAS

Fuente: Software HEC – RAS

En la Figura 35, se ingresaron los valores del coeficiente de Manning n que se encuentran en la Tabla 6, donde se tuvo encuentra las condiciones de los contornos. Además, se creó la sección

transversal y se ingresó los datos del donde se ubicará el puente Sechín y sus dimensiones (Ver la Figura 36) el modelador debe guardar los datos y para este caso se guardó los datos con el nombre de TOPOGRAFÍA.

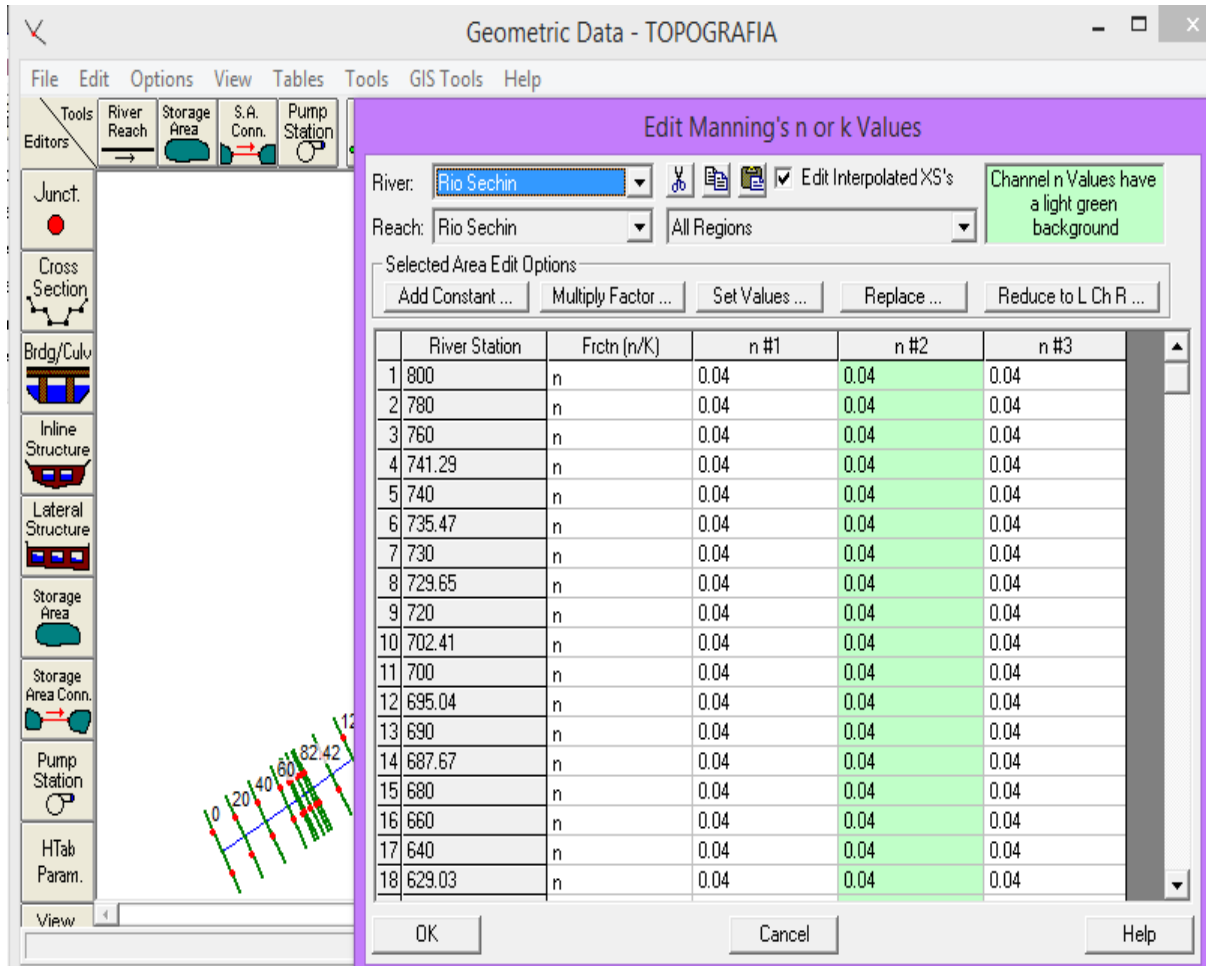


Figura 35 Ventana de ingreso de Datos del Coeficiente Manning n

Fuente: Software HEC – RAS

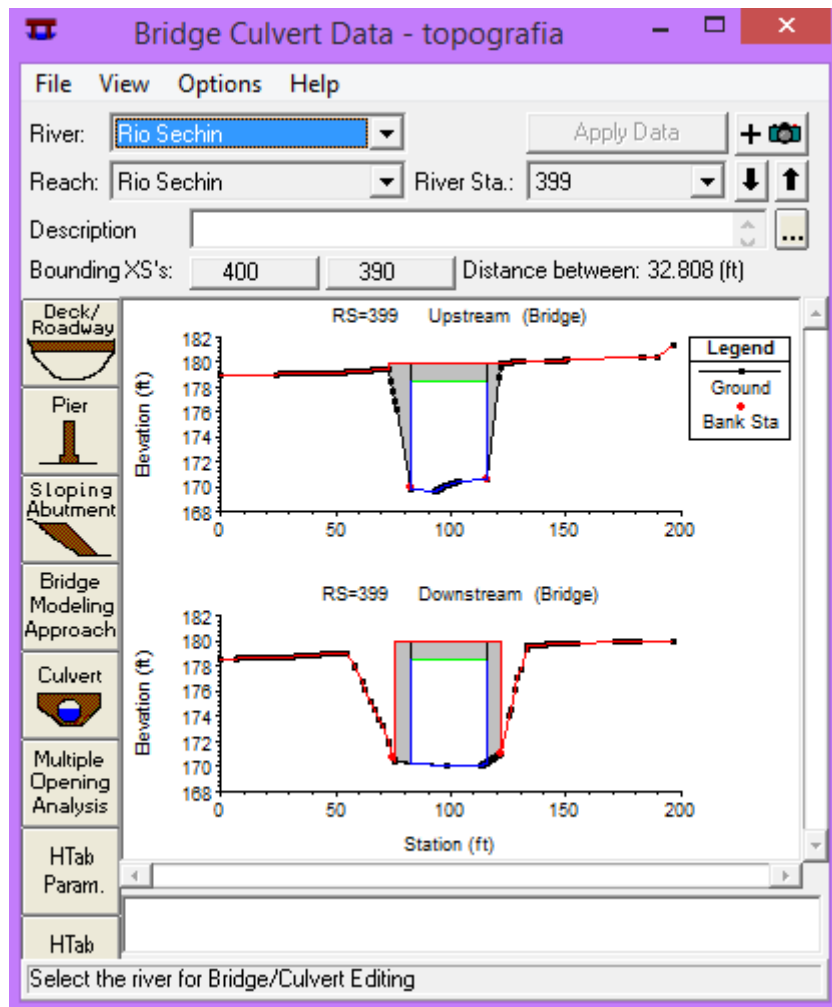


Figura 36 Ventana de ingreso de Datos de la alcantarilla del Puente Sechín

Fuente: Software HEC – RAS

De la Figura 36, se ingresó los datos de los caudales hallados de la evaluación Hidrológica de la presente investigación, se presiona el botón **Reach Boundary Conditions**, luego el botón **Normal Depth** para el ingreso del dato de la pendiente máxima topográfica, ver Figura 37. Una vez que se ingresaron todos los datos del flujo y las pendientes se procede a guardar los datos en el mismo archivo que fue creado el proyecto. Los datos de flujo se guardan en un archivo que nombramos CAUDALES.

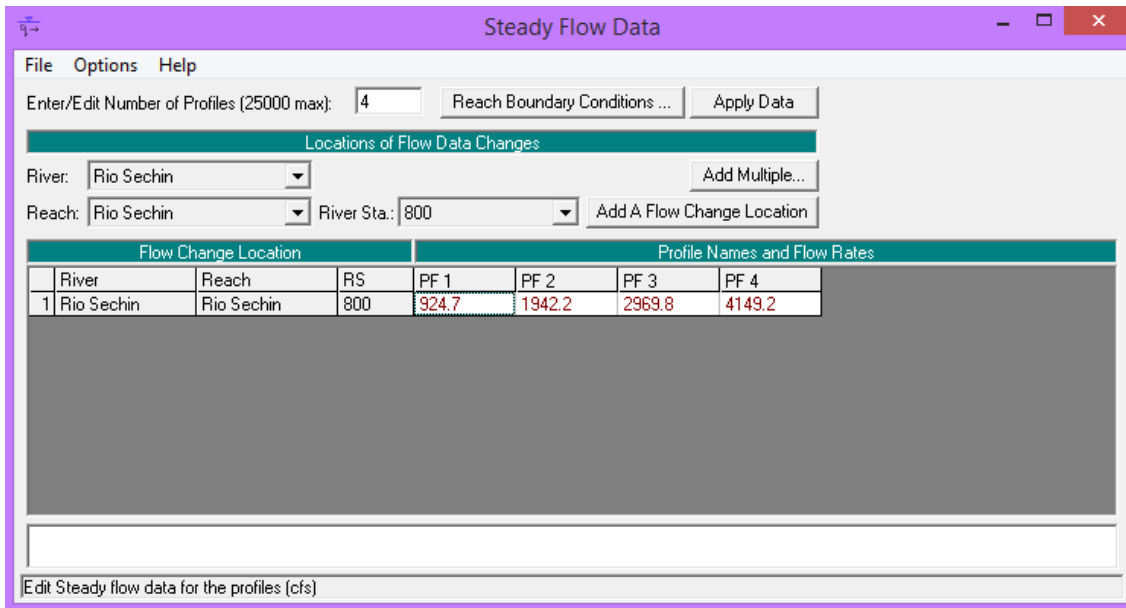


Figura 37 Ventana de ingreso de datos del Caudal constante.

Fuente: Software HEC – RAS

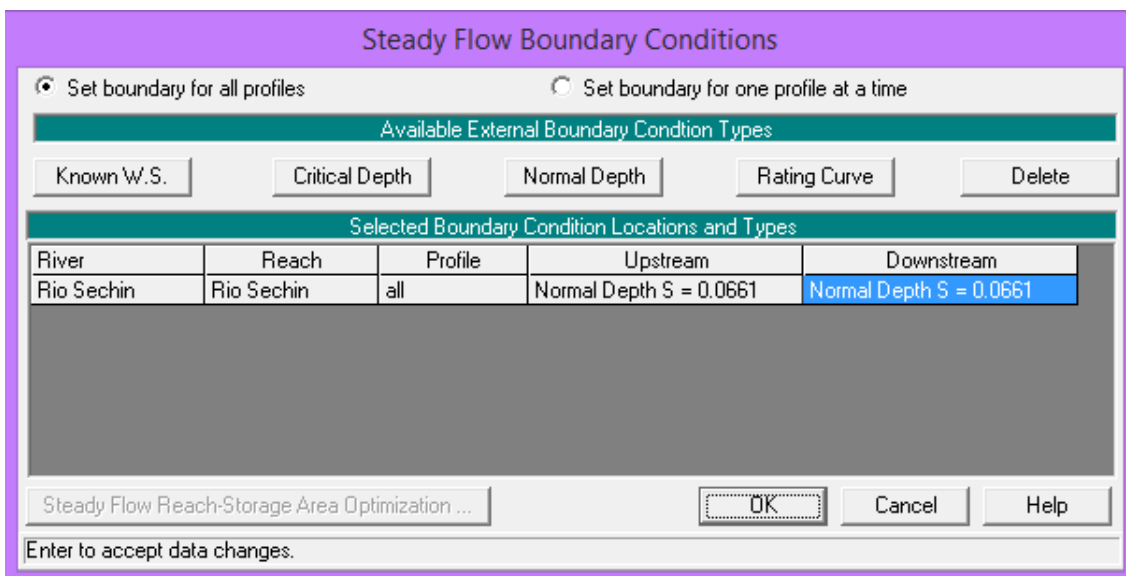



Figura 38 Ventana de ingreso de datos de la pendiente.

Fuente: Software HEC – RAS

Una vez que se ingresan todos los datos geométricos y los flujos para los periodos de retornos, el modelador puede comenzar a realizar los cálculos hidráulicos. Se presiona el botón  para crear un Plan 1 y guardar en los archivos anteriores. En la Figura 38, se seleccionó el régimen de flujo subcrítico para realizar el análisis de inundación.

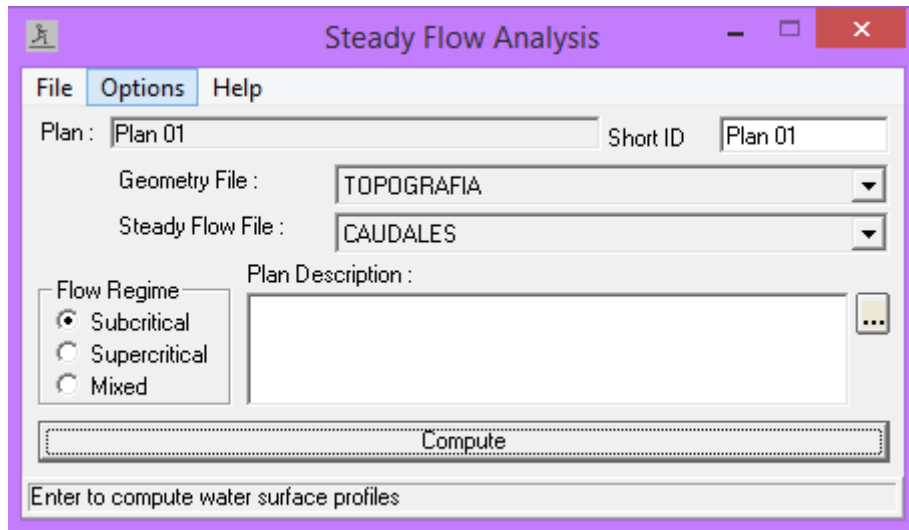


Figura 39 Ventana de Análisis de Flujo Constante.

Fuente: Software HEC – RAS

Luego de realizar lo descrito anteriormente se procede a imprimir resultados como se muestra a continuación:

En la Figura 39, se ve el trazo de la sección transversal del río Sechín en la progresiva 0+400 para el periodo de retorno de 10 años.

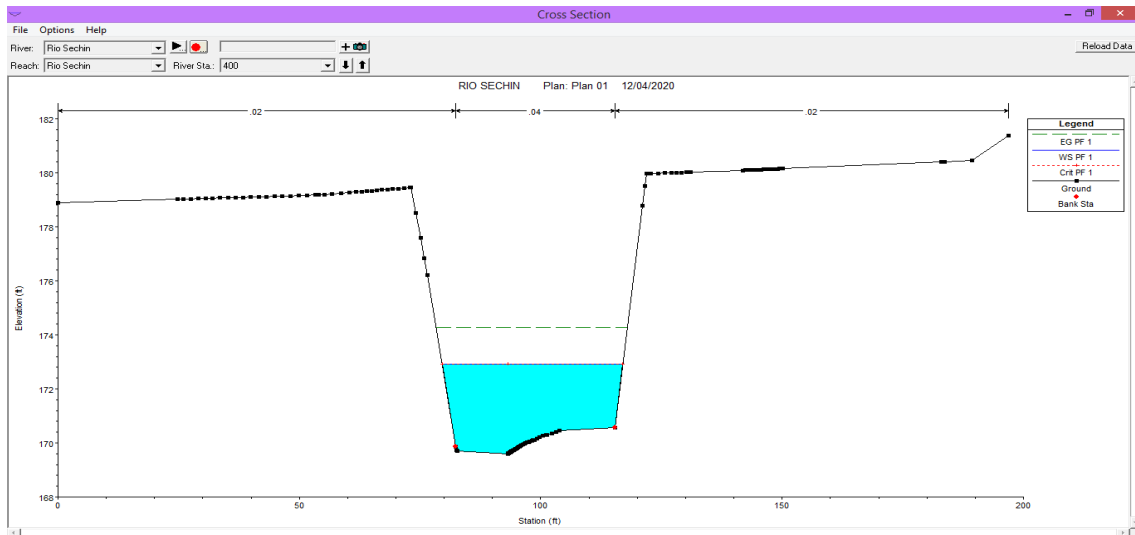


Figura 40 Ventana de la Sección Transversal

Fuente: Software HEC – RAS

En la Figura 40, se muestra el diagrama de perspectiva X-Y-Z del río Sechín, donde se tiene opciones como: ubicar la inicial y el final del tramo, además girar hacia la izquierda o derecha, arriba o abajo, solo para obtener diferentes perspectivas del alcance del río.

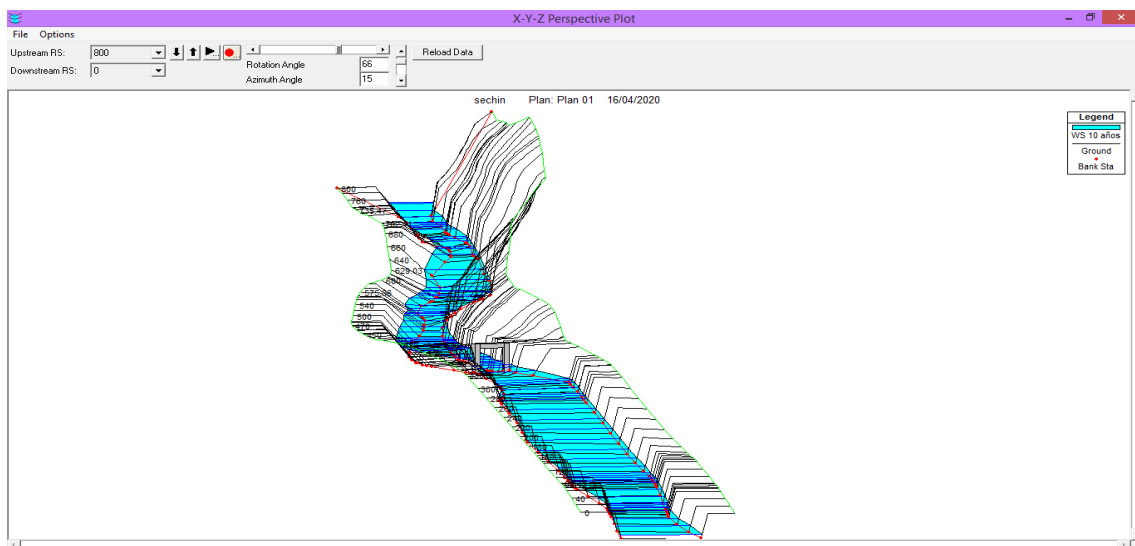


Figura 41 Ventana de la Perspectiva del Río Sechín.

Fuente: Software HEC – RAS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

ANÁLISIS DETALLADO

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de este capítulo se va a realizar los resultados de este proyecto, donde se detallara toda la información recopilada, la evaluación y el análisis de la información, y por último la discusión de la información.

4.1. RESULTADOS

Después de recopilar información de la cuenca, y la evaluación de hidrológica e hidráulica de del Rio Sechín, tuvo como propósito la estimación y simulación de los caudales con los diferentes periodos de retorno en la sección transversal del río Sechín, para determinar las dimensiones básicas así nos permitirá conocer el estado actual de la estructura y planificar las acciones necesarias para mitigar los daños presentes en el puente Sechín, de lo cual será necesario el cálculo del nivel de agua máxima para el periodo de diseño.

Por lo cual se considera como fin reunir los criterios adecuados para conocer las características hidrológicas e hidráulicas de la quebrada, se realizaron los cálculos respectivos aplicando la metodología descrita en el capítulo anterior, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1. EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO SECHÍN

A. MODELAMIENTO CON HIDROESTA

Una vez aplicado el software HidroEsta (ver Anexo 6), a continuación, se muestra los resultados de los valores de las precipitaciones máximas para el T indicado:

Tabla 11 Resultado de las Precipitaciones máximas 24 horas

T (años)	Pmáx 24 h (mm)
10	114.17
25	153.40
50	182.50
100	211.39

Fuente: Elaboración propia

Como no contamos con registros pluviográficos de precipitaciones horarias que nos permitan obtener las precipitaciones máximas diarias de 24 horas, se procedió a realizar el cálculo según el criterio de Dyck Peschke (ecuación 9) utilizando los datos de la tabla 11, para los diferentes periodos de retorno, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 12.

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0.25} \dots (23)$$

Para un tiempo de retorno, $T = 10$ años:

- De la ecuación anterior reemplazaremos el tiempo de duración $D = 5$ min y $P_{24h} = 114.17$ mm.

$$P_D = 114.17 \left(\frac{5}{1440} \right)^{0.25} = 27.71429 \approx 27.72 \text{ mm}$$

De la ecuación anterior obtendremos la tabla 12 donde se calcula la Precipitación máxima diaria (P_D) por el tiempo de duración en minutos.

Tabla 12 Precipitaciones máximas diarias para diferentes tiempos de duración de lluvias.

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración			
		10 años	25 años	50 años	100 años
6 hr	X6 = 71%	80.73	108.47	129.06	149.48
3 hr	X5 = 59%	67.89	91.22	108.52	125.70
2 hr	X4 = 54%	61.34	82.42	98.06	113.58
1 hr	X3 = 45%	51.58	69.31	82.46	95.51
15 min	X2 = 32%	36.48	49.01	58.31	67.54
5 min	X1 = 24%	27.72	37.24	44.30	51.32

Fuente: Elaboración propia.

Se procede hacer el cálculo de la Intensidad de la lluvia a partir de obtenidos del P_D como se muestra en la tabla 12, según su duración (horas) de precipitación (mm) y Frecuencia (años) de la misma. De acuerdo a esto la intensidad se expresa así:

$$i_{max} = \frac{P}{t} \dots (36)$$

Para un tiempo de retorno, $T = 10$ años:

- De la ecuación anterior reemplazaremos el tiempo de duración $t = 0.083$ hr y $P_D = 27.72$ mm.

$$i_{max} = \frac{27.72}{0.083} = 333.9173 \approx 333.9$$

De la ecuación anterior obtendremos la tabla 13 donde se calcula la Precipitación máxima diaria (P_D) por el tiempo de duración en minutos.

Tabla 13 Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno			
Hr	min	10 años	25 años	50 años	100 años
6 hr	360	13.5	18.1	21.5	24.9
3 hr	180	22.6	30.4	36.2	41.9
2 hr	120	30.7	41.2	49.0	56.8
1 hr	60	51.6	69.3	82.5	95.5
0.25 hr	15	145.9	196.0	233.2	270.1
0.083 hr	5	333.9	448.7	533.8	618.3

Fuente: Elaboración propia.

B. MÉTODO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (S.C.S.)

Con este método se determinará el Caudal Máximo (Caudal Pico) para distintos periodos de retorno, para llevar acabo los resultados usaremos el software Hec – HMS como ayuda.

Tenemos:

- Área de la Cuenca en (km²):

$$Area (km^2) = 729.5 km^2$$

- Máxima Longitud del recorrido “L” (m):

$$L (m) = 5789.47 m$$

- Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce “H” (m):

$$H (m) = 220 m$$

- Cálculo de Número de Curvas “CN”:

La condición del suelo es tipo CN(I), para hallar el tipo de suelo se desarrollará la siguiente formula, contemplando que:

$$CN(II) = 77$$

(Dato de la tabla 3 uso de la tierra, Grupo C con poca hierba)

$$CN_{(I)} = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} = \frac{4.2(77)}{10 - 0.058(77)} = 58.44$$

- Cálculo de la Infiltración Potencial Máxima “S” (mm):

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 = \frac{1000}{58.44} - 10 = 7.11 \text{ mm}$$

- Cálculo de la Pérdidas Iniciales Ia (mm):

$$I_a = 0.2 * S = 0.2 \times 7.11 = 36.13 \text{ mm}$$

- Cálculo del Tiempo de Concentración “Tc” (min):

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} = 0.0195 \left(\frac{5789.47^3}{220} \right)^{0.385} = 54.21 \text{ min}$$

- Cálculo del Tiempo de Retardo “LagTime” (min):

$$Lag \ Time = 0.6T_c = 0.6 (54.21) = 32.52 \text{ min}$$

C. RESULTADOS DEL MODELAMIENTO CON HEC - HMS

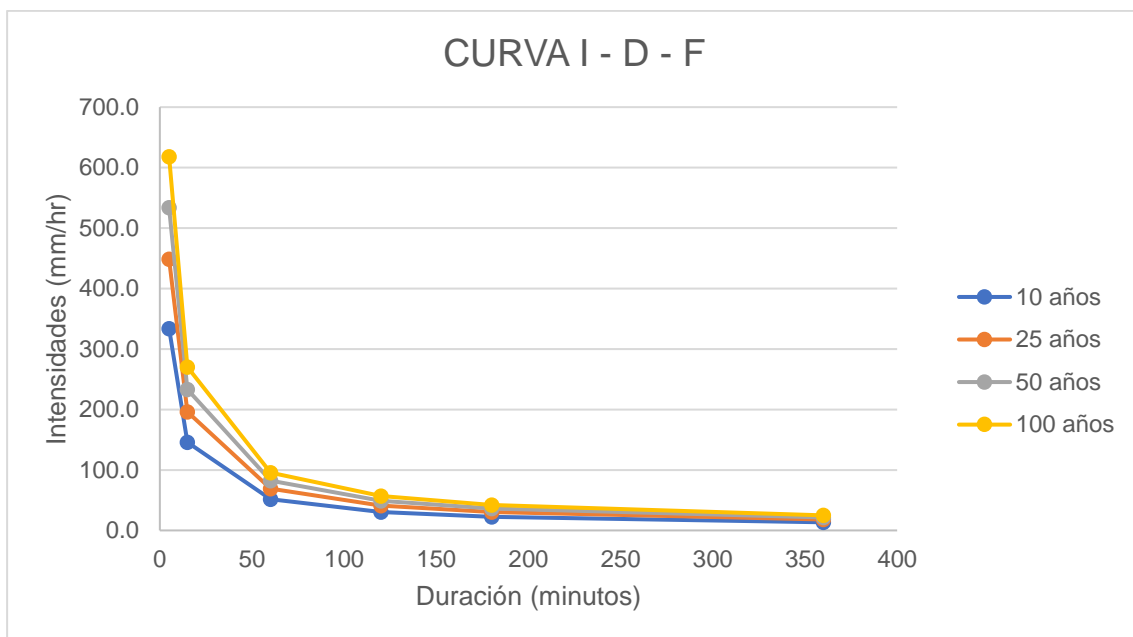
Una vez aplicado el software HEC - HMS (ver Anexo 7), a continuación se muestra en la tabla 14, los resultados obtenidos de los Caudal máximo (Q_{máx}) de diseño para los periodos de retorno T = 10, 25, 50 y 100 años.

Tabla 14 Resumen de caudales Picos

T (años)	Qmáx (m ³ /s)
10	924.7
25	1942.2
50	2969.8
100	4149.2

Fuente: Elaboración propia.

A continuación de la Grafica 1, se observa la curva IDF presentada por una tormenta de Intensidad máxima de lluvia (mm /hr) como se muestra en la tabla 13, con duraciones de entre 5 min. a 6 horas, y los Periodos de Retorno T = 10, 25, 50 y 100 años (frecuencia)



Grafica 1 Curva Intensidad – Duración – Frecuencia

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA CUENCA DEL RÍO SECHÍN

Para esta evaluación hidráulica del Río Sechín, se tomaron datos de 83 secciones transversales del río, como se muestra en el Anexo 4.

4.1.2.1. PENDIENTE LONGITUDINAL

Para la evaluación con el HEC – RAS, obtuvimos las pendientes topográficas máxima y mínima, como se ve a continuación:

$$P_{\min}=0.15\% \quad P_{\max}=6.61\%$$

Pero para aplicar el programa utilizaremos la Pendiente Máxima.

4.1.2.2. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE CAUCES NATURALES

Se obtuvo los cálculos de la capacidad hidráulica de cada sección transversal del río Sechín, utilizando la modelación del HEC – RAS (ver la Tabla 15)

Tabla 15 Coeficiente de Manning para las Secciones Transversales

DESCRIPCION DE LAS SECCIONES	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
b. Corriente montañosas, sin vegetación en el canal,			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas			
0+800 – 0+403.28	0.030	0.040	0.050
B. Canales revestidos o desarmables			

c. Concreto			
7. Sobre roca bien excavada			
0+400	0.017	0.02	
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
b. Corriente montañosas, sin vegetación en el canal			
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes			
0+390 – 0+0.00	0.040	0.050	0.070

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3. RESULTADOS DEL MOLDELAMIENTO CON HEC - RAS

Basadas en el modelamiento con HEC – RAS y considerando los periodos de retornos de 10, 25, 50 y 100 años para un mejor comportamiento ya que nos permitirá mejorar la evaluación a largo plazo. Aplicando el software para el modelamiento (ver Anexo 8) se llegó a determinar lo siguiente:

Tabla 16 Periodos de Retorno y Secciones promedios de las propensas inundaciones.

PERIODO DE RETORNO	SECCIONES TRANSVERSALES
25 AÑOS	Km 0+399 - Km 0+580
50 AÑOS	Km 0+399 - Km 0+620
100 AÑOS	Km 0+700 - Km 0+800 ^Km 0+399 - Km 0+619

Fuente: Elaboración propia.

4.2. DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis planteada, donde establece que si se puede mejorar el dimensionamiento del puente Sechín al realizar los estudios hidrográficos e hidráulicos en la sub cuenca proyectándonos a realizar los cálculos del caudal máximo de hasta un periodo de retorno de 100 años.

Estos resultados no guardan relación con el informe del ESTUDIO HIDROLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO CASMA referido al presente, ya que este estudio expresa como resultado un caudal máximo proyectado mucho menor a lo que se obtuvo en el presente estudio.

Se tuvo que utilizar el software HidroEsta para determinar las precipitaciones Diarias máximas en 24 horas para periodos de retornos de 10, 25, 50 y 100 años. Este software HidroEsta procederá a determinar los caudales para los periodos de retorno considerados.

Debido a que en el río Sechín no cuenta con registros pluviográficos de precipitaciones diarias máximas en 24 horas, donde corresponde al valor máximo de las precipitaciones diarias que presentan durante un año, se procedió a aplicar el método de Dick Peschke utilizando los cálculos obtenidos del Software HidroEsta, para luego realizar el cálculo de las precipitaciones total por el tiempo de duración de la lluvia, para así ingresar los datos obtenidos en el software de Hec – HMS como datos meteorológicos para cada periodo de retorno considerado.

Partiendo de las características de la cuenca del rio Sechín, para la determinación de caudales, el método de relaciones de descargas – precipitación, se escogió el Método Soil Conservation Service, ya que la subcuenca cuenta con un área de 729.5 km², para así realizar los cálculos convenientes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En la presente investigación, aceptamos la hipótesis planteada, donde se concluye que al desarrollar la evaluación hidrológica e hidráulica de la subcuenca del río Sechín, está influye en el dimensionamiento de la sección transversal en el Puente Sechín.
- De la investigación se determinó las características de la cuenca del Río Sechín, mediante el software ArcGis, del cual tiene un área de 729.5 km², con una pendiente de 0.16 % y un Números de curvas de 77 según el tipo de suelo.
- Los parámetros calculados para el ingreso de datos al software Hec – HMS son:
 - Infiltración Potencial Máxima “S” = 7.11 mm
 - Pérdidas Iniciales Ia = 36 .13 mm
 - Tiempo de Concentración “Tc” = 54.21 min
 - Tiempo de Retardo “LagTime” = 32.52min
- Se consideró la crecida máxima ocurrida en diciembre del 2000 con registro de 212.09 mm (Gráfico 2 de la sección de Anexos) lo cual hacemos una comparación del caudal pico calculado por el software Hec – HMS y es de 4149.2 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, se adoptó el valor de la crecida máxima, como cálculo de la avenida en la sección donde se emplazara el puentes Sechín.
- En la investigación se determinó las características hidráulicas de la cuenca del Río Sechín, mediante el software Civil 3D, del cual tiene un una pendiente máxima P_{máx} = 0.0661, con coeficiente de Manning según el tipo de suelo, son:
 - :
 - Corrientes naturales - sin vegetación en el canal - cantos rodados = 0.040
 - Canales revestidos o desarmables – Concreto - Sobre roca bien excavada = 0.02

- Corrientes naturales - Corrientes menores ancho superficial < 100 pies - sin vegetación en el canal - Fondo: cantos rodados con rocas grandes = 0.050
- Se aplicó el software HEC – RAS, para poder moldear donde se obtuvo lo siguiente: para el periodo de retorno de 25 años en las secciones transversales de la progresiva Km 0+399 - Km 0+580, existirá la probabilidad de inundación, para el periodo de retorno de 50 años existirá la probabilidad de inundación en las progresivas Km 0+399 - Km 0+620, y por ultimo para el periodo de retorno de 100 años su probabilidad de inundación es en las progresivas Km 0+399 - Km 0+619, por tener un caudal pico de $4149.2 \text{ m}^3/\text{s}$, además en las progresivas Km 0+700 - Km 0+800, por lo tanto la probabilidad de ocurrencia existirá en el periodo de retorno de 25 años, donde se observa que no cumplirá de acuerdo a la Tabla 1 según el tipo de estructura del puente Sechín.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la entidad del estado el SENAMHI tenga siempre actualizada la información meteorológica ya que es de suma importancia para las organizaciones como las Juntas de Usuarios de este Sector, y de esta forma se podrían hacer estudios o tener idea de cómo se comporta las precipitaciones en esta zona y que medidas de prevención se pueden desarrollar.

Para una adecuada aplicación del modelamiento se recomienda contar con lo siguiente:

- Se recomienda tener en cuenta utilizar la aplicación del software HidroEsta, que nos permite calcular las precipitaciones diarias para el periodo de retorno obtenidos de la precipitación acumulada.
- Un estudio hidrológico previo que contenga los caudales máximos en los periodos de retornos de 10, 25, 50 y 100 años, para aplicar en el software HEC – RAS y así simular las inundaciones en las secciones.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VARIOS AUTORES

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

- Administración Técnica del Distrito de Riego Casma - Huarmey. (2007). *Estudio hidrológico de la cuenca Casma*. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Riego: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/1732?show=full>
- Arnedo Pacheco, R. J., & Sierra Passo, Y. J. (2016). *Evaluación Hidrológica e Hidráulica de la cuenca del "Arroyo Grande" y posibles alternativas de solución para el control de las inundaciones en el sector de mamonal*. Cartagena.
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. D.F. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Brunner, G., & HEC, C. . (Junio de 2010). HEC-RAS River Analysis System Version 4.1. Estados Unidos.
- Cárdenas, A. (2000). *Aplicación del sistema de información geográfica para el modelamiento de zonas con riesgo de inundación, caso estudio río Lurín*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Castillo, E. (2017). *Evaluación Hidrológica e Hidráulica de los drenajes transversales en la carretera Cocahuayco – Cocachimba – Bongará – Amazonas*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Chereque, W. (1980). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima: CONCYTEC.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGRAW-HILL.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2008). *Diseño Hidrológico*. Mendoza: Edición Digital.
- García, R., & Carmelo, C. (2011). *Sistema de Información Científica Redalyc* . Obtenido de ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE AVENIDAS Y DELIMITACIÓN DE ÁREAS INUNDABLES MEDIANTE MÉTODOS HIDROMETEOROLÓGICOS E

HIDRÁULICOS Y TÉCNICAS S.I.G., ESTUDIO APLICADO AL LITORAL SUR
DE LA REGIÓN DE MURCIA: <http://www.redalyc.org/html/407/40721572008/>

HEC-HMS 4.2.1. (2017). Unlimited.

Linsley, R. k., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Bogotá:
McGRAW-Hill Latinoamericana, S.A.

Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidroligía de Superficie*. México: LIMUSA.

Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2008). *Manual de Hidrología, Hidraulica y
Drenaje*. Rimac: Laboratorio Dee.

Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la Ingenieria*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de
Ingenieria.

Nanía, L. (2007). *Manual Básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-Geo HMS 1.1*. Andalucía:
Universidad de Granada.

Oreamuno, R., & Villalobos, R. (2015). *Estudio Hidrológico e Hidraulicos en la Cuenca
Quebrada Seca- Río Burío*. Ciudad universitaria Rodrigo Facio Brenes: Universidad de
Costa Rica.

Puelles Maza, J. C. (2015). *Estudio Hidraulico e hidrológico de la cuenca Alto Perú y el
Porvebir en el Asentamiento Humano las Mercedes Alto Perú, Distrtio de la Oroya,
Provincia de Yuli-Junín para la Construcción futura de Obras de Arte, mediante uso de
MOdelos Matemáticos*. LIMA: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Schmidth. (1986). *Calculo de caudales maximos utilizando el metodo racional*.

Segura Serrano, L. P., & Casasola Ramírez, R. A. (2011). *MODELACIÓN HIDRÁULICA
PARA EL ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE
INUNDACIONES EN FINCA VALLE LA ESTRELLA*. Cartago.

Sotero, H. (1987). *Estudio de máxima avenidas haciendo uso de los modelos probabilisticos*.
Lima: Universidad Nacional Agrícola.

Te chow, V. (2004). *Hidraulica de Canales Abiertos*. Editoria Nomos S.A.

Tecnologia Carreteras MOPU. (1987). *Calculo hidrometeorologico de caudales maximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Alanmer, S.A.

United States Department of Agriculture (USDA). (1986). *Hidrología urbana*. Technical Realease 55 (TR-55).

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Editorial Villón.

Villón, M. (2007). *Hidraulica de Canales*. Lima: Editorial Villón.

Villón, M. (2012). *HidroEsta*. Arequipa: Editorial Villón.

Villón, M. (s.f.). *Calculos hidrológicos e Hidraulicos en Cuencas Hidrográficas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

ANEXO

**PLANOS
ESTUDIOS
TOPOGRAFICOS -
PLUVIOMÉTRICO
PANEL FOTOGRAFICO**

INFORMACIÓN ADICIONAL

ANEXO - 1

IMAGEN SATELITAL

PROYECTO DE TESIS: "EVALUACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRAULICA DEL RÍO SECHÍN EN EL PUENTE SECHÍN HASTA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN EL DISTRITO DE CASMA, PROVINCIA DE CASMA, DEPARTAMENTO DE ANCASH"

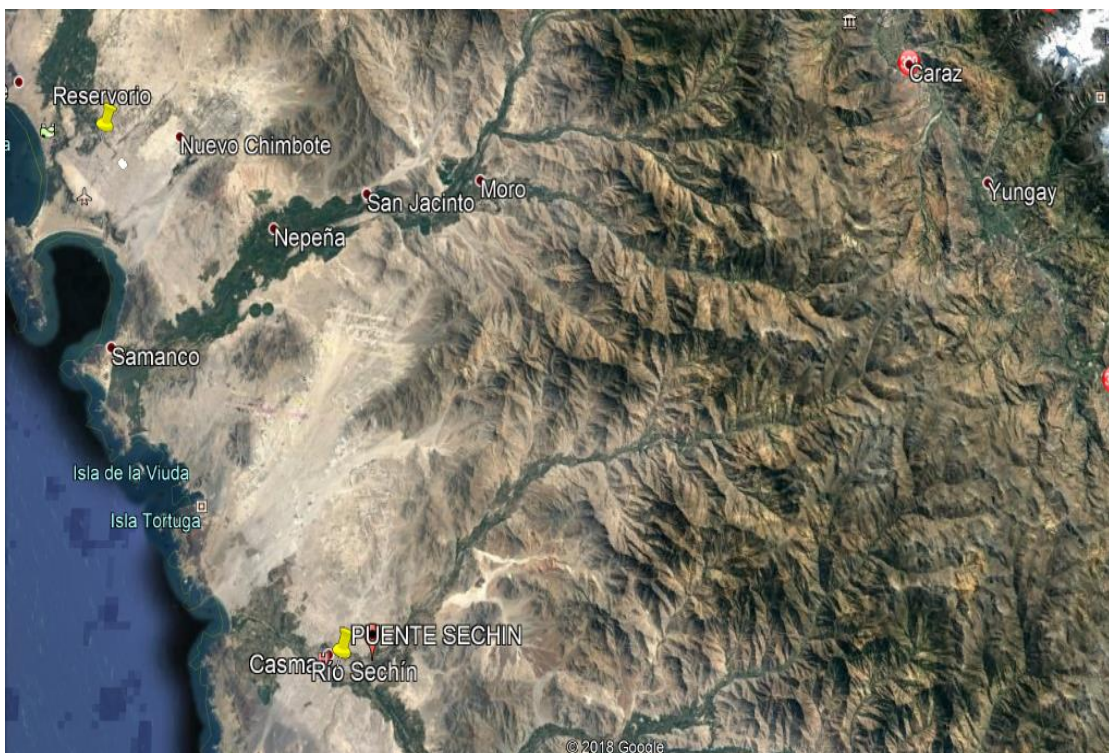
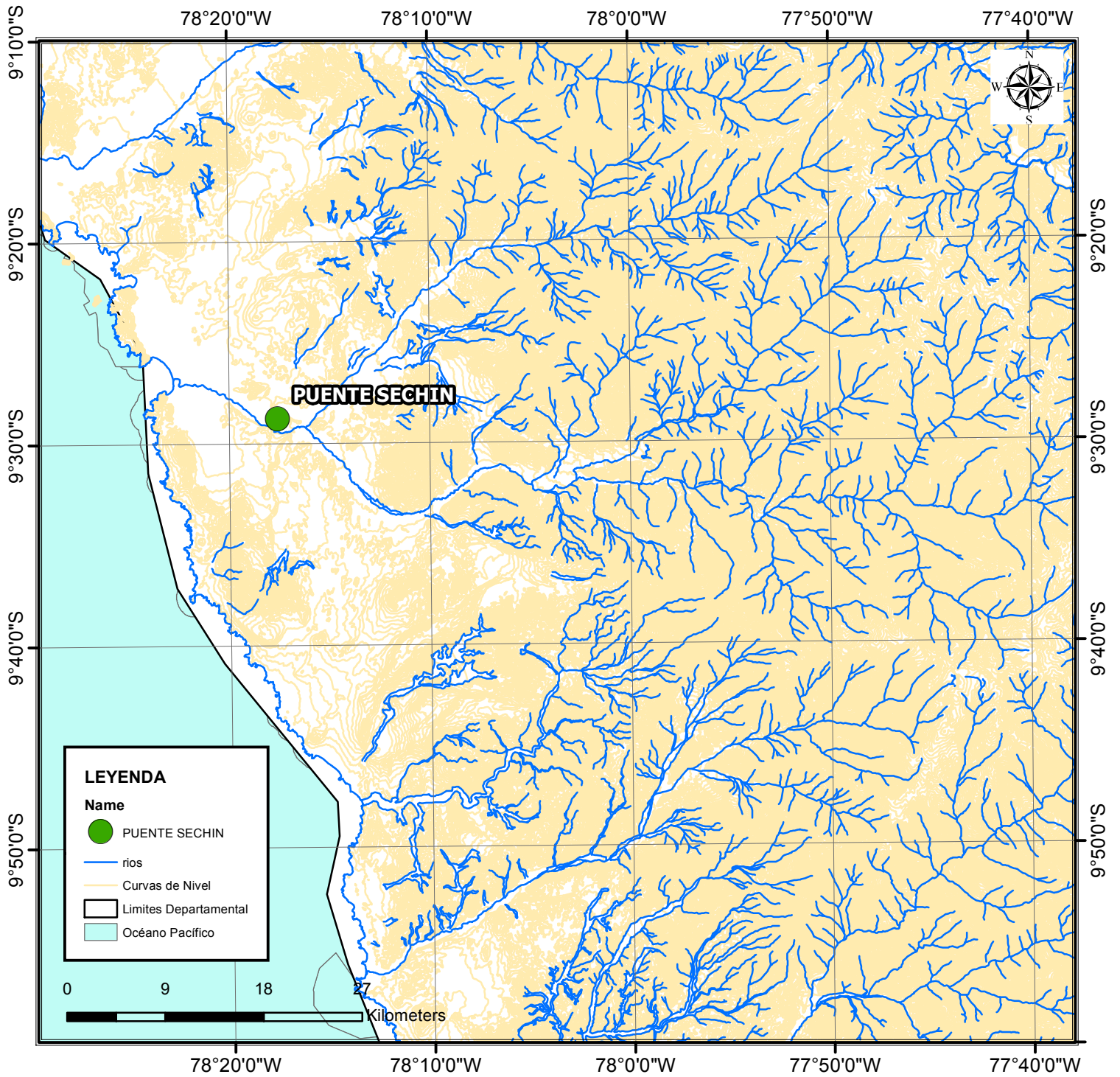


IMAGEN SATELITAL: UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO SECHÍN

ANEXO - 2

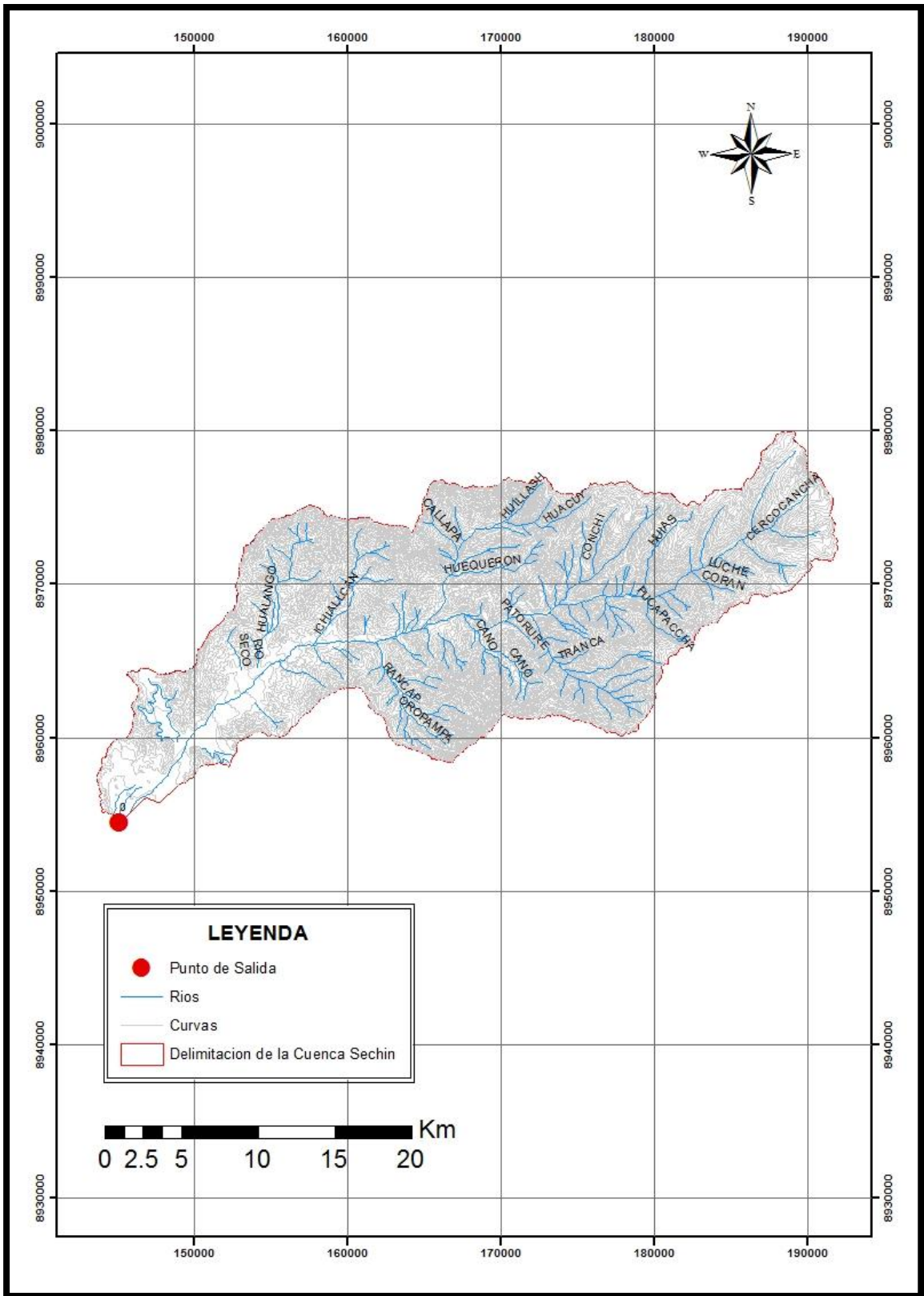
CARTA NACIONAL

CARTA NACIONAL



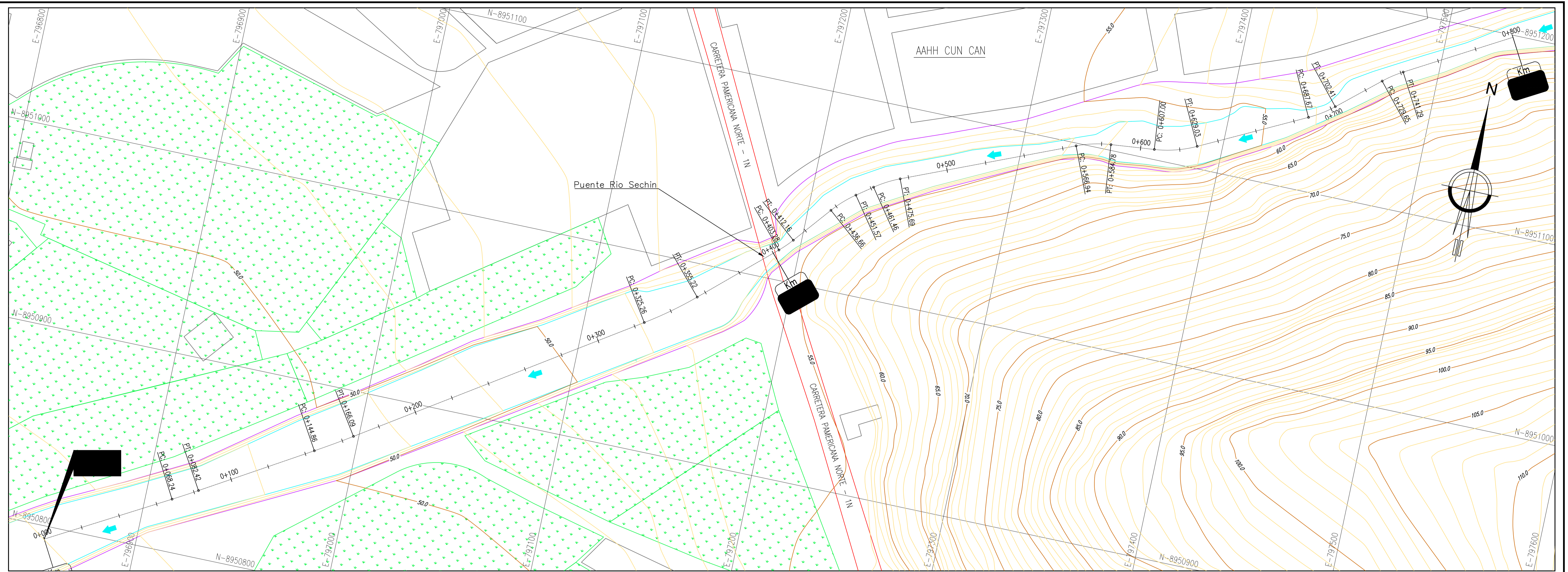
ANEXO - 3

MAPA HIDROGRÁFICO

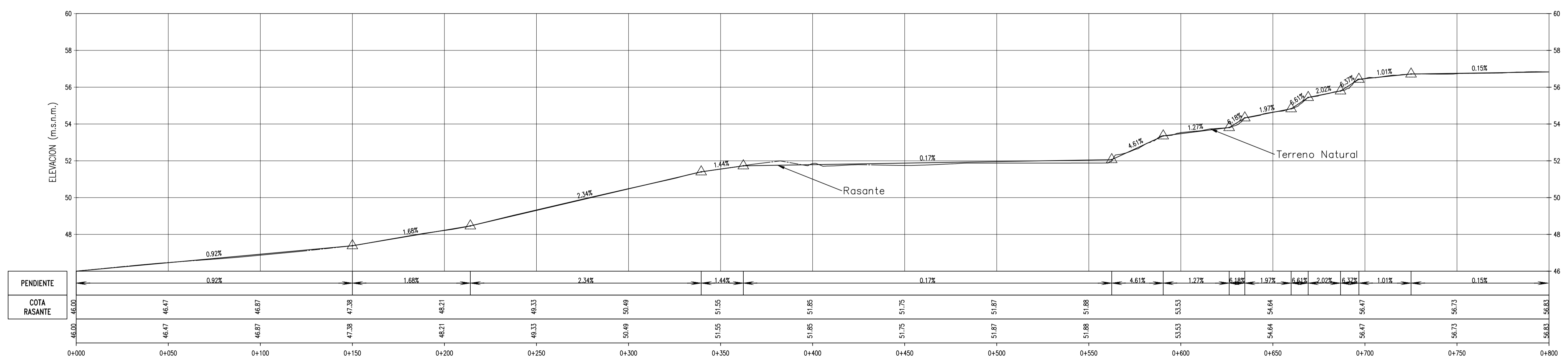
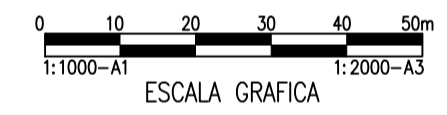


ANEXO - 4

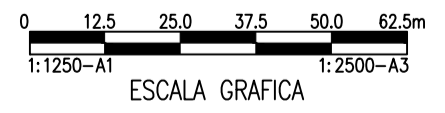
PLANOS



PLANTA RIO SECHIN
Esc. 1:1000 - A1 / 1:2000 - A3



PERFIL LONGITUDINAL
Esc. H 1:1250 - A1 / 1:2500 - A3
Esc. V 1:125 - A1 / 1:250 - A3

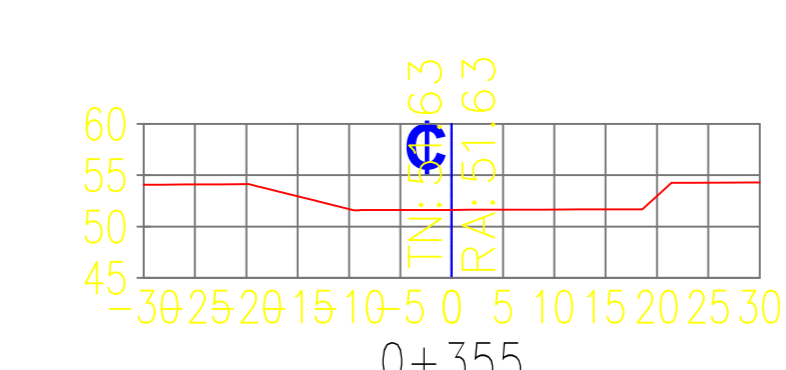
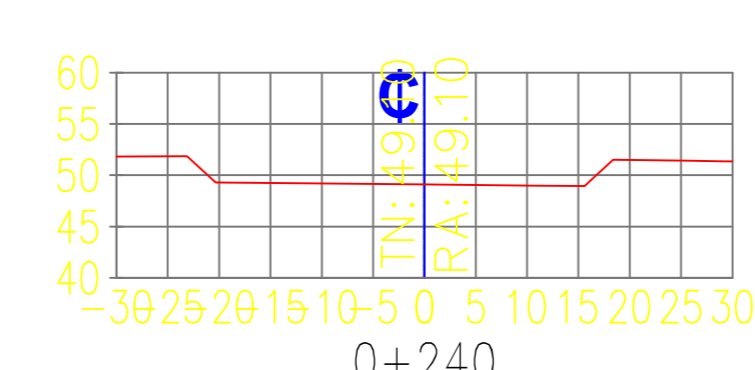
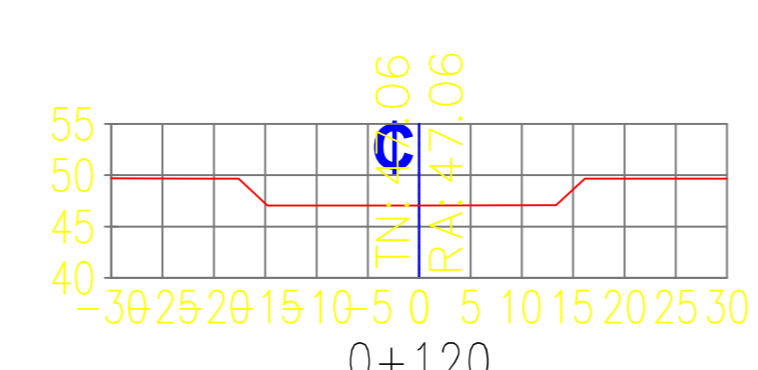
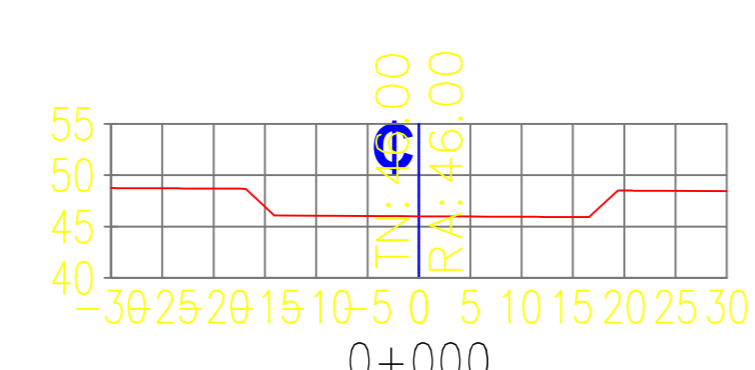
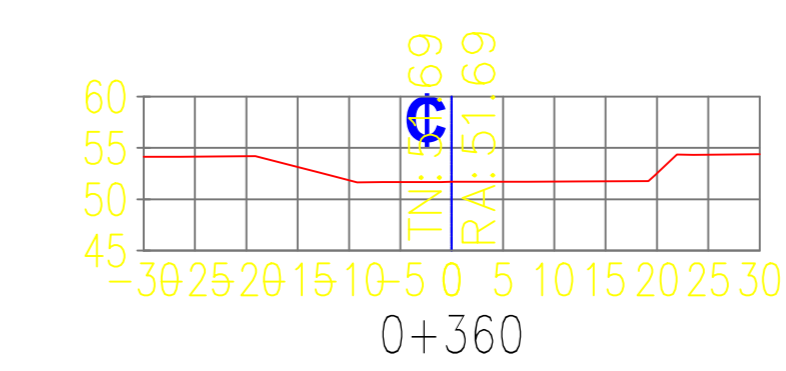
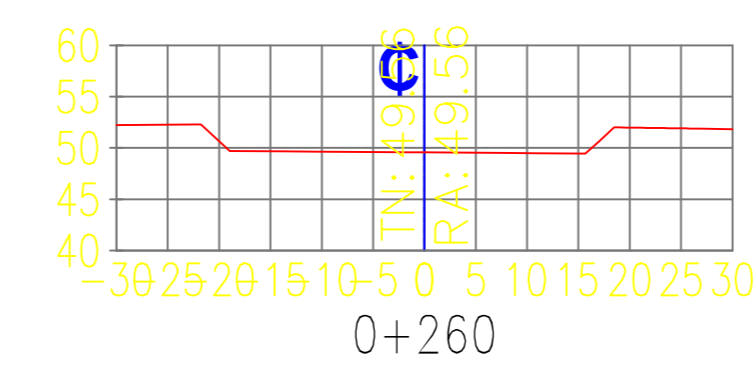
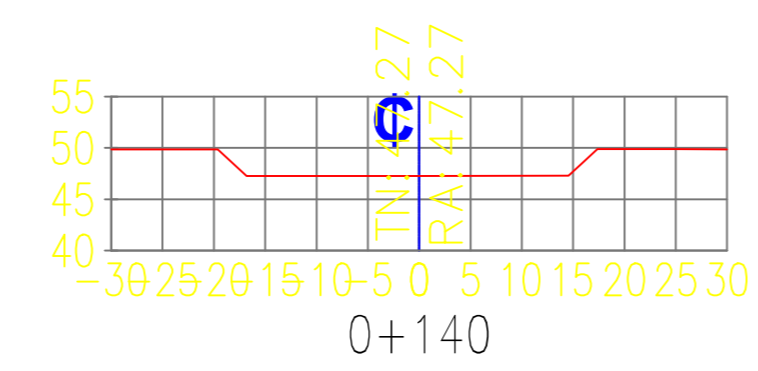
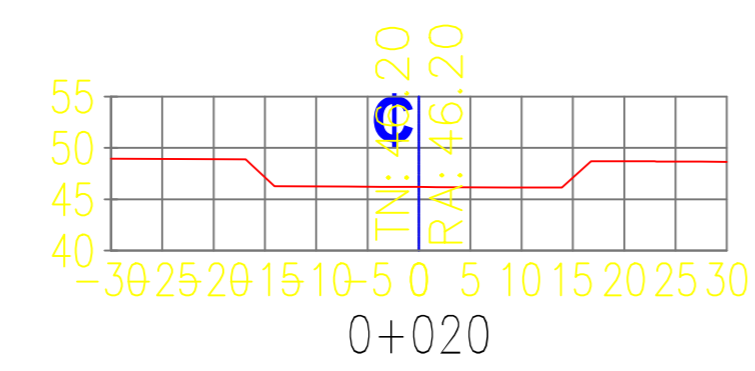
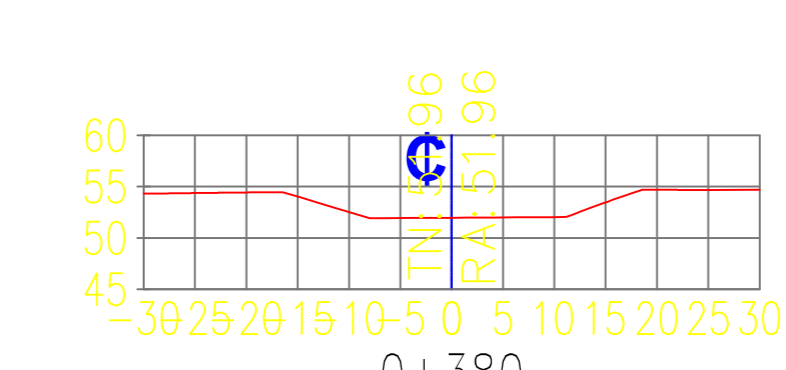
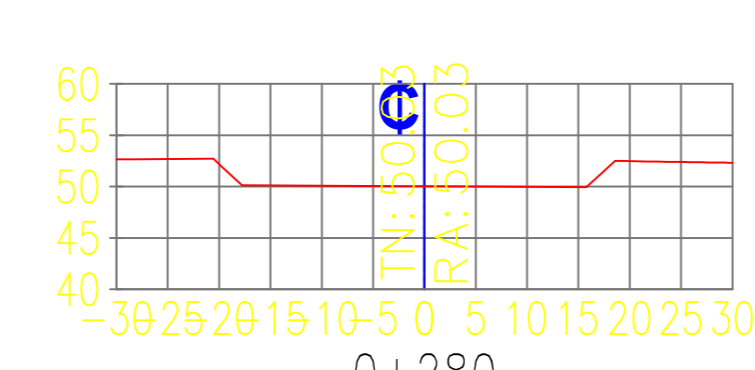
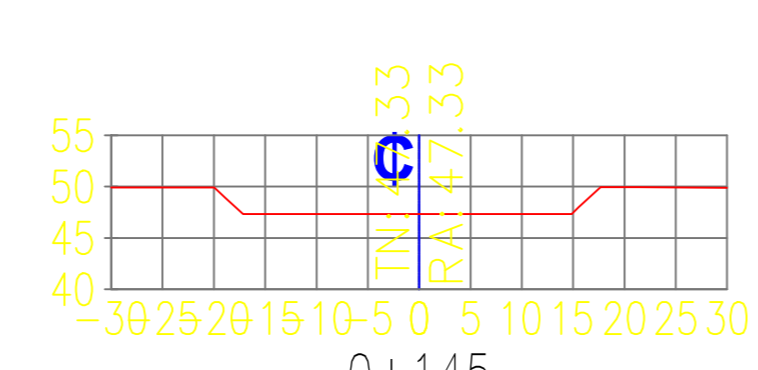
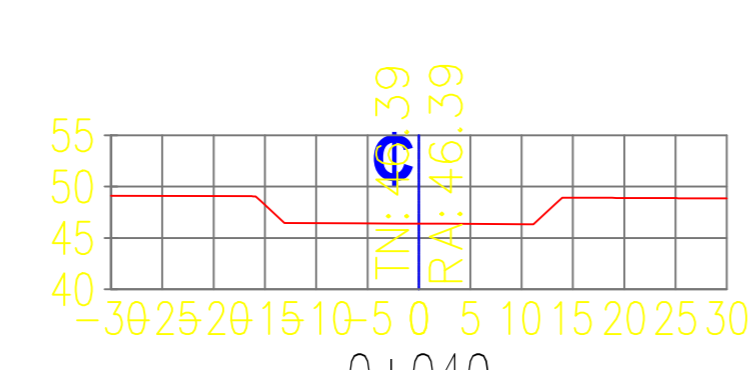
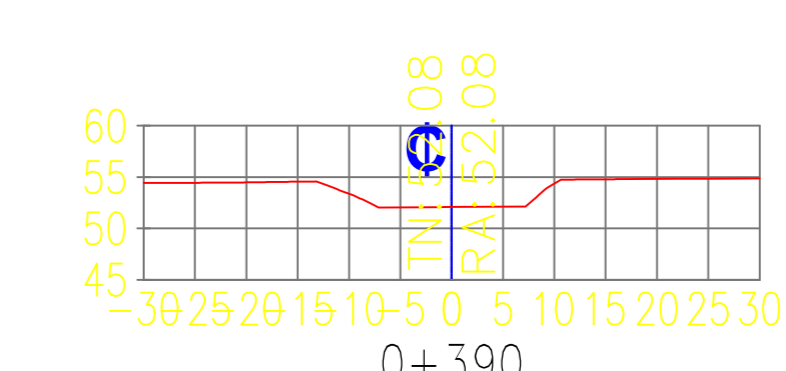
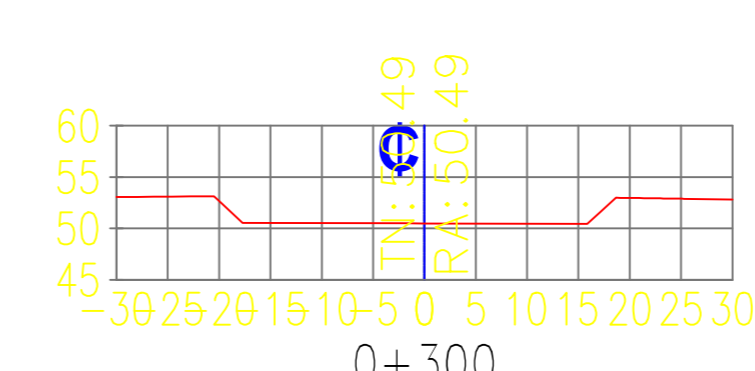
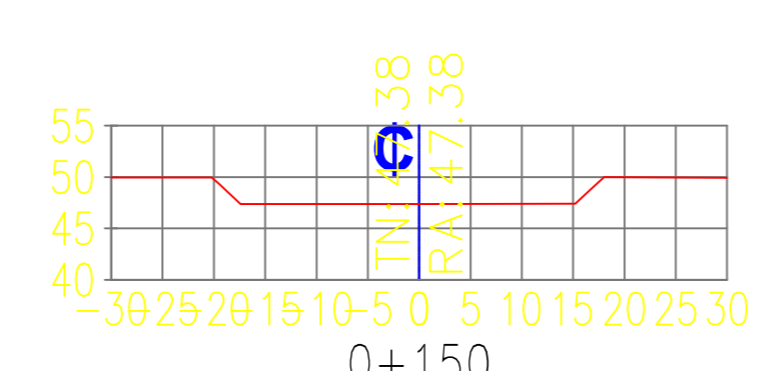
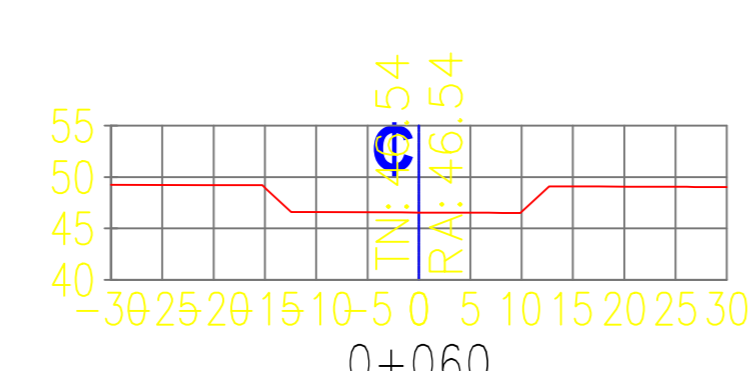
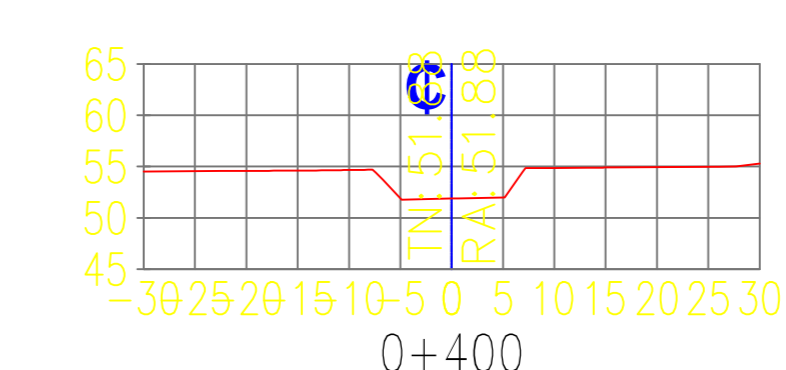
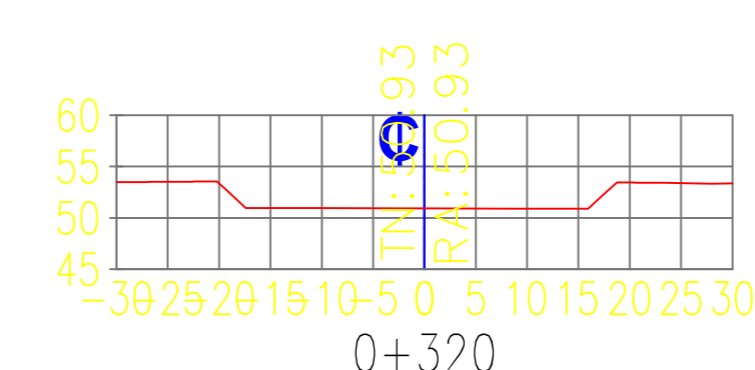
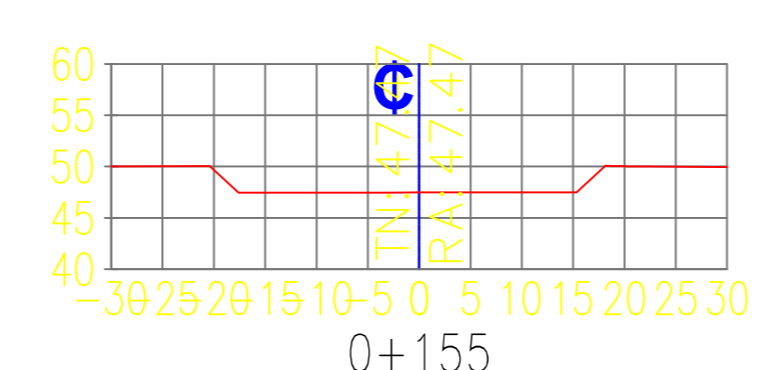
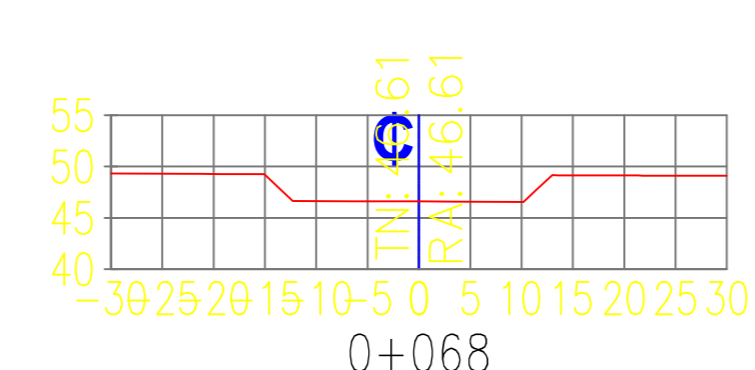
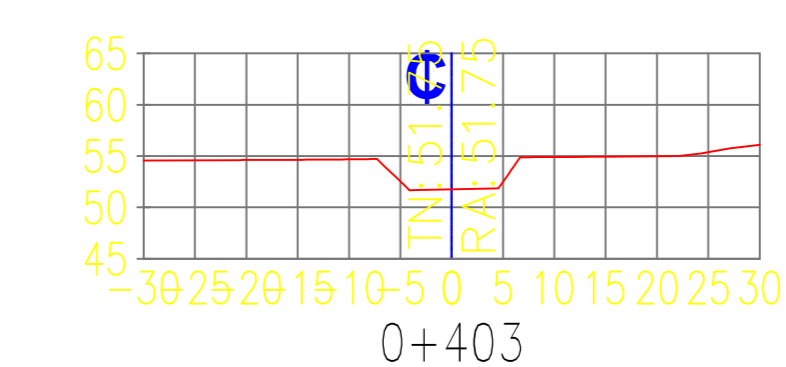
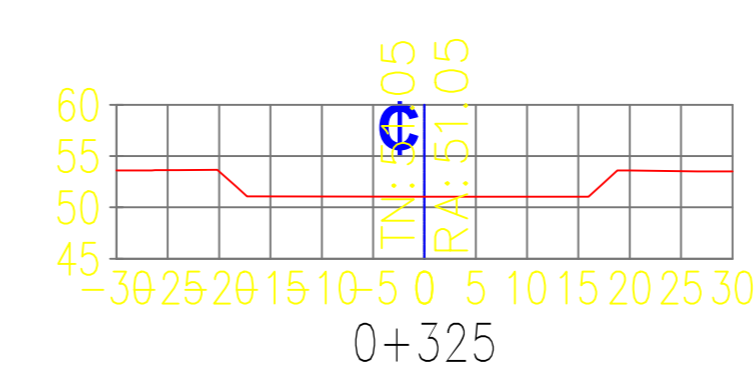
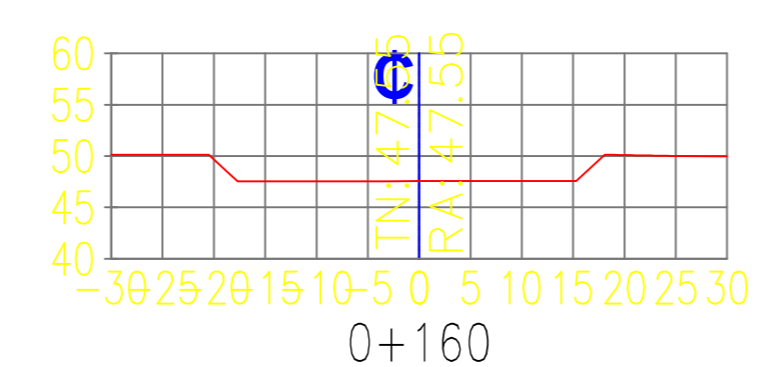
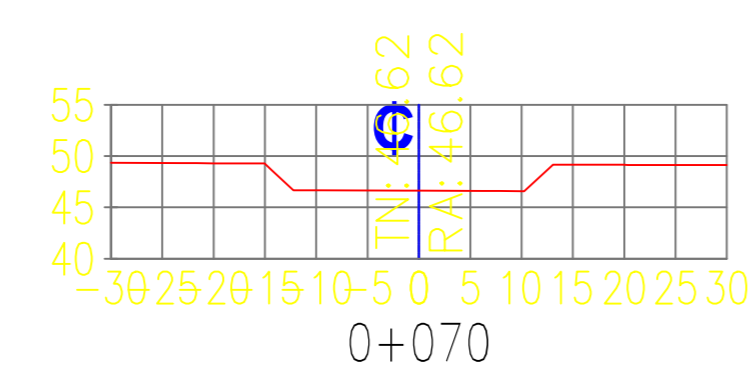
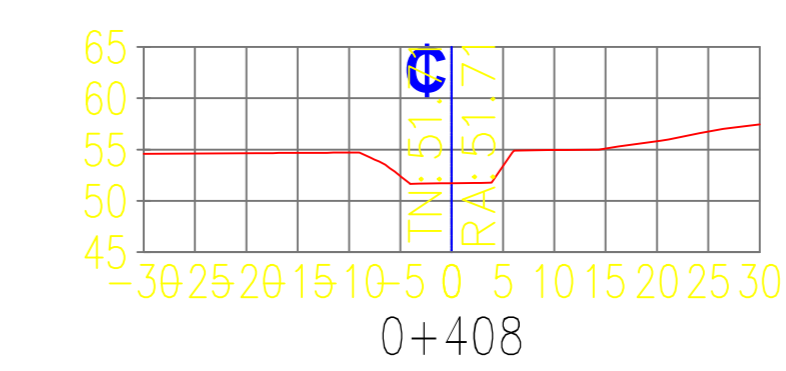
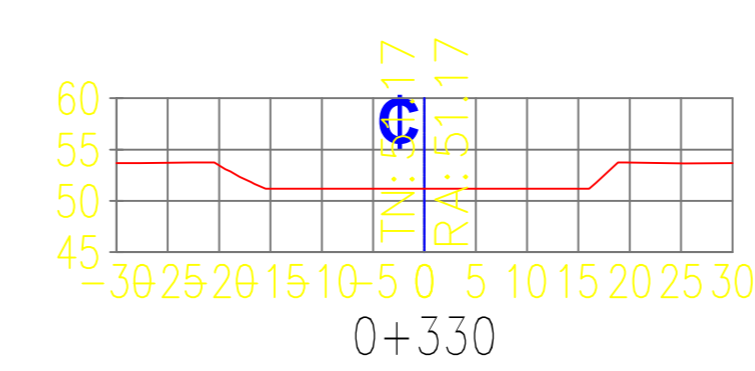
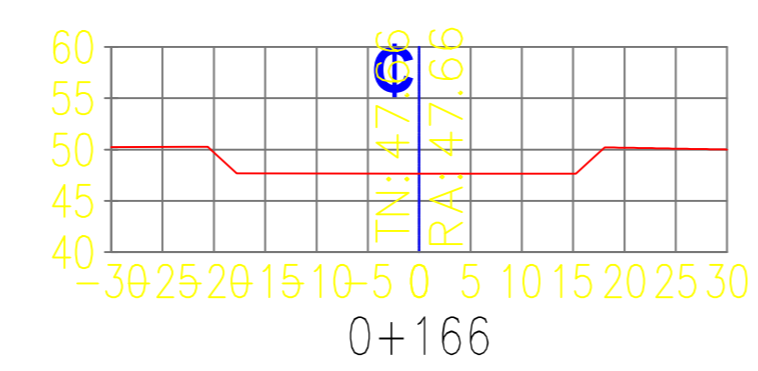
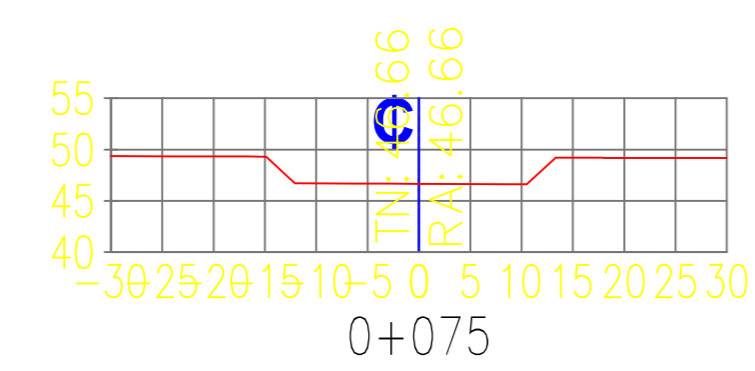
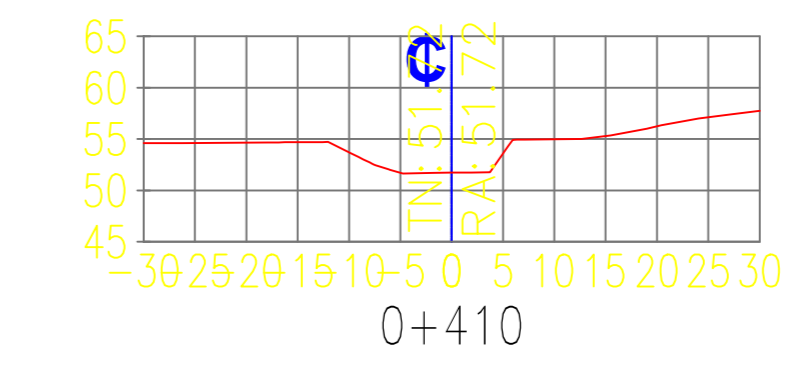
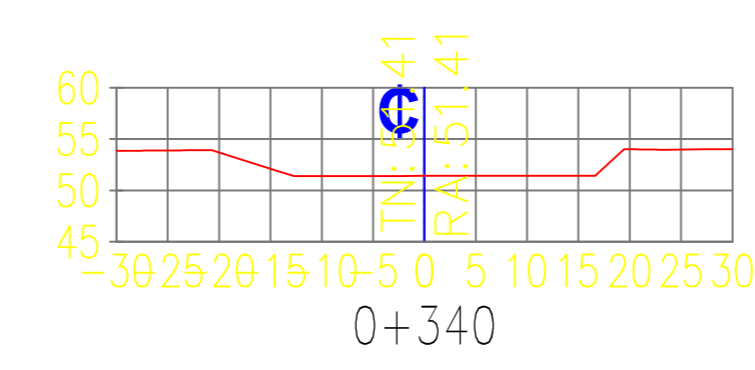
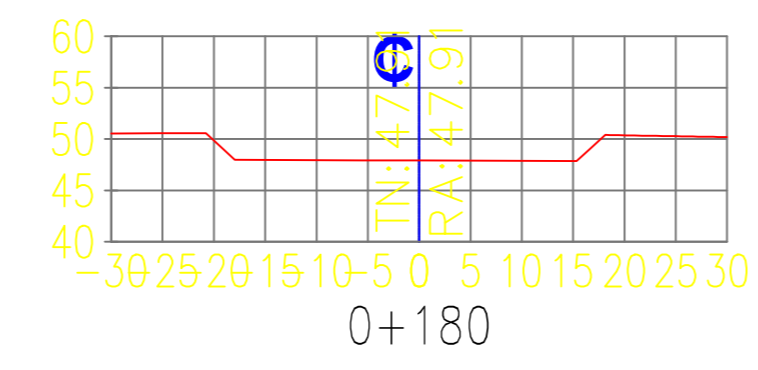
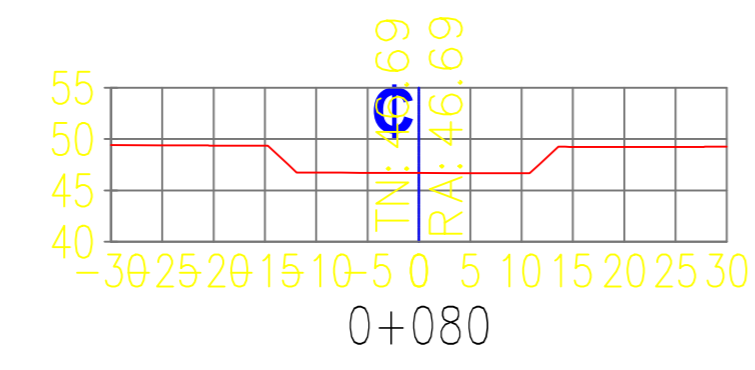
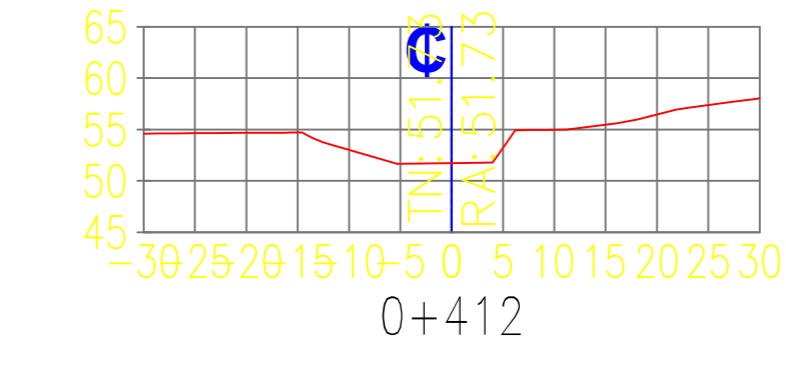
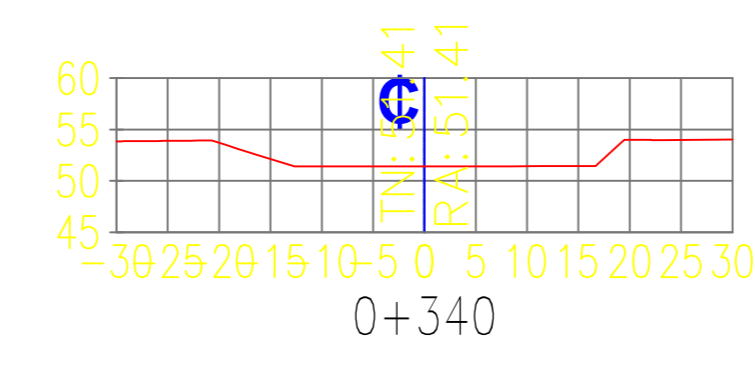
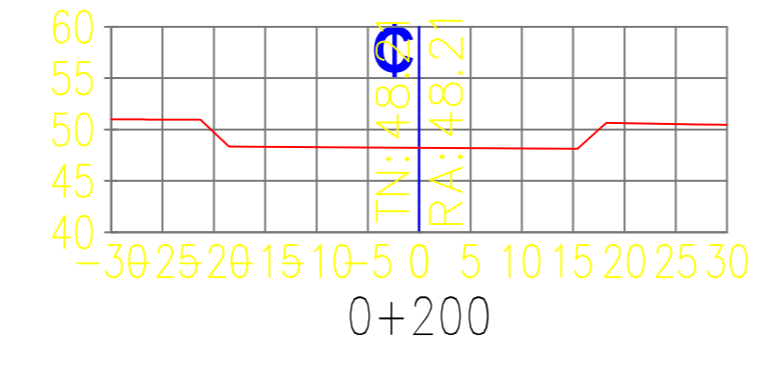
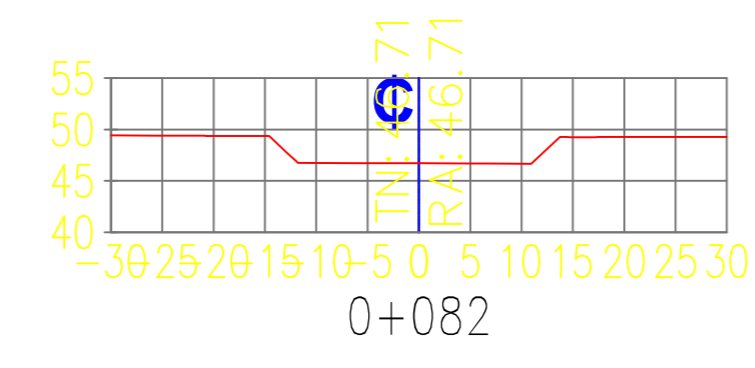
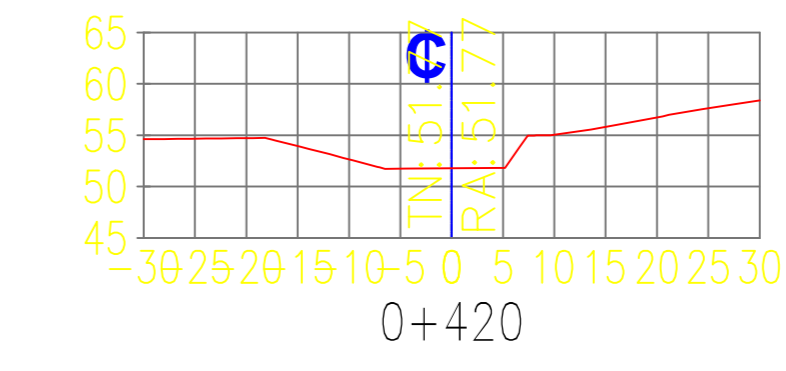
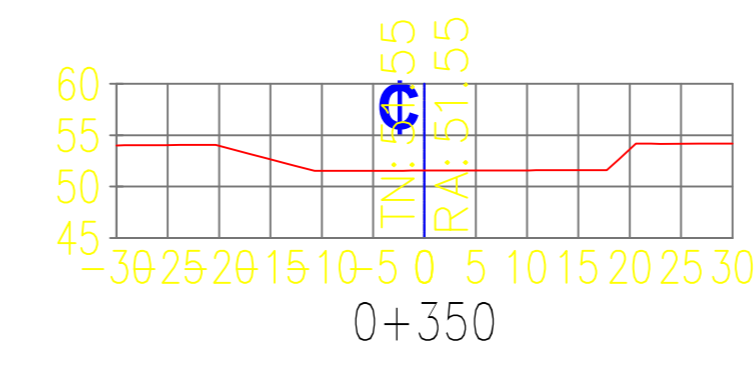
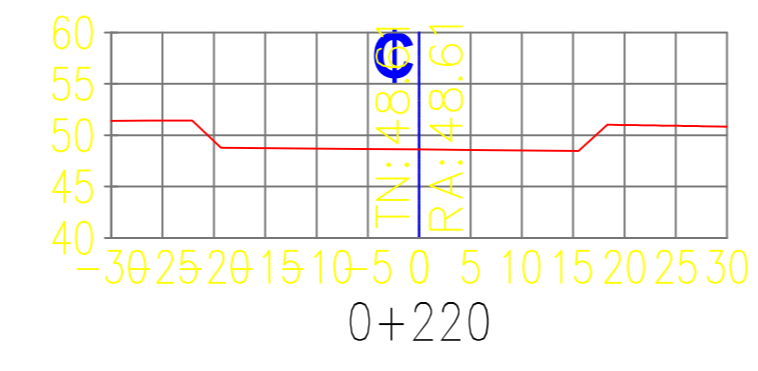
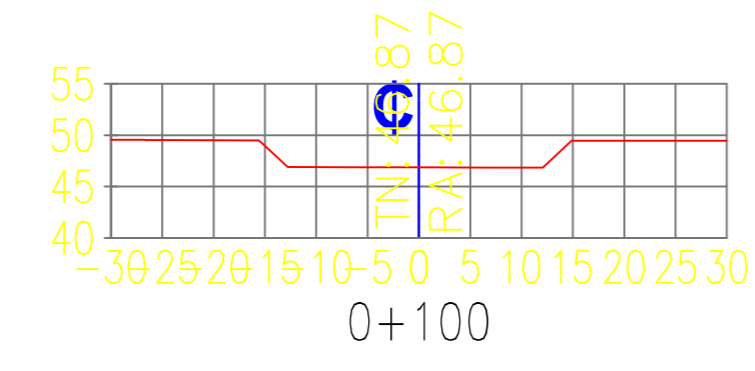


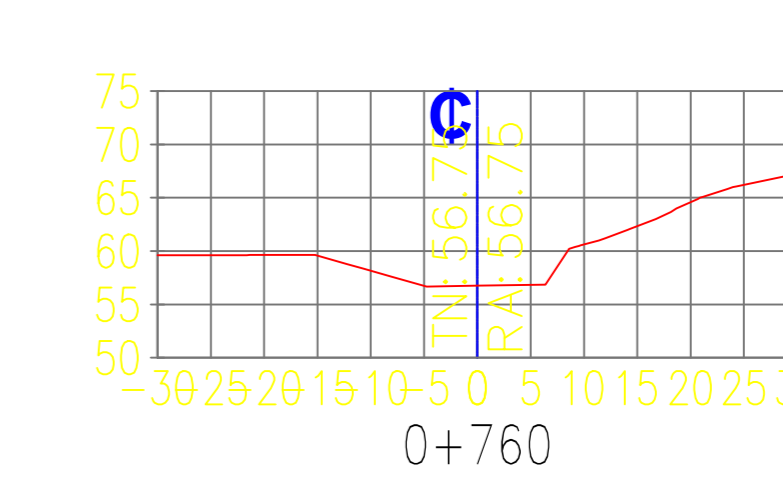
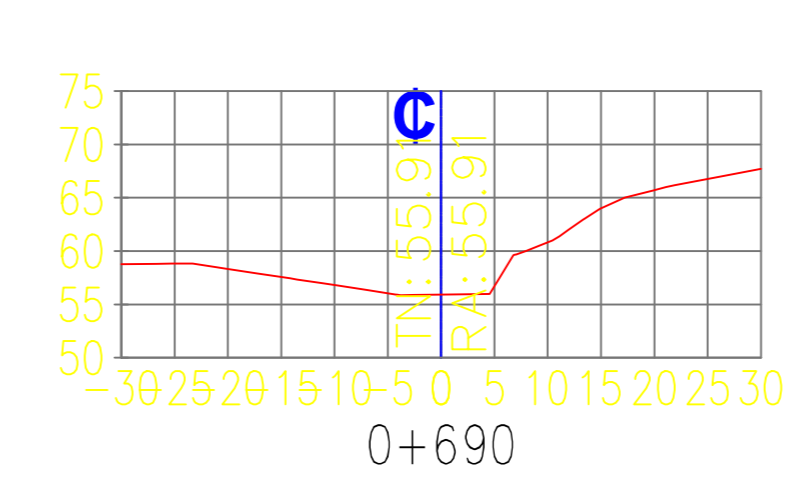
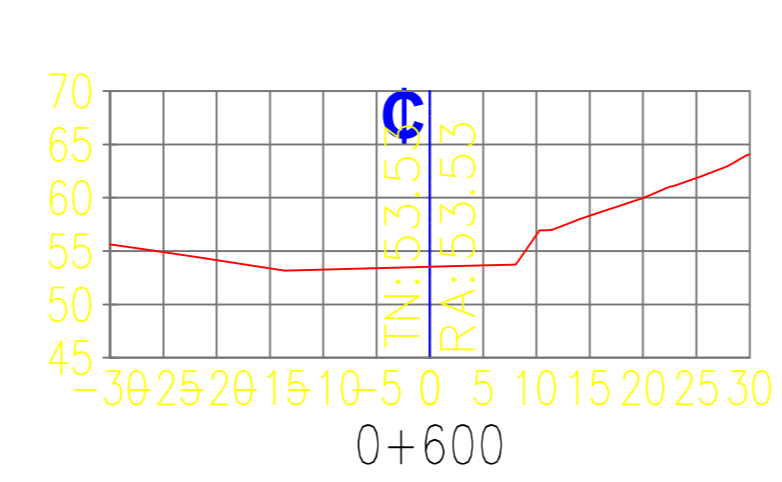
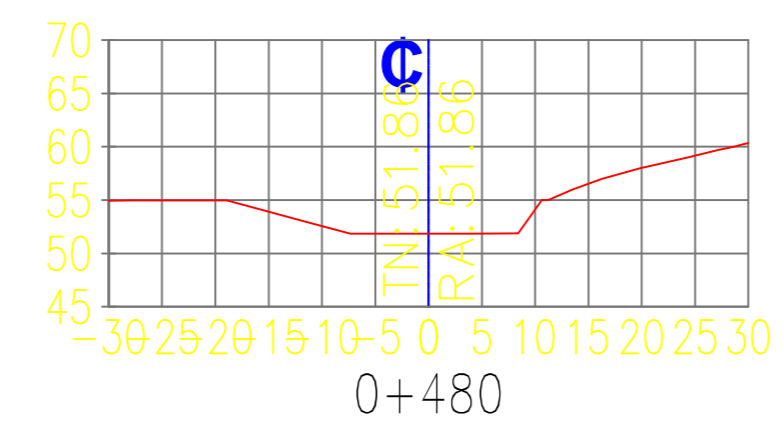
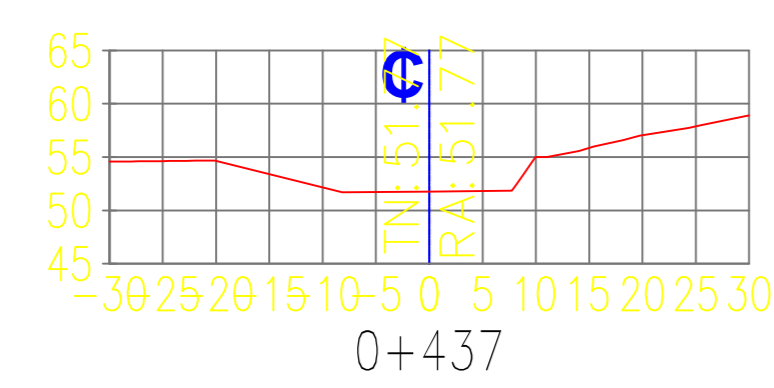
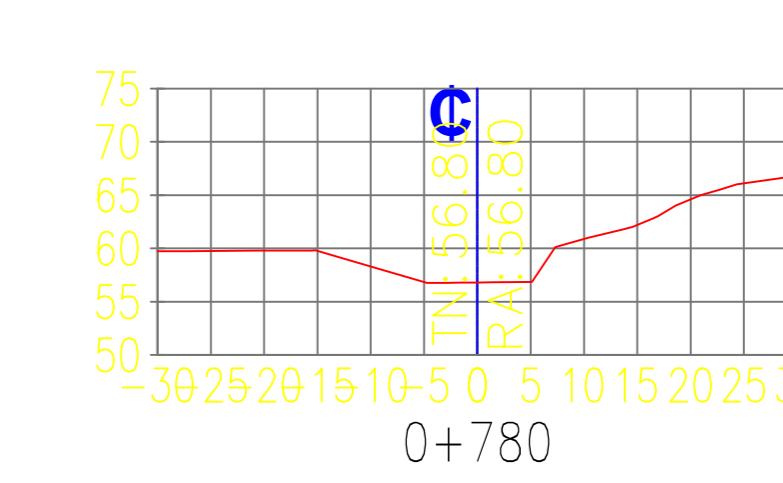
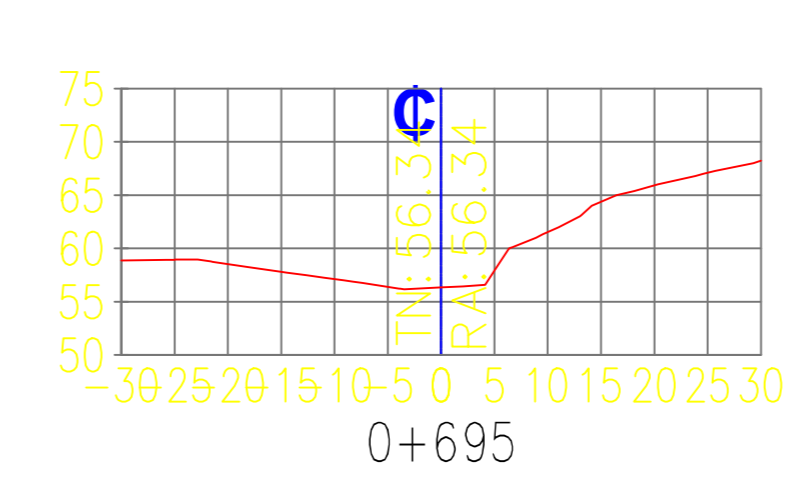
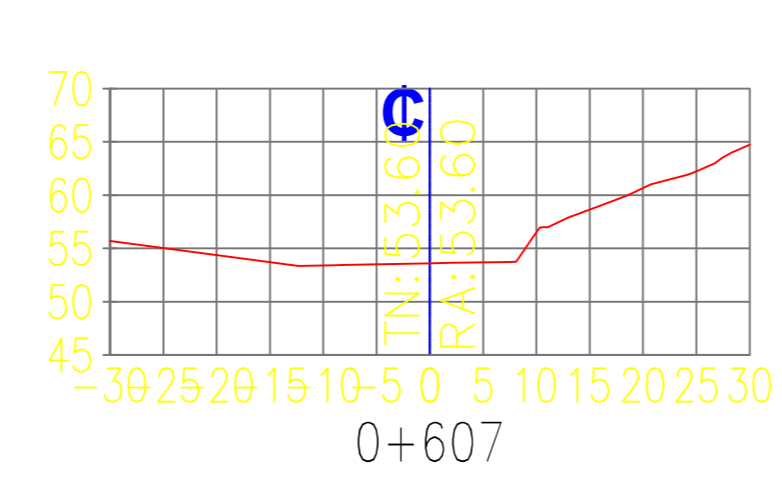
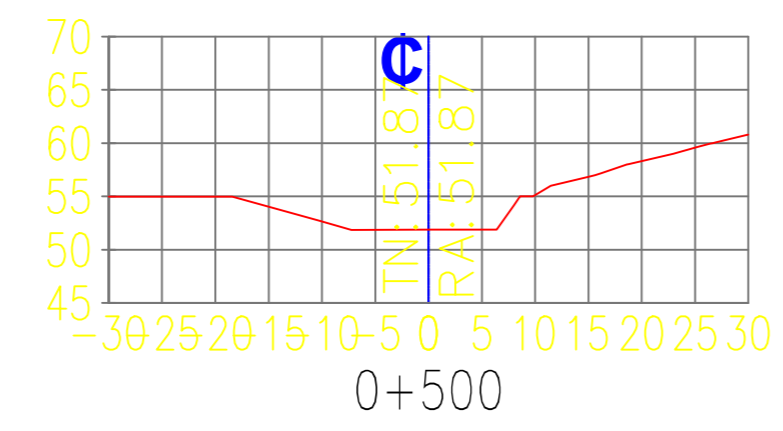
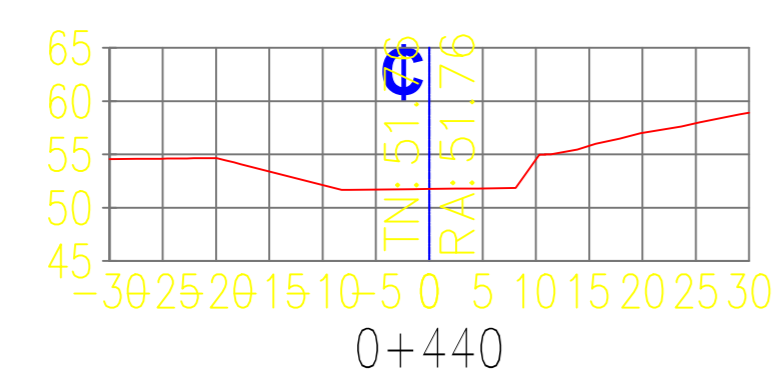
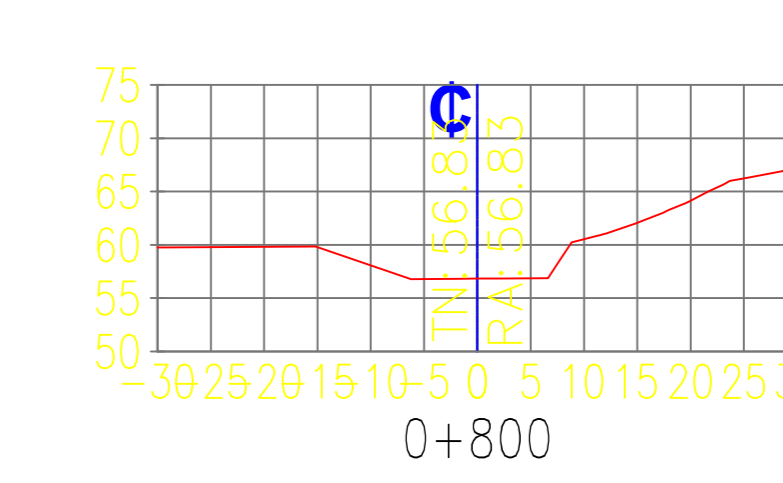
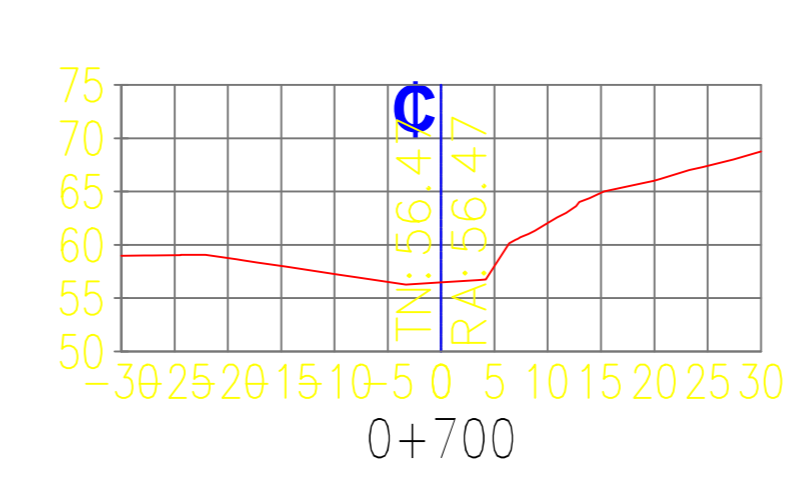
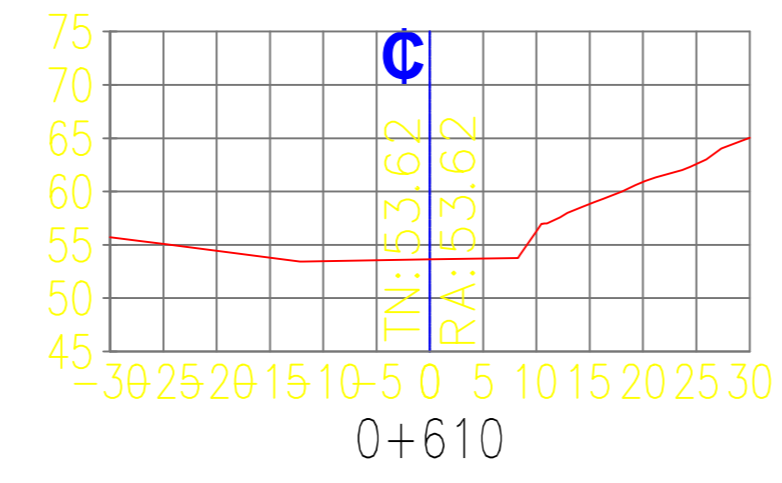
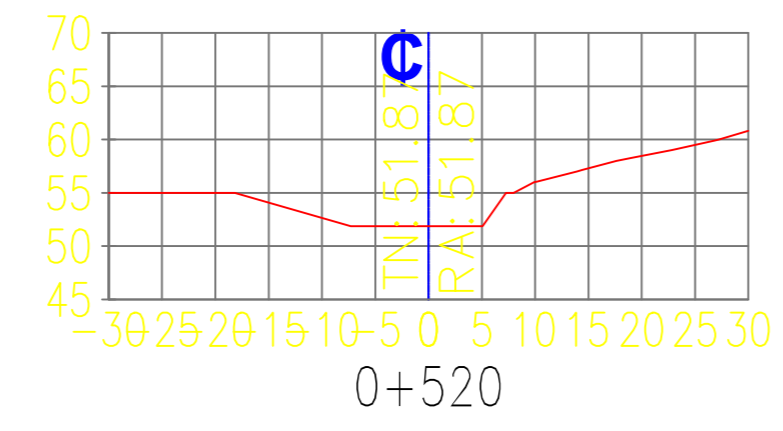
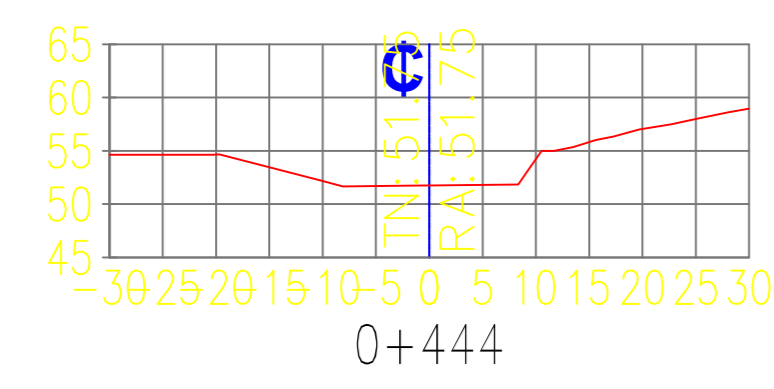
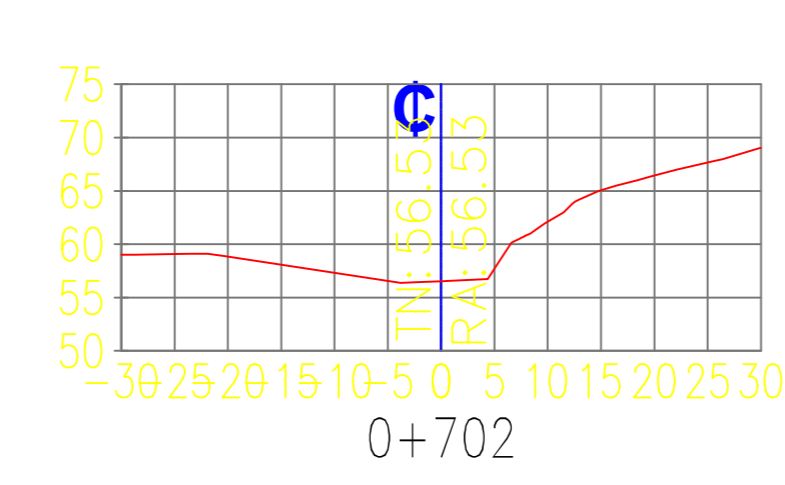
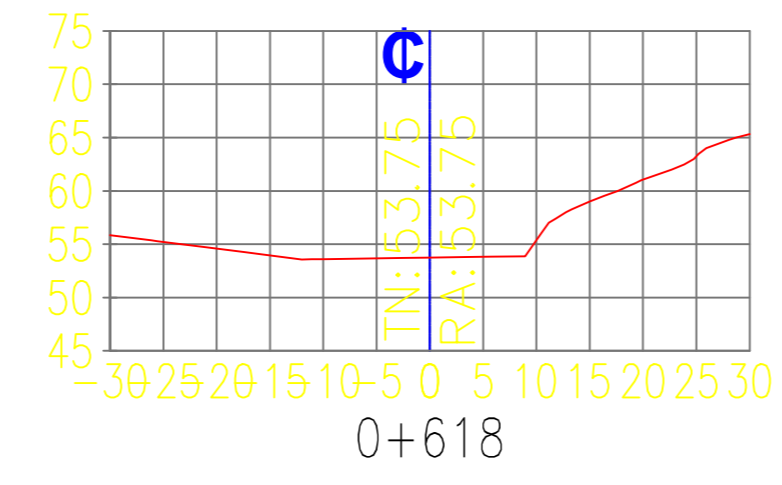
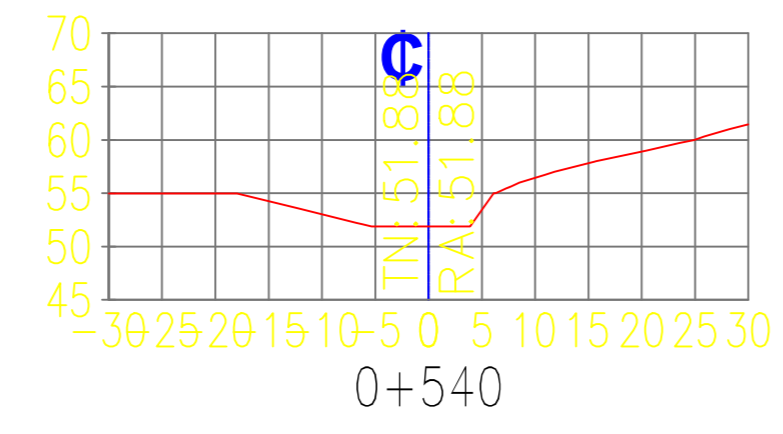
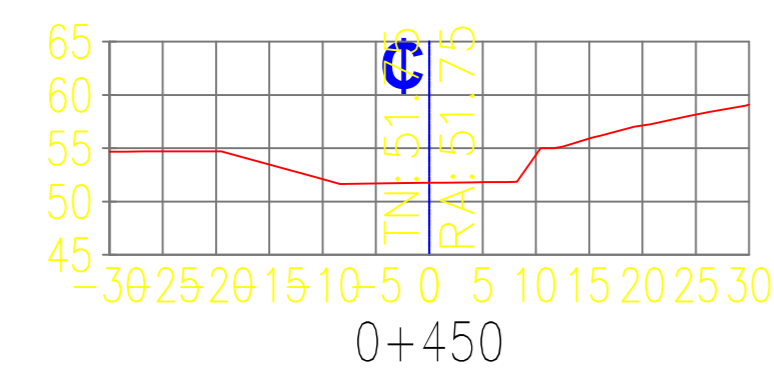
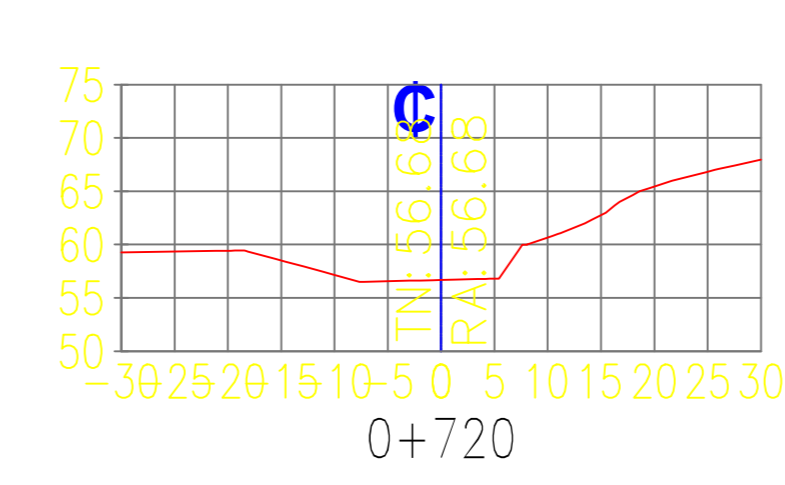
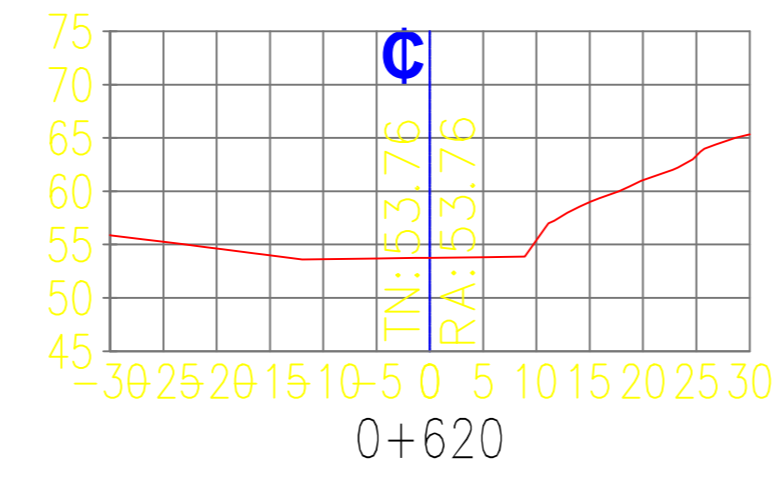
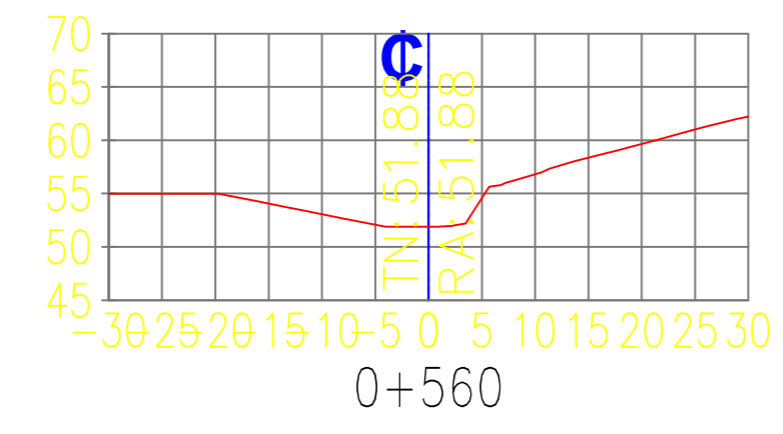
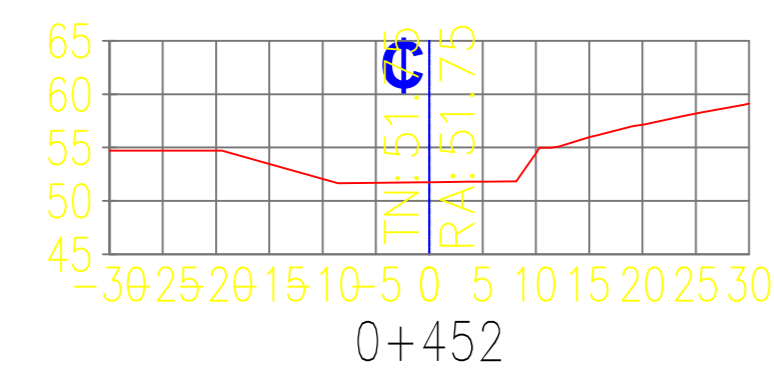
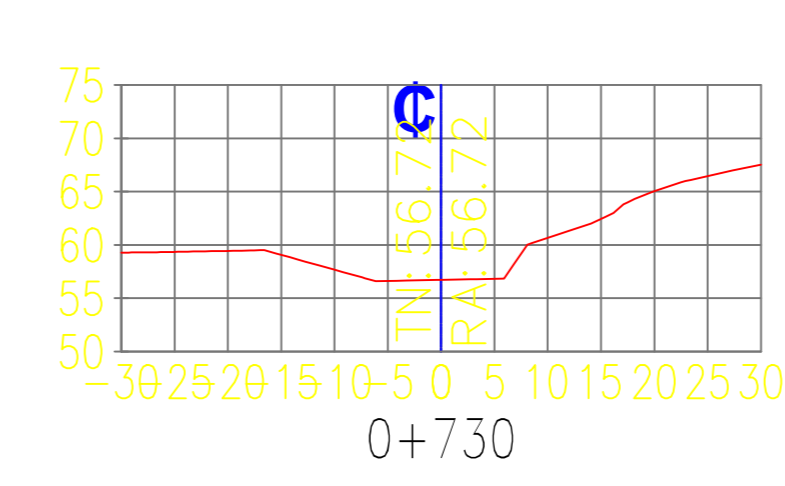
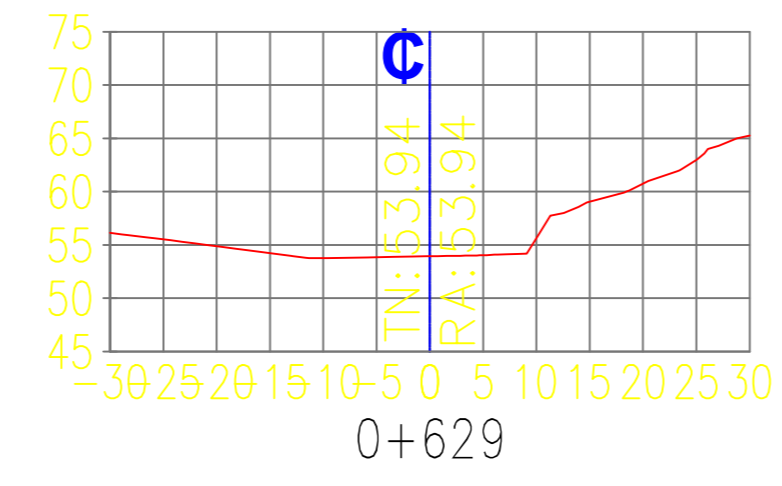
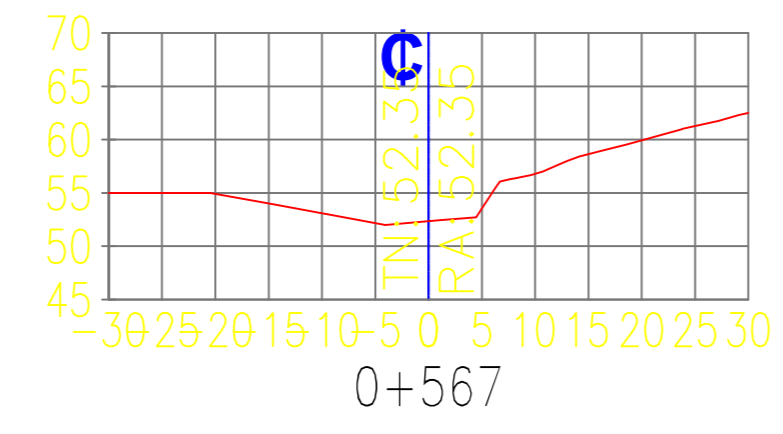
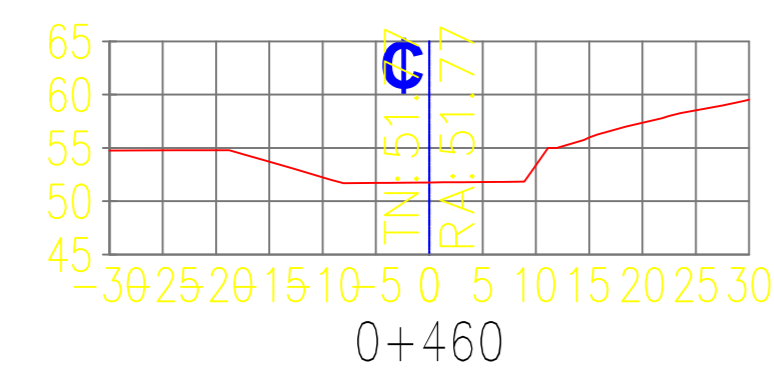
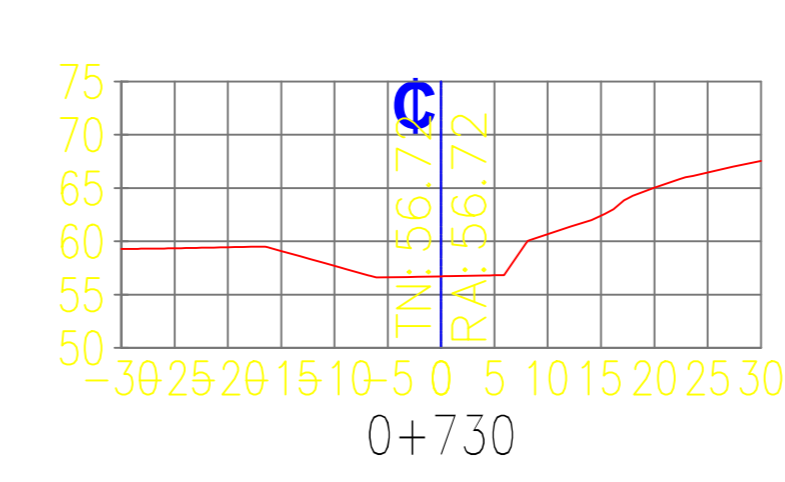
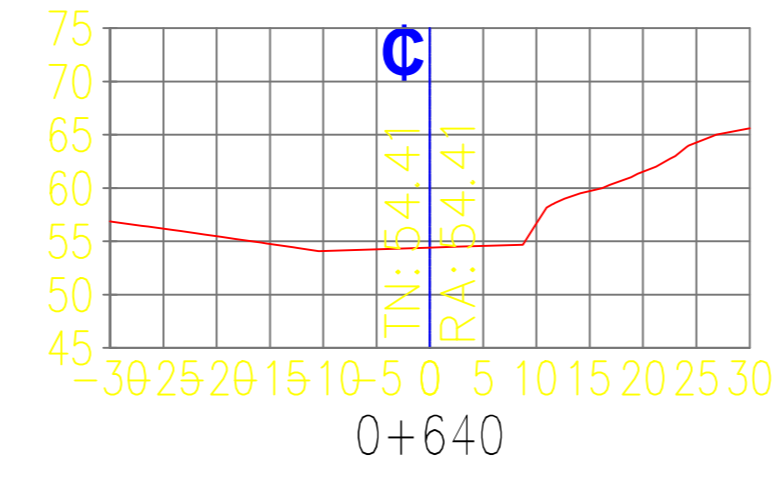
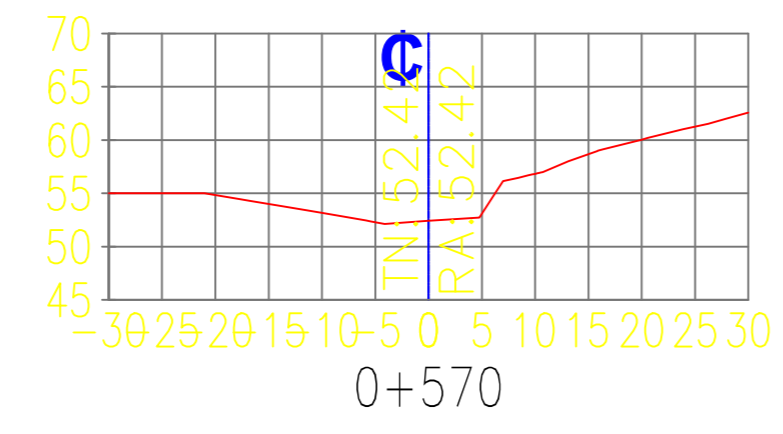
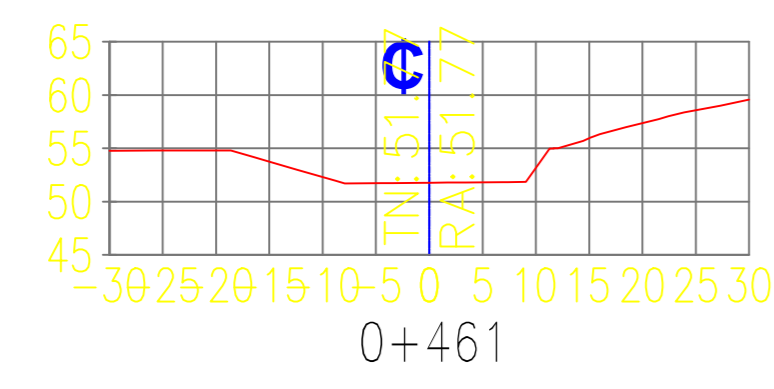
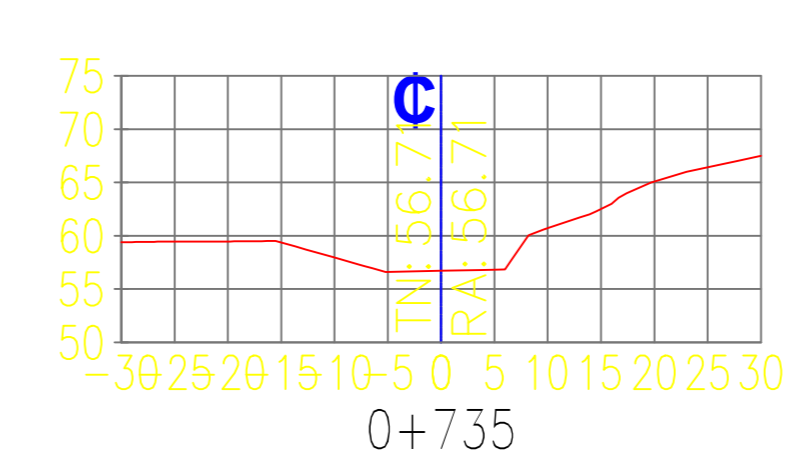
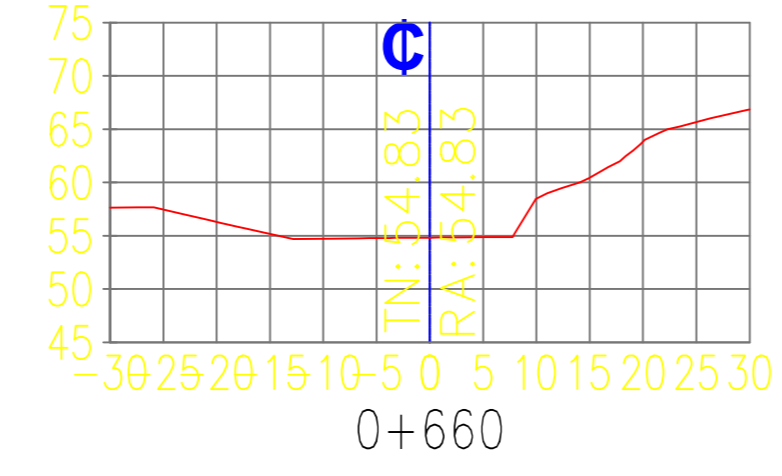
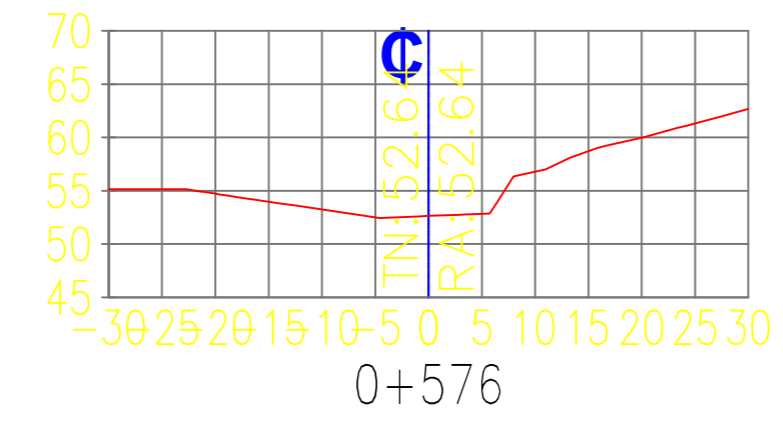
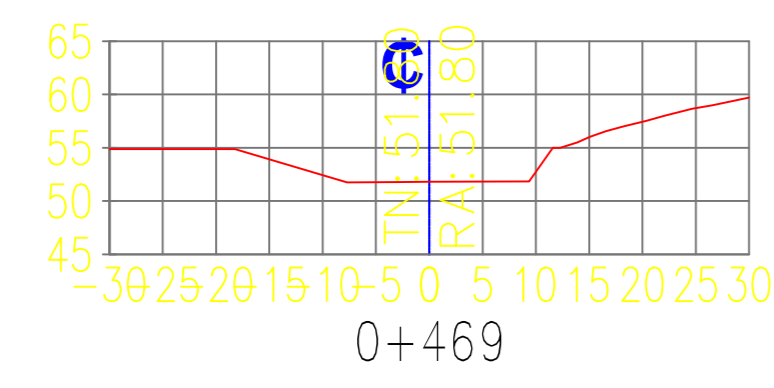
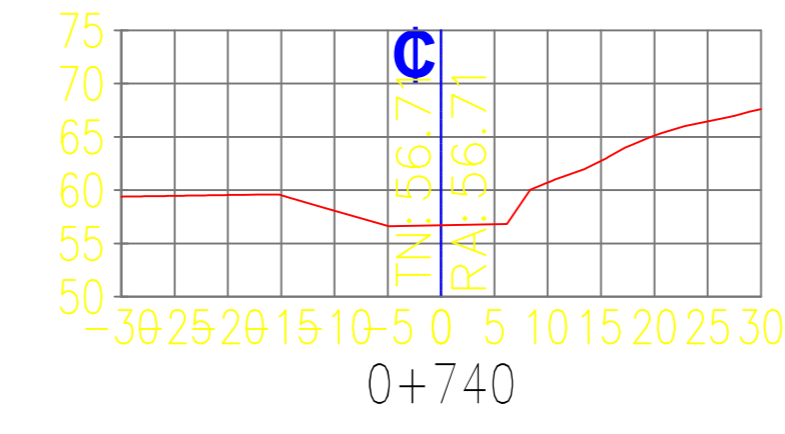
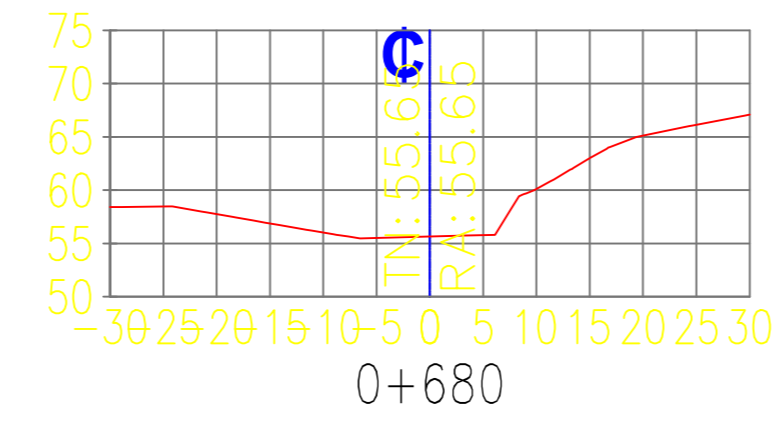
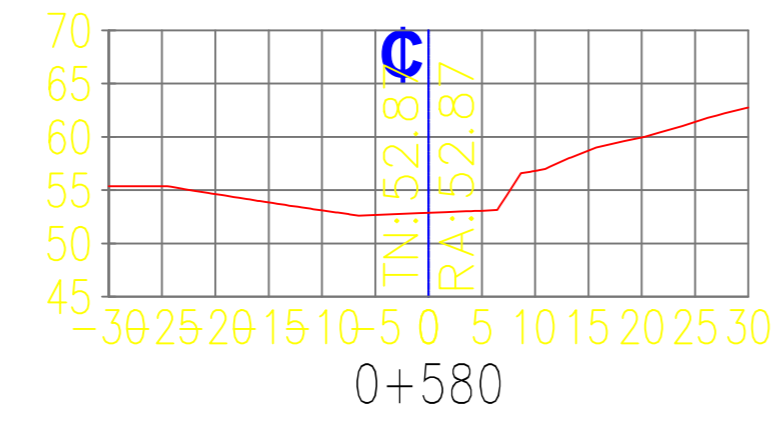
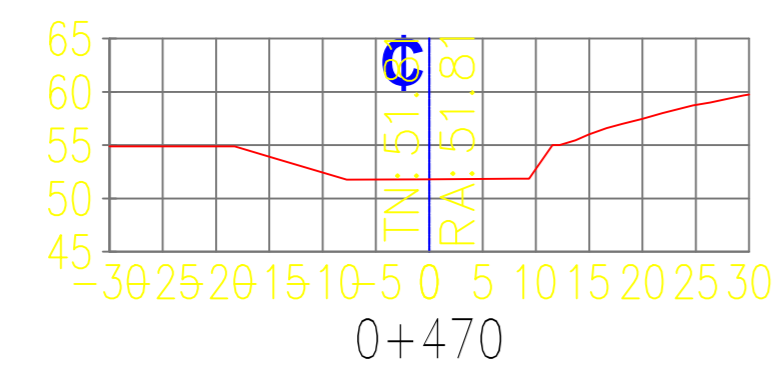
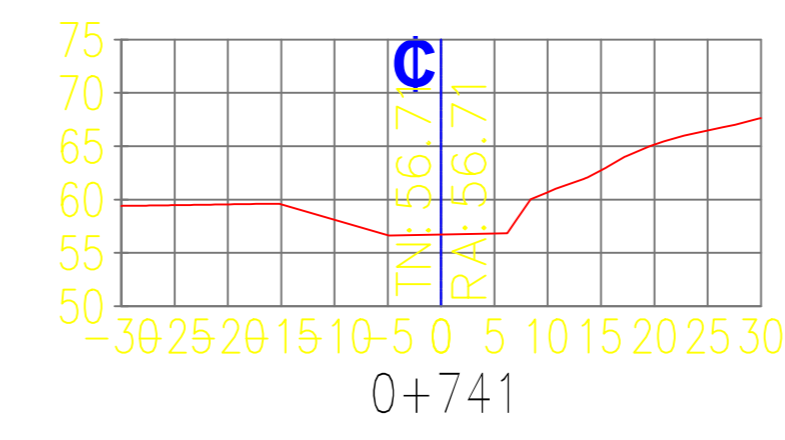
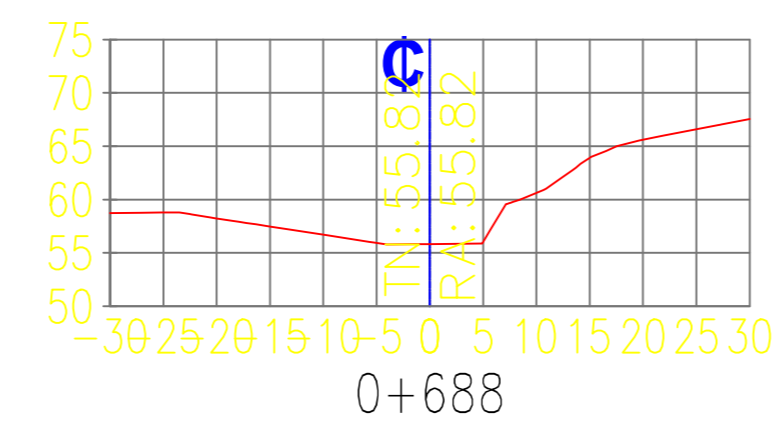
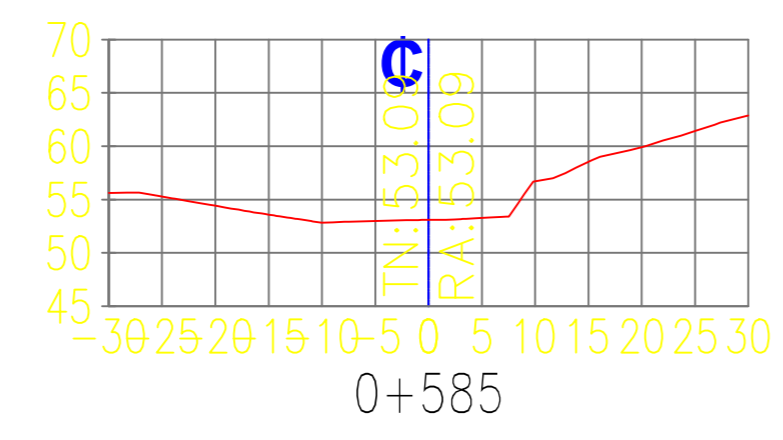
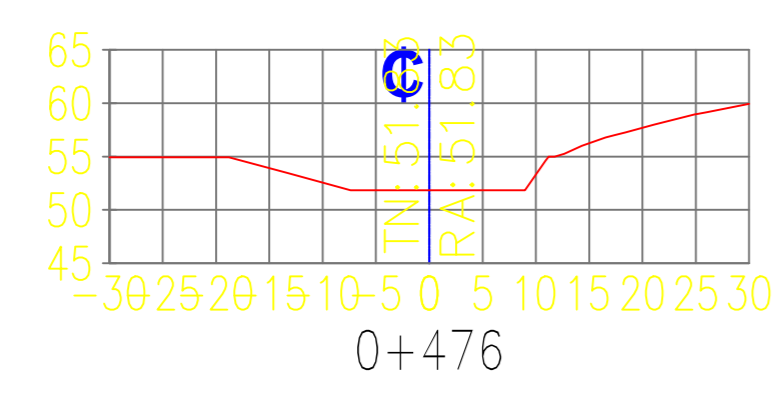
- LEYENDA**
- Curva Mayor C/5.00m
 - Curva Menor C/1.00m
 - Detalles
 - Acceso
 - Zonas Agrícolas
 - Eje Rio
 - Borde Rio
 - Nivel Maximo Avenida
 - Direccion de Flujo

NOTAS:
1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WCS-84.
2.- ELEVACIONES EN MSNM.
3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.

RIO SECHIN CASMA, CHUETA

PROYECTISTA:	JEFE DE PROYECTO: ING. CINTHIA HUERTA VASQUEZ BACH. GIANCARLO PILLACA COLLANTES	REVISIONES	PROYECTO: EVALUACION HIDROLOGICA E HIDRAULICA DEL RIO SECHIN EN EL PUENTE SECHIN PARA UN PERIODO DE RETORNO DE HASTA 100 AÑOS EN CASMA, PROVINCIA DE SANTA DEPARTAMENTO AMBASH	Nº DE PLANO: PP-001	DESCRIPCION DEL PLANO: PLANO PLANTA Y PERFIL RIO SECHIN	FECHA: MARZO 2020
	DISEÑO:	REV. Nº	FECHA			
		0	12/03/20			





ANEXO - 5

PRECIPITACIÓN POR UNIDAD HIDROGRAFICA



MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES - INTENDENCIA DE RECURSOS HIDRICOS
ADMINISTRACION TECNICA DEL DISTRITO DE RIEGO CASMA - HUARMEY
EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS CASMA, CULEBRAS Y HUARMEY
ESTUDIO HIDROLOGICO CASMA



PRECIPITACION TOTAL MENSUAL POR UNIDAD HIDROGRAFICA (mm)

UNIDAD HIDROGRAFICA : RIO SECHIN

AREA (Km²) : 729.5

CODIGO PFAFSTETTER : 1375962

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
1966	69.1	5.9	6.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	3.7	2.6	2.0	96.6
1967	148.9	145.1	29.7	1.0	0.8	0.0	2.1	0.0	0.0	7.2	1.0	0.4	336.4
1968	3.8	3.2	5.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8	1.2	1.7	2.6	19.5
1969	1.3	12.4	28.7	2.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	8.5	2.9	44.0	101.3
1970	11.6	30.9	27.4	5.2	73.5	0.1	0.1	0.1	1.2	11.3	72.6	6.4	240.4
1971	23.2	76.0	82.2	5.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	11.1	6.2	10.4	216.0
1972	10.3	24.7	26.3	5.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	3.0	3.4	6.0	80.6
1973	9.2	32.3	15.0	4.6	0.9	0.1	0.1	0.4	1.6	6.8	3.8	5.9	80.5
1974	7.7	13.5	14.3	4.3	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	3.9	5.7	53.9
1975	9.3	16.7	14.3	6.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	3.4	6.8	8.2	66.4
1976	14.6	24.0	14.9	4.6	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	3.8	7.0	73.2
1977	13.2	21.1	18.0	7.9	1.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	4.6	5.7	75.9
1978	7.3	13.2	12.9	4.7	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	3.3	5.4	51.3
1979	7.4	15.9	13.0	8.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.8	3.9	5.4	58.2
1980	7.3	14.2	15.3	5.5	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	29.9	3.9	5.6	83.4
1981	51.3	18.5	13.8	4.2	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.9	3.3	5.4	101.2
1982	8.1	12.9	12.3	4.7	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.9	3.6	6.3	52.6
1983	12.8	21.6	160.4	157.2	0.6	0.1	0.1	7.4	0.9	4.2	4.7	5.7	375.7
1984	7.4	17.8	13.8	4.0	0.7	0.1	0.1	0.1	1.4	3.4	3.3	5.4	57.5
1985	7.5	17.1	12.5	4.0	2.7	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	3.3	6.2	57.1
1986	7.8	13.1	13.8	4.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	3.3	5.6	52.2
1987	7.8	13.4	14.1	5.3	0.7	0.1	0.1	0.1	1.6	2.7	4.7	5.5	56.1
1988	8.1	13.7	11.7	6.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	2.7	5.9	5.5	55.2
1989	8.2	20.6	16.5	4.8	0.6	0.1	0.1	0.1	2.0	4.2	3.3	5.4	65.8
1990	7.6	16.2	13.2	4.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	4.3	4.6	6.6	58.4
1991	8.0	14.6	13.3	4.2	0.6	0.1	0.1	0.1	0.9	3.7	3.5	5.8	54.9
1992	7.7	14.3	13.0	5.2	0.6	0.1	0.1	0.5	1.3	3.5	3.3	5.8	55.3
1993	8.2	15.0	19.7	5.2	1.4	0.1	0.1	0.1	0.9	4.1	4.0	7.3	66.2
1994	10.1	15.3	14.7	5.2	0.6	0.1	0.1	0.1	1.5	2.7	3.9	14.1	68.4
1995	8.5	16.3	14.1	4.8	0.8	0.1	0.1	0.1	0.9	3.9	3.8	6.7	60.1
1996	21.0	25.5	24.4	9.7	0.8	0.6	0.0	0.2	0.4	6.1	3.7	6.8	99.3
1997	7.3	26.3	2.6	4.8	1.7	0.4	0.5	0.0	1.2	2.9	23.7	23.0	94.5
1998	27.6	119.1	173.6	12.7	0.2	0.6	0.0	0.0	0.6	4.5	1.6	5.1	345.6
1999	10.0	185.3	7.4	6.4	1.7	0.0	0.0	0.1	1.2	1.4	5.5	6.1	225.2
2000	10.0	15.9	10.0	8.8	3.9	0.0	0.0	0.7	2.1	1.9	1.8	212.1	267.2
2001	11.3	15.2	16.2	4.9	1.3	0.1	0.1	0.1	2.2	3.0	3.7	6.0	64.2
2002	7.2	52.6	14.1	5.1	1.2	0.1	0.1	0.1	1.5	38.4	35.6	5.8	161.7
2003	8.5	14.3	13.6	4.3	0.6	0.1	0.7	0.1	1.0	4.3	3.4	8.9	59.6
2004	27.3	21.1	39.1	6.0	0.6	0.1	0.1	0.1	1.8	15.6	4.9	7.1	123.8
2005	8.5	13.8	14.0	4.4	0.6	0.1	0.1	0.1	1.0	3.3	3.4	6.4	55.7
2006	9.1	48.9	16.1	4.4	0.6	0.1	1.6	0.1	0.9	2.7	4.5	7.1	96.1
MEDIA	16.1	29.9	24.7	8.8	2.6	0.1	0.2	0.3	1.1	5.7	6.7	12.5	108.9

ANEXO - 6

EVALUACIÓN CON HIDROESTA

REPORTE DEL CÁLCULO CON EL SOFTWARE HidroEsta

Resultados

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

Serie de datos X:

N°	X
1	69.07
2	148.85
3	5.3
4	44.0
5	73.5
6	82.16
7	26.33
8	32.29
9	14.32
10	16.72
11	23.95
12	21.08
13	13.24
14	15.85
15	29.86
16	51.27
17	12.89
18	160.39
19	17.84
20	17.12
21	13.79
22	14.13
23	13.68
24	20.57
25	16.22
26	14.64
27	14.32
28	19.74
29	15.31
30	16.31
31	25.5
32	26.25
33	173.56
34	185.34
35	212.09
36	16.19
37	52.61
38	14.3
39	39.06

40 13.96
 41 48.9

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	5.3	0.0238	0.2314	0.1680	0.2076
2	12.89	0.0476	0.2958	0.2394	0.2481
3	13.24	0.0714	0.2988	0.2429	0.2274
4	13.68	0.0952	0.3027	0.2474	0.2074
5	13.79	0.1190	0.3036	0.2485	0.1846
6	13.96	0.1429	0.3051	0.2502	0.1623
7	14.13	0.1667	0.3066	0.2519	0.1399
8	14.3	0.1905	0.3081	0.2536	0.1176
9	14.32	0.2143	0.3083	0.2538	0.0940
10	14.32	0.2381	0.3083	0.2538	0.0702
11	14.64	0.2619	0.3111	0.2571	0.0492
12	15.31	0.2857	0.3170	0.2639	0.0312
13	15.85	0.3095	0.3217	0.2695	0.0122
14	16.19	0.3333	0.3247	0.2730	0.0086
15	16.22	0.3571	0.3250	0.2733	0.0322
16	16.31	0.3810	0.3258	0.2742	0.0552
17	16.72	0.4048	0.3294	0.2785	0.0754
18	17.12	0.4286	0.3329	0.2826	0.0956
19	17.84	0.4524	0.3393	0.2902	0.1131
20	19.74	0.4762	0.3562	0.3102	0.1200
21	20.57	0.5000	0.3636	0.3190	0.1364
22	21.08	0.5238	0.3681	0.3244	0.1557
23	23.95	0.5476	0.3936	0.3551	0.1540
24	25.5	0.5714	0.4073	0.3717	0.1641
25	26.25	0.5952	0.4139	0.3798	0.1813
26	26.33	0.6190	0.4146	0.3806	0.2044
27	29.86	0.6429	0.4456	0.4183	0.1973
28	32.29	0.6667	0.4666	0.4440	0.2000
29	39.06	0.6905	0.5235	0.5135	0.1670
30	44.0	0.7143	0.5631	0.5616	0.1512
31	48.9	0.7381	0.6004	0.6064	0.1377
32	51.27	0.7619	0.6177	0.6270	0.1442
33	52.61	0.7857	0.6272	0.6383	0.1585
34	69.07	0.8095	0.7310	0.7574	0.0785
35	73.5	0.8333	0.7546	0.7834	0.0787
36	82.16	0.8571	0.7958	0.8272	0.0613
37	148.85	0.8810	0.9555	0.9732	0.0745
38	160.39	0.9048	0.9661	0.9808	0.0613
39	173.56	0.9286	0.9752	0.9869	0.0467
40	185.34	0.9524	0.9813	0.9907	0.0289
41	212.09	0.9762	0.9902	0.9957	0.0140

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2481, es mayor que el delta tabular 0.2124. Los datos no se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición (μ)= 21.0559

Parámetro de escala (alfa)= 41.3764

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μ_l)= 25.1428

Parámetro de escala (alfal)= 34.296

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 10 años, es 114.17

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 25 años, es 153.40

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 50 años, es 182.50

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 211.39

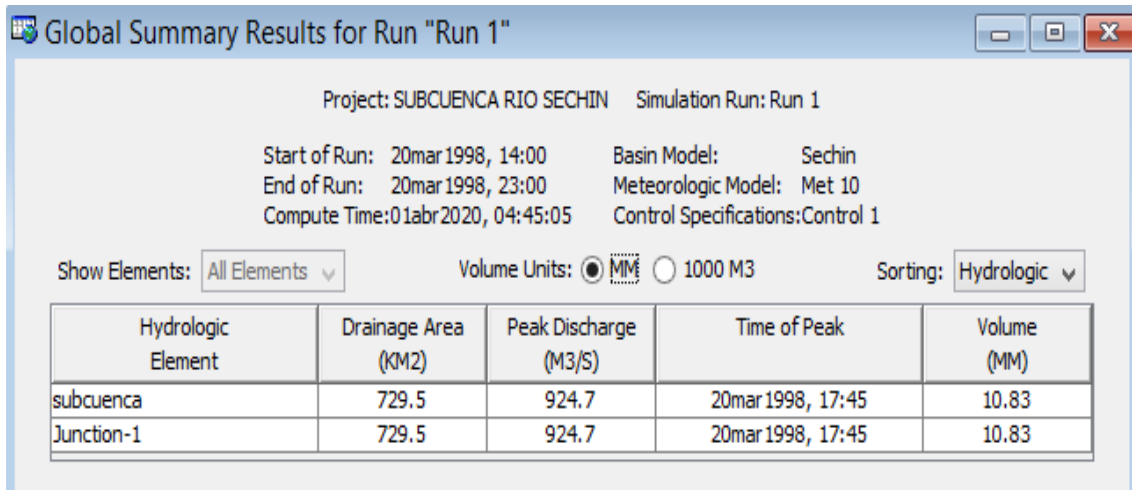
ANEXO - 7

EVALUACIÓN CON EL HEC- HMS

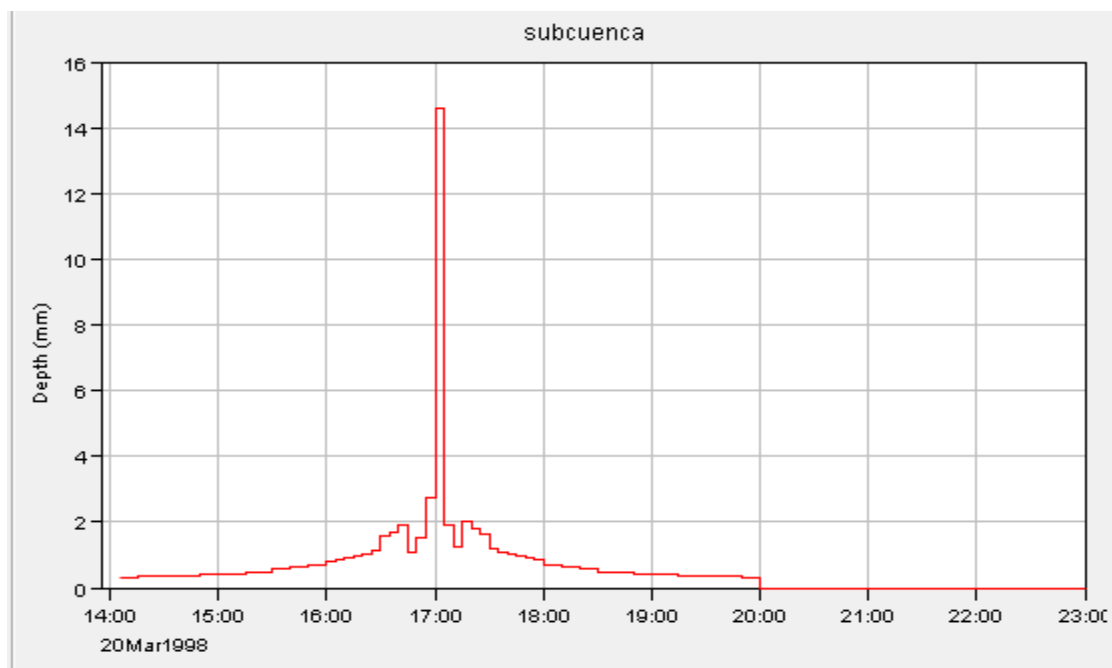
CORRIDA DEL SOFTWARE HEC – HMS

- **Para un periodo de retorno $Tr = 10$ años:**

Se muestra a continuación, es la simulación de los datos ingresados de la precipitaciones máximas diarias para un $T = 10$ años de la Tabla 12, en el cual, se observa que el caudal pico es de $924.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

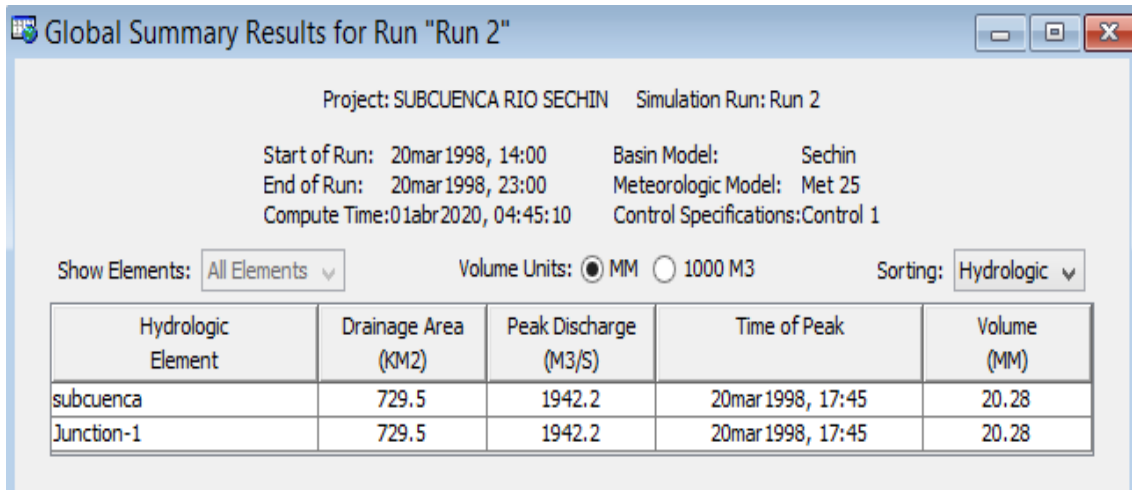


Se muestra a continuación un hietograma, obtenido de la simulación del software Hec – HMS, donde se puede visualizar la hora donde adquirió su máxima intensidad, lo cual ocurre a las 17:45 horas del 20 de marzo del 1998.

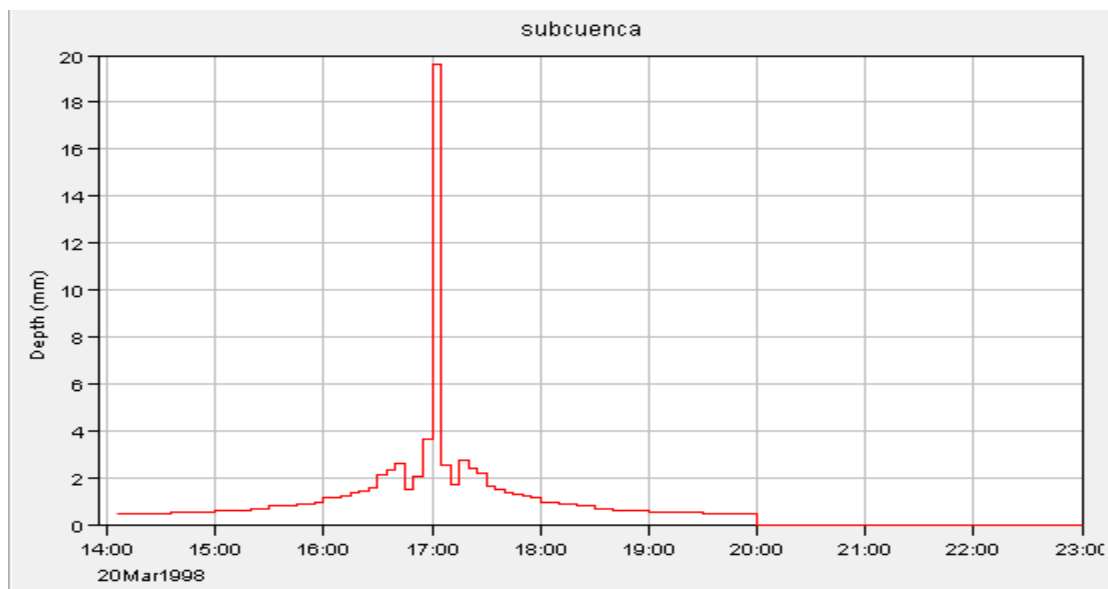


- **Para un periodo de retorno $Tr = 25$ años:**

Se muestra a continuación, son los resultados de los datos ingresados de la precipitaciones máximas diarias para $T = 25$ años de la Tabla 12, en el cual, se observa que el caudal pico es de 1942.2 m³/s.

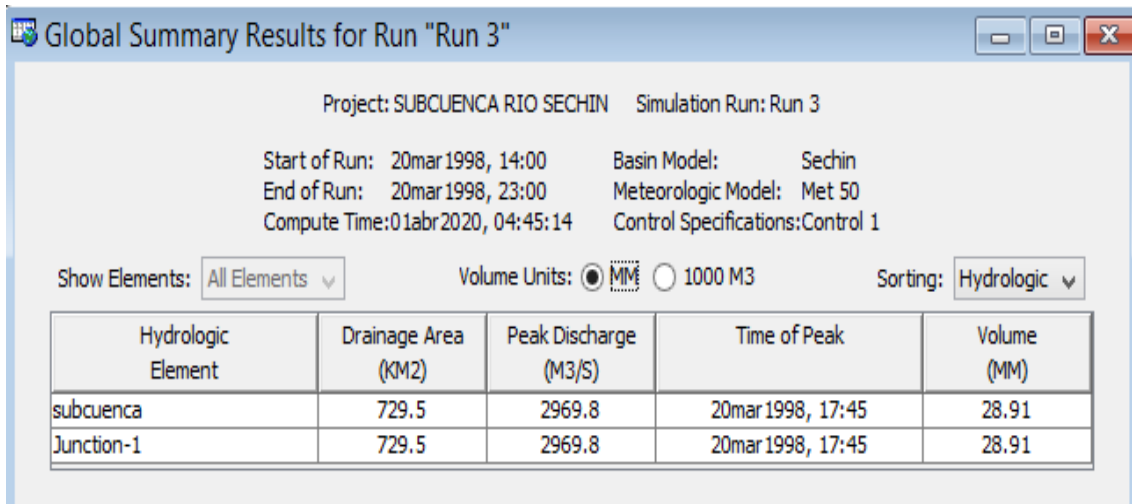


Hietograma del $T = 25$ años y se puede visualizar la hora donde adquirió su máxima intensidad, lo cual ocurre a las 17:45 horas del 20 de marzo del 1998.

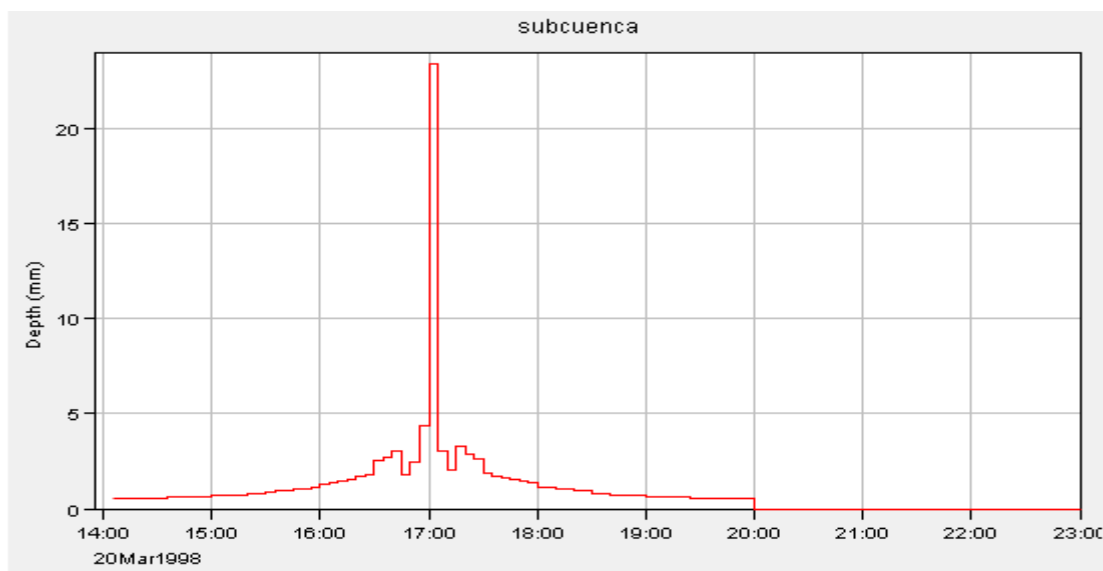


- **Para un periodo de retorno $T_r = 50$ años:**

Se muestra los resultados de los datos ingresados de la precipitaciones máximas diarias 24 horas para $T = 50$ años de la Tabla 12, donde se observa el caudal pico de 2969.8 m³/s.

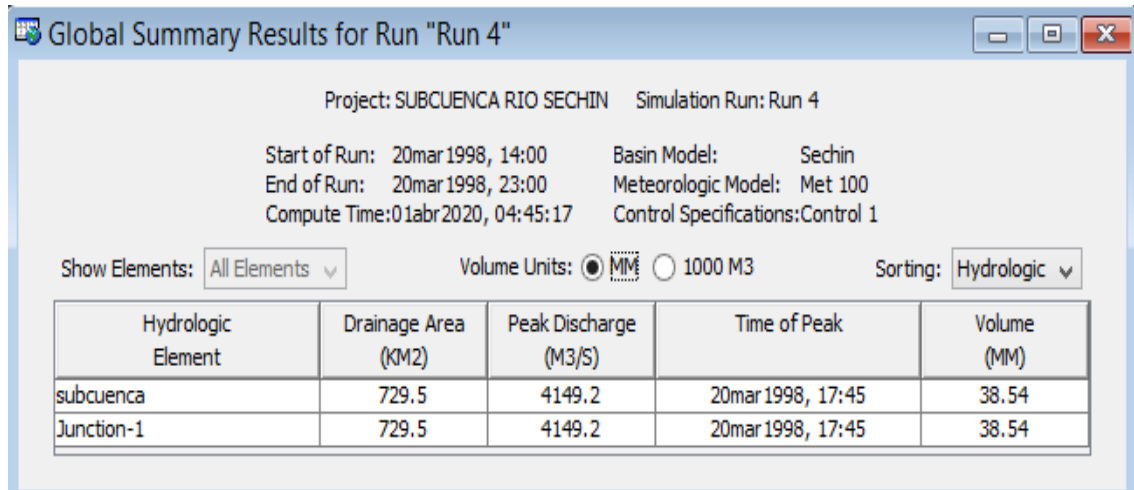


Hietograma del $T = 50$ años y se puede visualizar la hora donde adquirió su máxima intensidad, lo cual ocurre a las 17:45 horas del 20 de marzo del 1998.

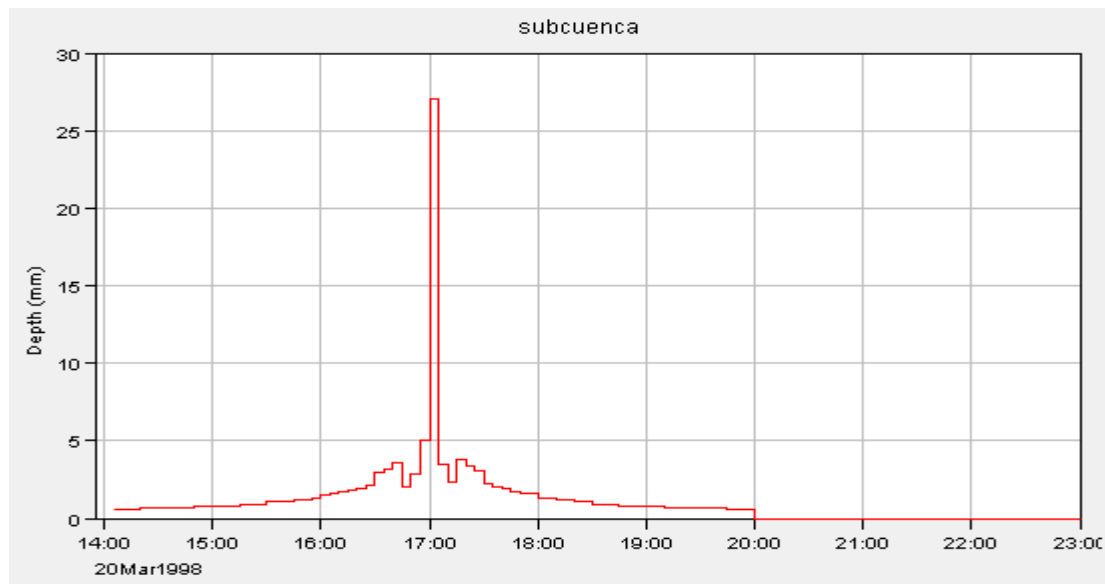


- **Para un periodo de retorno $T_r = 100$ años:**

Se muestra los resultados de los datos ingresados de la precipitaciones máximas diarias 24 horas para $T = 100$ años de la Tabla 12, lo cual se observa el caudal pico de 4149.2 m³/s.



Hietograma del $T = 100$ años y se puede visualizar la hora donde adquirió su máxima intensidad, lo cual ocurre a las 17:45 horas del 20 de marzo del 1998.



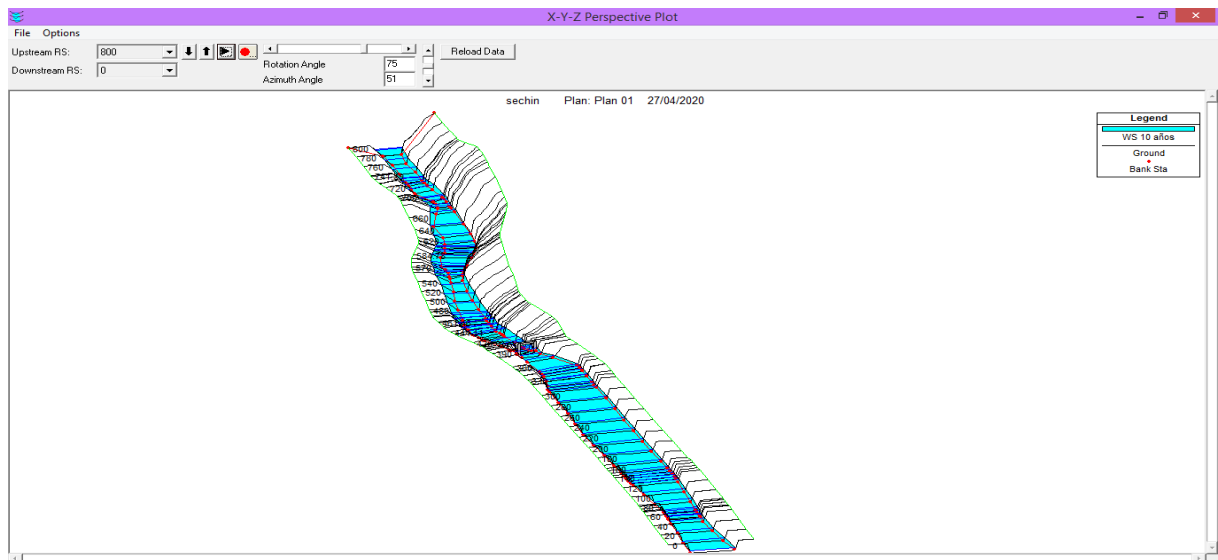
ANEXO - 8

EVALUACIÓN CON EL HEC- RAS

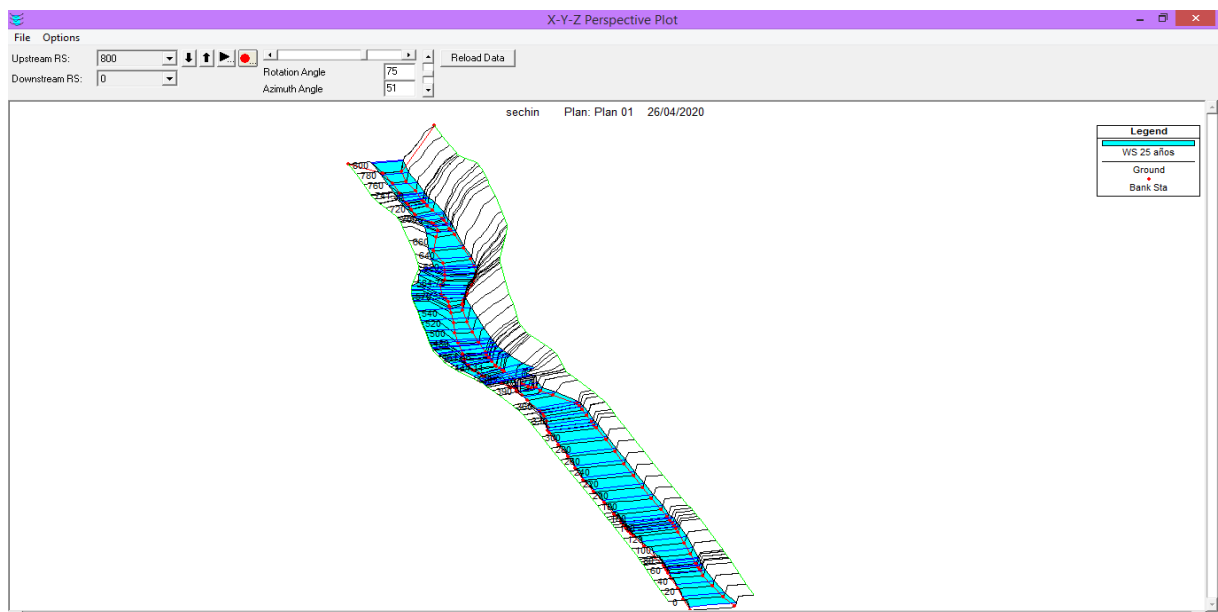
RESULTADOS DEL SOFTWARE HEC – RAS

DIAGRAMA DE PERSPECTIVA X-Y-Z

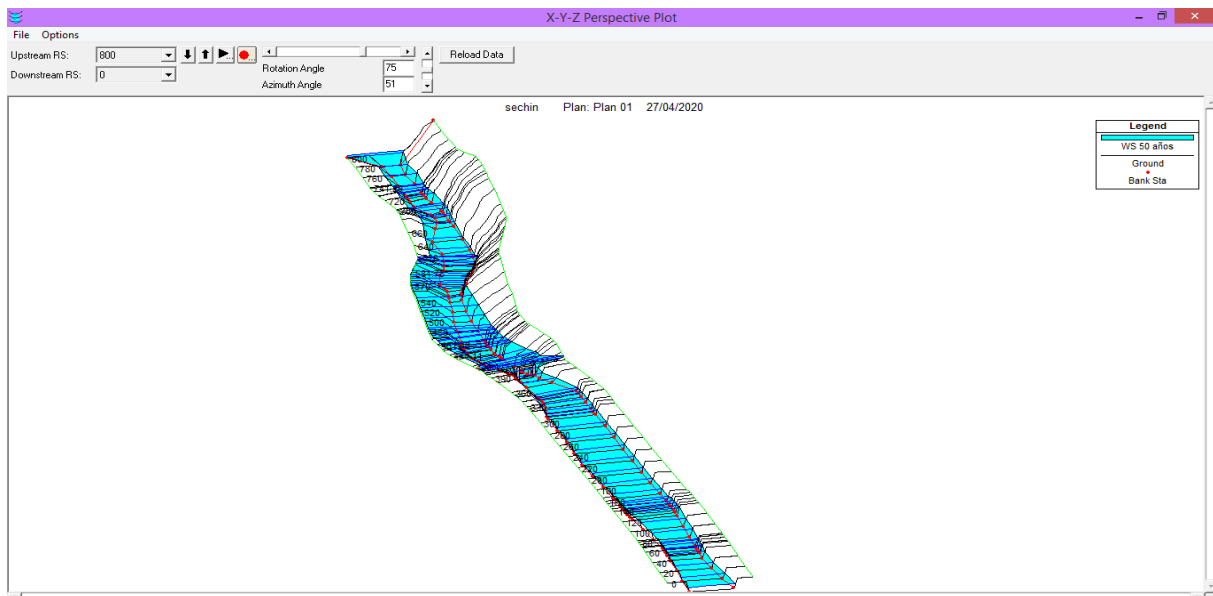
A continuación se observa el diagrama de perspectiva X-Y-Z, como resultado para el periodo de retorno de 10 años, se obtiene la vista de la llanura de inundación, lo cual no presenta en ninguna sección transversal.



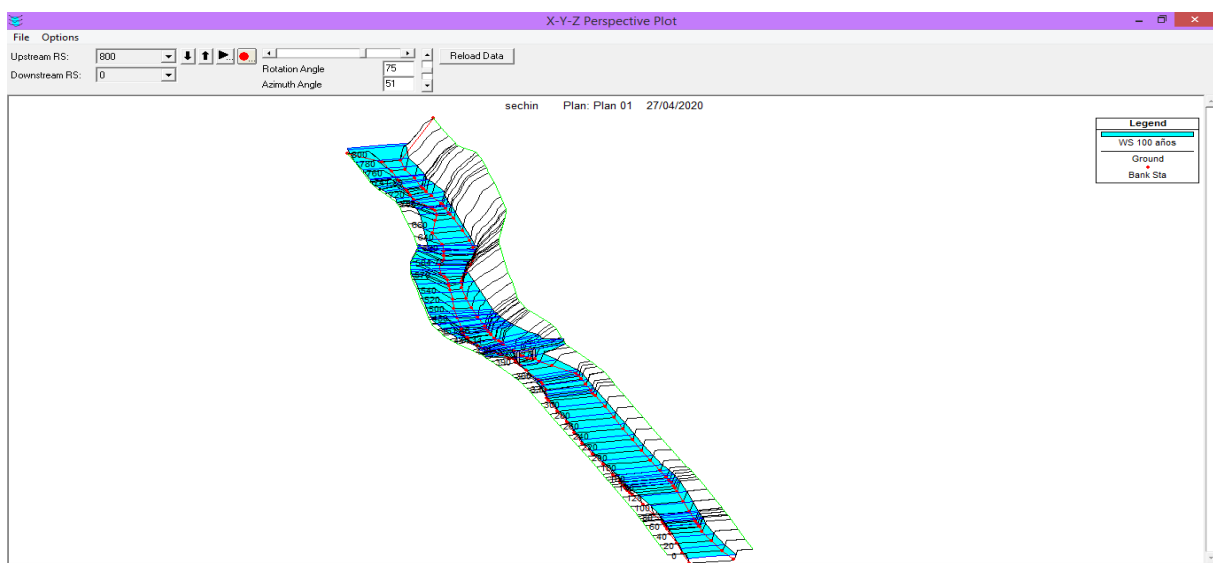
Se observa el diagrama de perspectiva X-Y-Z, como resultado para el periodo de retorno de 25 años, se obtiene la vista de la llanura de inundación, donde presenta en las secciones transversales en las progresivas Km 0+580 – Km 0+399, que existe la probabilidad de inundación.



Se observa el diagrama de perspectiva X-Y-Z, como resultado para el periodo de retorno de 50 años, se obtiene la vista de la llanura de inundación, donde si presenta la probabilidad de inundación en las secciones transversales desde la progresiva Km 0+620 – Km 0+399 (esta última sección se encuentra la estructura del puente).



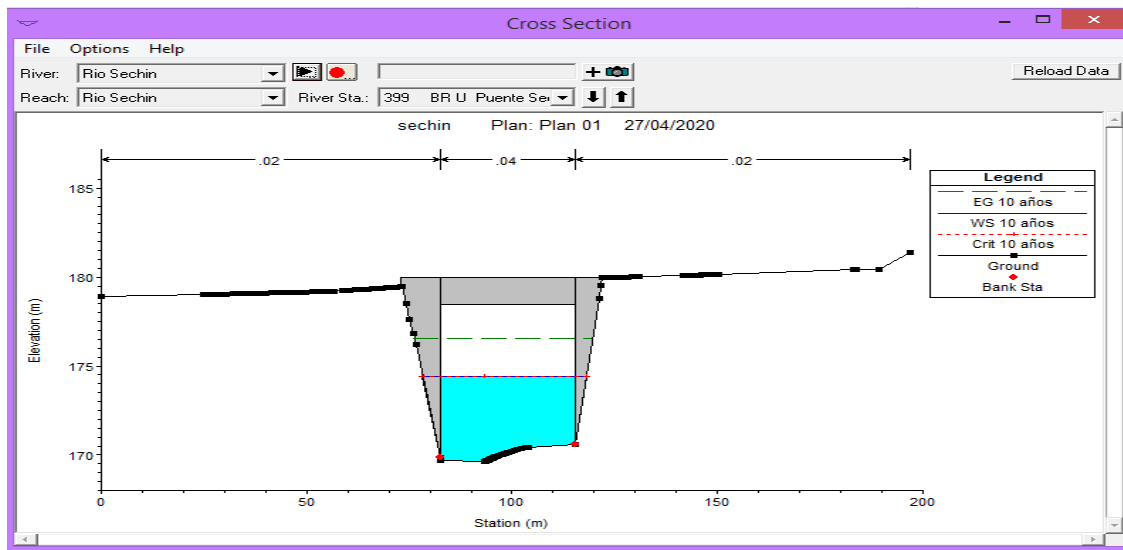
Se observa el diagrama de perspectiva X-Y-Z, como resultado para el periodo de retorno de 100 años, se obtiene la vista de la llanura de inundación, donde si presenta la probabilidad de inundación en las secciones transversales desde en las progresivas Km 0+800 – Km 0+700, por donde pasa un caudal pico de 4149.2 m³/s, además en las progresivas Km 0+619 – Km 0+399 (esta última sección se encuentra la estructura del puente).



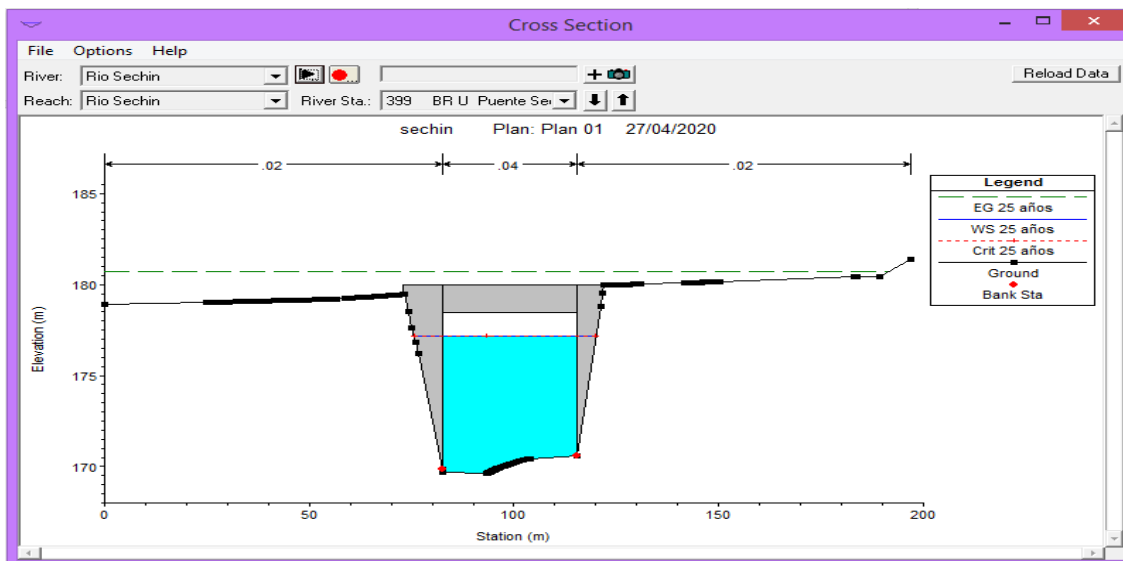
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE RUPTURA DE PRESAS - CROSS SECTION

A continuación veremos figuras de las secciones transversales, resultados del análisis de ruptura de presas con el software HEC – RAS, para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años, donde se puede visualizar la propagación de la onda de inundación.

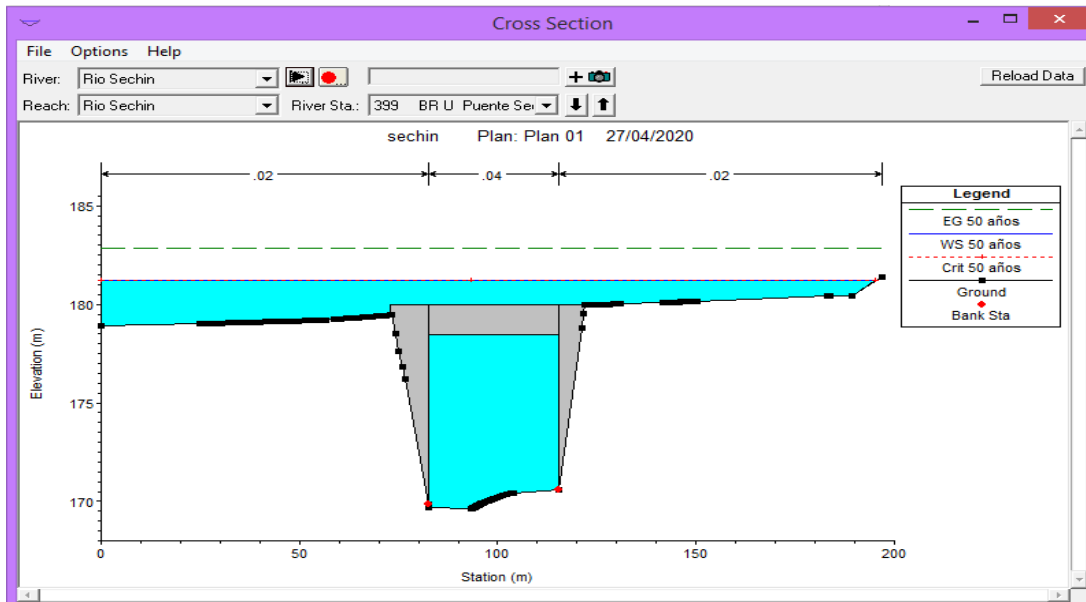
En la siguiente Figura se muestra el diagrama de sección transversal de una presa para un periodo de retorno de 10 años, para la progresiva km 0+399.



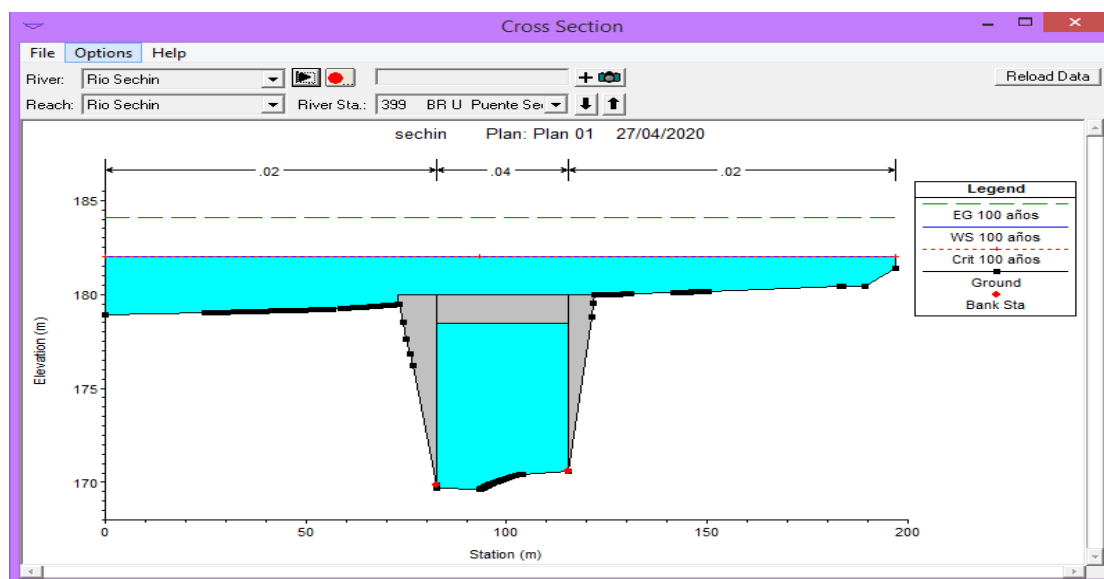
En la siguiente Figura se muestra el diagrama de sección transversal de una presa para un periodo de retorno de 25 años, para la progresiva km 0+399, donde la superficie del caudal es tolerable pero la energía está por llegar a la plataforma del puente y puede romperse.



En la siguiente Figura se muestra el diagrama de sección transversal de una presa para un periodo de retorno de 50 años, para la progresiva km 0+399, donde la superficie del caudal está por llegar a la plataforma y la energía está por tapar por completo a la misma produciendo una ruptura de la estructura.



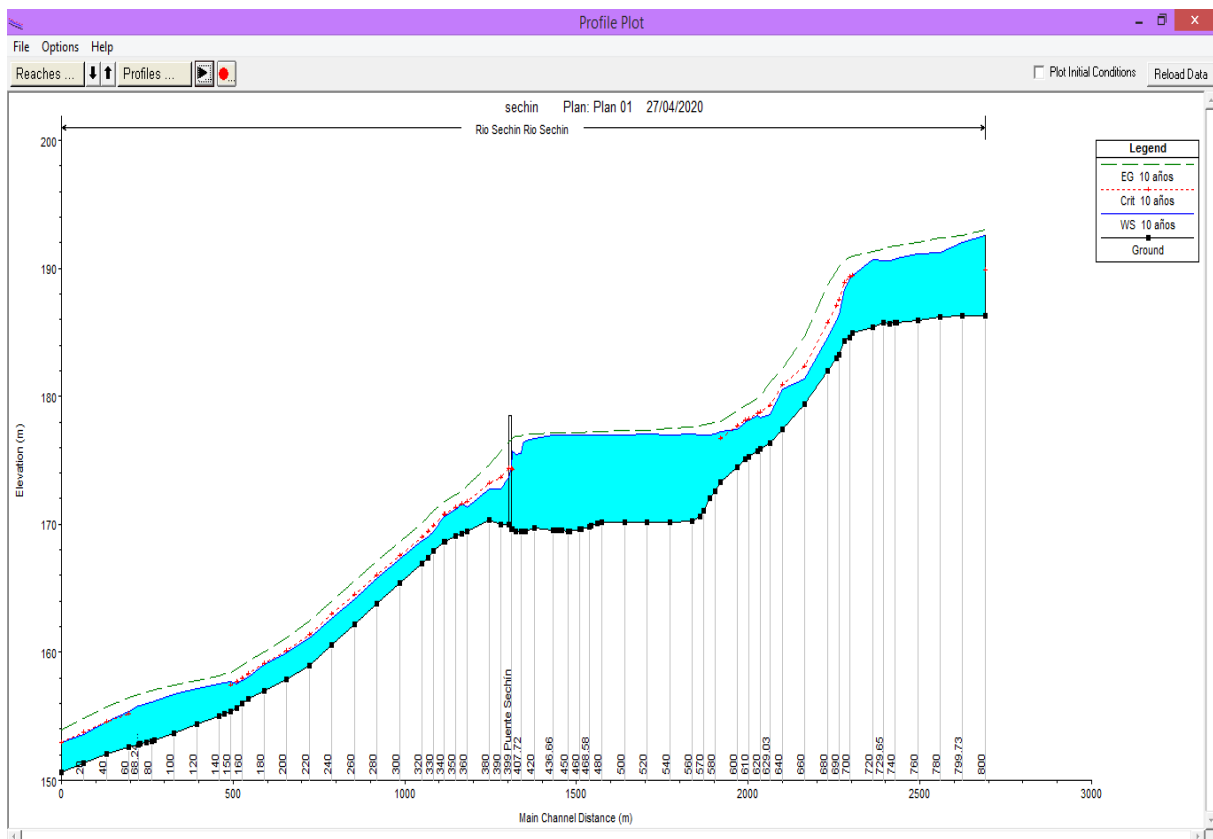
En la siguiente Figura se muestra el diagrama de sección transversal de una presa para un periodo de retorno de 100 años, para la progresiva km 0+399, donde la superficie del caudal está por llegar a la plataforma y la energía tapa por completo a la misma produciendo una ruptura de la estructura.



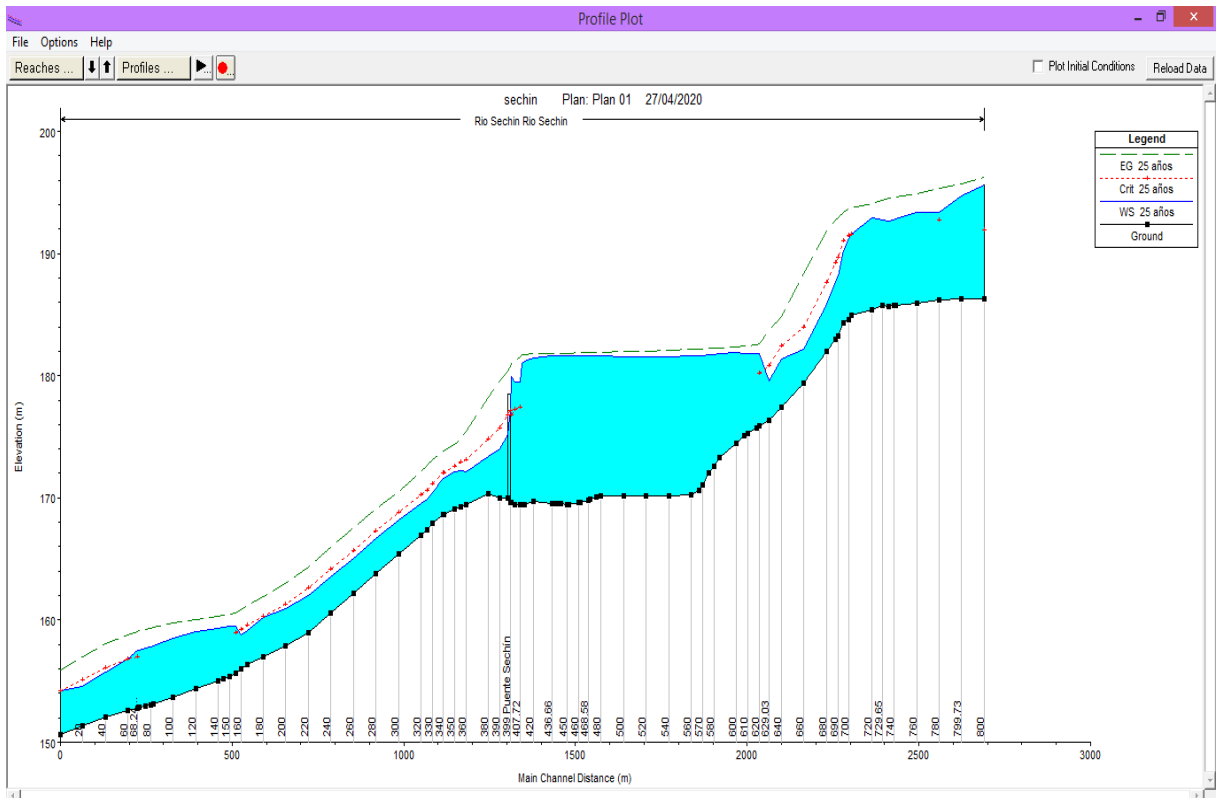
PERFILES PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 10, 25, 50 Y 100 AÑOS

En las siguientes figuras se apreciarán los diagramas de perfiles de régimen de flujo mixto, donde se ejecutó con la capacidad de simulación de flujo con el software HEC - RAS de la quebrada estudiada.

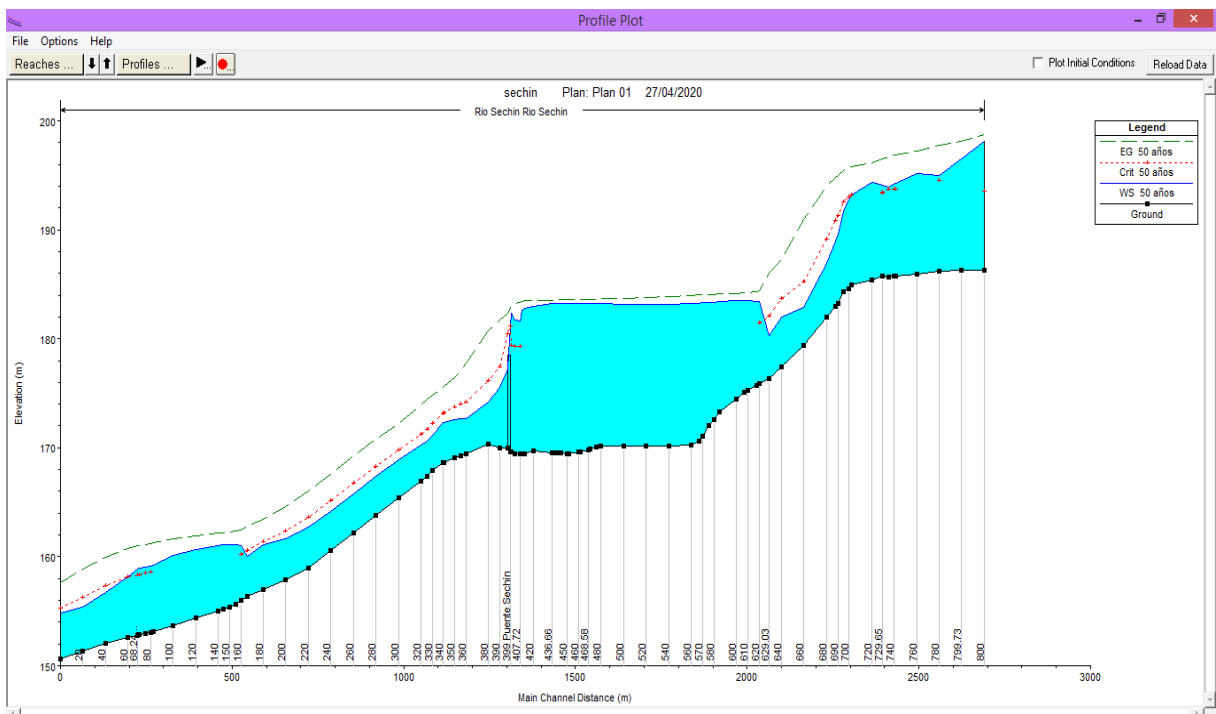
A continuación se observa el diagrama de perfil para el periodo de retorno de 10 años, donde el alcance es suave para luego pase a un alcance empinado con un modo que el flujo subcrítico.



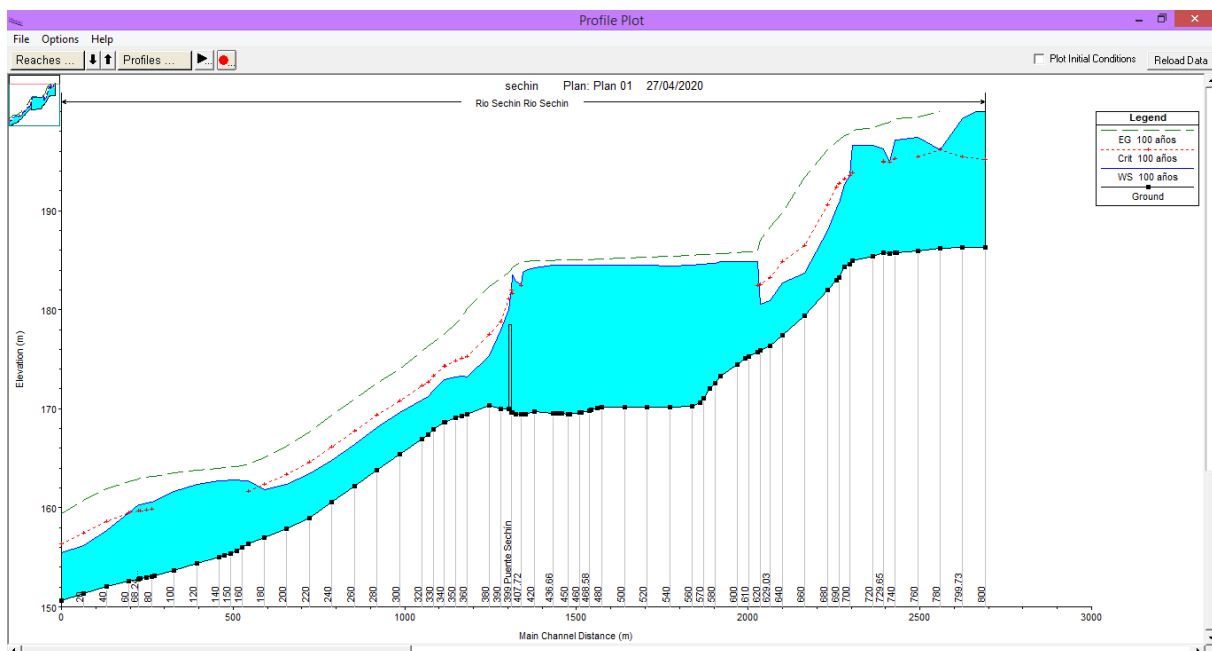
Se observa el diagrama de perfil para el periodo de retorno de 25 años, donde el alcance es suave para luego con condiciones críticas como se en la progresiva km 0+620 pase a un alcance empinado con un modo que el flujo subcrítico agua arriba y cambie a super crítico aguas abajo.



Se observa el diagrama de perfil para el periodo de retorno de 50 años, donde el alcance de un caudal con condiciones críticas como se en la progresiva km 0+620, pero su flujo es super crítico, entonces sería importante ubicar y moldear un vertedero justo en esa progresiva Aguas Arriba dentro de HEC – RAS.



Se observa el diagrama de perfil para el periodo de retorno de 100 años, donde el alcance de un caudal con condiciones críticas como se en la progresiva km 0+620, pero su flujo es super crítico, entonces sería importante ubicar y moldear un vertedero justo en esa progresiva Aguas Arriba dentro de HEC – RAS, para este periodo de retorno.



**TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS HIDRÁULICOS DE LA QUEBRADA
SECHÍN CON TR = 10, 25, 50 Y 100 AÑOS**

La tabla muestra los resultados de la invasión básica de: elevación de la superficie del agua calculada; cambio en la superficie del agua desde el perfil base; la energía calculada; ancho superior del área de flujo activo; el flujo en el banco superior izquierdo, canal principal y banco superior derecho; la estación de invasión izquierda; la estación del margen Izquierda del canal principal; la estación de la margen derecha del canal principal; y la estación de invasión derecha.

HEC - RAS Plan: plan1 Locations: User Defined

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
Rio Sechin	800	10 años	924.70	186.31	192.59	189.90	192.99	0.001570	2.81	329.05	64.61	0.40
Rio Sechin	800	25 años	1942.20	186.31	195.58	191.93	196.24	0.001684	3.61	538.56	75.36	0.43
Rio Sechin	800	50 años	2969.80	186.31	198.11	193.55	198.76	0.001902	3.58	828.98	129.49	0.45
Rio Sechin	800	100 años	4149.20	186.31	200.49	195.12	201.15	0.001399	3.61	1148.44	138.81	0.40
Rio Sechin	780	10 años	924.70	186.23	191.22		192.35	0.004825	4.97	206.40	52.58	0.72
Rio Sechin	780	25 años	1942.20	186.23	193.35	192.73	195.38	0.005540	6.79	327.97	61.35	0.82
Rio Sechin	780	50 años	2969.80	186.23	194.98	194.56	197.75	0.005862	8.04	433.41	68.04	0.87
Rio Sechin	780	100 años	4149.20	186.23	196.12	196.12	200.00	0.007109	9.61	514.99	97.56	0.98
Rio Sechin	760	10 años	924.70	185.96	191.12		192.00	0.003693	4.36	232.71	57.86	0.63
Rio Sechin	760	25 años	1942.20	185.96	193.39		194.93	0.004025	5.88	375.05	67.38	0.70
Rio Sechin	760	50 años	2969.80	185.96	195.17		197.22	0.004100	6.88	501.30	74.81	0.73
Rio Sechin	760	100 años	4149.20	185.96	197.38	195.47	199.47	0.003393	7.25	757.64	126.51	0.69
Rio Sechin	740	10 años	924.70	185.72	190.72		191.72	0.004520	4.66	217.32	56.56	0.69
Rio Sechin	740	25 años	1942.20	185.72	192.75		194.60	0.005283	6.43	341.16	65.01	0.80
Rio Sechin	740	50 años	2969.80	185.72	194.14	193.75	196.83	0.006114	7.84	435.36	70.77	0.88
Rio Sechin	740	100 años	4149.20	185.72	197.15	195.25	199.24	0.003453	7.28	756.45	126.29	0.70
Rio Sechin	720	10 años	924.70	185.38	190.66		191.35	0.002932	3.84	261.91	65.09	0.56
Rio Sechin	720	25 años	1942.20	185.38	192.89		194.11	0.003251	5.22	417.49	74.85	0.63
Rio Sechin	720	50 años	2969.80	185.38	194.39		196.16	0.003710	6.34	534.80	81.48	0.69
Rio Sechin	720	100 años	4149.20	185.38	196.56		198.39	0.003039	6.68	786.91	123.25	0.65
Rio Sechin	700	10 años	924.70	184.60	189.18	189.31	190.89	0.010992	6.38	167.30	57.33	1.04
Rio Sechin	700	25 años	1942.20	184.60	191.23	191.44	193.64	0.009338	7.83	300.21	72.46	1.03
Rio Sechin	700	50 años	2969.80	184.60	192.77	193.05	195.69	0.008636	8.80	419.98	83.66	1.03
Rio Sechin	700	100 años	4149.20	184.60	193.55	193.55	197.80	0.011187	10.71	488.73	96.08	1.20
Rio Sechin	680	10 años	924.70	181.98	184.55	185.78	188.69	0.055323	9.34	104.66	58.30	2.11
Rio Sechin	680	25 años	1942.20	181.98	185.85	187.68	191.81	0.042444	11.41	185.46	66.69	2.01
Rio Sechin	680	50 años	2969.80	181.98	186.95	189.15	194.02	0.035097	12.57	262.85	73.77	1.91
Rio Sechin	680	100 años	4149.20	181.98	188.00	190.57	196.18	0.031258	13.68	343.62	80.47	1.87
Rio Sechin	660	10 años	924.70	179.42	181.36	182.35	184.69	0.058501	8.20	115.60	77.06	2.08
Rio Sechin	660	25 años	1942.20	179.42	182.16	183.92	188.38	0.064078	11.27	178.68	81.20	2.33
Rio Sechin	660	50 años	2969.80	179.42	182.91	185.20	190.98	0.058222	12.90	241.05	85.01	2.33
Rio Sechin	660	100 años	4149.20	179.42	183.69	186.46	193.39	0.052675	14.22	308.42	88.94	2.30
Rio Sechin	640	10 años	924.70	177.45	180.59	180.90	182.15	0.018742	5.70	169.08	84.93	1.24
Rio Sechin	640	25 años	1942.20	177.45	181.39	182.44	184.88	0.028141	8.61	239.07	90.99	1.60
Rio Sechin	640	50 años	2969.80	177.45	182.03	183.67	187.30	0.033124	10.66	299.10	95.94	1.80
Rio Sechin	640	100 años	4149.20	177.45	182.67	184.86	189.75	0.036149	12.42	362.29	100.76	1.93
Rio Sechin	620	10 años	924.70	175.86	178.36	178.76	180.01	0.021197	5.86	165.17	89.04	1.31
Rio Sechin	620	25 años	1942.20	175.86	181.82	180.24	182.58	0.002786	4.11	525.02	118.97	0.56
Rio Sechin	620	50 años	2969.80	175.86	183.45	181.41	184.38	0.002486	4.62	730.26	132.39	0.55
Rio Sechin	620	100 años	4149.20	175.86	180.54	182.57	187.05	0.033017	11.88	380.60	107.90	1.84
Rio Sechin	600	10 años	924.70	174.47	177.40	177.71	178.90	0.019467	5.56	172.14	91.20	1.25
Rio Sechin	600	25 años	1942.20	174.47	181.88		182.36	0.001430	3.29	654.90	124.38	0.41
Rio Sechin	600	50 años	2969.80	174.47	183.53		184.17	0.001427	3.82	866.42	129.91	0.43
Rio Sechin	600	100 años	4149.20	174.47	184.89		185.75	0.001552	4.41	1043.81	130.84	0.46
Rio Sechin	580	10 años	924.70	172.62	177.05		177.96	0.005819	4.51	225.76	74.71	0.75
Rio Sechin	580	25 años	1942.20	172.62	181.70		182.26	0.001337	3.74	649.09	124.34	0.41
Rio Sechin	580	50 años	2969.80	172.62	183.36		184.07	0.001367	4.27	856.47	125.42	0.43
Rio Sechin	580	100 años	4149.20	172.62	184.69		185.64	0.001550	4.95	1023.34	126.27	0.47

HEC - RAS Plan: plan1 Locations: User Defined

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
Rio Sechin	560	10 años	924.70	170.21	177.03		177.62	0.001864	3.82	291.79	62.57	0.47
Rio Sechin	560	25 años	1942.20	170.21	181.59		182.17	0.001064	4.08	672.10	116.49	0.39
Rio Sechin	560	50 años	2969.80	170.21	183.20		183.98	0.001224	4.78	862.40	121.06	0.43
Rio Sechin	560	100 años	4149.20	170.21	184.47		185.53	0.001475	5.59	1018.37	124.60	0.47
Rio Sechin	540	10 años	924.70	170.19	176.99		177.49	0.001444	3.41	316.46	62.77	0.42
Rio Sechin	540	25 años	1942.20	170.19	181.54		182.10	0.000925	3.84	695.08	121.56	0.36
Rio Sechin	540	50 años	2969.80	170.19	183.15		183.89	0.001086	4.54	893.45	125.14	0.40
Rio Sechin	540	100 años	4149.20	170.19	184.41		185.42	0.001333	5.35	1053.04	128.61	0.45
Rio Sechin	520	10 años	924.70	170.17	177.02		177.37	0.000943	2.76	375.46	69.28	0.34
Rio Sechin	520	25 años	1942.20	170.17	181.58		182.01	0.000642	3.21	782.47	126.84	0.30
Rio Sechin	520	50 años	2969.80	170.17	183.19		183.79	0.000796	3.90	988.79	129.99	0.35
Rio Sechin	520	100 años	4149.20	170.17	184.46		185.29	0.001006	4.66	1155.39	133.92	0.39
Rio Sechin	500	10 años	924.70	170.18	177.00		177.29	0.000810	2.55	403.55	73.90	0.31
Rio Sechin	500	25 años	1942.20	170.18	181.58		181.95	0.000549	2.97	835.57	132.47	0.28
Rio Sechin	500	50 años	2969.80	170.18	183.19		183.72	0.000686	3.62	1050.91	135.11	0.32
Rio Sechin	500	100 años	4149.20	170.18	184.46		185.20	0.000873	4.34	1224.46	139.06	0.37
Rio Sechin	480	10 años	924.70	170.12	177.00		177.23	0.000608	2.22	458.87	82.10	0.27
Rio Sechin	480	25 años	1942.20	170.12	181.61		181.90	0.000415	2.59	932.15	137.95	0.24
Rio Sechin	480	50 años	2969.80	170.12	183.23		183.65	0.000533	3.20	1157.96	141.57	0.28
Rio Sechin	480	100 años	4149.20	170.12	184.51		185.11	0.000685	3.87	1341.50	144.89	0.33
Rio Sechin	460	10 años	924.70	169.58	177.00		177.18	0.000459	1.99	509.89	86.12	0.24
Rio Sechin	460	25 años	1942.20	169.58	181.62		181.86	0.000325	2.33	1022.18	141.56	0.22
Rio Sechin	460	50 años	2969.80	169.58	183.24		183.60	0.000429	2.92	1255.70	146.64	0.25
Rio Sechin	460	100 años	4149.20	169.58	184.53		185.04	0.000560	3.54	1446.62	149.94	0.30
Rio Sechin	440	10 años	924.70	169.55	176.96		177.15	0.000474	2.02	507.43	87.56	0.24
Rio Sechin	440	25 años	1942.20	169.55	181.61		181.83	0.000315	2.30	1042.38	141.96	0.21
Rio Sechin	440	50 años	2969.80	169.55	183.23		183.56	0.000417	2.88	1276.87	147.98	0.25
Rio Sechin	440	100 años	4149.20	169.55	184.51		185.00	0.000547	3.51	1469.66	153.30	0.29
Rio Sechin	420	10 años	924.70	169.69	176.74		177.09	0.000959	2.81	374.65	70.10	0.34
Rio Sechin	420	25 años	1942.20	169.69	181.42		181.79	0.000577	3.07	836.79	136.86	0.29
Rio Sechin	420	50 años	2969.80	169.69	182.98		183.51	0.000721	3.74	1059.07	146.80	0.33
Rio Sechin	420	100 años	4149.20	169.69	184.20		184.93	0.000914	4.46	1241.24	153.43	0.38
Rio Sechin	400	10 años	924.70	169.61	175.70	174.26	176.70	0.003182	4.44	209.67	41.94	0.60
Rio Sechin	400	25 años	1942.20	169.61	179.96	176.79	180.98	0.001732	4.77	465.88	121.99	0.49
Rio Sechin	400	50 años	2969.80	169.61	182.38	179.35	182.94	0.000769	3.68	918.98	196.85	0.34
Rio Sechin	400	100 años	4149.20	169.61	183.52	181.60	184.21	0.000763	3.89	1143.54	196.85	0.34
Rio Sechin	380	10 años	924.70	170.31	172.73	173.20	174.61	0.020758	6.20	156.90	76.14	1.32
Rio Sechin	380	25 años	1942.20	170.31	173.37	174.85	178.23	0.038763	10.00	206.89	79.99	1.88
Rio Sechin	380	50 años	2969.80	170.31	174.21	176.20	180.72	0.037635	11.67	275.75	85.06	1.93
Rio Sechin	380	100 años	4149.20	170.31	175.34	177.52	182.36	0.028977	12.22	375.88	91.93	1.77
Rio Sechin	360	10 años	924.70	169.48	171.32	171.77	173.00	0.027173	5.80	163.27	101.91	1.43
Rio Sechin	360	25 años	1942.20	169.48	172.10	173.10	175.44	0.032487	8.20	244.93	105.83	1.67
Rio Sechin	360	50 años	2969.80	169.48	172.64	174.20	177.81	0.038798	10.22	302.44	108.51	1.89
Rio Sechin	360	100 años	4149.20	169.48	173.25	175.29	180.07	0.040183	11.77	369.62	111.55	1.98
Rio Sechin	340	10 años	924.70	168.62	170.58	170.76	171.80	0.016301	4.92	192.30	104.63	1.14
Rio Sechin	340	25 años	1942.20	168.62	171.63	172.06	173.80	0.016545	6.62	303.50	109.05	1.23
Rio Sechin	340	50 años	2969.80	168.62	172.34	173.15	175.58	0.018522	8.09	382.50	112.11	1.35

HEC - RAS Plan: plan1 Locations: User Defined

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
Rio Sechin	340	100 años	4149.20	168.62	172.93	174.24	177.54	0.021725	9.68	449.45	114.63	1.50
Rio Sechin	320	10 años	924.70	166.97	168.70	169.02	170.09	0.023361	5.23	178.30	112.93	1.32
Rio Sechin	320	25 años	1942.20	166.97	169.53	170.25	172.16	0.025419	7.21	273.00	114.75	1.48
Rio Sechin	320	50 años	2969.80	166.97	170.22	171.27	173.92	0.025755	8.57	352.60	116.25	1.55
Rio Sechin	320	100 años	4149.20	166.97	170.87	172.30	175.79	0.026619	9.89	428.71	117.66	1.62
Rio Sechin	300	10 años	924.70	165.45	167.29	167.57	168.60	0.021389	5.09	183.62	113.70	1.27
Rio Sechin	300	25 años	1942.20	165.45	168.21	168.79	170.55	0.021199	6.81	289.30	115.70	1.36
Rio Sechin	300	50 años	2969.80	165.45	168.91	169.81	172.26	0.021941	8.15	371.29	117.24	1.44
Rio Sechin	300	100 años	4149.20	165.45	169.59	170.83	174.03	0.022698	9.40	451.37	118.72	1.51
Rio Sechin	280	10 años	924.70	163.84	165.76	166.08	167.13	0.023084	5.20	179.37	113.55	1.31
Rio Sechin	280	25 años	1942.20	163.84	166.67	167.30	169.11	0.022607	6.95	283.58	115.53	1.40
Rio Sechin	280	50 años	2969.80	163.84	167.40	168.32	170.80	0.022481	8.21	368.42	117.12	1.46
Rio Sechin	280	100 años	4149.20	163.84	168.10	169.35	172.55	0.022679	9.40	451.35	118.65	1.51
Rio Sechin	260	10 años	924.70	162.22	164.20	164.52	165.58	0.024299	5.22	178.88	117.04	1.34
Rio Sechin	260	25 años	1942.20	162.22	165.06	165.73	167.56	0.024591	7.04	279.84	118.91	1.45
Rio Sechin	260	50 años	2969.80	162.22	165.75	166.72	169.25	0.024579	8.33	362.84	120.43	1.51
Rio Sechin	260	100 años	4149.20	162.22	166.43	167.73	170.98	0.024627	9.52	445.29	121.91	1.56
Rio Sechin	240	10 años	924.70	160.61	162.67	162.97	163.99	0.023596	5.09	183.03	121.23	1.32
Rio Sechin	240	25 años	1942.20	160.61	163.50	164.15	165.92	0.024475	6.92	284.09	123.03	1.44
Rio Sechin	240	50 años	2969.80	160.61	164.16	165.11	167.60	0.025097	8.26	365.36	124.47	1.52
Rio Sechin	240	100 años	4149.20	160.61	164.80	166.11	169.33	0.025533	9.48	446.15	125.87	1.58
Rio Sechin	220	10 años	924.70	158.99	161.09	161.40	162.44	0.023548	5.15	180.90	117.60	1.32
Rio Sechin	220	25 años	1942.20	158.99	161.99	162.60	164.36	0.022757	6.86	286.97	119.54	1.40
Rio Sechin	220	50 años	2969.80	158.99	162.71	163.59	166.00	0.022433	8.08	373.67	121.10	1.45
Rio Sechin	220	100 años	4149.20	158.99	163.41	164.60	167.69	0.022426	9.23	458.91	122.61	1.50
Rio Sechin	200	10 años	924.70	157.85	159.97	160.12	161.08	0.016542	4.68	199.36	115.17	1.13
Rio Sechin	200	25 años	1942.20	157.85	160.92	161.33	162.97	0.017276	6.38	309.19	117.22	1.24
Rio Sechin	200	50 años	2969.80	157.85	161.67	162.34	164.58	0.017730	7.61	397.92	118.85	1.31
Rio Sechin	200	100 años	4149.20	157.85	162.41	163.36	166.24	0.018047	8.73	486.25	120.45	1.36
Rio Sechin	180	10 años	924.70	156.98	159.09	159.12	160.08	0.013283	4.42	211.56	113.40	1.02
Rio Sechin	180	25 años	1942.20	156.98	160.21	160.34	161.91	0.012385	5.81	339.99	115.84	1.07
Rio Sechin	180	50 años	2969.80	156.98	161.07	161.37	163.46	0.012488	6.90	440.30	117.72	1.12
Rio Sechin	180	100 años	4149.20	156.98	161.87	162.40	165.05	0.012967	7.96	535.13	119.46	1.18
Rio Sechin	160	10 años	924.70	155.98	157.78	157.96	158.95	0.017386	4.81	194.17	112.03	1.16
Rio Sechin	160	25 años	1942.20	155.98	158.77	159.19	160.87	0.017344	6.46	305.50	114.17	1.24
Rio Sechin	160	50 años	2969.80	155.98	161.07	160.22	162.49	0.005243	5.33	573.80	119.17	0.76
Rio Sechin	160	100 años	4149.20	155.98	162.77		164.29	0.003836	5.53	779.53	122.86	0.68
Rio Sechin	140	10 años	924.70	155.05	157.51		158.20	0.006705	3.68	254.71	108.12	0.76
Rio Sechin	140	25 años	1942.20	155.05	159.36		160.31	0.004380	4.35	458.12	112.12	0.67
Rio Sechin	140	50 años	2969.80	155.05	161.02		162.14	0.003379	4.75	646.84	115.70	0.62
Rio Sechin	140	100 años	4149.20	155.05	162.71		164.02	0.002804	5.12	846.48	119.36	0.59
Rio Sechin	120	10 años	924.70	154.36	157.14		157.79	0.005378	3.60	261.87	98.22	0.69
Rio Sechin	120	25 años	1942.20	154.36	159.06		160.03	0.004007	4.41	453.69	102.35	0.65
Rio Sechin	120	50 años	2969.80	154.36	160.69		161.91	0.003391	4.96	623.66	105.87	0.63
Rio Sechin	120	100 años	4149.20	154.36	162.35		163.81	0.002989	5.44	802.23	109.45	0.62
Rio Sechin	100	10 años	924.70	153.70	156.68		157.42	0.005700	3.84	245.95	87.75	0.72
Rio Sechin	100	25 años	1942.20	153.70	158.54		159.72	0.004749	4.88	412.64	91.76	0.71

HEC - RAS Plan: plan1 Locations: User Defined

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
Rio Sechin	100	50 años	2969.80	153.70	160.09		161.63	0.004265	5.58	557.74	95.11	0.71
Rio Sechin	100	100 años	4149.20	153.70	161.66		163.55	0.003909	6.19	709.62	98.49	0.70
Rio Sechin	80	10 años	924.70	153.07	156.09		156.99	0.006962	4.23	224.02	80.62	0.79
Rio Sechin	80	25 años	1942.20	153.07	157.80		159.32	0.006428	5.54	364.45	84.29	0.82
Rio Sechin	80	50 años	2969.80	153.07	159.18	158.58	161.24	0.006162	6.46	482.83	87.27	0.84
Rio Sechin	80	100 años	4149.20	153.07	160.56	159.88	163.16	0.005899	7.27	606.07	90.26	0.85
Rio Sechin	60	10 años	924.70	152.58	155.34	155.23	156.47	0.009962	4.74	199.46	78.95	0.94
Rio Sechin	60	25 años	1942.20	152.58	156.82	156.82	158.81	0.009724	6.31	318.50	82.13	1.00
Rio Sechin	60	50 años	2969.80	152.58	158.14	158.14	160.74	0.008825	7.25	428.80	84.98	0.99
Rio Sechin	60	100 años	4149.20	152.58	159.46	159.46	162.67	0.008192	8.07	543.06	87.83	0.99
Rio Sechin	40	10 años	924.70	152.03	154.58	154.58	155.76	0.011817	4.83	194.88	84.68	1.00
Rio Sechin	40	25 años	1942.20	152.03	155.76	156.09	158.03	0.013434	6.74	296.10	87.24	1.14
Rio Sechin	40	50 años	2969.80	152.03	156.73	157.34	159.96	0.013859	8.05	382.04	89.35	1.21
Rio Sechin	40	100 años	4149.20	152.03	157.73	158.61	161.89	0.013709	9.15	472.95	91.52	1.24
Rio Sechin	20	10 años	924.70	151.34	153.54	153.73	154.83	0.016557	5.06	185.40	96.14	1.15
Rio Sechin	20	25 años	1942.20	151.34	154.56	155.10	157.00	0.018023	6.97	284.59	98.35	1.29
Rio Sechin	20	50 años	2969.80	151.34	155.37	156.25	158.88	0.018908	8.37	364.41	100.09	1.37
Rio Sechin	20	100 años	4149.20	151.34	156.17	157.41	160.79	0.019334	9.61	445.40	101.83	1.43
Rio Sechin	0	10 años	924.70	150.66	152.94	152.94	153.95	0.012494	4.47	208.76	104.97	1.00
Rio Sechin	0	25 años	1942.20	150.66	154.21	154.24	155.87	0.010700	5.73	344.78	107.74	1.01
Rio Sechin	0	50 años	2969.80	150.66	154.81	155.32	157.58	0.014398	7.42	408.79	109.01	1.20
Rio Sechin	0	100 años	4149.20	150.66	155.45	156.40	159.41	0.016841	8.88	479.02	110.40	1.33

ANEXO - 9

PANEL FOTOGRAFICO



FOTO N° 01: Se observa el Puente Sechín que colapsó por el desborde del río que lleva el mismo nombre en la fecha 17 de Marzo del año 2017.



FOTO N° 02: Se observa el letrero del Puente Bailey Sechín (Rio Loco) en el kilómetro 376 de la carretera Panamericana Norte.



FOTO N° 03: Se observa el Puente Sechín aguas arriba con flujo en la fecha 14 de septiembre del año 2017.



FOTO N° 04: Se observa la toma de medidas de la sección N° 1 aguas arriba del puente Sechín cada 20 metros con el nivel de ingeniero



FOTO N° 05: Se observa la toma de medida de la longitud del río Sechín aguas arriba en la sección N° 8 con wincha de 100 metros.



FOTO N° 06: Se observa la toma de medida del fondo del río y el alto de la plataforma del puente del río Sechín.



FOTO N° 07: Se observa el Puente Sechín aguas arriba sin flujo en la fecha 10 de octubre del año 2018.



FOTO N° 08: Se observa la toma de medida de la altitud del río Sechin aguas abajo en la sección N°9.



FOTO N° 09: Se observa la toma de medida del fondo del rio Sechín aguas abajo en la sección N° 5.



FOTO N° 10: Se observa el enrocado del rio Sechín aguas abajo en la sección N° 10.