

Panamá, 19 de septiembre de 2024
SG-SAM-923-2024

AMBIENTE

19/SEP/2024 3:23PM

Licenciada
Graciela Palacios
Directora de Evaluación de Impacto Ambiental
Ministerio de Ambiente
E.S.D.

[Firma manuscrita]

Referencia: *Estudio de Impacto Ambiental Categoría II – Rehabilitación y Financiamiento de las Calles del distrito de Colón. Puentes Vehiculares (Nuevo México, Polvorín, Brook # 1, Brook # 2 y Brook # 3).*
Asunto: *Entrega de Respuesta a Nota de ampliación DEIA-DEEIA-AC-0084-2907-2024.*

Licenciada Palacios:

Por este medio se hace entrega formal de un (1) original, una (1) copia y dos (2) copias digitales (USB) de la respuesta a Nota No. **DEIA-DEEIA-AC-0084-2 907-2024**, por la cual se emiten ampliaciones al **Estudio de Impacto Ambiental, Categoría II, denominado “Rehabilitación y Financiamiento de las Calles del distrito de Colón. Puentes Vehiculares (Nuevo México, Polvorín, Brook # 1, Brook # 2 y Brook # 3)”**, ubicado en los corregimientos de Cristóbal, Cativá y Sabanitas, distrito de Colón, provincia de Colón.

Sin más por el momento.

Atentamente,

[Firma manuscrita]

Lic. Rodolfo Caballero
Secretario General
Ministerio de Obras Públicas



RC/AM

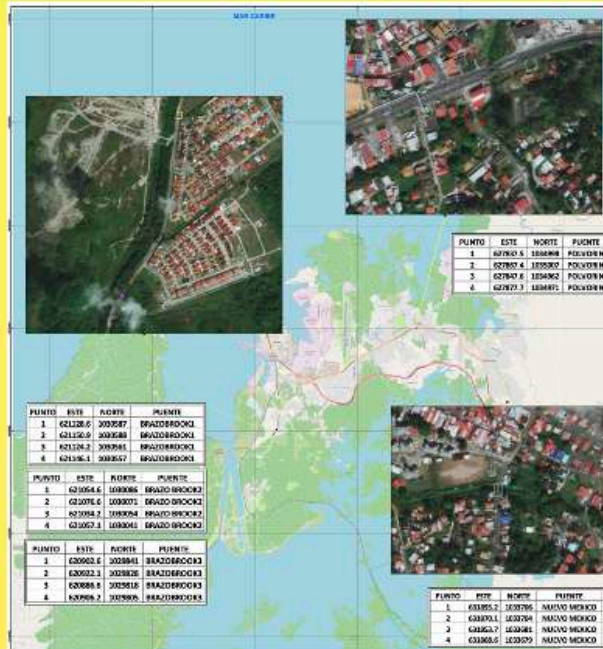
C.C. Ing. Aneth Mendieta – Jefa de la Sección Ambiental – MOP Panamá.

**RESPUESTA A NOTA DE AMPLIACIÓN N° DEIA-DEEIA-AC-0084-2907-2024 PARA EL
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CATEGORIA II**

**PROYECTO:
“REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO COLÓN.
PUENTES VEHICULARES (NUEVO MEXICO, POLVORÍN, BROOK#1, BROOK#2 Y
BROOK#3)”**

**CORREGIMIENTO DE CRISTÓBAL, CATIVÁ Y SABANITAS, DISTRITO Y
PROVINCIA DE COLÓN**

**PROMOTOR:
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**



**CONSULTORES AMBIENTALES
ROSA LUQUE (IRC-043-2009)
INGRIS CHAVARRÍA (IRC-097-2009)**

SEPTIEMBRE, 2024

1. En la página 16 del EsIA, punto 4.2.1 Coordenas UTM del polígono de la actividad, obra o proyecto y sus componentes. Estos datos deben ser presentados según lo exigido por el Ministerio de Ambiente, Tabla N°2. Coordenas del proyecto, se presentan la superficie con el área que será afectada por la construcción y desvíos para cada puente. Sin embargo, luego de la verificación de coordenadas mediante MEMORANDO-DIAM-0935-2024, las áreas verificadas para cada puente difieren de las señaladas en el EsIA. Por lo cual se le solicita aportar las coordenadas corregidas y áreas correspondientes.

R= Se aclara que las coordenadas presentadas en la página 16 del EsIA son correctas. En la **Tabla N°1** se indican las áreas de afectación corregidas, con base a las coordenadas presentadas.

Tabla N°1. Coordenadas del proyecto (DATUM WGS84)

PUENTE BRAZO DE BROOK 1		
PUNTO	NORTE	ESTE
1	1030587.31	621128.61
2	1030587.63	621150.87
3	1030560.68	621124.2
4	1030557.27	621146.14
ÁREA AFECTADA CONSTRUCCIÓN Y DESVIOS, m²		636.80
PUENTE BRAZO DE BROOK 2		
PUNTO	NORTE	ESTE
1	1030085.67	621054.56
2	1030071.43	621076.55
3	1030054.48	621034.15
4	1030041.39	621057.1
ÁREA AFECTADA CONSTRUCCIÓN Y DESVÍOS, m²		960.26
PUENTE BRAZO DE BROOK 3		
PUNTO	NORTE	ESTE
1	1029840.81	620902.63
2	1029827.62	620922.07
3	1029817.72	620886.59
4	1029804.89	620906.19
ÁREA AFECTADA CONSTRUCCIÓN Y DESVÍOS, m²		654.84

PUENTE POLVORIN		
PUNTO	NORTE	ESTE
1	1034998.37	627837.53
2	1035006.77	627867.42
3	1034962.45	627847.63
4	1034970.92	627877.74
ÁREA AFECTADA CONSTRUCCIÓN Y DESVÍOS, m²		1162.67
PUENTE NVO. MEXICO		
PUNTO	NORTE	ESTE
1	1033705.5	631855.24
2	1033704.41	631870.11
3	1033680.7	631853.66
4	1033679.3	631868.59
ÁREA AFECTADA CONSTRUCCIÓN Y DESVÍOS, m²		373.76

Fuente: Promotor del proyecto.

- En seguimiento a los avisos de consulta pública, se requiere de la presentación del medio electivo (redes sociales, diario de circulación nacional, medios televisivos, otros), en cumplimiento al artículo 43 de Decreto Ejecutivo N°1 del 1 de marzo de 2023.

R= En el Anexo N°1, se presenta acuse de recibido por el Ministerio de Ambiente de los avisos de consulta pública realizados en la Red Social “Instagram” de El Siglo. Estas publicaciones fueron realizadas los días 13 y 15 de agosto del 2024.

3. La Dirección de Cambio Climático, mediante MEMORANDO DCC-407-2024, solicita se desarrollen los siguientes puntos:

Adaptación:

El consultor debe adaptar la información al siguiente formato e incluir los puntos faltantes:

5.8.2 Riesgo y vulnerabilidad climática y por cambio climático futuro, tomando en cuenta las condiciones actuales en el área de influencia.

- La sensibilidad se debe evaluar con relación al futuro entendiendo la vulnerabilidad, los riesgos climáticos y sus amenazas. El Promotor deberá mejorar la siguiente información necesaria:
 - a. Debe plantear claramente como el cambio climático afectará al proyecto en el presente y futuro.

R= Como síntesis conceptual se puede mencionar que los estudios técnicos de vulnerabilidad y riesgo tienen el propósito de ofrecer información lo más detallada posible que permita que dentro de la fase de planeación para el desarrollo de un proyecto se integren los elementos constitutivos de una adecuada gestión del riesgo climático que son justamente, mitigación, adaptación y resiliencia previa identificación de la exposición, sensibilidad, impactos y la capacidad adaptativa que finalmente nos define la vulnerabilidad de un sitio determinado y las estructuras a desarrollar, ante esto, tendremos a consideración para los modelos climáticos nacionales y algunos detalles complementarios con respecto a proyecciones regionales y/o globales, que nos darán una tendencia o las proyecciones del cambio climático según el Informe sobre los Escenarios de Cambio Climático futuros para la República de Panamá para el año 2050.

El cambio climático afectará al proyecto específicamente en el presente y futuro en los aspectos identificados en la Tabla de “***Posibles riesgos climáticos que puedan afectar al proyecto***” incluida en la Guía metodológica para el desarrollo de los aspectos generales de las variables de adaptación y mitigación en los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) a continuación desarrollada.

Posibles riesgos climáticos que puedan afectar al proyecto

Grupo de Amenaza/peligro	Tipo principal	Riesgo Climático	Amenaza en Proyecto (Si o No)
Hidrometeorología	Precipitación Máx.	Inundación/mayor humedad de calzada.	Si

		Desplazamiento.	No
	Precipitación Min.	Sequía.	Si
	Viento	Máx. ráfaga de vientos.	No
	Tormenta eléctrica	Relámpagos.	No
	Temperatura Máx.	Olas de Calor.	Si
	Patrones de Nubosidad	Variación de la irradiación solar.	No
Oceanográfica	Dinámica Marina	Inundaciones por subida del mar.	No
		Erosión Costera.	No
Geofísica	Movimiento de masas	Deslizamiento de tierras y/o rocas.	No
		Hundimiento(erosión/socavamiento).	Si

Fuente: Dirección de Cambio Climático, MiAMBIENTE - adaptación del consultor según experiencia en proyectos viales del MOP.

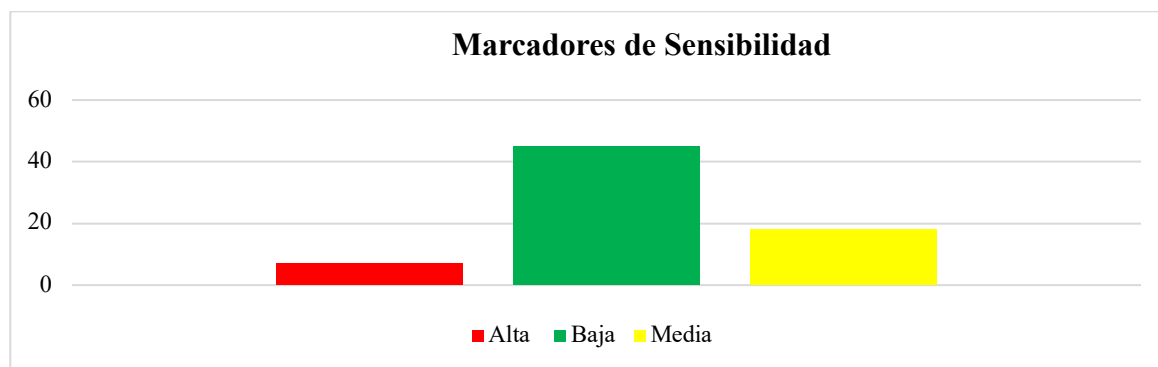
- b. Realizar una matriz de evaluación para la sensibilidad, la cual debe establecer en sus conclusiones cual es la sensibilidad al proyecto comparándolo con el mapa de sensibilidad del MiAMBIENTE. Adicional, deben revisar el Índice de Vulnerabilidad Nacional de Panamá 2021, información que es de acceso público.

R= Se reitera la matriz de evaluación para la sensibilidad según los parámetros del Índice de Vulnerabilidad Nacional de Panamá 2021 ajustada de riesgos del cambio climático para el proyecto en particular siendo la misma la siguiente:

Conexiones de Transporte	Productos / servicios	Suministro de (Agua, Energía, Otros)	Bienes de Infraestructura	Elementos de Sensibilidad
				Incremento en las temperaturas promedio.
				Incremento extremo temperaturas.
				Cambio en los patrones de Lluvia.
				Cambios extremos de lluvia.

Conexiones de Transporte	Productos / servicios	Suministro de (Agua, Energía, Otros)	Bienes de Infraestructura	Elementos de Sensibilidad
				Velocidad Promedio del Viento.
				Velocidad Máximo del Viento.
				Humedad.
				Radiación Solar.
				Aumento Relativo del Nivel del Mar.
				Temperaturas Oceánicas.
				Disponibilidad de Agua.
				Tormentas.
				Inundaciones (fluviales).
				Erosión Costera.
				Erosión del Suelo.
				Incendios Forestales.
				Calidad del Aire.
Sensibilidad Climática				
Baja				
Media				
Alta				

Fuente: Adaptación del Consultor Ambiental (Y.M) – Matriz de Sensibilidad.



Observando la anterior tabla podemos interpretar que la Sensibilidad del proyecto con respecto al cambio climático estaría en una valoración “baja” con tendencia a “media” tomando en cuenta el promedio de los elementos de sensibilidad con respecto a Conexiones, de Transporte, Productos / Servicios, Suministro de (agua, energía, otros) y Bienes de infraestructura, ya que 7 casillas (marcadores) nos

establecen como sensibilidad alta, 45 como sensibilidad baja y 16 como sensibilidad media.

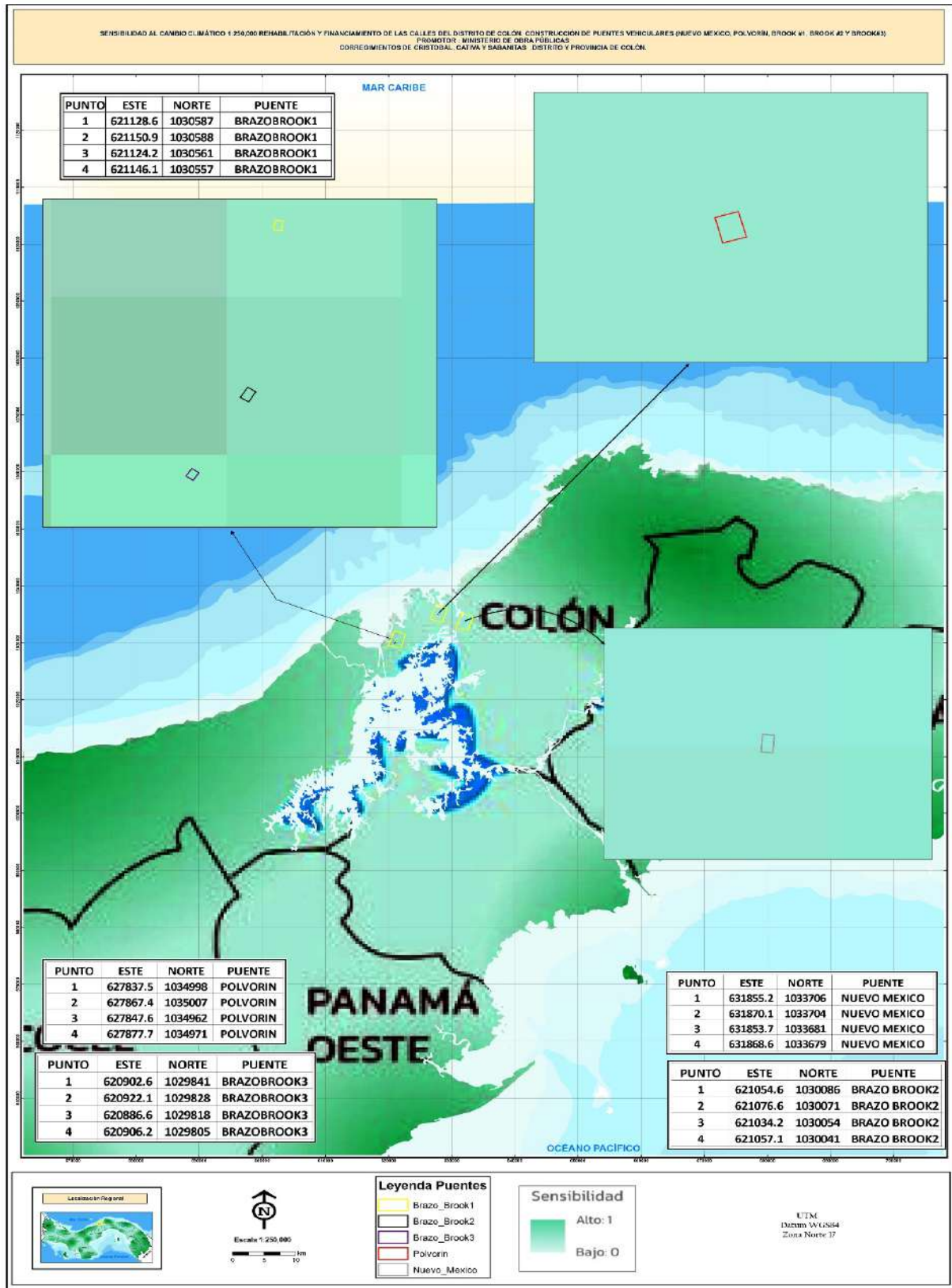
Por tanto, podríamos establecer que la variable de peligro climático puede tener un ligero impacto en los activos, procesos, servicios y suministros, siendo para el caso del proyecto en evaluación las **“Conexiones de Transporte”** y los **“Bienes de Infraestructura”** el elemento de sensibilidad de mayor relevancia debido a la mayor intensidad y frecuencia de las precipitaciones, cambios de temperaturas para todos los puentes de este proyecto.

Igualmente lo descrito corresponde dentro de un rango promedio a lo que se puede observar en el Mapa de Sensibilidad al Cambio Climático específico realizado para el proyecto en evaluación, donde se aprecia que se ubica en un valor “bajo” según la escala provista por la referencia técnica del Ministerio de Ambiente según la resolución de pixeles de la imagen rasterizada de este mapa.



Fuente: Índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá 2021.

Se presenta a continuación la ubicación del proyecto con respecto al mapa de sensibilidad a nivel nacional.



5.5.2.1 Análisis de Exposición

- Hacer un análisis comparativo entre la matriz de exposición y el mapa de exposición de MiAMBIENTE.

R= En la Guía metodológica para el desarrollo de los aspectos generales de las variables de adaptación y mitigación en los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA) no aparece una matriz específica de exposición pero se puede hacer un análisis comparativo entre la tabla de Posibles riesgos climáticos que puedan afectar al proyecto y la información disponible en el módulo de Vulnerabilidad y Riesgo Climático sobre los Escenarios de Cambio Climático, el Resumen Ejecutivo Riesgo de Cambio Climático, Precipitación, Temperatura, Ascenso del Nivel del Mar, Índices de extremo climático de las variables de precipitación y temperatura para la gestión de proyectos de adaptación al cambio climático en la República de Panamá y verificándose los mapas de dichos escenarios disponibles en el sitio <https://transparencia-climatica.miambiente.gob.pa/modulo-vrc/>

Matriz de Exposición Individualizada por Riesgo Identificado Vs Índices de extremo climático.

Tipo principal	Riesgo Climático	I.E.C	
		PREC.	TMax
Precipitación Máx.	Inundación/mayor humedad de calzada	X	
Precipitación Min.	Sequía	X	
Temperatura Máx.	Olas de Calor		X
Movimiento de masas	Deslizamiento de tierras y/o rocas	X	
	Hundimiento(erosión/socavamiento)	X	

Fuente: Adaptación del Consultor.

Lo que separando los riesgos identificados y los Índices de extremo climático (Precipitación/Temperatura Máxima) que aplican para el proyecto específico podríamos establecer que de los 10 marcadores posibles entre los Riesgos Climáticos y la probabilidad de ocurrencia de los extremos climáticos nos da un valor de 5 por lo que indicaría un **índice medio** asignando valores conceptuales estimativos en función de la relevancia de los riesgos e impactos para la zona de estudio valorados en un ejercicio matemático propio desarrollado por esta consultoría para la asignación de valores numéricos.

Recalcamos que adicional al mapa de exposición nacional se verifico la ubicación del proyecto con respecto a los mapas denominados DATOS-2050-PERCENTIL-50-prec-5070100, DATOS-2050-PERCENTIL-50-TEMP-MAXIMA-5070100 y DATOS-2050-PERCENTIL-50-TEMP-MINIMA-5070100_1 tal como se establece en la Guía metodológica y las interpretaciones técnicas normativas establecidas en el Resumen Ejecutivo Riesgo de Cambio Climático, Precipitación, Temperatura, Ascenso del Nivel del Mar y los mapas para los escenarios 2050, 2070 y 2100 actualizados al 2024, luego del análisis integral podemos considerar que aumentaran las lluvias principalmente para el escenario 2050 y aumentaran las temperaturas en los tres escenarios lo que de igual forma se puede cotejar cuando se verifica como complemento las proyecciones que nos manifiesta el IPCC_AR6_WGII_Chapter12 igualmente nos indica que existe un aumento progresivo según el Cambio de temperatura media Proyección del modelo CMIP6, período 2081-2100, escenario SSP2 4.5. Línea de base 1986-2005.

Como resultado el aumento de lluvias probablemente en función de frecuencia e intensidad por periodos cortos indicaría posibles variaciones de humedad y los aumentos de temperaturas máximas incidirían en la vida útil de las vías a rehabilitar y en su propia operación.

Valorando los datos del Mapa de **exposición** del índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá donde se puede inferir un valor entre “**medio**” según la resolución de pixeles de la imagen disponible rasterizada de este mapa.

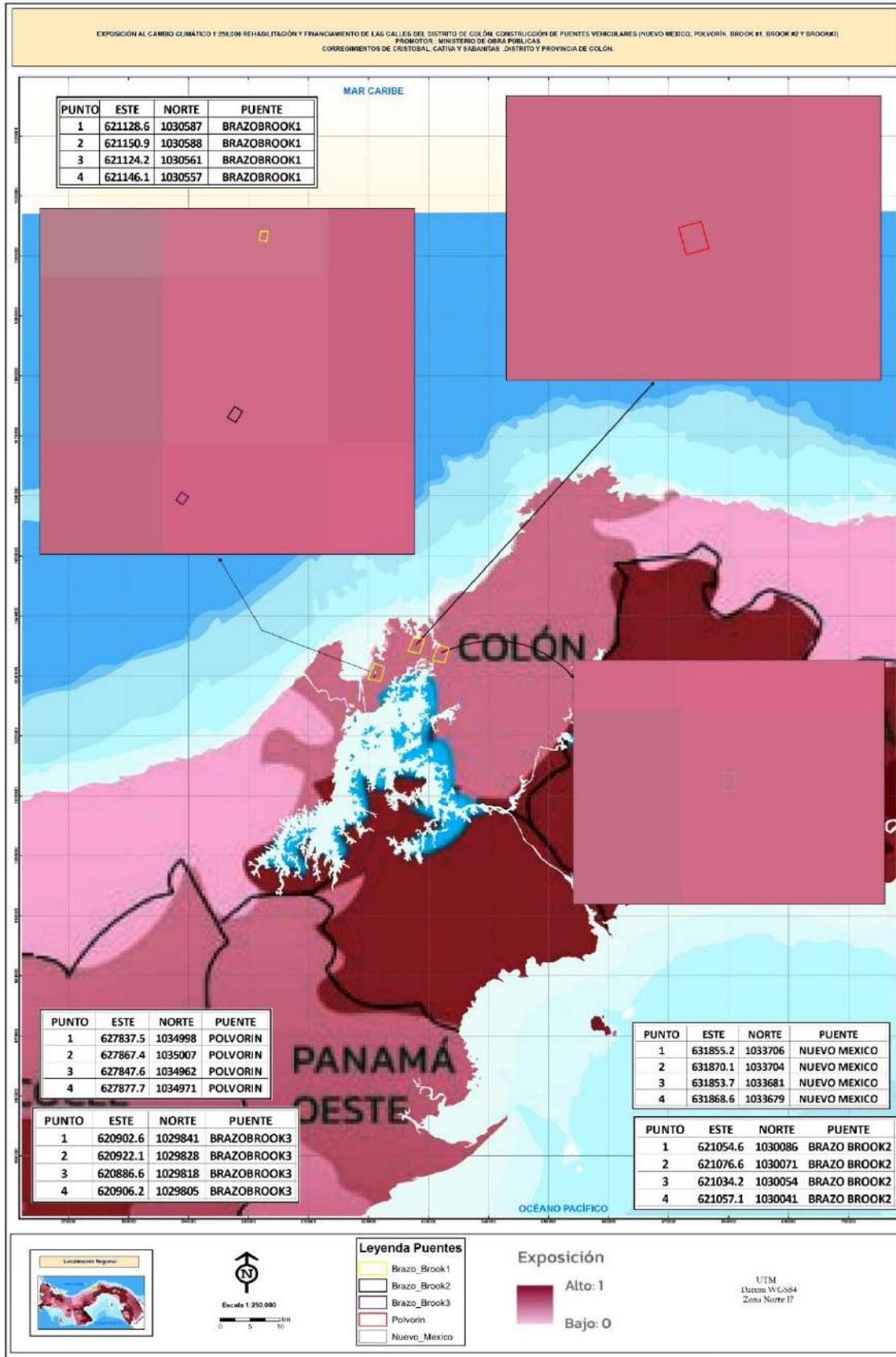


Fuente: Índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá
2021.

Se presenta a continuación la ubicación del proyecto con respecto al mapa de exposición a nivel nacional.

“Rehabilitación y Financiamiento de calles del distrito de Colón. Construcción de Puentes de puentes vehiculares (Nuevo Mexico, Polvorín, Brook#1, Brook #2 y Brook#3)”

Provincia de Colón



5.5.2.2 Análisis de Capacidad Adaptativa

- La capacidad adaptativa se despliega como las condiciones de los diversos sistemas en poder afrontar las perturbaciones provocados por los fenómenos climáticos. El análisis de este punto con lleva que el experto pueda responder a diversas preguntas o bien el público pueda responder a las diversas reacciones y tener el conocimiento de cómo puede responder a diversas condiciones o amenazas climáticas. Presentar las preguntas y sus respuestas para establecer la capacidad adaptativa.

- Con que herramientas cuenta el proyecto para enfrentar los impactos (minimizarlos o neutralizarlos).

R= El proyecto por su propio concepto estructural se desarrollará de forma que su propia construcción minimice los impactos como por ejemplo diseño adecuado respetando el nivel de aguas máximas esperado (NAME) para evitar el riesgo de inundación.

- ¿Cuenta con infraestructura resiliente a los peligros del cambio climático identificados?

R= Como ya se mencionó previamente el diseño técnico adecuado evitaría el peligro de inundación y la construcción de estos puentes que son complementos de la red vial incrementan la propia capacidad adaptativa local al enriquecer el patrimonio estructural regional al mantener la conectividad terrestre.

- ¿Cuenta con los recursos financieros para revertir, reducir o resistir a los daños?

R= El Ministerio de Obras Públicas invierte en los estudios técnicos necesarios para dar una confianza a nivel de ingeniería a su proyecto y desarrollara toda la obra bajos las mejores prácticas de construcción actuales.

- ¿Cuenta con capacidad de respuesta, organización y opciones tecnológicas antes eventos extremos o peligros climáticos?

R= Como el proyecto se encuentra dentro del entorno urbano de la Ciudad de Colón (Brazos Brook 1,2 y 3) y zonas periféricas (Polvorín –Cativa, Nuevo México-Sabanitas) por lo que se puede manifestar que se cuenta con vías de comunicación alternas en caso de emergencia por lo que el proyecto cuenta con las vías terrestre de desplazamiento adecuadas.

- Distancia a carreteras.

R= Los 5 puentes forman parte de la red vial regional, recordando que el fin trascendental por el cual se construye un puente es el de acercar lugares, unir caminos o comunicar dos espacios geográficos separados por algo, estos puentes son parte integral de la red de comunicación terrestre.

- Distancia a centro de salud.

R= El Hospital Manuel Amador Guerrero se ubica a 4.0 kilómetros al noreste de los puentes de Brazos Brook 1,2 y 3, el Puente de Polvorín se ubica a 3.8 kilómetros al oeste del Hospital de Coco Solo y el de Nuevo México a 800 metros del Hospital de Sabanitas, adicional de otros Centros de Salud en toda la periferia urbana.

Centros de Salud Próximos al Proyecto



Fuente: Health Institutions in Panama/ STRI GIS Data Portal

- Pobreza general del corregimiento en %.
- R=** Índice De Pobreza Multidimensional (IPM-C)¹
- Corregimiento de Cristóbal: 0.103
- Corregimiento de Sabanitas: 0.115
- Corregimiento de Cativá: 0.155
- ¿Qué medidas de adaptación se viene realizando en la zona donde se emplaza el proyecto?: consideraciones:

¹ <https://www.gabinetesocial.gob.pa/wp-content/uploads/2024/04/Informe-IPM-Corregimientos-2023.pdf>

- Humanas: capacidades técnicas.
R= La zona cuenta con personal técnico preparado.
- Físicas: infraestructuras resilientes.
R= Los propios puentes representan infraestructura resiliente por su función de enlace estructural.
- Financieras: capital, seguros.
R= La zona cuenta con relativo buen movimiento económico en general.
- Naturales: tierras productivas, fuente de agua segura.
R= Los puentes no inciden o afectan cambio de uso de la tierra o inciden en consumo de agua.
- Sociales y organizaciones: alianza con la sociedad y el estado.
R= El estado a través de los Gobiernos Central y Local están organizados a nivel distrital y existen iniciativas como es el proyecto Visión 2050, Estrategia para el Desarrollo Sostenible Provincia de Colón. SENACIT- CECOM-CRO.
- Sistema de alerta (prevención).
R= El estado a través de sus instituciones en forma integral es el encargado de la gestión de alerta y prevencionismo bajo la competencia de los estamentos de seguridad.

Desarrollar los análisis adecuados y comparativos con el mapa de capacidad adaptativa de MiAMBIENTE.

R= Como ya se ha establecido previamente que capacidad adaptativa es: “La capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los eventos extremos), moderar los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades y enfrentar las consecuencias”, por tanto nuestro análisis ha determinado que la capacidad adaptativa para nuestro proyecto se pudiese catalogar como “alta” tomando en cuenta que “daño a infraestructura” y “acceso a recursos” serán la principal condicional para este proyecto pero la zona se encuentra conectada por rutas alternas viales, centros de salud y se ubica en un entorno urbano desarrollado bajo estructuras administrativas consolidadas, por lo que la apreciación concuerda con lo establecido según la escala de la resolución de pixeles de la imagen disponible rasterizada de este mapa.

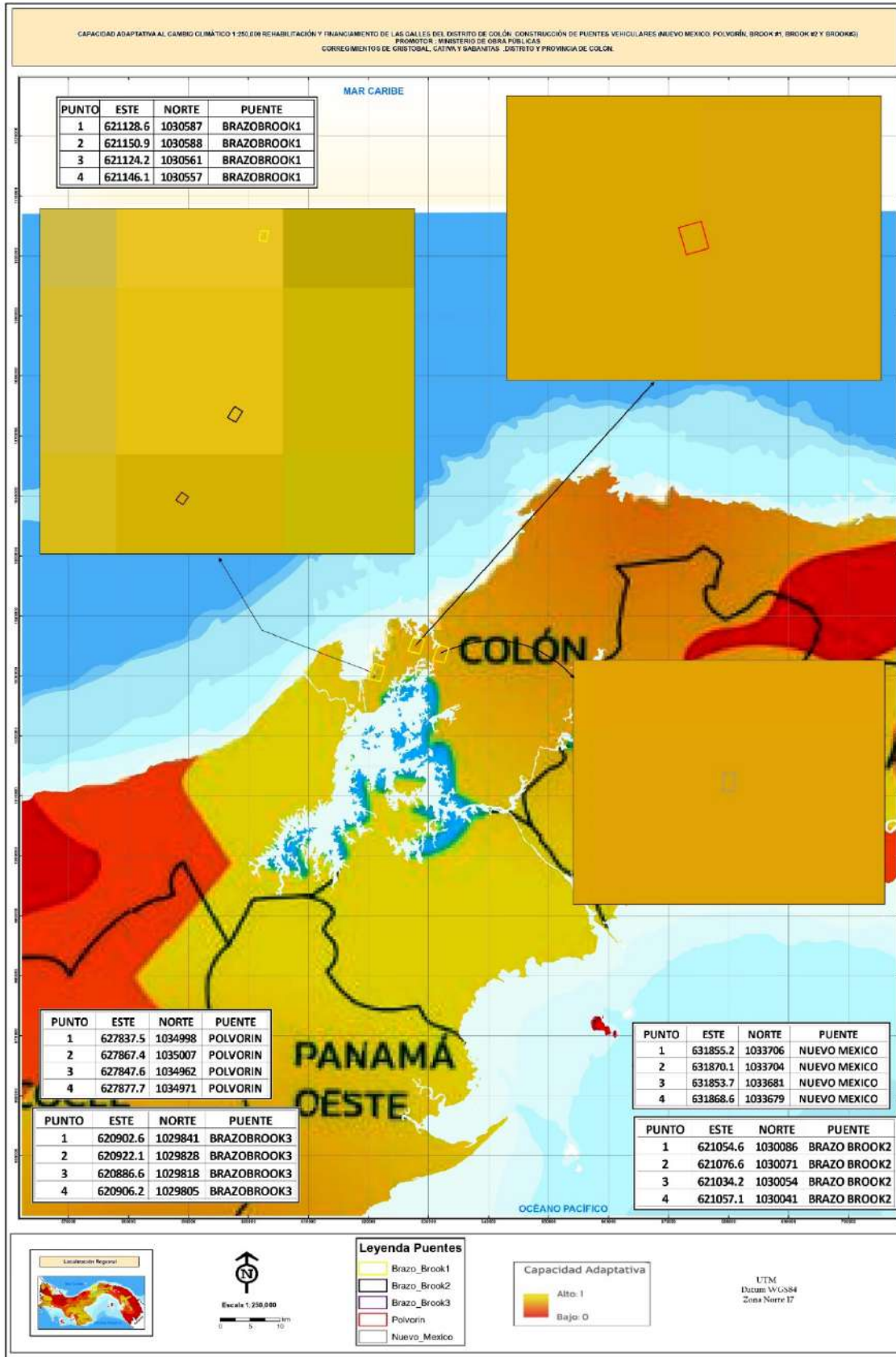
Capacidad Adaptativa



Fuente: Índice de vulnerabilidad al cambio climático de la República de Panamá 2021.

“Rehabilitación y Financiamiento de calles del distrito de Colón. Construcción de Puentes de puentes vehiculares (Nuevo Mexico, Polvorín, Brook#1, Brook #2 y Brook#3)”

Provincia de Colón



5.5.2.3 Análisis de Identificación de Peligros o Amenazas:

Para este punto el promotor/consultor deberá utilizar la información generada, a partir del estudio hidrológico/hidráulico presentado en los contenidos mínimos del estudio de impacto ambiental, donde los elementos a presentar son los siguientes de acuerdo a la ubicación del proyecto:

Para proyectos que se ubiquen en área terrestre deberán presentar las curvas de nivel con y sin proyecto con su elevación en la tabla de atributos, y en formato digital (vectorial) a 1 metro de elevación entre cada una. Las curvas de nivel deben de estar georreferenciadas en el Datum WGS 84.

Modelación hidrológica: Se deberá realizar una modelación hidrológica bajo el cálculo de caudal para un periodo de retorno $T_r = 100$ años y un tiempo de duración de lluvia de 30 minutos. Se pueden utilizar las IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Plano.pdf. Utilizando el software de modelación de uso libre HEC-RAS (a partir de la sexta (6) generación desarrollada o la versión más actualizada) y que se encuentra de manera gratuita en el sitio oficial del US Army Corps.

La validación de los resultados de la simulación se hace a través de la revisión de los siguientes insumos y productos utilizados y generados por HEC RAS:

- Archivo DEM utilizado para elaborar el "terrain".
R= Se presenta en el anexo N°2, los Estudios Hidrológicos de los puentes. Adicional, se presenta en el copia digital, el archivo utilizado.
- Archivo proyecto generado por la simulación.
R= Se presenta en el anexo N°2, los Estudios Hidrológicos de los puentes. Adicional, se presenta en el copia digital, el archivo utilizado.
- Archivo de geometría generado por la simulación. /Adjunto en Estudios Hidrológicos.
R= Se presenta en el anexo N°2, los Estudios Hidrológicos de los puentes. Adicional, se presenta en el copia digital al, el archivo utilizado.
- Archivo plan generado por la simulación. /Adjunto en Estudios Hidrológicos.
R= Se presenta en el anexo N°2, los Estudios Hidrológicos de los puentes. Adicional, se presenta en el copia digital gital, el archivo utilizado.
- Archivo de flujo constante o no constante generado por la simulación. /Adjunto en Estudios Hidrológicos.
R= Se presenta en el anexo N°2, los Estudios Hidrológicos de los puentes. Adicional, se presenta en el copia digital, el archivo utilizado.
- Archivo ráster final de resultado de simulación con y sin proyecto. /Adjunto en Estudios Hidrológicos.

R= Se presenta en el anexo N°2, los Estudios Hidrológicos de los puentes. Adicional, se presenta en la copia digital, el archivo utilizado.

Para proyectos que se ubiquen en área terrestre deberán presentar las curvas de nivel con y sin proyecto con su elevación en la tabla de atributos, y en formato digital (vectorial) a 1 metro de elevación entre cada una. Las curvas de nivel deben de estar georreferenciadas en el Datum WGS84. En caso de que la simulación sea de flujo constante, otro producto adicional a revisar son las secciones transversales del afluente. Una vez el promotor/consultor realice las modelaciones anteriores, deberá entregar un análisis con su respectiva descripción en caso de que el proyecto sea afectado tomando en cuenta todas las amenazas/peligros incluidos, donde se deben desglosar los posibles riesgos climáticos que enfrentaría el proyecto presentes y futuros. Se debe tomar en cuenta los resultados obtenidos en el 5.8.2 y 5.8.2.1. Esta información debe ser presentada para todos los cuerpos de agua incluidos dentro del área del proyecto y mencionados dentro del estudio de impacto ambiental.

R= Adjunto en anexos de Estudios Hidrológicos.

DEM utilizado para elaborar el "terrain" – Puentes Brazos Brook.



Fuente: Estudios Hidrológicos Puentes Brazos Brook 1, 2 y 3.

DEM utilizado para elaborar el "terrain" – Puente El Polvorín.



Fuente: Estudios Hidrológico El Polvorín.

DEM utilizado para elaborar el "terrain" – Puente Nuevo México.



Fuente: Estudios Hidrológico Puente Nuevo México.

Posterior a la revisión integral de los 5 estudios hidrológicos actualizados se puede establecer la siguiente conclusión:

“Luego de las modelaciones se concluye que no existe el riesgo de inundación para el puente proyectado, ya que el mismo se ha diseñado (según planos aprobados) respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 de altura”.

5.5.3 Análisis e Identificación de vulnerabilidad frente a amenazas por factores naturales y climáticos en el área de influencia

- En atención a la siguiente figura; hacer un análisis con el resultado extraído de la información de los puntos anteriores con relación a su proyecto.



R= En función de que el objetivo de la valoración de la vulnerabilidad del proyecto ante el “**RIESGO**” previo análisis del conjunto Sensibilidad-Exposición-Capacidad Adaptativa- es tratar de minimizar y/o administrar dicha probabilidad de ocurrencia conociendo que los riesgos no se pueden eliminar al 100% se verificaron los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos de los 5 puentes que abarcan el presente Estudio de Impacto Ambiental para un periodo de retorno de 100 años donde se nos establece que con los niveles de aguas máximas extraordinarias (NAME) calculadas y las velocidades de flujo, el caudal de cada área puede circular sin causar desgaste en los zampeados y elementos de concreto de la subestructura, sin embargo como la propia variabilidad climática mantiene un grado de incertidumbre es recomendable la adaptación a una infraestructura resiliente ante los índices de extremos climáticos en los escenarios proyectados, respetando que los planos aprobados por el Ministerio de

Obras Públicas consideró de igual forma los parámetros de IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Planos.

La Temperatura como ya se ha podido definir si se incrementará para todos los escenarios verificados de 2050, 2070 y 2100 con respecto al incremento de la Temperatura Máxima.

- Realizar la matriz de clasificación de amenazas climáticas, tornando en cuenta los puntos anteriores.

R=Se adjunta matriz reformulada según las valoraciones previamente realizadas:

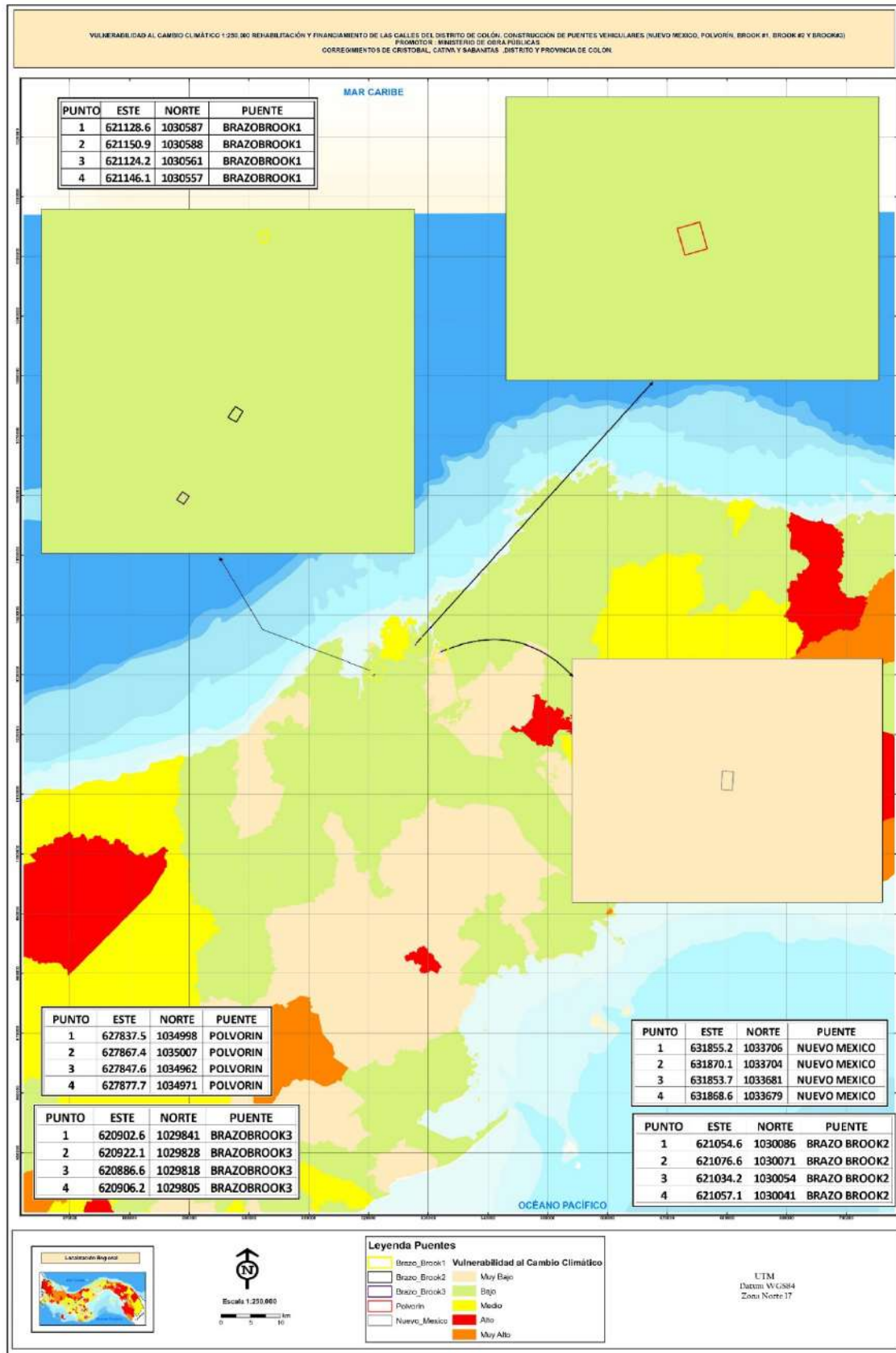
Sensibilidad		Exposición		
		Baja	Media	Alta
	Baja	Inundación		
	Media		Oleadas de Calor	
	Alta			
	Nivel de Vulnerabilidad			
	Nula/Baja			
	Media			
	Alta			

Fuente: Guía Técnica de Cambio Climático para Proyectos de Inversión Pública y Guía EU-GL (Comisión Europea, 2013).

Lo que corresponde a una vulnerabilidad “baja” lo que podemos cotejar y concuerda con el mapa de vulnerabilidad al cambio climático de Panamá que se establece como “baja” y “muy baja” para las ubicaciones geográficas específicas de los puentes en análisis.

Ante lo cual podemos concluir que tendencia climática de la zona se orienta hacia las variaciones de la precipitación, aumento de las temperaturas lo que eventualmente puede generar un clima más seco alternados con otros periodos con mayor humedad por tormentas intensas pero de corta duración y adicional se suma la volatilidad en la temperatura lo que conlleva un clima más cálido o que para nuestro caso particular como ya se ha manifestado incidirá en la estabilidad estructural a largo plazo de las estructuras, incrementado de hecho los costos de mantenimiento.

“Rehabilitación y Financiamiento de calles del distrito de Colón. Construcción de Puentes de puentes vehiculares (Nuevo Mexico, Polvorín, Brook#1, Brook #2 y Brook#3)”
 Provincia de Colón



9.8. Plan para reducción de los efectos del cambio climático

- En este apartado se debe hacer un resumen ejecutivo, de máximo 2 páginas sobre lo que contiene el Plan de Adaptación y Mitigación, los cuales provienen de los temas desarrollados en los puntos 9.8.1 y 9.8.2.

El consultor debe adecuar la información al siguiente esquema dentro del plan de adaptación.

R= Para la reducción de los efectos del cambio climático bajo las amenazas detectadas al proyecto podemos indicar que el promotor del proyecto de forma responsable desarrollará el proyecto bajo el mejor criterio técnico y método constructivo disponible en función de evitar el riesgo de inundación y mitigar los efectos que se pudiesen generar como erosión y socavamiento para entregar a los usuarios de la red vial un conjunto de estructuras de calidad y funcionalidad.

9.8.1. Plan de adaptación al cambio climático

- **Línea Base:** Describa las áreas/ecosistemas (Áreas Naturales Protegidas), recursos y comunidades vulnerables ante el cambio climático previo a la implementación del proyecto.

R= El área del proyecto se encuentra ubicada en una zona urbanizada con un alto grado de perturbación, donde se destacan principalmente elementos estructurales residenciales y comerciales al ubicarse la zona en la vertiente del caribe la misma se caracteriza por ser de gran humedad y altas temperaturas (en ascenso según escenarios climáticos), no se identifican recursos o comunidades vulnerables por la implementación del proyecto.

- **Descripción del Proyecto:** Describir cualitativamente y cuantitativamente la influencia del proyecto en la vulnerabilidad de la zona, derivadas de la construcción, operación y mantenimiento/cierre; así como el potencial impacto que el cambio climático puede tener en el proyecto.

R= Eventualmente el desarrollo de un proyecto de infraestructura urbana conlleva un contexto sinérgico con el entorno donde se desarrolla desarrollando influencia en la zona de influencia directa (área efectiva de construcción) y zona de influencia indirecta

(alrededores) por lo cual eventualmente influye en la vulnerabilidad local del lugar e igualmente el propio cambio climático repercutirá sobre el proyecto.

Por tanto, se desarrollarán las respectivas narrativas de esta interacción.

Influencia Cualitativa: el proyecto influye sobre la zona en aspectos cualitativos como son el uso de recursos, dinamización del tráfico terrestre al ofrecer una mejor conectividad sobre zona intervenida antrópicamente predispuesta a inundaciones y altas temperaturas (amenazas naturales), lo cual nos da una idea rápida de exposición de corte medio, con respecto a la actual, debido a la ejecución y/u operación del proyecto.

Influencia Cuantitativa: el desarrollo estructural de complemento vial tendrá una influencia cuantitativa de Puente Brook #1 (longitud de 9 m), Brook #2 (longitud de 18 m), y Brook #3 (longitud de 9 m), Puente Polvorín tiene una longitud de 20 m y un ancho de 9.20 m, Puente Nuevo México cuenta con una longitud de 13 m y un ancho de 9.20 m, todo lo anterior en un área afectada construcción y desvíos de 4,086.86 metros cuadrados. Que la estimación numérica de su sensibilidad nos estableció un rango bajo, la exposición nos estableció un rango medio y la de la capacidad adaptativa estableció un rango alto, luego de lo cual la vulnerabilidad nos dio un resultado clasificado como de valor “bajo”, según la adaptación de índices climáticos de vulnerabilidad de Panamá.

Ante lo anterior descrito se puede establecer que el proyecto presenta una vulnerabilidad baja ante el cambio climático según las estimaciones cualitativas como cuantitativas desarrolladas, recordando la incertidumbre propia de la variación climática.

- **Caracterización de los Impactos:**

- a) **Caracterizar los principales impactos de cambio climático al proyecto.**

R= Inundación: mientras que las lluvias se incrementarán, las tormentas pueden volverse más intensas y frecuentes, lo que aumentaría el riesgo de inundaciones. Lo que equivale que se manifiesten eventos extremos a futuro con la mínima probabilidad de generar socavamiento por la teórica más frecuente y severa la erosión de los sedimentos del suelo alrededor de los cimientos de los puentes con el consiguiente deterioro a las estructuras de los puentes, no obstante el diseño de

los mismos es justamente para atender *“la problemática generada por desborde del agua creándose zona inundable, a fin de prevenir inundaciones en la calle y afectación por aguas contaminadas”*.

R= Oleadas de Calor (aumento de temperatura): se prevé el incremento de rachas de calor, lo que podría significar incidencia en la expansión / contracción de la superestructura acelerando la degradación estructural de los puentes ya que se producirán esfuerzos inducidos térmicamente. La variación de temperatura entre los diferentes elementos del puente también dará como resultado distorsiones rotacionales y traslacionales de la superestructura.

b) Evaluar el impacto del proyecto en la vulnerabilidad de la zona ante el cambio climático como parte de la caracterización del impacto ambiental.

R= Según todo lo establecido en el desarrollo documental con respecto al componente de cambio climático sobre el proyecto de los puentes podemos indicar que el impacto global acumulativo del desarrollo y operación del proyecto sobre la vulnerabilidad de la zona ante el cambio climático no incide de forma negativa sobre las propias características biofísicas de la zona donde se desarrolla el proyecto toda vez que el *“proyecto tiene su origen en la necesidad de mejorar la capacidad hidráulica de los puentes”²* y como se mencionó previamente los mismos se diseñaron para atender *“a la problemática generada por desborde del agua creándose zona inundable, a fin de prevenir inundaciones en la calle y afectación por aguas contaminadas”*.

- **Proponer medidas de adaptación para eliminar, reducir la amenaza, vulnerabilidad, generada por el clima al proyecto y del proyecto a la zona recomendable colocar un cuadro comparativo que incluyan los impactos y las posibles medidas de adaptación a aplicar.**

- a) Las medias deben ser coherentes con las vulnerabilidades identificadas, además deben estar especificadas por impactos a cada parte del proyecto (carretera, puente, entre otro).

² EsIA “Rehabilitación y Financiamiento de calles del distrito de Colón. Construcción de Puentes de puentes vehiculares (Nuevo México, Polvorín, Brook#1, Brook #2 y Brook#3)”Provincia de Colón.

R= Las medidas son generales para todos los puentes ya que la valoración hidráulica fue común para el $Tr=100$ años y los escenarios de Precipitación y Temperatura Máxima son uniformes para la zona.

- b) En tal caso para el punto 5.8.3 se llega a actualizar las vulnerabilidades encontradas, este cuadro de medidas de adaptación cambiará igualmente.

R= Se actualizó el cuadro de medidas de adaptación al eliminar la vulnerabilidad ante el ascenso del mar, debido a la actual verificación de la ubicación de los sitios del proyecto con los datos geoespaciales del apartado de Dinámicas Marina - Ascenso al nivel de mar en los que no se traslapan en ninguno de los 5 sitios donde se construirán los puentes.

- c) En el plan de adaptación solo deben ir incluidas medidas de adaptación y no de mitigación.

Se recomienda, que para mejor comprensión de las medidas de adaptación se mejore el cuadro utilizado en el EIA, el cual puede ser adaptado al siguiente modelo:

Vulnerabilidad obtenida frente a las amenazas climáticas en la sección 5.8.3.	Medida de Adaptación	Descripción de la medida de adaptación a implementa.
Inundación	Infraestructura resiliente (criterios de diseño y mantenimiento) / Mejora de los sistemas de drenaje.	Corresponde a cumplir a cabalidad con el diseño establecido respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 m de altura y las consideraciones del $Tr=100$ años. Ejecutar programa de Mantenimiento continuo efectivo continuo y ante eventos extremos ejecutar medidas inmediatas.
	Soluciones Urbanas Basada en la Naturaleza para reforzamiento de los puentes. (SbN).	Se puede incorporar a la protección de las bases elementos de bioingeniería como el uso de vetiver con su respectivo mantenimiento.

	Oleadas de Calor	Infraestructura resiliente (criterios de diseño y mantenimiento).	Construir las estructuras de los puentes con la mejor calidad de material y supervisión estructural adecuada para minimizar el posible deterioro por expansión o contracción de la superestructura debido a temperaturas máximas más altas
--	------------------	---	--

Fuente: Adaptación del Consultor Ambiental.

- **Plan de Monitoreo:** especifica las variables o acciones a monitorear para el seguimiento de las medidas de adaptación al cambio climático. Se recomienda que se establezca un cronograma por fase de desarrollo de proyecto, donde se identifique el tiempo, el equipo responsable y cómo estará reportando el cumplimiento de cada medida de adaptación a implementar. Así mismo, deberá establecerse la periodicidad de revisión y actualización del plan de adaptación durante la vida útil del proyecto, para que pueda responder a los posibles cambios en las condiciones climáticas y fortalecerse de la experiencia adquirida en la implementación de las medidas de adaptación.

R=El monitoreo dentro de la responsabilidad del promotor consistirá en asegurar el control de calidad de las medidas estructurales y compromisos ambientales del desarrollo del proyecto con especial énfasis en la ejecución a cabalidad del diseño en cuanto a factores cuantitativos y cualitativos de la obra, adicional de la aplicación de las obras de protección estructural basadas en bioingeniería.

El programa consistirá en:

- ☞ Monitoreo de obra civil que asegure la adecuada construcción de las estructuras respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 m de altura y las consideraciones del $T_r=100$ años y mejora general de los sistemas de drenaje.
- ☞ Verificar el prendimiento de las especies que se escojan para las protecciones adicionales de las estructuras basadas en bioingeniería y su mantenimiento para evitar la formación de matorrales.

Actividades Medidas de Monitoreo	Meses (12, el proyecto contempla un máximo de 6 meses, pero por imprevistos se establece un año para uniformar de mejor forma las actividades) la vida											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Monitoreo de Obra Civil Responsable: Ingeniero Residente e Inspección Civil del MOP. Nota: La verificación en el tiempo extendido de vida útil y el mantenimiento es competencia del MOP.												
Verificar obra de Bioingeniería Responsable: Ambientalista de la contratista y la Sección Ambiental del MOP. Nota: El mantenimiento de este ítem en específico durante la vida útil de los puentes debiese considerarse que pase manos municipales dentro del contexto de ornato urbano.												

Fuente: Adaptación del Consultor Ambiental.

- **Plan de Vigilancia:** detalla la forma como se realizará el monitoreo para la gestión de riesgos en contexto de cambio climático.

R=Podemos indicar que este apartado presenta una limitación y es la propia incertidumbre con respecto al clima para establecer una vigilancia “per se” pero de igual forma se establecerán algunas medidas de seguimiento durante la vida útil del proyecto que son:

- Valoración técnica interinstitucional de los caudales de las crecidas que se puedan producir durante la vida útil del proyecto.
- Determinación de alertas temprana de tormentas que podrían generar eventos extremos de precipitación y consecuente influencia sobre las estructuras.
- Verificar alertas de periodos de incrementos sustanciales de temperaturas para evaluación estructural por deterioro generado por esfuerzos adicionales inducidos térmicamente.
- Conectar a nivel de gestión administrativa los riesgos con los procesos de decisión y los recursos disponibles.

-
- ∞ Priorizar las intervenciones y el nivel aceptable de riesgo.
 - ∞ Implementar adaptaciones durante el tiempo tomando en cuenta los criterios de diseño establecidos (por ejemplo, costo, niveles de protección, vida útil)
 - ∞ Monitorear el desempeño en relación con los criterios de diseño.
 - ∞ Reevaluar las condiciones climáticas no estacionarias y los niveles cambiantes de riesgo aceptable lo que debe ser liderado por las entidades competentes.

Conclusiones Finales Generales:

- ∞ El calor extremo y el aumento de las inundaciones relacionadas con el cambio climático aceleran la degradación estructural de los puentes, pero el riesgo para estas estructuras en particular es bajo.
- ∞ La adaptación a un peligro climático específico no resuelve otros riesgos climáticos.
- ∞ El objetivo es crear sinergias y beneficios comunes entre la adaptación, la mitigación y otras prioridades centrales de satisfacción de las necesidades de la sociedad.

Anexo N°1. Acuse de recibido por el Ministerio de Ambiente - Avisos de consulta pública
(Red Social).

Panamá, 19 de agosto de 2024
SG-SAM-793-2024

Licenciada
Graciela Palacios
Dirección de Evaluación de Impacto Ambiental
Ministerio de Ambiente
Ciudad

Licenciada Palacios:

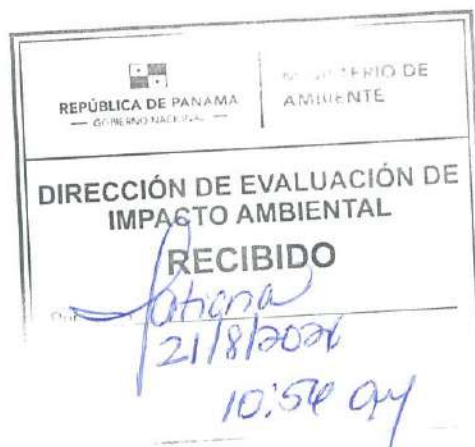
En seguimiento con el proceso de evaluación del Estudio de Impacto Ambiental Categoría II, denominado: **“REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN. CONSTRUCCIÓN DE PUENTES VEHICULARES (NUEVO MÉXICO, POLVORÍN, BROOK #1, BROOK #2 Y BROOK #3”**, ubicado en el distrito de Colón, provincia de Colón, hacemos entrega de Avisos de Consulta Pública realizados en la cuenta de Instagram de El Siglo, los días 13 y 15 de agosto de 2024.

Quedamos a su disposición para cualquier consulta adicional que requiera.

Atentamente,


Licdo. Rodolfo Caballero
Secretario General
RC/GM

c.c.: Ing. Gerassy Miranda – Jefa Nacional de la Sección Ambiental, encargada.
Ing. Juan R. Abad – Director Nacional de Inspección



Panamá, 20 de agosto de 2024

**Licenciada
Graciela Palacios
Directora de Evaluación de Impacto Ambiental
MINISTERIO DE AMBIENTE
E. S. D.**

Asunto: “Certificación de publicaciones en redes sociales (Instagram)”.

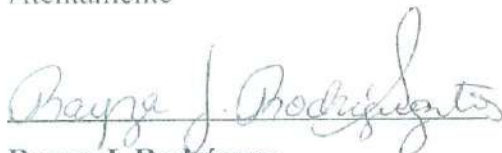
Estimada Licenciada Palacios,

Sean nuestras primeras palabras portadoras de un cordial saludo y deseándole éxitos en sus delicadas funciones.

Por este medio certificamos que se realizaron los Avisos de Consulta Pública en la cuenta de Instagram de El Siglo, los días 13 y 14 de agosto del 2024, correspondiente al Estudio de Impacto Ambiental, Categoría II denominado **“REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE CALLES DEL DISTRITO DE COLON. PUENTES VEHICULARES (NUEVO MEXICO, POLVORÍN, BROOK #1, BROOK #2 Y BROOK#3)”**, ubicado en los corregimientos de Cristóbal, Cativá y Sabanitas, distrito y provincia de Colón.

Sin más que agregar,

Atentamente



Rayza J. Rodríguez

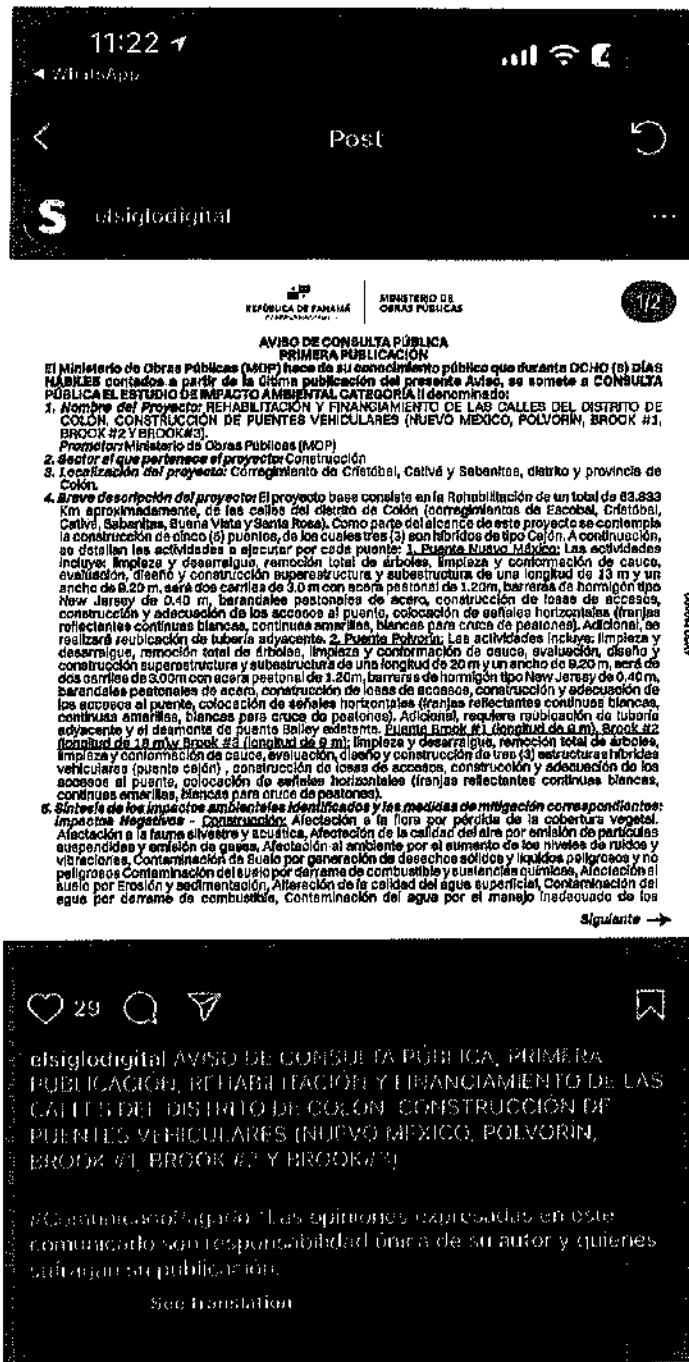
8-875-1469

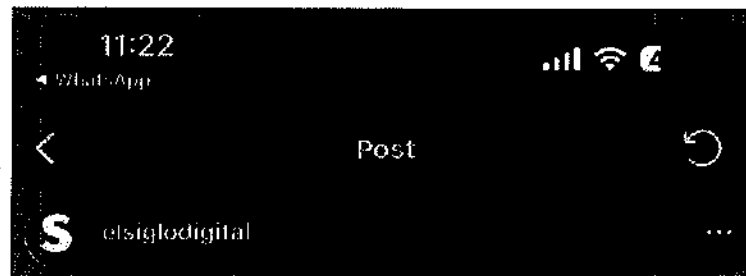
Departamento de Ventas y Publicidad

GEO-MEDIA, S.A.

PUBLICACIÓN EN INSTAGRAM (PRIMERA)

FECHA: MARTES 13 DE AGOSTO DE 2024





desechos sólidos y líquidos. Afectación a los moradores del área. Afectación a la Salud y Seguridad de los trabajadores.

Operación: Los impactos se generarán por los usuarios de la vía. Dentro de los impactos están: Afectación a la calidad de Aire por las emisiones de gases de combustión y Contaminación de Suelo y agua por la generación de desechos sólidos.

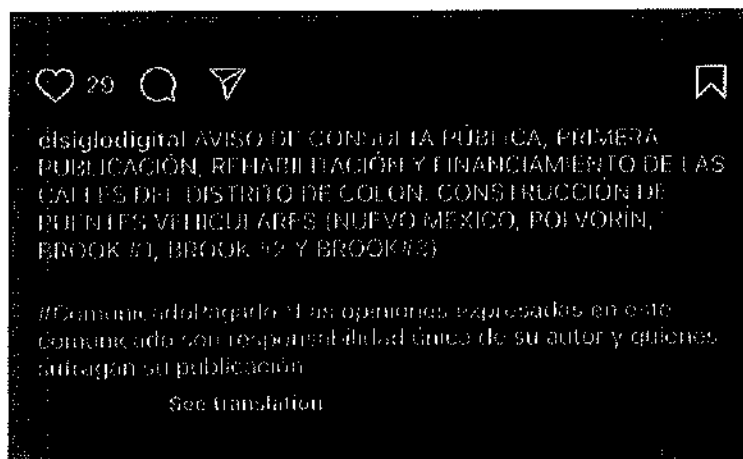
Impactos Positivos - Construcción: el impacto positivo más relevante se producirá sobre los factores socioeconómicos, especialmente sobre la generación de empleos y aumento de la economía local. **Operación:** Se cumplirá el objetivo del proyecto, el cual busca resolver la problemática generada por desbordamiento de agua, a fin de prevenir inundaciones en la calle, al igual que brindar un mejor acceso a las comunidades con la construcción de los puentes.

Medidas de mitigación: Dentro de las medidas de mitigación se pueden mencionar algunas de ellas para los siguientes factores ambientales: **Flora:** Hacer efectivo el pago en concepto de indemnización ecológica y talar / poder las especies estrictamente requeridas para la ejecución de la obra. Elaborar e implementar el Plan de Compensación Ambiental (reforestación). Remover la vegetación estrictamente necesaria. **Caza:** Elaborar e implementar el Plan de Rescate y Reubicación de Fauna y Flora. Velar que se cumplan las leyes y normas establecidas sobre la protección a la fauna silvestre, capacitación al personal en tema de Prohibido la caza y pesca, colocación de letreros de Prohibido la caza y pesca. **Air:** Circular los equipos, camiones y otros vehículos en velocidades moderadas, humedecimiento del suelo, lugares adecuados para el almacenamiento, mezcla y carga de los materiales, uso de lonas sobre los camiones de carga de tierra y material pétreo, cubrir materiales para evitar la dispersión de partículas, monitoreo de calidad de aire, plan de mantenimiento preventivo y correctivo para cada equipo, vehículo y/o maquinaria. No se incinerarán desperdicios en el sitio, los trabajos de construcción deberán ser realizados en horarios diurnos, monitoreo de ruido ambiental.

Suelo: Disposición adecuada de los desechos, mantener bolsas plásticas en cada frente para la disposición de desechos, gestionar los permisos necesarios ante las autoridades locales para la disposición final de los desechos sólidos. Capacitar al personal en manejo de desechos, Evitar la compactación de suelos adyacentes al sitio de obras, Restaurar los sitios o áreas que han sido intervenidos temporalmente. En caso de producirse derrames se removerán de inmediato los suelos afectados y serán depositados en tanques, evidencias de recolección, transporte, tratamiento y/o disposición final de los desechos peligrosos y contaminantes y no peligrosos a través de un gestor autorizado. Cumplir con la Resolución N° 0427-2021 del 11 de agosto de 2021. Colocar trampas de retención de suelo, realizar revegetación de áreas expuestas que fueron intervenidas durante la construcción. **Agua:** Tramitar los permisos de obra en cauce, aplicar plan de seguimiento y vigilancia, Se mantendrán barreras de retención de sedimentos, Monitoreo de la calidad de agua, Supervisar que no sean vertidas aguas negras, No permitir el vertimiento de basura, o cualquier otro tipo de desecho en cuerpos de agua, Instalar sanitarios portátiles, Contar con kit contra derramo. **Salud y Seguridad**

Ocupacional: Dotar de equipo de protección personal de acuerdo con las actividades a realizar. Mantener el área ordenada y limpia. Contar e implementar con el Plan de seguridad y salud ocupacional. **Seguridad:** Mantener en todo momento una buena relación con los residentes más cercanos al proyecto. Colocar señales de seguridad colectivas. **Arqueología:** En caso de darse algún hallazgo arqueológico, se debe comunicar a la DNPC-MICultura para solicitar el permiso correspondiente encaminado a caracterizar/rescatar el punto de hallazgo.

c. Pazo y Lugar de Recepción de Observaciones: El Estudio de Impacto Ambiental completo estará disponible en las oficinas de la Dirección Regional del Ministerio de Ambiente Regional de Colón y en el Ministerio de Ambiente, oficina de Nivel Central ubicada en Albrook, edificio No. 804, en horario de noche de la mañana a cuatro de la tarde (3:00 a.m. a 4:00 p.m.). Los comentarios y recomendaciones sobre el referido estudio deberán remitirse formalmente al Ministerio de Ambiente Nivel Central o Dirección Regional de Colón, dentro del término de OCHO (8) DIAS HÁBILES contados a partir de la fecha de la última publicación de este aviso.



PUBLICACIÓN EN INSTAGRAM (ÚLTIMA)

FECHA: JUEVES 15 DE AGOSTO DE 2024



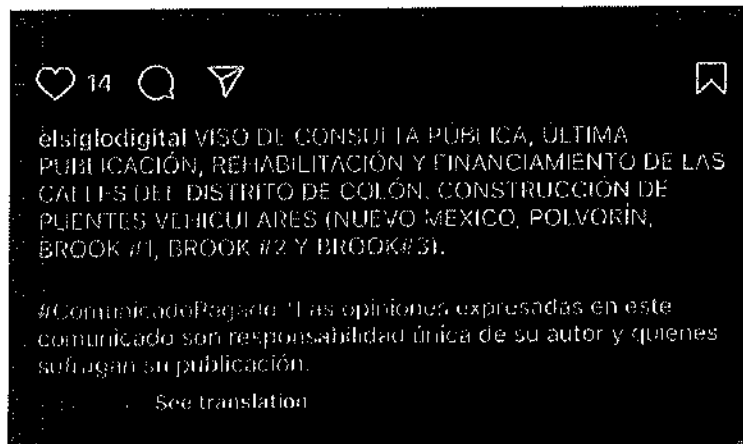
REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

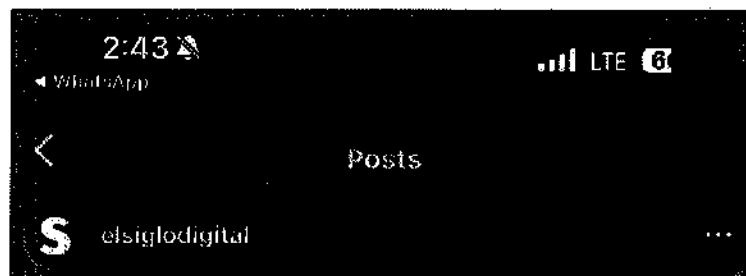
AVISO DE CONSULTA PÚBLICA
ÚLTIMA PUBLICACIÓN

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) hace de su conocimiento público que durante OCHO (8) DÍAS HÁBILES contados a partir de la última publicación del presente Aviso, se somete a CONSULTA PÚBLICA EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CATEGORÍA II denominado:

1. **Nombre del Proyecto:** REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN. CONSTRUCCIÓN DE PUENTES VEHICULARES (NUEVO MÉXICO, POLVORÍN, BROOK #1, BROOK #2 Y BROOK #3). Promotor: Ministerio de Obras Públicas (MOP)
2. **Sector al que pertenece el proyecto:** Construcción
3. **Localización del proyecto:** Corregimiento de Cristóbal, Catió y Sabanita, distrito y provincia de Colón.
4. **Breve descripción del proyecto:** El proyecto base consiste en la Rehabilitación de un total de 63,833 Km aproximadamente, de las calles del distrito de Colón (corregimientos de Escobal, Cristóbal, Catió, Sabanita, Buena Vista y Santa Rosa). Como parte del alcance de este proyecto se contempla la construcción de cinco (5) puentes, de los cuales tres (3) son híbridos de tipo Cajón. A continuación, se detallan las actividades a ejecutar por cada puente: 1. **Puente Nuevo México:** Las actividades incluyen: limpieza y desarraigado, remoción total de árboles, limpieza y conformación de cauce, evaluación, diseño y construcción superestructura y subestructura de una longitud de 13 m y un ancho de 6.20 m, será dos carriles de 3.0 m con acera peatonal de 1.20m, barreras de hormigón tipo New Jersey de 0.40 m, barandales peatonales de acero, construcción de losas de accesos, construcción y adecuación de los accesos al puente, colocación de señales horizontales (franjas reflectantes continuas blancas, continuas amarillas, blancas para cruce de peatones). Adicional, se realizará reubicación de tubería adyacente. 2. **Puente Polvorín:** Las actividades incluyen: limpieza y desarraigado, remoción total de árboles, limpieza y conformación de cauce, evaluación, diseño y construcción superestructura y subestructura de una longitud de 20 m y un ancho de 6.20 m, será dos carriles de 3.0 m con acera peatonal de 1.20m, barreras de hormigón tipo New Jersey de 0.40 m, barandales peatonales de acero, construcción de losas de accesos, construcción y adecuación de los accesos al puente, colocación de señales horizontales (franjas reflectantes continuas blancas, continuas amarillas, blancas para cruce de peatones). Adicional, requiere reubicación de tubería adyacente y el desmonte de puente Bailey existente. 3. **Puente Brook #1 (longitud de 6 m), Brook #2 (longitud de 18 m) y Brook #3 (longitud de 9 m):** Las actividades incluyen: limpieza y desarraigado, remoción total de árboles, limpieza y conformación de cauce, evaluación, diseño y construcción de tres (3) estructuras híbridas vehiculares (puente cajón), construcción de losas de accesos, construcción y adecuación de los accesos al puente, colocación de señales horizontales (franjas reflectantes continuas blancas, continuas amarillas, blancas para cruce de peatones).
5. **Síntesis de los impactos ambientales identificados y las medidas de mitigación correspondientes:**
Impactos Negativos - Construcción: Afectación a la flora por pérdida de la cobertura vegetal. Afectación a la fauna silvestre y acuática, Afectación de la calidad del aire por emisión de partículas suspendidas y emisión de gases, Afectación al ambiente por el aumento de los niveles de ruidos y vibraciones, Contaminación de Suelo por generación de desechos sólidos y líquidos peligrosos y no peligrosos, Contaminación del suelo por derrame de combustible y sustancias químicas, Afectación al suelo por erosión y sedimentación, Alteración de la calidad del agua superficial, Contaminación del agua por derrame de combustible, Contaminación del agua por el manejo inadecuado de los desechos sólidos y líquidos, Afectación a los moradores del área, Afectación a la Salud y Seguridad de los trabajadores.

[Siguiente](#) →



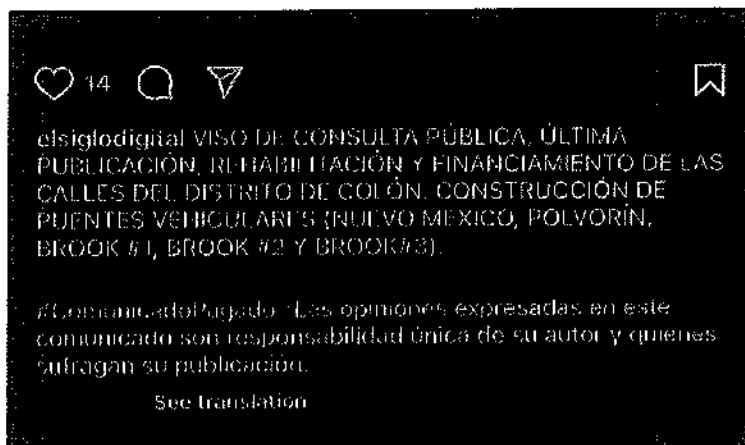


Operación: Los impactos se generarán por los usuarios de la vía. Dentro de los impactos están: Afectación a la calidad de Aire por las emisiones de gases de combustión y Contaminación de Suelo y agua por la generación de desechos sólidos.

Impactos Positivos - Construcción: el impacto positivo más relevante se producirá sobre los factores socioeconómico, especialmente sobre la generación de empleos y aumento de la economía local. **Operación:** Se cumplirá el objetivo del proyecto, el cual busca resolver la problemática generada por desbordes de agua, a fin de prevenir inundaciones en la calle, al igual que brindar un mejor acceso a las comunidades con la construcción de los puentes.

Medidas de mitigación: Dentro de las medidas de mitigación se pueden mencionar algunas de ellas para los siguientes factores ambientales: **Fuente:** Hacer efectivo el pago en concepto de indemnización ecológica y tener / poder las especies estrictamente requeridas para la ejecución de la obra, Elaborar e implementar el Plan de Compensación Ambiental (Reforestación), Retovar la vegetación estrictamente necesaria. **Fuente:** Elaborar e implementar el Plan de rescate y Rehabilitación de Fauna y Flora, Valor que se cumplen las leyes y normas establecidas sobre la protección a la fauna silvestre, capacitación al personal en tema de Prohibido la caza y pesca, colocación de letreros de Prohibido la caza y pesca **Aire:** Circular los equipos, camiones y otros vehículos en velocidades moderadas, humedamiento del suelo, lugares adecuados para el almacenamiento, mezcla y carga de los materiales, uso de lonas sobre los camiones de carga de tierra y material pétreo, cubrir materiales para evitar la dispersión de partículas, monitoreo de calidad de aire, plan de mantenimiento preventivo y correctivo para cada equipo, vehículo y/o maquinaria, No se incinerarán desperdicios en el sitio, los trabajos de construcción deberán ser realizados en horarios diurnos, monitoreo de ruido ambiental, **Suelo:** Disposición adecuada de los desechos, mantener bolsas plásticas en cada frente para la disposición de desechos, gestionar los permisos necesarios ante las autoridades locales para la disposición final los desechos sólidos, Capacitar al personal en manejo de desechos, Evitar la compactación de suelos alejados al sitio de obras, Restaurar los sitios o áreas que han sido intervenidos temporalmente, En caso de producirse derrames se removerán de inmediato los suelos afectados y serán depositados en tanques, evidencias de recolección, transporte, tratamiento y/o disposición final de los desechos peligrosos y contaminantes y no peligrosos a través de un gestor autorizado, Cumplir con la Resolución N° 0427-2021 del 11 de agosto de 2021, Colocar trampas de retención de suelo, Realizar revegetación de áreas expuestas que fueron intervenidas durante la construcción. **Agua:** Tramitar los permisos de obra en cauce, aplicar plan de seguimiento y vigilancia, Se mantendrán barreras de retención de sedimentos, Monitoreo de la calidad de agua, Supervisar que no sean vertidos aguas negras, No permitir el vertimiento de basura, o cualquier otro tipo de desecho en cuerpos de agua, Instalar sanitarios portátiles, Contar con kit contra derrame. **Salud y Seguridad Ocupacional:** Dotar de equipo de protección personal de acuerdo con las actividades a realizar, Mantener el área ordenada y limpia, Contar e implementar con el Plan de seguridad y salud ocupacional. **Social:** Mantener en todo momento una buena relación con los residentes más cercanos al proyecto, Colocar señales de seguridad colectivas. **Arqueología:** En caso de darse algún hallazgo arqueológico, se debe comunicar a la DNPC-MiCultura para solicitar el permiso correspondiente denominado a caracterizar/rescatar el punto de hallazgo.

6. Plaza y Lugar de Recepción de Observaciones: El Estudio de Impacto Ambiental completo estará disponible en las oficinas de la Dirección Regional del Ministerio de Ambiente Regional de Colón y en el Ministerio de Ambiente, oficina de Nivel Central ubicada en Albrook, edificio No. 804, en horario de ocho de la mañana a cuatro de la tarde (8:00 a.m. a 4:00 p.m.). Los comentarios y recomendaciones sobre el referido estudio deberán remitirse formalmente al Ministerio de Ambiente Nivel Central o Dirección Regional de Colón, dentro del término de OCHO (8) DÍAS HÁBILES contados a partir de la fecha de la última publicación de este aviso.



Anexo N°2. Estudios hidrológicos e hidráulicos de los puentes



REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**PROYECTO: "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL
DISTRITO DE COLÓN"
PROVINCIA DE COLÓN**

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE PUENTE BROOK BRAZO 1
(EST. 2K+136.81 – 3K+136.81)**

PRESENTADO POR:

CONSORCIO IRC CONSTRUCTORES



Ingeniería y Tecnología Especializada en
Concreto, Puentes y Acero



CONCOR, S. A.

SEPTIEMBRE DE 2023

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	3
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	3
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	3
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS	5
4.3. CÁLCULO DE CAUDALES	7
4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA	7
4.3.2. MÉTODO RACIONAL	10
5. ANÁLISIS HIDRÁULICO	16
5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA	16
5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO	26
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce de la quebrada Brook brazo 1	4
Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente sobre la quebrada Brook brazo 1	6
Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA)	9
Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres	11
Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth	14
Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS	17
Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 5.0.7	18
Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS	19
Imagen 5.1. 4– Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS	20
Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado	21
Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)	22
Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente	23
Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)	24
Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén	24
Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo	25



Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS	25
Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS.....	26
Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS	26
Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce	27
Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba	28
Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo	29
Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre la quebrada Potrero.....	30
Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años	31
Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS	32
Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+200.....	36
Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+140.00 a 0+200.00	37
Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+065.05 a 0+120.00	38
Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+020.00 a 0+053.62	39
Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce quebrada sin nombre. Estaciones 0+000.00 a 0+040.00	40

Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de cuencas (método racional).....	15

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el estudio hidrológico e hidráulico para el diseño final del puente sobre la quebrada Brook brazo 1, para el proyecto denominado "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN", en la provincia de Colón.

2. UBICACIÓN

El puente actual es un cajón pluvial de 7.00m de ancho, ubicado en la coordenada UTM 17N: 621136.53E y 1030571.59N (Imagen 4. 2), el cual lo términos de referencia del proyecto piden reemplazar por un puente de dos carriles de 3.35 m de ancho cada uno, 0.60m de hombros, barreras de hormigón tipo New Jersey, una acera lateral peatonal de 1.50m de ancho y, una luz de puente de 9.00m de longitud.

3. OBJETIVOS

- 2.1. Determinación de cuenca del puente
- 2.2. Determinación del caudal de diseño para período de retorno de 100 años
- 2.3. Determinación del nivel de agua máximo extraordinario (N.A.M.E.)

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

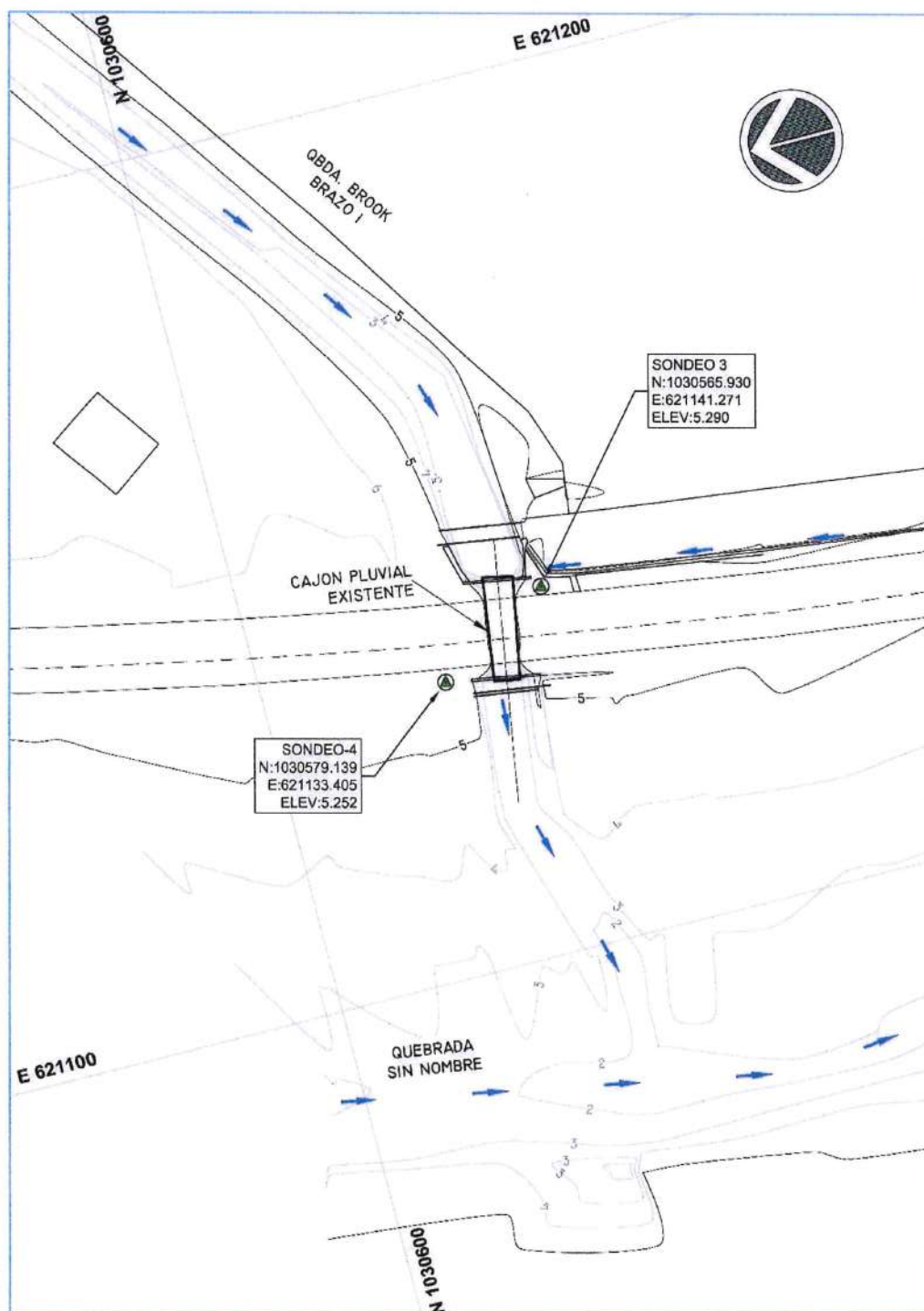
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para realizar el estudio y análisis del proyecto del puente, se procedió a encontrar la coordenada del proyecto por medio de navegadores GPS para confirmar su ubicación y, luego se establecieron puntos de control topográfico de amarre, para realizar un levantamiento topográfico terrestre del puente existente y del cauce de la quebrada Brook brazo 1, por medio equipo de estación total.

El alcance del levantamiento del cauce fue de 50.00m aguas arriba y 50.00m aguas abajo con el cual posteriormente, se elaboró respectivo plano topográfico (Imagen 4. 1).



Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce de la quebrada Brook brazo 1



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS

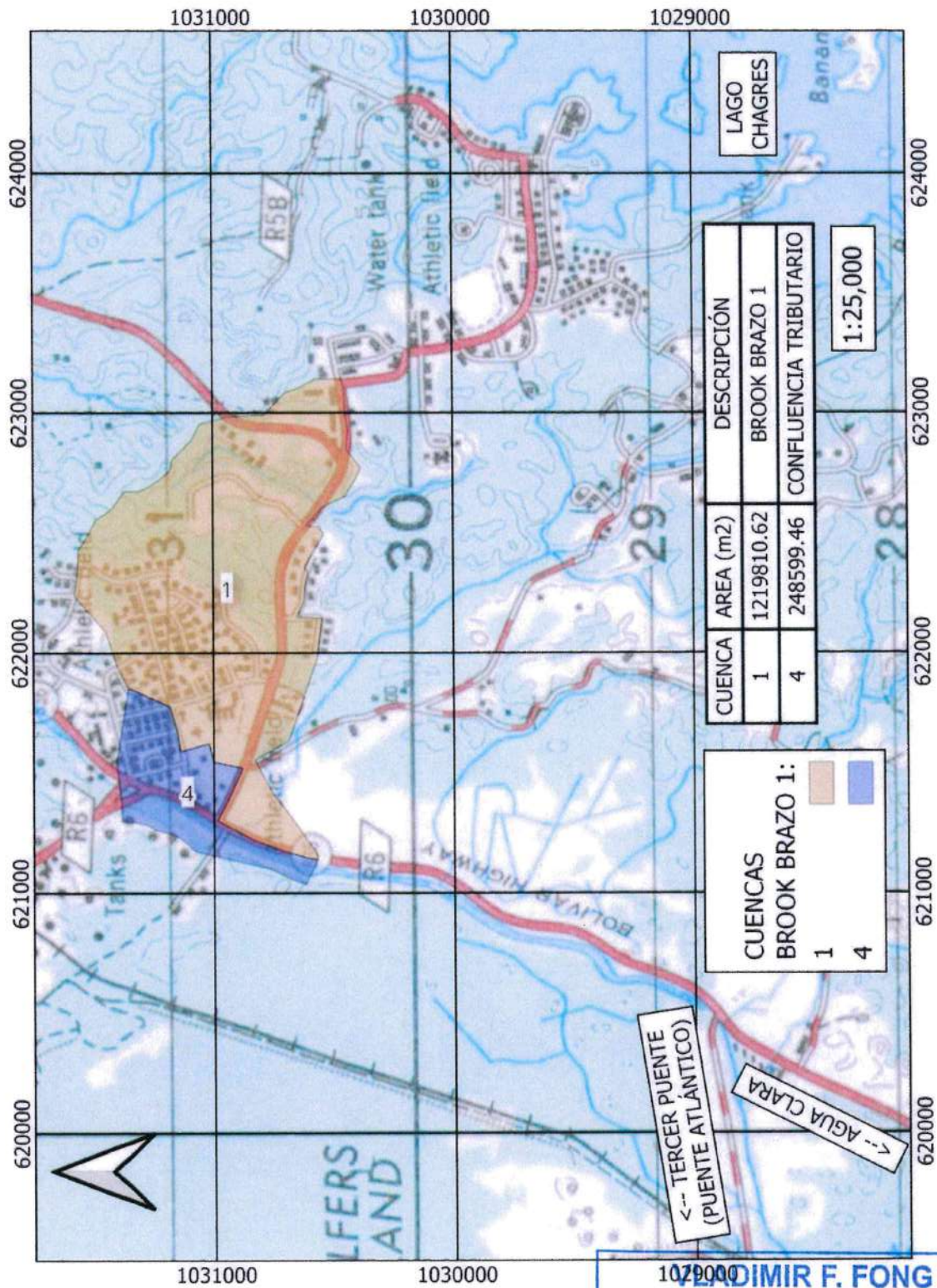
La determinación de la cuenca se realizó comparando los mosaicos topográficos a escalas 1:50,000 y 1:25,000 del Instituto Geográfico Tommy Guardia, con inspecciones de campo e información satelital GIS, encontrándose que los mosaicos 1:50,000 están más congruentes con lo observado, por lo tanto, fueron los que se utilizaron para el análisis gráfico de las cuencas.

Los mosaicos topográficos seleccionados se manipularon en una aplicación de computadora para colocarlos en sus coordenadas y escalas respectivas, para así gráficamente seguir y determinar la divisoria de aguas de la cuenca por medio de herramientas vectoriales de dibujo, hasta definirla por completo y determinar su área en unidades de metros cuadrados, siendo para el puente Brook Brazo 1 de 1,219,810.62 m² (Imagen 4. 2).

También se definió la cuenca de la quebrada sin nombre a la que tributa la quebrada Brook Brazo 1, ya que se ha incluido dentro del análisis hidráulico el comportamiento hidráulico tomando en cuenta el efecto de la confluencia entre ambos cauces.



Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente sobre la quebrada Brook brazo 1



Vladimir F. Fong B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3. CÁLCULO DE CAUDALES

4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA

Con la ubicación y área de la cuenca determinadas, se encontró que no podría utilizarse de manera directa el Método Regional de Crecidas Máximas de ETESA, porque la cuenca del proyecto se ubica dentro de la cuenca número 117, la cual no pertenece a ninguna región hidrológicamente homogénea del método regional (Imagen 4.3. 1).

Por otra parte, aunque los pliegos del proyecto indican que se utilizó el método regional para predimensionar los puentes del punto crítico, dejan a criterio de la empresa ganadora el cálculo definitivo.

Respecto a la utilización del método regional, las zonas hidrológicamente homogéneas más cercanas a la ubicación del proyecto son las pertenecientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), específicamente las zonas 1, 2 y 3. También la zona 7 forma parte de la cuenca del río Chagres, entonces, las ecuaciones de cada una de esas zonas tienen las siguientes expresiones:

Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53

Reemplazando en las ecuaciones anteriores, el valor de área de la cuenca en unidades de kilómetros cuadrados (en la variable "A"), se obtuvieron los siguientes resultados de caudal:

Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años	Caudal 100 años (m³/s)
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 \times 1.2198^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	102.45
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 \times 1.2198^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	96.72
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25.0 \times 1.2198^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	75.33
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9.0 A \times 1.2198^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	25.60

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

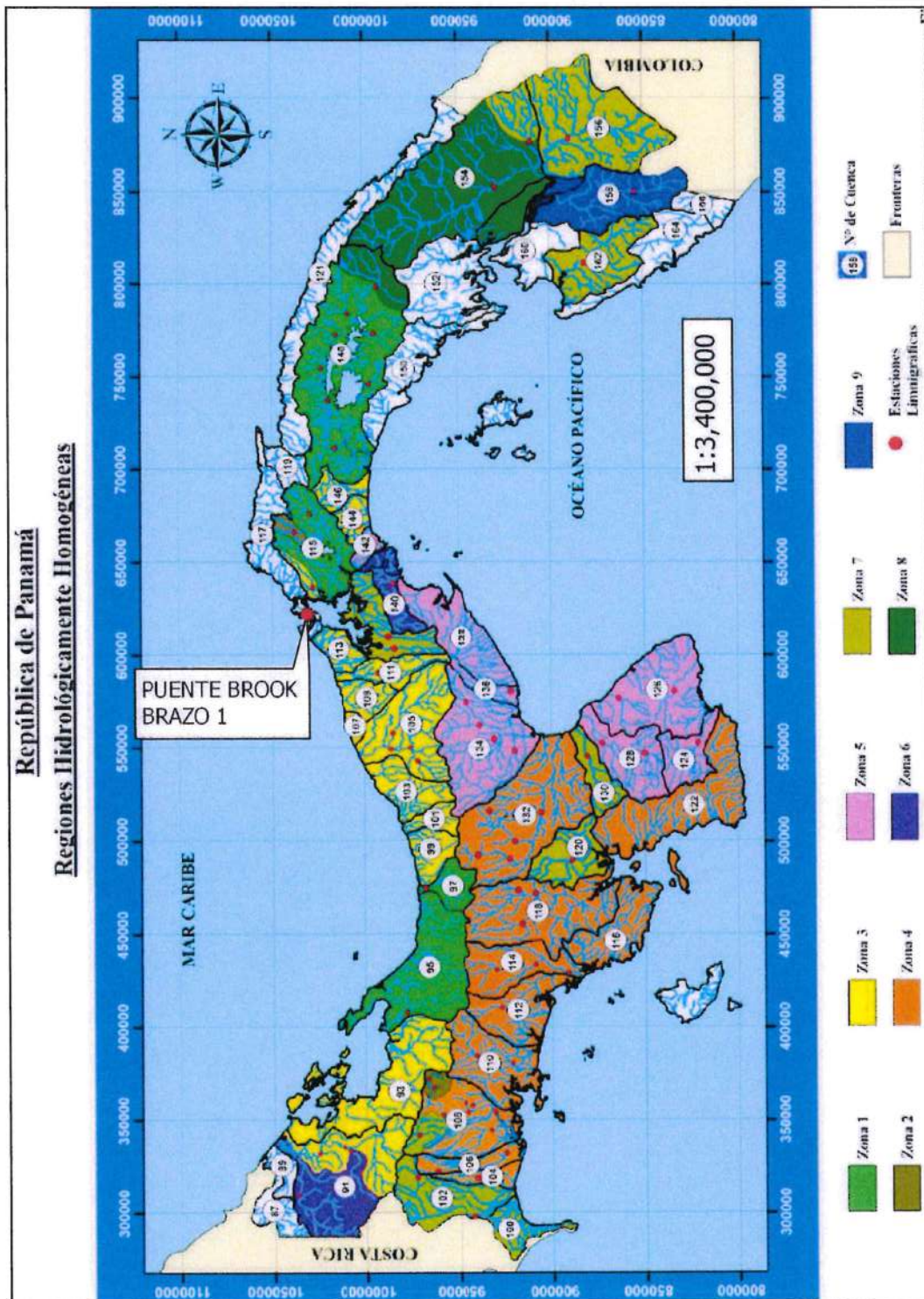
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectur**44**

Como puede observarse, existe una significativa variación de resultados entre las ecuaciones correspondientes a las zonas hidrológicas más cercanas al proyecto (zonas 1, 2 y 3), principalmente entre la zona 1 y 3, ya que el caudal de la zona 1 ha resultado ser 1.36 veces más grande que el de la zona 3.

Siguiendo esa misma lógica, se ha comparado el caudal de la zona 1 con el de la zona 7, encontrándose que el de la zona 1 es 4.00 veces mayor. Por esa razón es que, en el presente estudio, se ha realizado el cálculo de caudales por el método racional, ya que es un método válido en Panamá, para el cual se han desarrollado ecuaciones de intensidad duración y frecuencia (IDFs), de varias cuencas dentro de la república de Panamá, y para varios períodos de retorno. Los cálculos efectuados se presentan con mayor detalle en el acápite siguiente.



Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 46

4.3.2. MÉTODO RACIONAL

El Manual de Aprobación de Planos de Panamá 2021, limita explícitamente el uso del método racional para áreas menores de 250.00 Ha (2.5 Kms²), por lo tanto, podría utilizarse para el cálculo de caudal de la cuenca del puente Brook brazo 1, ya que dicha cuenca tiene una extensión de 1.2198 Km², la cual es menor que 2.50 Km².

La expresión matemática del método racional puede adoptar muchas formas, dependiendo de las unidades de las dimensiones utilizadas en las variables relacionadas, con la inclusión de un factor de conversión adecuado. Para el caso del proyecto se ha utilizado la siguiente:

$$Q = \frac{C \times A \times i}{3.6}$$

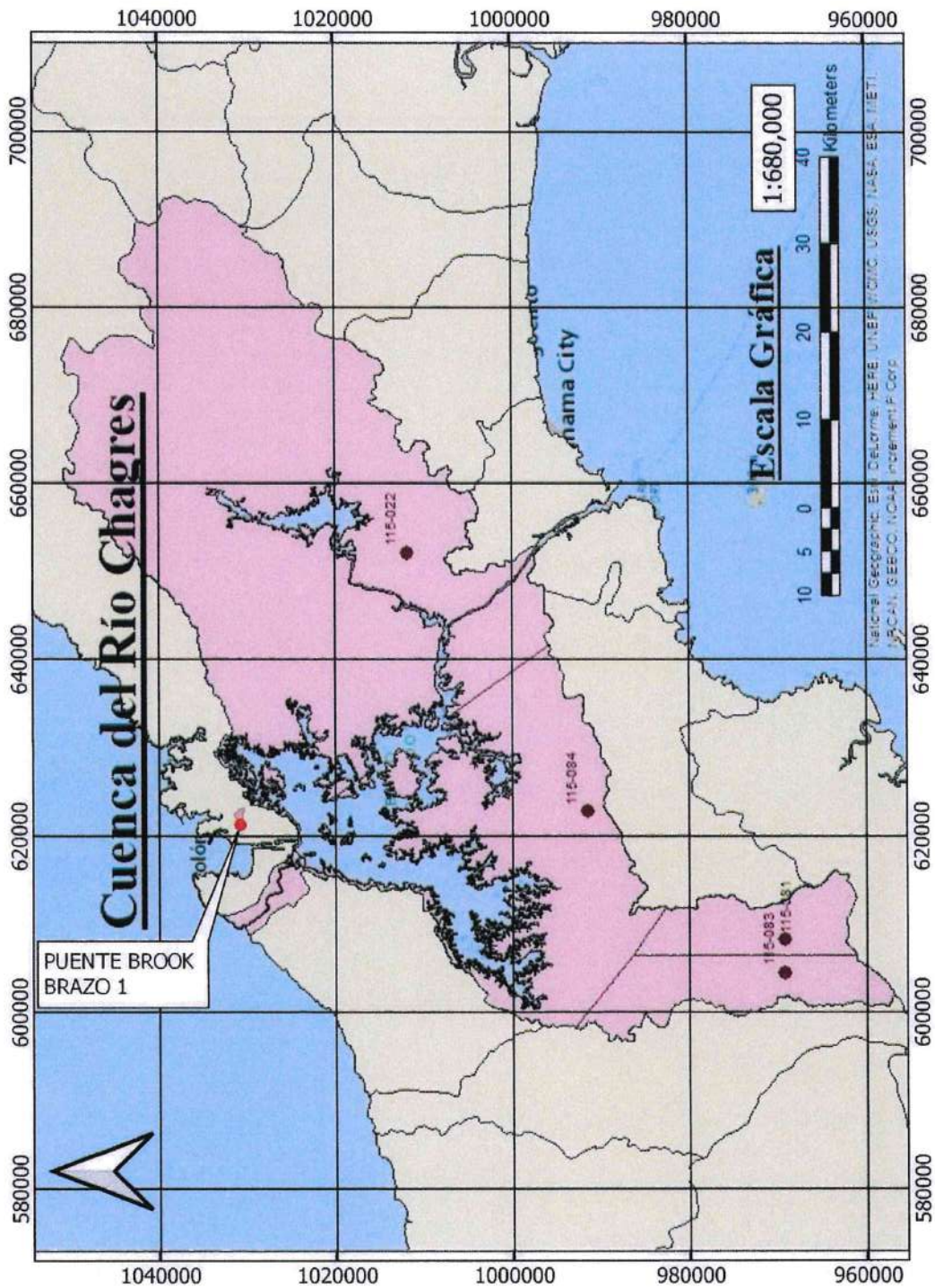
En donde:

- Q = caudal hidrológico en unidades de m³/s
- C = coeficiente de escorrentía adimensional, que según términos de referencia del proyecto es de 0.85
- A = área de drenaje de la cuenca en unidades de km²
- I = intensidad de precipitación de lluvia en unidades de mm/h, obtenida de las ecuaciones intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca, a la duración de la lluvia (tiempo de concentración), periodo de retorno de interés (100 años para el proyecto),

Las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia utilizadas fueron las disponibles en el Manual de Aprobación de planos del MOP vigente (año 2021), específicamente las correspondientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), ya que el puente se encuentra muy cerca de la desembocadura de esa cuenca (a menos de 4.00 Kms de distancia).



Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIAN°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos periodos de retorno

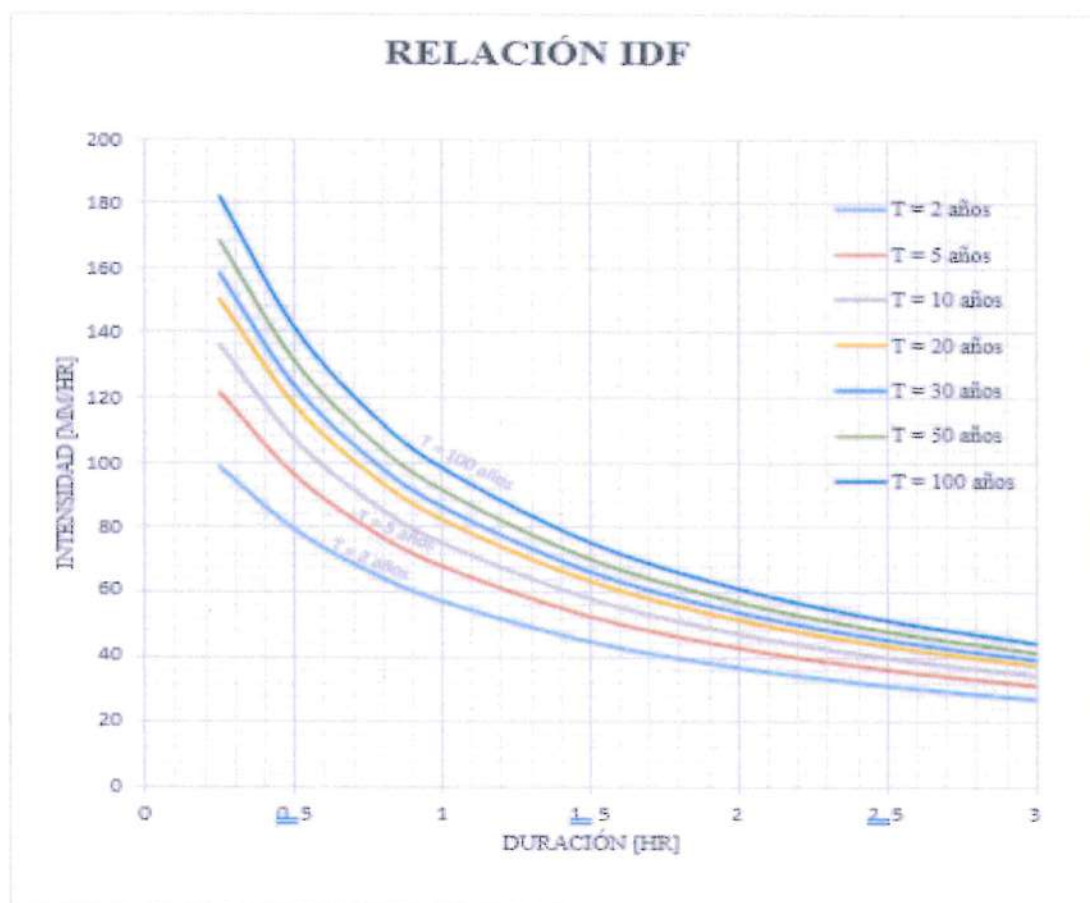


Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos periodos de retorno

$I = \frac{a}{d + b}$							
T [años]	2	5	10	20	30	50	100
a [mm]	102.821	116.305	126.787	137.202	143.280	150.934	161.326
b [hr]	0.793	0.707	0.681	0.663	0.656	0.647	0.637
R ²	99.49%	99.52%	99.51%	99.51%	99.50%	99.50%	99.49%

Para determinar el tiempo de concentración se compararon los resultados de las fórmulas de Brasby-Williams, Federal Aviation Agency, Kirpich y la de la onda cinemática, para la trayectoria de escurrimientos de aguas más larga determinada en los mosaicos topográficos. A continuación, se presentan las fórmulas de tiempos de concentración mencionadas.

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Fórmula de Brasby-Williams:

$$T_c = \frac{0.96 \times L^{1.20}}{(H^{0.20} \times A^{0.10}) \times 60}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

H = desnivel existente entre el punto de inicio y el punto final de escurrimiento

A = área de la cuenca en unidades de Kms²

Fórmula de la Federal Aviation Agency:

$$T_c = \frac{3.26 \times (1.10 - C) \times L^{0.50}}{(100 \times S)^{0.33}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escurrimiento del método racional, adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escurrimiento de Manning adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de la onda cinemática:

$$T_c = \frac{0.94 \times L^{0.60} \times n^{0.60}}{i^{0.40} \times S^{0.30}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de pies

n = coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

i = intensidad de lluvia en pulg/h

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de pie/pie

VLADIMIR F. FONG B.

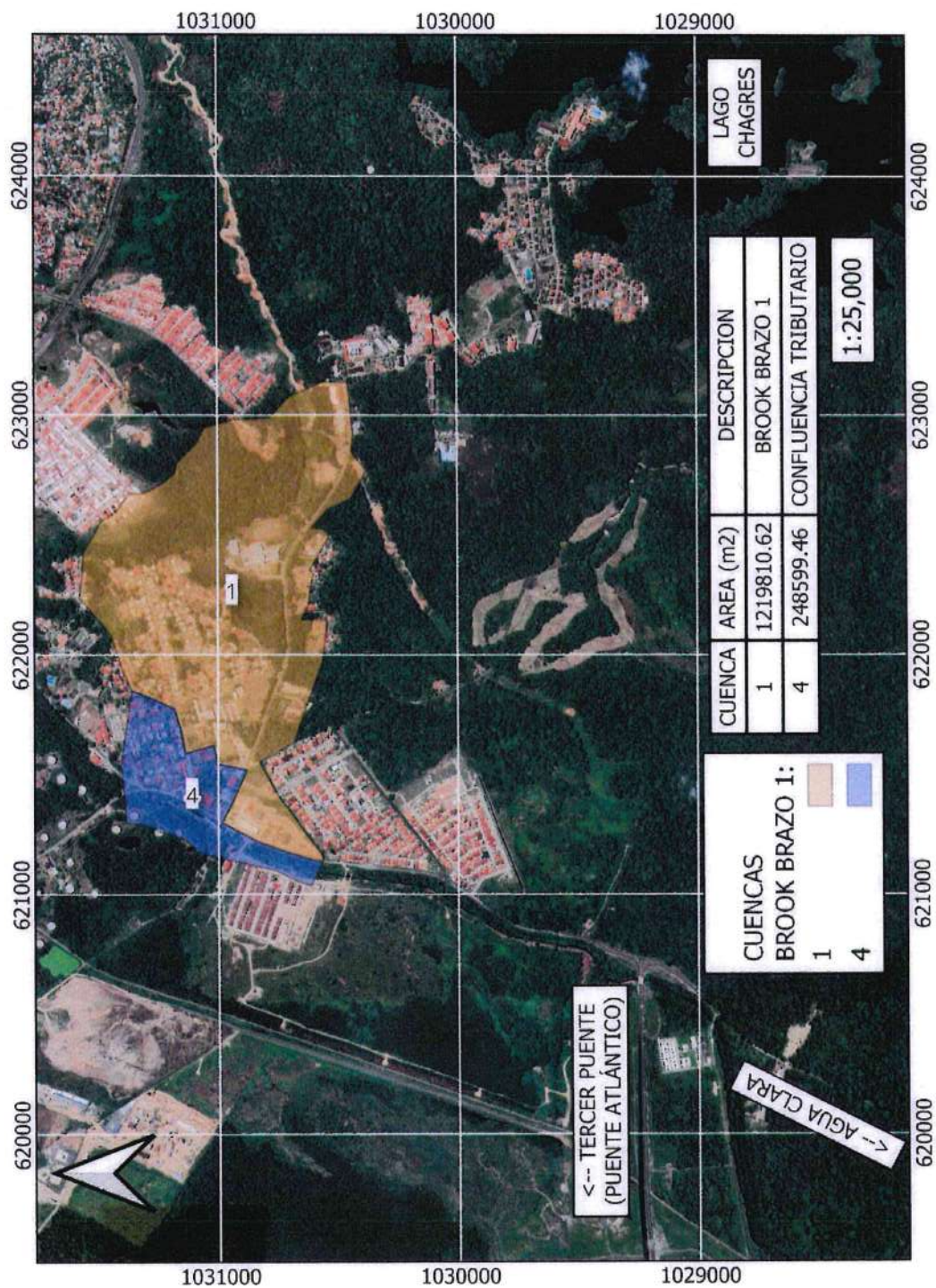
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth



Un resumen de los cálculos efectuados para las 2 cuencas involucradas se muestra en la siguiente tabla:

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959 51
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de cuencas (método racional)

CÁLCULOS HIDROLÓGICOS																		
Número de cuenca	Área, m ²	Área, Km ²	Distancia de escurrimiento, m	Elevaciones, msnm			Pendiente de Drenajes, m/m	C, método racional (adimensional)	CN-II, ponderado (adimensional)	CN-III, ponderado (adimensional)	T _c , min					Frecuencia de Lluvia, años	Intensidad de la lluvia, mm/h	Caudal método Racional, m ³ /s
				Punto alto	Punto bajo	Diferencia de alturas					Brasby-Williams	Federal Aviation Agency	Kirpich	Ecuación de retardo SCS, CN-II	Adoptado			
1	1,219,810.62	1.2198	1952.00	20.00	5.00	15.00	0.0077	0.85	95.00	98.00	73.31	39.28	43.43	74.02	75.00	100	85.49	24.62
4	248,599.46	0.2486	890.00	10.00	5.00	5.00	0.0056	0.85	95.00	98.00	41.72	29.41	26.76	46.19	45.00	100	116.31	6.83

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para realizar el análisis hidráulico del cauce Brook brazo 1 de la cuenca, se tomó en cuenta la ubicación del puente proyectado, la conformación de cauce necesaria para incrementar la anchura del cauce inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado y, el efecto de la confluencia que se forma con la quebrada sin nombre ubicada inmediatamente aguas abajo.

Se utilizó la aplicación computarizada HEC-RAS 6.3.1, la cual es una aplicación de análisis unidimensional de distribución gratuita y de amplio uso y aceptación a nivel mundial.

Para realizar el análisis en la aplicación, se elaboró la modelación en el editor geométrico de HEC-RAS. Este editor exige que se ingrese la información topográfica de cada sección transversal del cauce en estudio, lo más perpendicular posible a la dirección de la corriente y, en el sentido de aguas abajo a aguas arriba.

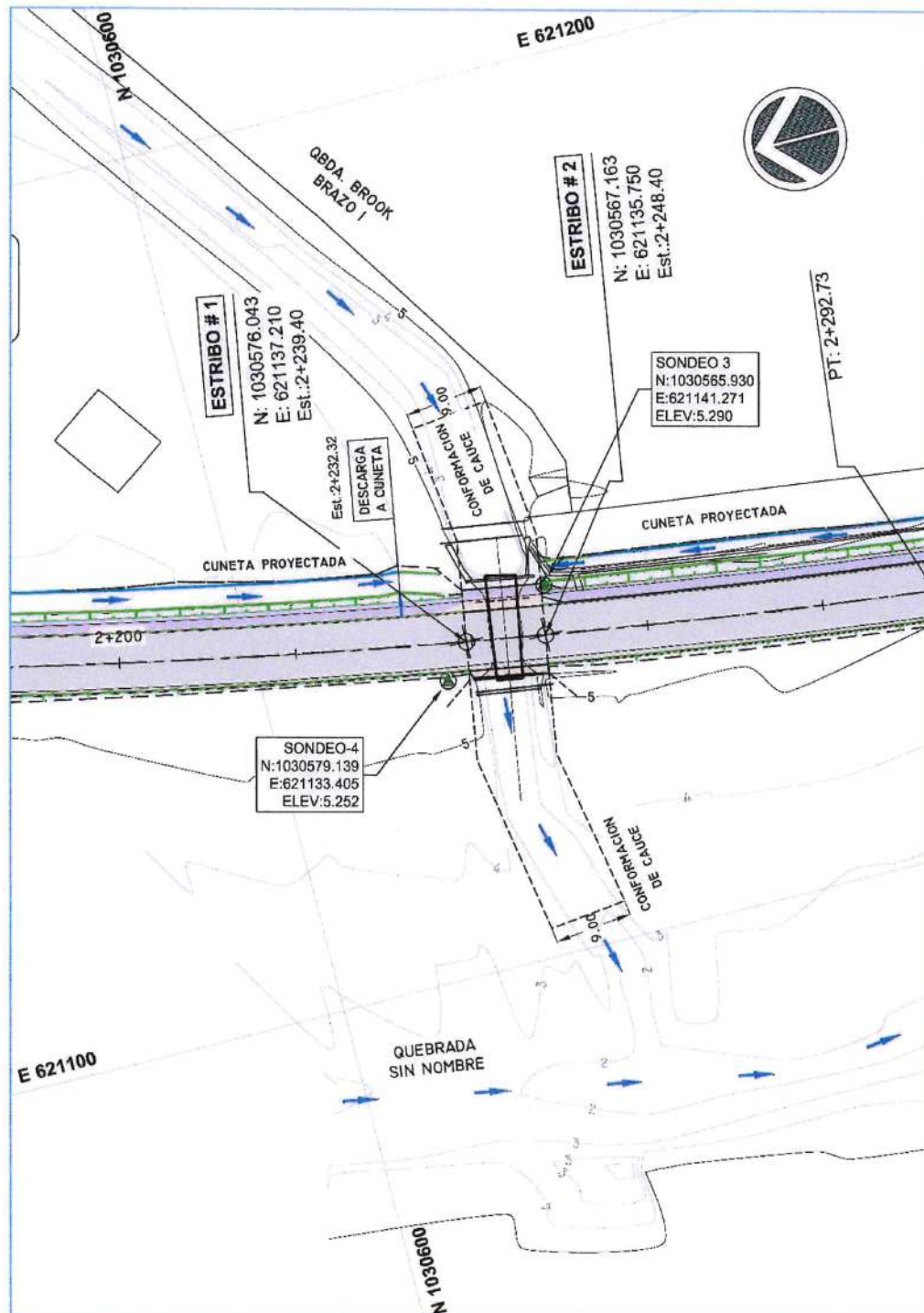
Con el levantamiento topográfico realizado, se obtuvieron secciones transversales del cauce a cada 20.00m de separación. Luego se introdujeron los datos geométricos de las secciones transversales en el editor geométrico del HEC-RAS. Para completar el modelo basándose en la inspección visual realizada al sitio del puente, se asignaron los coeficientes de rugosidad de Manning que se consideraron más adecuados para el canal del cauce y para las planicies de inundación del cauce. También se modeló la geometría del puente proyectado, tomando en cuenta la conformación de cauce necesaria, para simular taludes de protección con inclinación 1.50H: 1.00V inmediatamente aguas arriba y aguas debajo de la ubicación de puente proyectado.

Con el caudal máximo obtenido en el acápite anterior (período de retorno de 100 años), se asignaron las condiciones hidráulicas de frontera para análisis estático, para profundidad normal tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que por desconocerse su comportamiento, el análisis se configuró a régimen mixto, pues esta opción permite analizar simultáneamente a régimen de flujo sub crítico y a régimen supercrítico el modelo, los cuales compara internamente y arroja los resultados de la solución numérica más estable, que para el caso en estudio la quebrada Brook brazo 1 resultó tener comportamiento mayoritariamente sub crítico, con números de Froude en la mayoría de las secciones transversales menores que 1.00.

A continuación, se muestran capturas de pantallas de la modelación y configuraciones realizadas, ilustrando los parámetros y valores utilizados en el análisis hidráulico (de Imagen 5.1. 1 a Imagen 5.1. 13).



Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

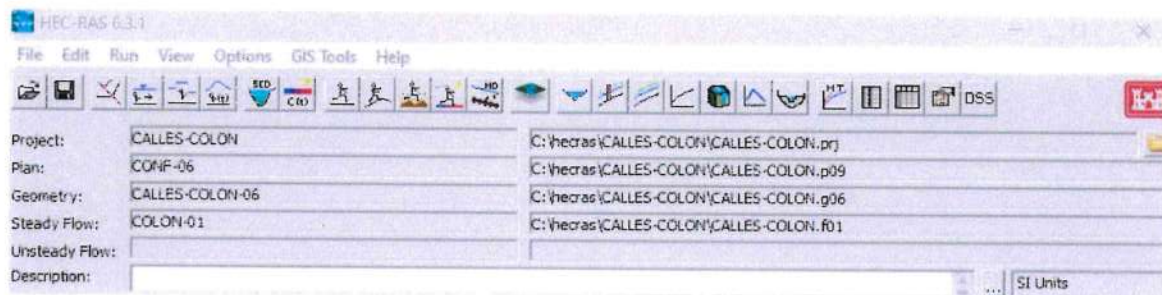
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 5.0.7

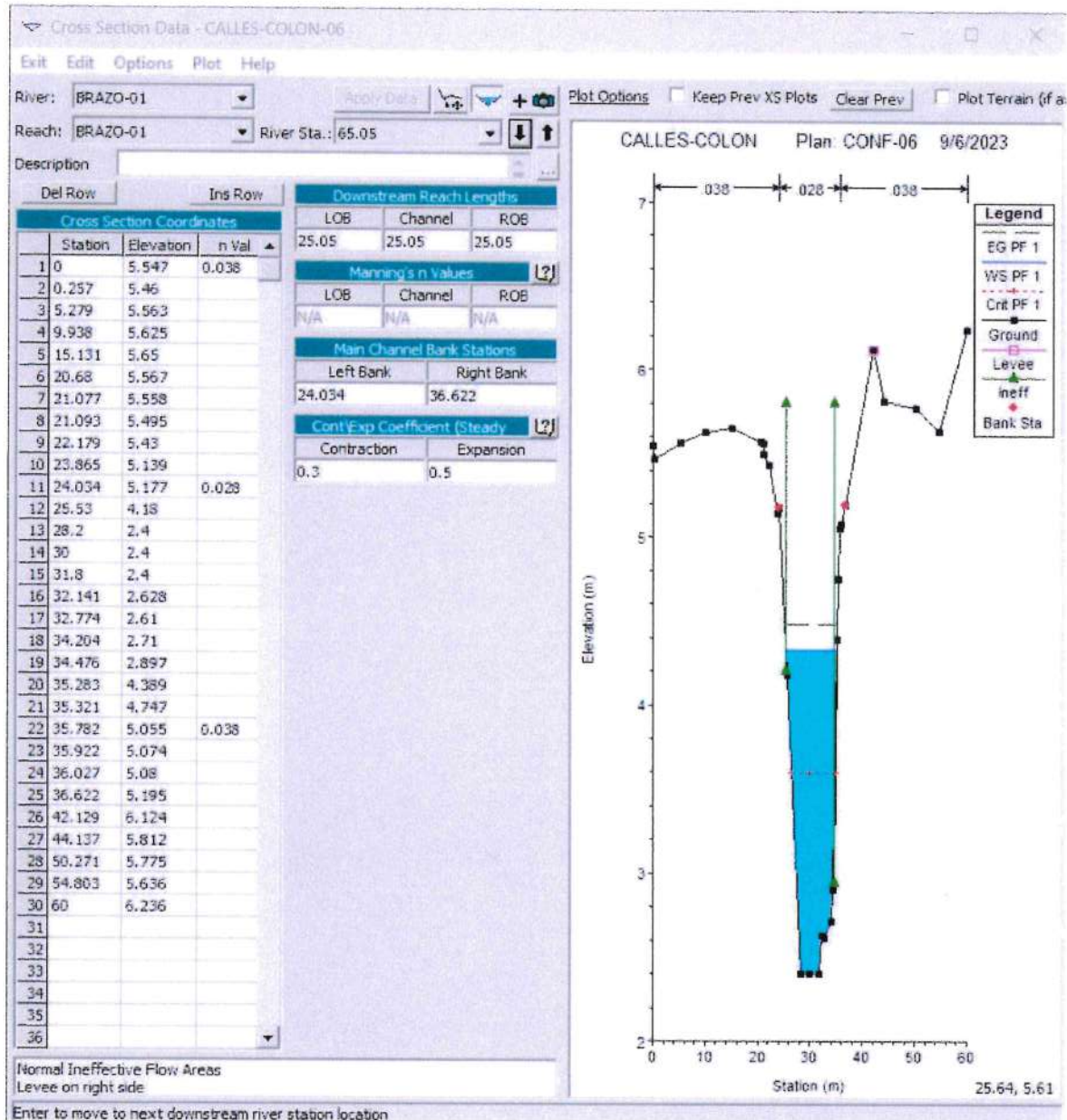


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIAN°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 4-- Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS



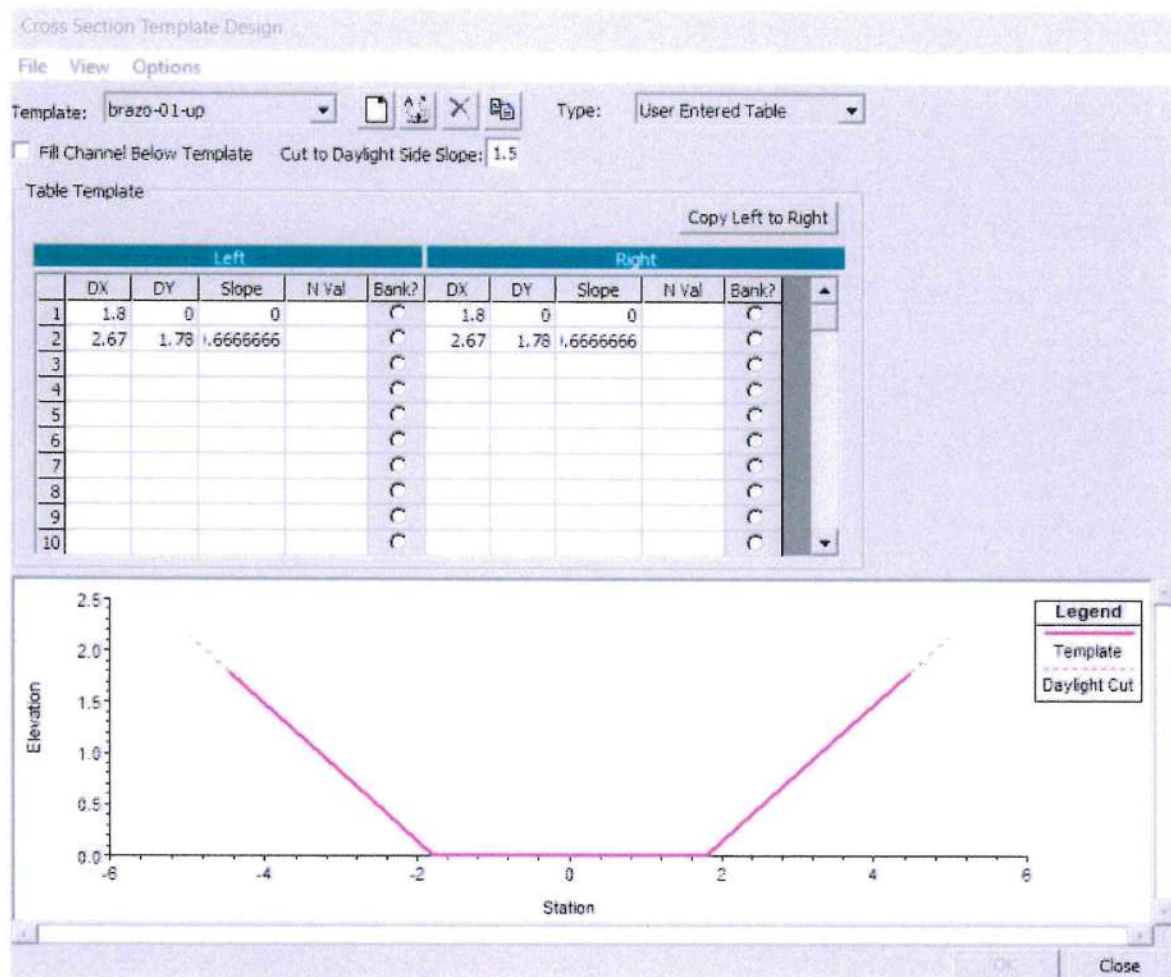
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado

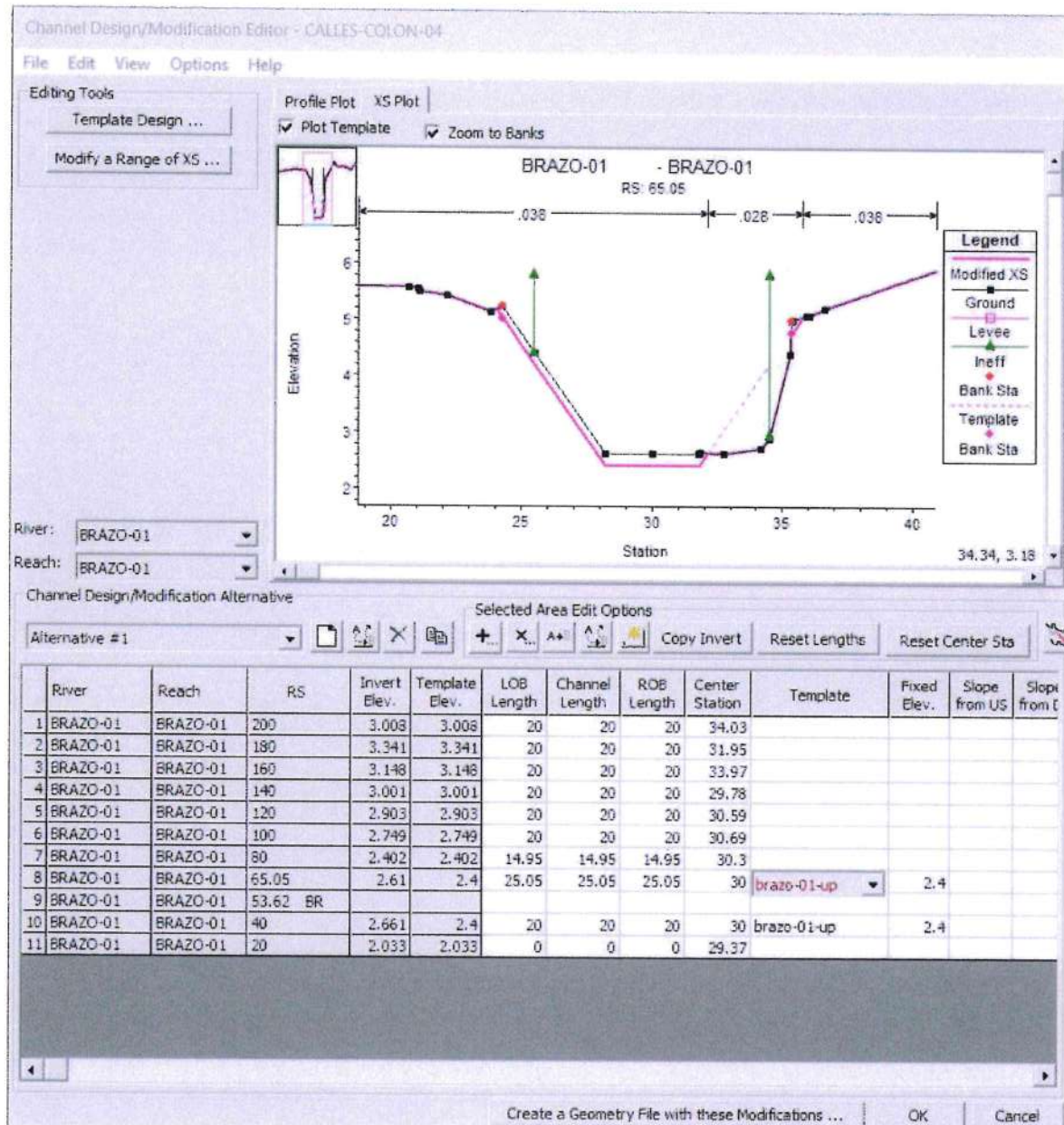


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)



VLADIMIR F. FONG B.

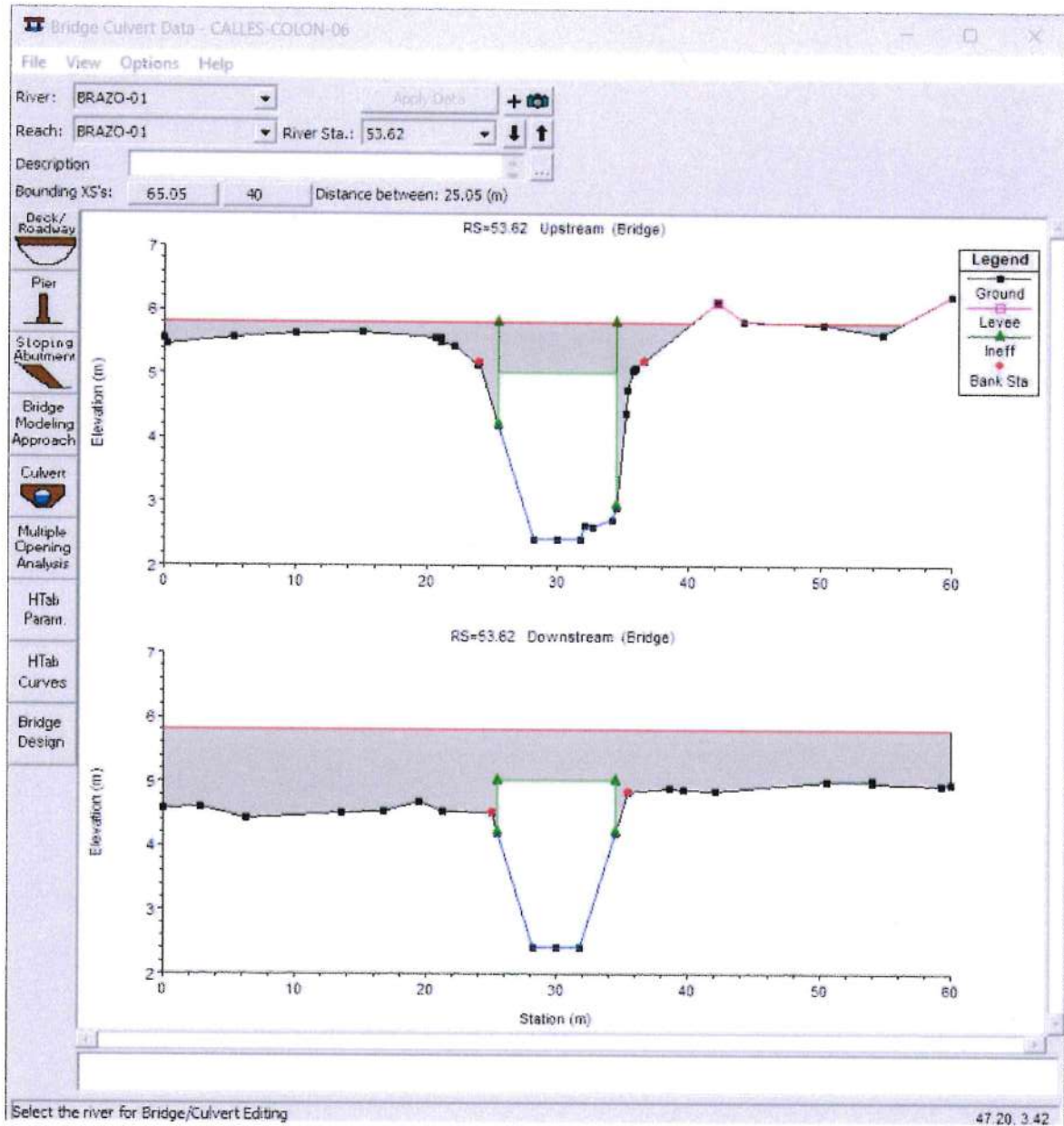
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1

Del Row Ins Row

	Upstream		Downstream	
	Station	Elevation	Station	Elevation
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select Abutment to Edit

Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
4.432	10.2	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

	Upstream			Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	5.8	2.61	0	5.8	2.661
2	25.5	5.8	2.61	25.5	5.8	2.661
3	25.5	5.8	5	25.5	5.8	5
4	34.5	5.8	5	34.5	5.8	5
5	34.5	5.8	2.61	34.5	5.8	2.661
6	60	5.8	2.61	60	5.8	2.661
7						
8						

U.S Embankment SS 1.5 D.S Embankment SS 1.5

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo

Edit Contraction/Expansion Coefficients (Steady Flow)

River: BRAZO-01 ☐ Edit Interpolated XS's

Reach: BRAZO-01

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ...

	River Station	Contraction	Expansion
1	200	0.1	0.3
2	180	0.1	0.3
3	160	0.1	0.3
4	140	0.1	0.3
5	120	0.1	0.3
6	100	0.1	0.3
7	80	0.3	0.5
8	65.05	0.3	0.5
9	53.62	Bridge	
10	40	0.3	0.5
11	20	0.1	0.3

OK Cancel Help

Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Data - COLON-01

File Options Help

Description: Apply Data

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 1 Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: BRAZO-01 Add Multiple...

Reach: BRAZO-01 River Sta.: 200 Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
	River	Reach	RS	TR 100
1	BRAZO-01	BRAZO-01	200	24.62
2	BRAZO-02	BRAZO-02	226.82	66.07
3	BRAZO-03	BRAZO-03	282.91	29.63
4	PPAL-01	PPAL-01	60	6.83
5	PPAL-01-DOWN	PPAL-01	20	31.45
6	PPAL-02	PPAL-02	96.75	33.57
7	PPAL-02-DOWN	PPAL-02	20	99.64

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles
 ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
BRAZO-01	BRAZO-01	all	Normal Depth S = 0.0036	Junction=CONF-01
BRAZO-02	BRAZO-02	all	Normal Depth S = 0.0123	Junction=CONF-02
BRAZO-03	BRAZO-03	all	Normal Depth S = 0.017	Normal Depth S = 0.0659
PPAL-01	PPAL-01	all	Normal Depth S = 0.03	Junction=CONF-01
PPAL-01-DOWN	PPAL-01	all	Junction=CONF-01	Normal Depth S = 0.0166
PPAL-02	PPAL-02	all	Normal Depth S = 0.0796	Junction=CONF-02
PPAL-02-DOWN	PPAL-02	all	Junction=CONF-02	Normal Depth S = 0.039

Steady Flow Reach Storage Area Optimization ...

Enter to accept data changes.

Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Analysis

File Options Help

Plan: CONF-06 Short ID: CONF-06

Geometry File: CALLES-COLON-06

Steady Flow File: COLON-01

Flow Regime

☐ Subcritical
☐ Supercritical
☒ Mixed

Optional Programs

☐ Floodplain Mapping

Plan Description

Compute

5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO

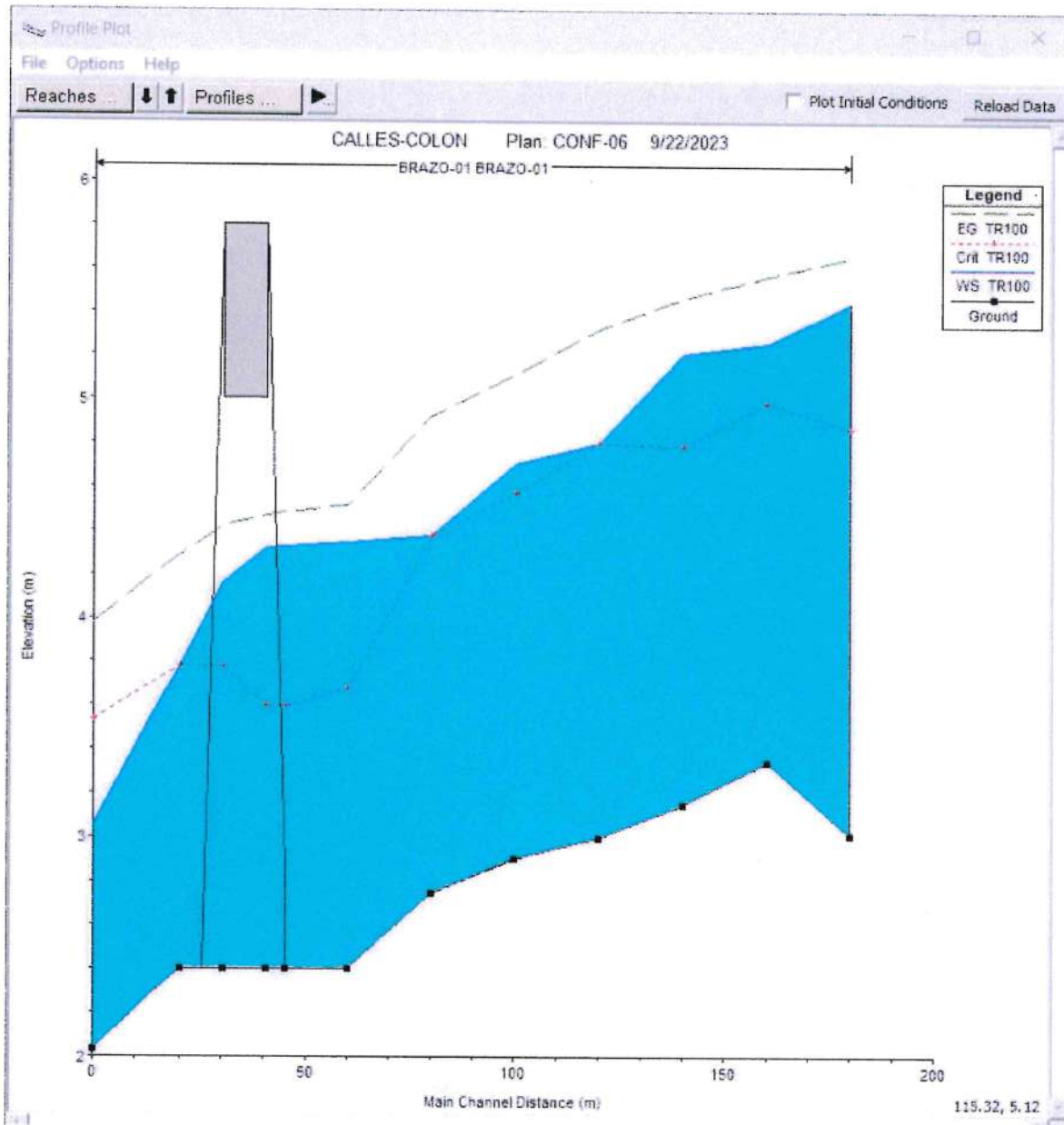
Los resultados obtenidos del modelo analizado se muestran en las siguientes capturas de pantalla, en donde puede observarse que el nivel de aguas máximas extraordinarias obtenido (N.A.M.E.) es de 4.32m respecto al datum del proyecto.

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce

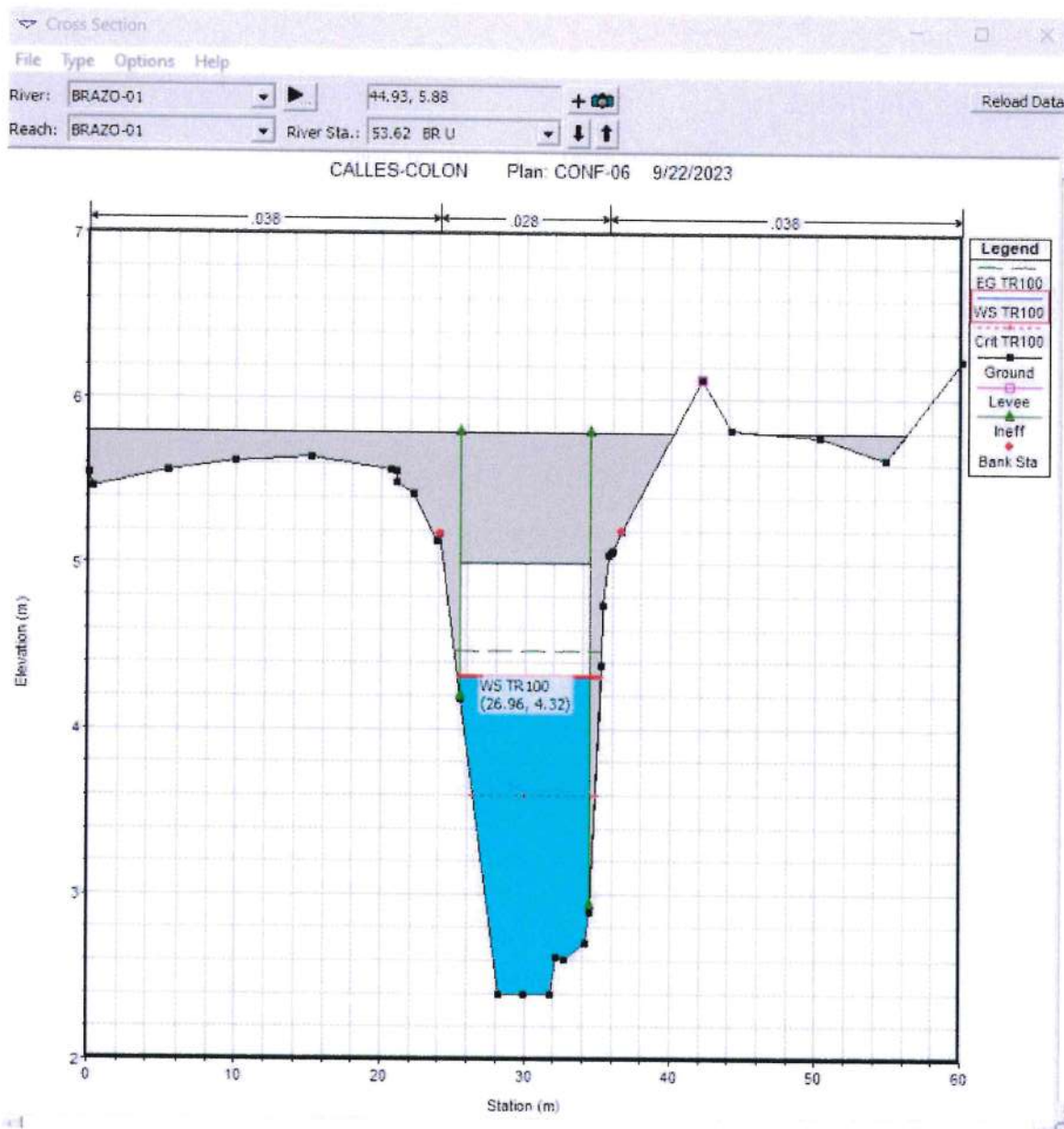


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba



VLADIMIR F. FONG B.

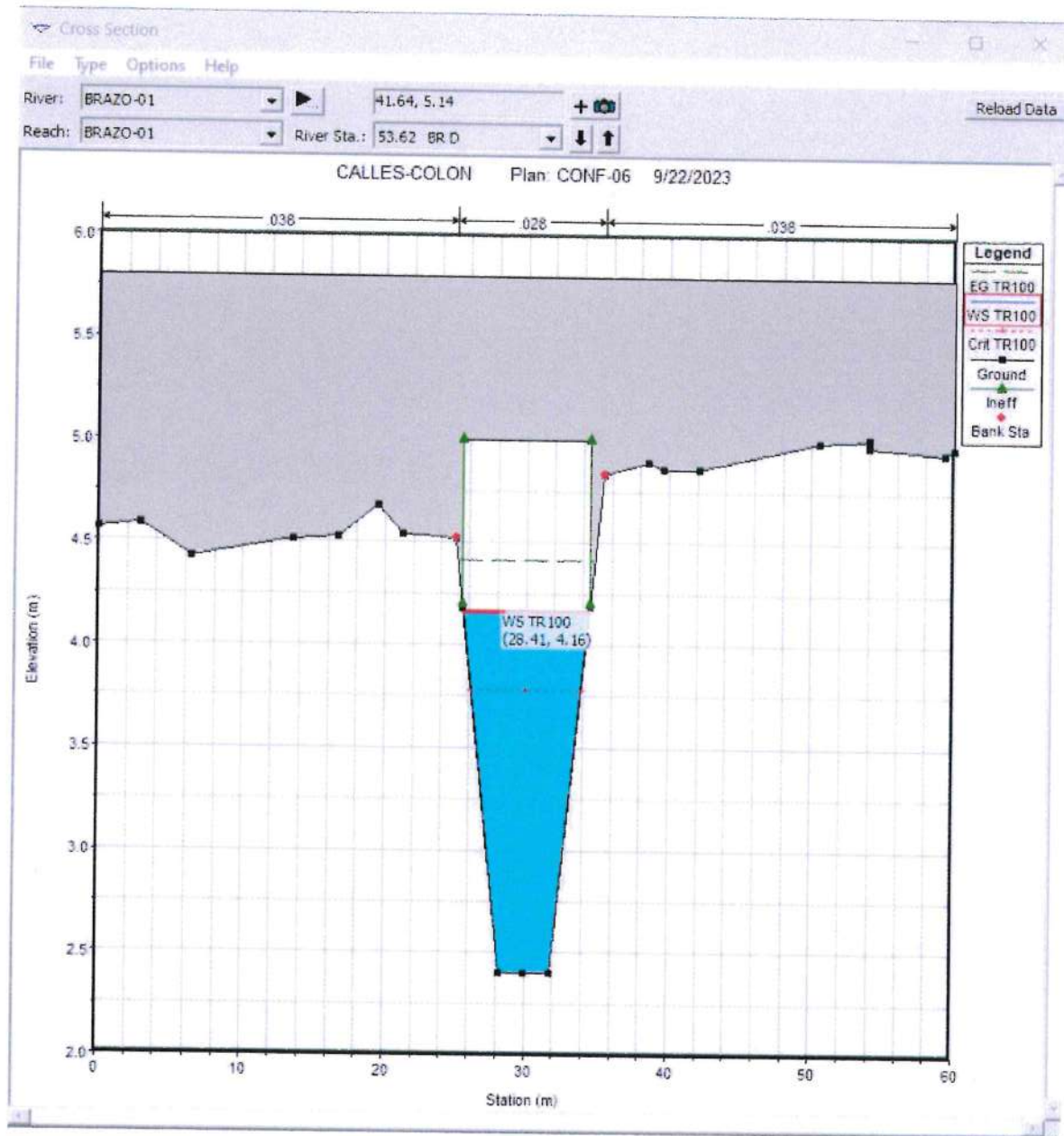
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2.3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre la quebrada Potrero

Bridge Output				
File Type Options Help				
River:	BRAZO-01	Profile:	TR100	
Reach:	BRAZO-01	RS:	53.62	Plan: CONF-06
Plan: CONF-06 BRAZO-01 BRAZO-01 RS: 53.62 Profile: TR100				
		Element	Inside BR US	Inside BR DS
E.G. US. (m)	4.48	E.G. Elev (m)	4.47	4.41
W.S. US. (m)	4.33	W.S. Elev (m)	4.32	4.16
Q Total (m3/s)	24.62	Crit W.S. (m)	3.60	3.78
Q Bridge (m3/s)	24.62	Max Chl Dpth (m)	1.92	1.76
Q Weir (m3/s)		Vel Total (m/s)	1.74	2.25
Weir Sta Lft (m)		Flow Area (m2)	14.14	10.96
Weir Sta Rgt (m)		Froude # Chl	0.40	0.65
Weir Submerg		Specif Force (m3)	16.50	13.91
Weir Max Depth (m)		Hydr Depth (m)	1.57	1.24
Min El Weir Flow (m)	5.80	W.P. Total (m)	11.19	9.94
Min El Prs (m)	5.00	Conv. Total (m3/s)	590.1	417.9
Delta EG (m)	0.19	Top Width (m)	9.00	8.87
Delta WS (m)	0.55	Frctn Loss (m)	0.02	0.05
BR Open Area (m2)	18.54	C & E Loss (m)	0.03	0.07
BR Open Vel (m/s)	2.25	Shear Total (N/m2)	21.56	37.54
BR Sluice Coef		Power Total (N/m s)	37.54	84.32
BR Sel Method	Energy only			

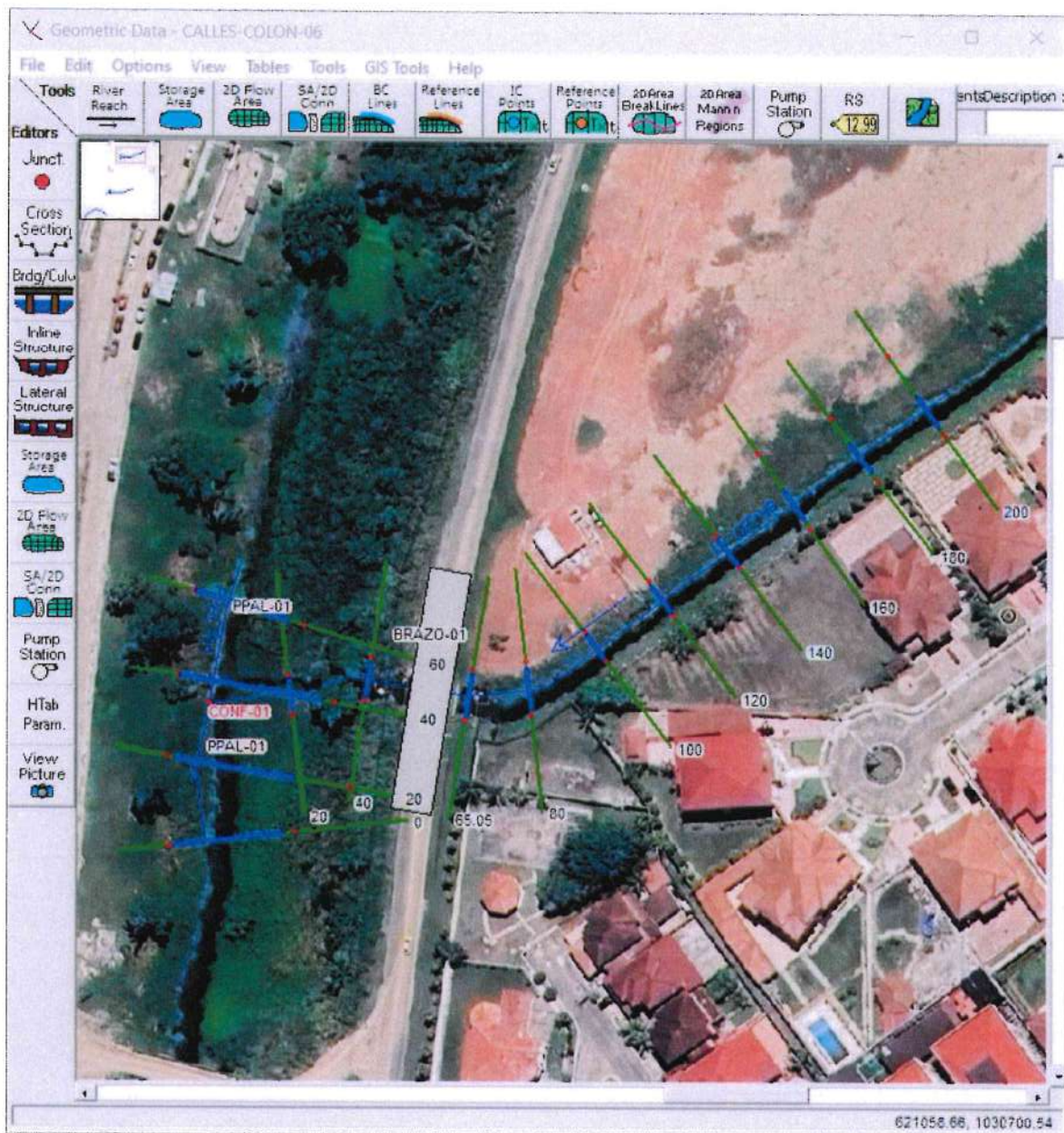
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

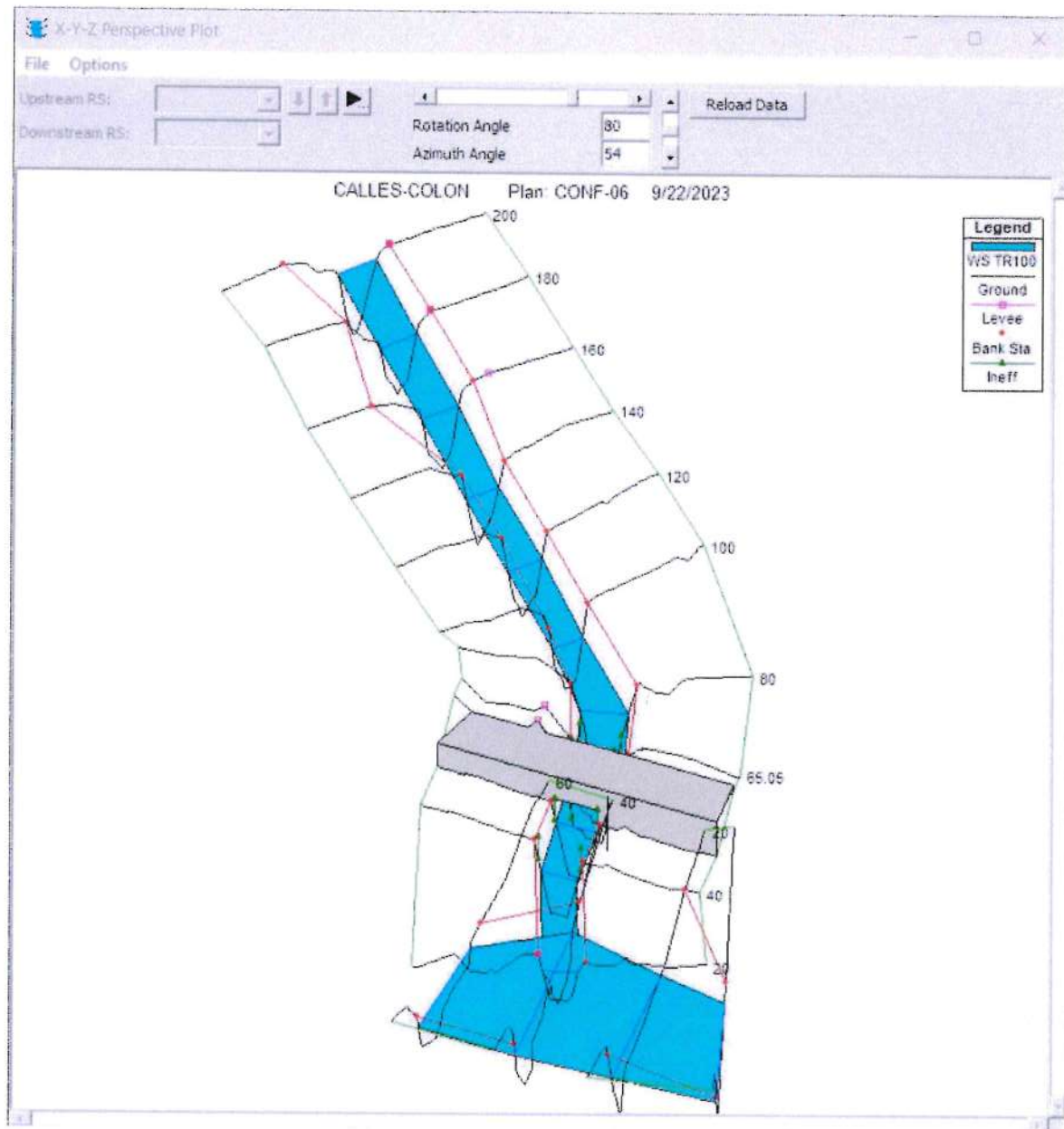
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Firma]

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1. El área de la cuenca del puente sobre la quebrada Brook brazo 1, determinada de los mosaicos cartográficos Tommy Guardia escala 1:50,000, fue de 1,219,810.62m² equivalente a 1.2198 Km²
- 6.2. Para el cálculo de caudales no fue posible utilizar directamente el método regional de crecidas máximas de ETESA, ya que el proyecto no está ubicado en una zona hidrológicamente homogénea, aún así, se calcularon los caudales por medio de las ecuaciones de las zonas hidrológicamente homogéneas más cercas al proyecto, pero se encontraron variaciones demasiado significativas en los resultados, por lo tanto, los resultados solo se utilizaron como referencia, para justificar y validar el uso del método racional y sus resultados respectivos.
- 6.3. Como las áreas de las cuencas del cauce Brook brazo 1 y de la quebrada sin nombre en el punto de confluencia, son menores que 2.50 Kms², se calcularon y dejaron como definitivos los caudales de las cuencas a flujo constante por medio del método racional, utilizando las ecuaciones IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Plano, específicamente la correspondiente al período de retorno de 100 años. También se utilizó un coeficiente "C" para el método racional de 0.85, tal como lo indican los términos de referencia del proyecto.
- 6.4. Con la información de área, coeficiente de escorrentía, tiempos de concentración e intensidades calculada para las cuencas, se obtuvo un caudal de 24.62 m³/s para la quebrada Brook brazo 1 y un caudal de 6.83 m³/s aguas arriba de la confluencia de la quebrada Brook brazo 1 con la quebrada sin nombre a la que tributa. Ambos caudales calculados corresponden a un período de retorno de 100 años.
- 6.5. El análisis hidráulico realizado para el cauce del proyecto fue del tipo unidimensional (1D), ya que para el proyecto se realizó un levantamiento topográfico de detalle con equipo de estación total, levantando secciones transversales a cada 20.00m de separación, con un alcance de 100.00m aguas arriba y 100.00m aguas abajo.
- 6.6. Con el levantamiento topográfico realizado, se elaboraron curvas de nivel a cada 1.00m de elevación del relieve del terreno existente (sin proyecto), y se construyó el modelo geométrico en HEC-RAS 6.5 en una dimensión (1D), con sus respectivas obras hidráulicas proyectadas (puente y conformación de cauce). Por esta razón no fue necesario elaborar un modelo digital de elevación con proyecto ni curvas de nivel con proyecto, ya que no se ha realizado un análisis hidráulico en 2 dimensiones (2D) en este estudio, sino que únicamente en 1 dimensión (1D).
- 6.7. Posteriormente se revisó la posibilidad de incorporar dentro de HEC-RAS 6.5 un modelo digital de elevaciones auxiliándose de una herramienta GIS para crear un archivo DEM, el cual se importó dentro de HEC-RAS 6.5 por medio.

VILCHIRE FONG
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

de su herramienta nativa RAS-MAPPER creándose de esa manera un RAS TERRAIN LAYER en formato *.hdf, sin embargo, el uso del mismo fue descartado porque al superponer su geometría en las secciones transversales del modelo 1D (cross section data), se observó que el mismo no superaba la precisión ni la calidad de la información 1D modelada y en consecuencia tampoco de la topografía levantada.

- 6.8. Con el modelo HEC-RAS 6.5 elaborado, se configuraron los parámetros hidráulicos respectivos (condiciones de frontera, régimen de flujo, etc.) y se ejecutó la simulación hidráulica, calculándose un nivel de aguas máximas esperado (NAME) para el puente sobre la quebrada Brook Brazo 1, de 4.32 m respecto al datum del proyecto.
- 6.9. El comportamiento hidráulico del flujo la quebrada Brook brazo para el caudal de diseño utilizado fue mayoritariamente sub crítico, obteniéndose números de Froude en la mayoría de secciones transversales menores que 1.00.
- 6.10. Las velocidades de flujo calculadas en el cauce de la quebrada Brook brazo 1, en todas las secciones transversales resultaron menores de 3.20 m/s, la cual es una velocidad favorable que puede circular sin causar desgaste en los zampeados y elementos de concreto del puente de la subestructura del puente proyectado.
- 6.11. Luego de las modelaciones se concluye que no existe el riesgo de inundación para el puente proyectado, ya que el mismo se ha diseñado (según planos aprobados) respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 de altura.
- 6.12. Para la revisión y validación de los resultados de la simulación, se adjuntan los siguientes insumos y productos utilizados y generados por HEC RAS 6.5:
 - 6.12.1. Archivo DEM utilizado para elaborar el "terrain".
 - 6.12.2. Archivo proyecto generado por la simulación.
 - 6.12.3. Archivo de geometría generado por la simulación con proyecto (modelo 1D).
 - 6.12.4. Archivo plan generado por la simulación.
 - 6.12.5. Archivo de flujo constante o no constante generado por la simulación.
 - 6.12.6. Archivo ráster final de resultado de simulación sin proyecto



ANEXO – 01: RESULTADOS ADICIONALES



Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+200

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

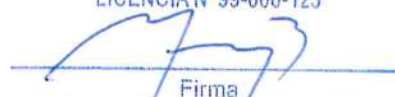
HEC-RAS Plan: CONF-06 Profile: TR100 Reload Data

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
PPAL-01-DOWN	PPAL-01	20	TR100	31.45	1.44	3.35	3.20	3.51	0.005837	1.80	17.48	28.71	0.74
PPAL-01-DOWN	PPAL-01	0	TR100	31.45	1.74	3.08	3.08	3.34	0.011458	2.29	13.73	26.02	1.01
PPAL-01	PPAL-01	60	TR100	6.83	2.20	3.53	2.78	3.54	0.000206	0.39	17.47	23.12	0.14
PPAL-01	PPAL-01	40	TR100	6.83	1.70	3.53		3.53	0.000034	0.19	35.66	34.33	0.06
BRAZO-01	BRAZO-01	200	TR100	24.62	3.01	5.44	4.86	5.65	0.003004	2.05	12.01	8.74	0.56
BRAZO-01	BRAZO-01	180	TR100	24.62	3.34	5.25	4.98	5.56	0.005064	2.47	9.99	8.39	0.72
BRAZO-01	BRAZO-01	160	TR100	24.62	3.15	5.20	4.78	5.46	0.003735	2.24	10.97	8.30	0.62
BRAZO-01	BRAZO-01	140	TR100	24.62	3.00	4.80	4.80	5.32	0.010342	3.20	7.70	7.44	1.00
BRAZO-01	BRAZO-01	120	TR100	24.62	2.90	4.70	4.57	5.11	0.007201	2.83	8.71	7.70	0.85
BRAZO-01	BRAZO-01	100	TR100	24.62	2.75	4.38	4.38	4.92	0.010380	3.28	7.51	6.88	1.00
BRAZO-01	BRAZO-01	80	TR100	24.62	2.40	4.34	3.67	4.51	0.001924	1.80	13.68	9.80	0.49
BRAZO-01	BRAZO-01	65.05	TR100	24.62	2.40	4.33	3.60	4.48	0.001410	1.73	14.23	9.94	0.44
BRAZO-01	BRAZO-01	53.62	Bridge										
BRAZO-01	BRAZO-01	40	TR100	24.62	2.40	3.78	3.78	4.28	0.008818	3.15	7.81	7.73	1.00
BRAZO-01	BRAZO-01	20	TR100	24.62	2.03	3.05	3.53	3.98	0.021163	4.26	5.77	7.10	1.51

Total flow in cross section.

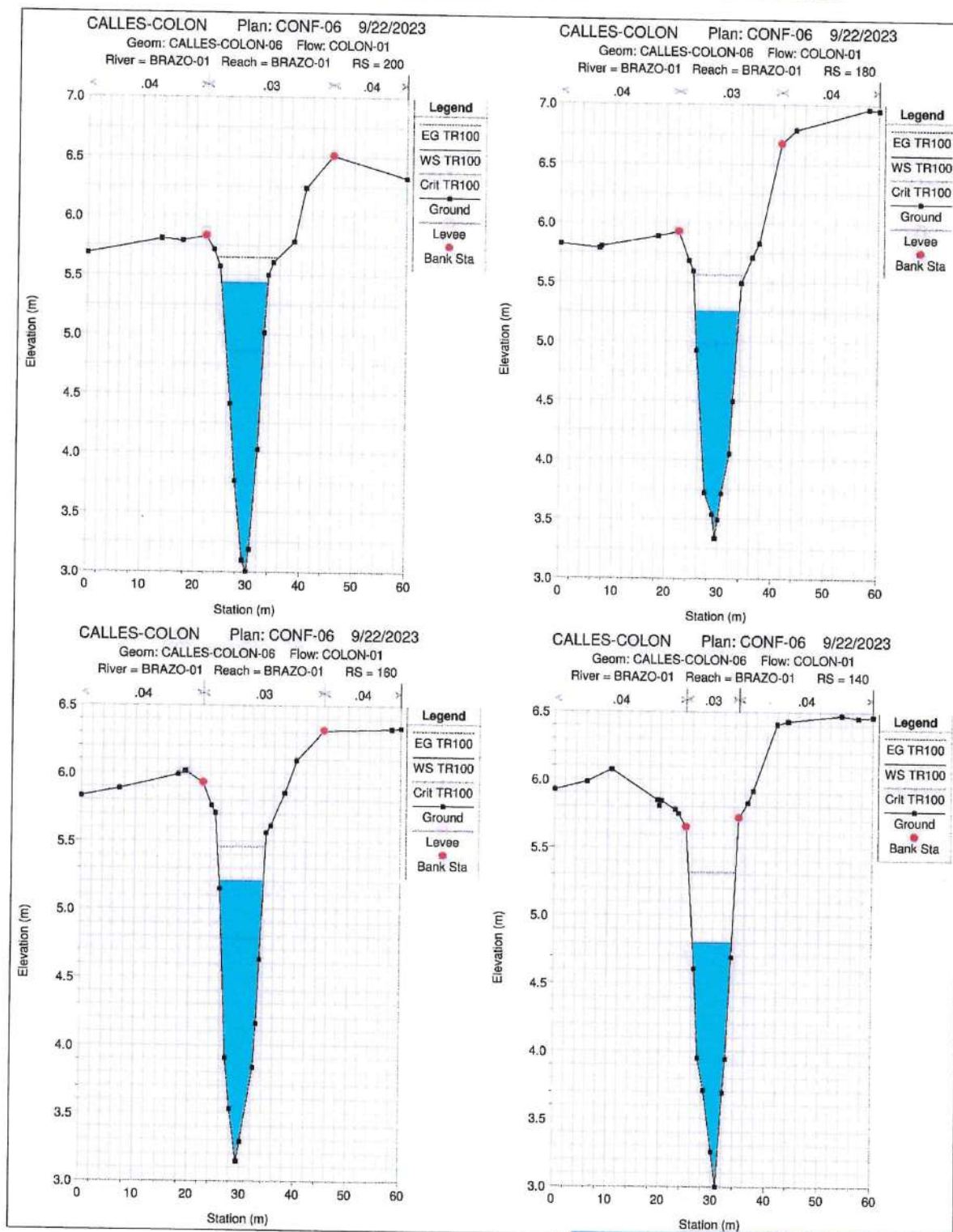
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+140.00 a 0+200.00

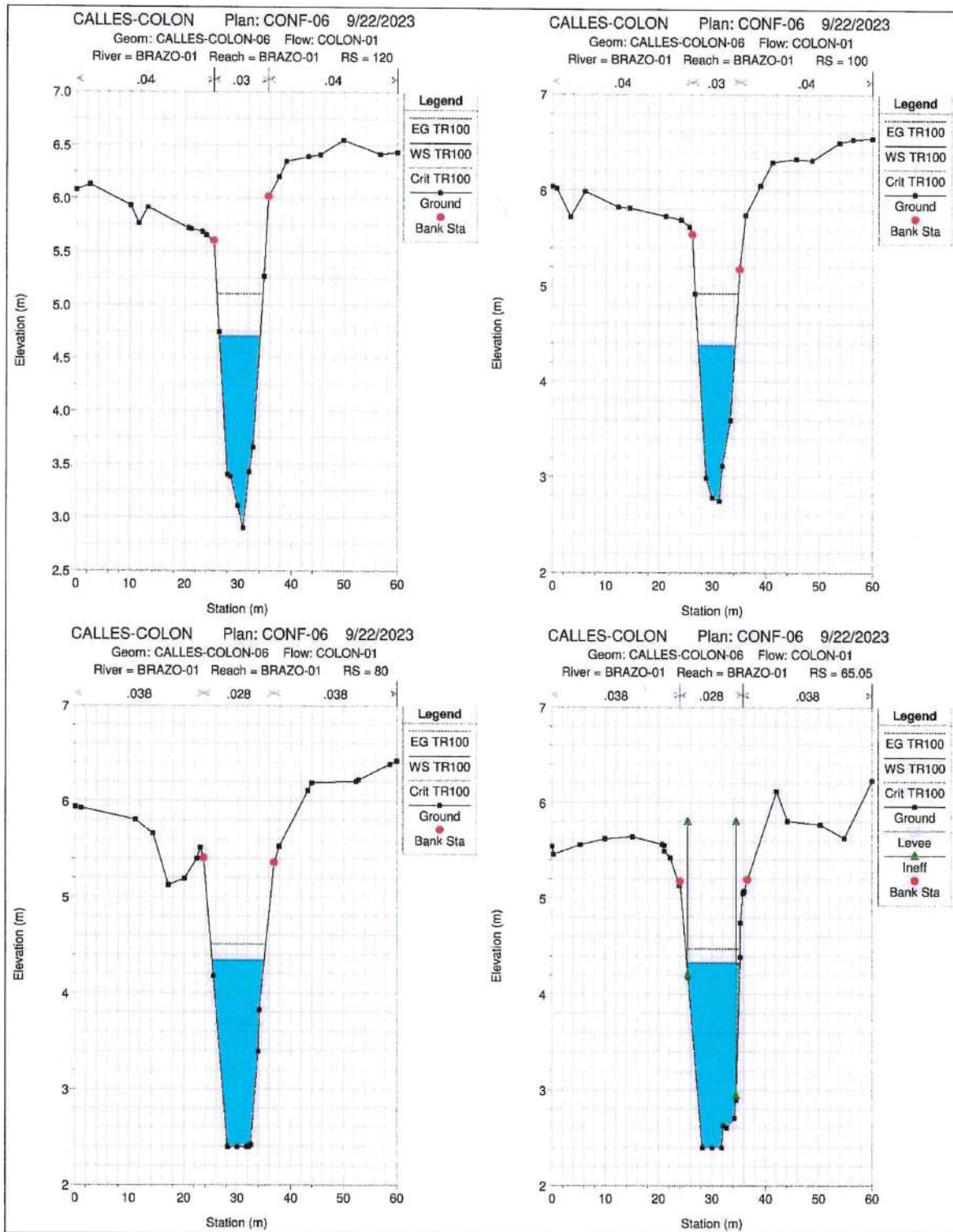


VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+065.05 a 0+120.00



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

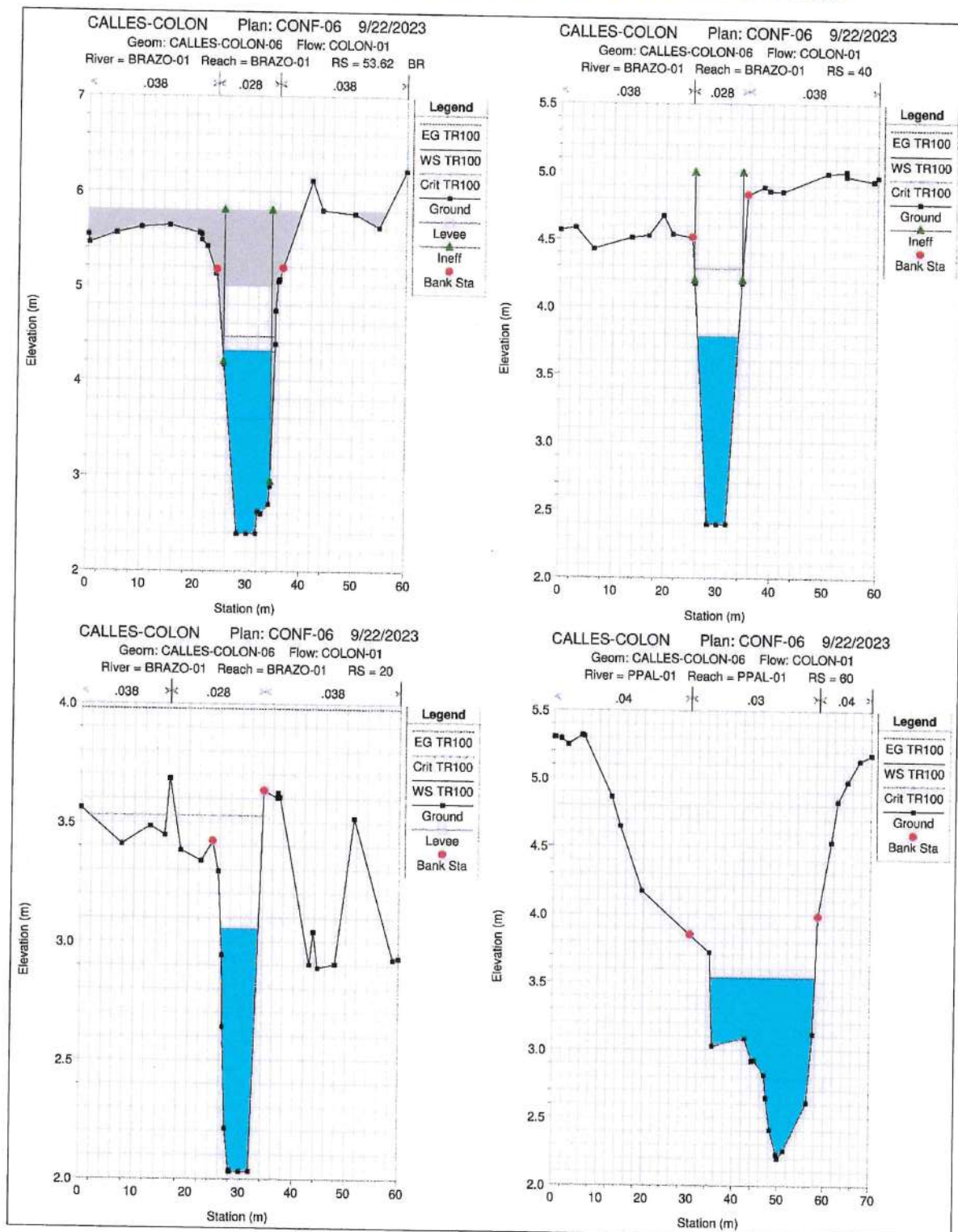
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+020.00 a 0+053.62



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

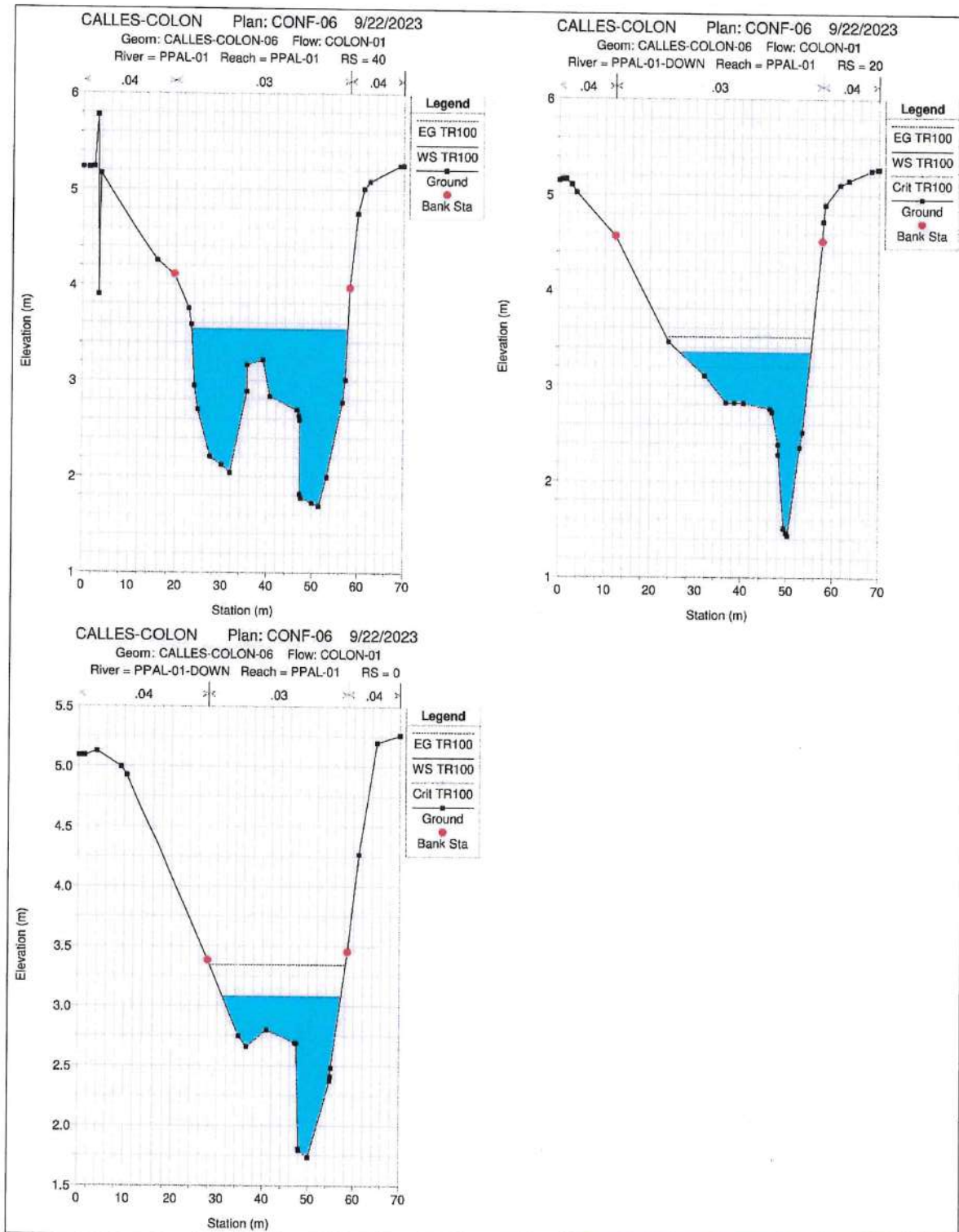
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce quebrada sin nombre. Estaciones 0+000.00 a 0+040.00



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura



REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**PROYECTO: “REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL
DISTRITO DE COLÓN”
PROVINCIA DE COLÓN**

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE PUENTE BROOK BRAZO 2
(EST. 2K+136.81 – 3K+136.81)**

PRESENTADO POR:

CONSORCIO IRC CONSTRUCTORES



Ingeniería y Tecnología Especializada en
Concreto, Preesfuerzo y Acero



CONCOR, S. A.

SEPTIEMBRE DE 2023



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS	3
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	3
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	3
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS	5
4.3. CÁLCULO DE CAUDALES	7
4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA.....	7
4.3.2. MÉTODO RACIONAL.....	10
4.3.2. MÉTODO DE LA CURVA NÚMERO.....	15
4.3.3. RESUMEN DEL CÁLCULO DE CAUDALES DE LAS CUENCA BROOK BRAZO 2 Y CUENCAS RELACIONADAS	29
5. ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	31
5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA.....	31
5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO	42
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce de la quebrada Brook brazo 2.....	4
Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente sobre la quebrada Brook brazo 2.....	6
Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).	9
Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres	11
Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth	14
Imagen 3.2. 1 – Uso de suelos actual de cuenca de quebrada Brook brazo 2.....	17
Imagen 4.3. 2 – Hietograma de tormenta de 55 minutos, período de retorno 100 años	23
Imagen 4.3. 3 – Pantalla principal HEC-HMS.....	25
Imagen 4.3. 4 – Configuración de cuenca de quebrada Brook brazo 2	26
Imagen 4.3. 5 – Modelo meteorológico en HEC-HMS	27
Imagen 4.3. 6 – Caudal pico calculado en cuenca de quebrada Brook brazo 2.....	28
Imagen 4.3. 7 – Hidrograma de salida de la cuenca de quebrada Brook brazo 2.....	28
Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para la realización del modelo geométrico HEC-RAS	32



Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 5.0.7	33
Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS	34
Imagen 5.1. 4– Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS	35
Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado	36
Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección).....	37
Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente	38
Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto).....	39
Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén	39
Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo.....	40
Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS	41
Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS	41
Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS	42
Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce	43
Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba	44
Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo.....	45
Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre la quebrada Potrero.....	46
Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años	47
Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS	48
Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+200.....	52
Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+180.00 a 0+226.82	53
Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+099.32 a 0+160.00	54
Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+040.00 a 0+073.51	55
Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce quebrada sin nombre. Estaciones 0+060.00 a 0+96.75	56
Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 1 – Valores típicos de números de curva (CN-II) de escorrentía superficial.....	18
Tabla 4.3. 2 – Condición agrológica CN	21
Tabla 4.3. 3 – Grupos hidrológicos de suelos CN	21
Tabla 4.3. 4 – Condición de humedad antecedente CN	22
Tabla 4.3. 7 – Condición de humedad antecedente CN	23
Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de la cuenca Brook brazo 2 y cuencas involucradas. 30	
Imagen A. 6 – Secciones hidráulicas de cauce quebrada sin nombre. Estaciones 0+060.00 a 0+96.75	57



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el estudio hidrológico e hidráulico para el diseño final del puente sobre la quebrada Brook brazo 2, para el proyecto denominado "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN", en la provincia de Colón.

2. UBICACIÓN

La obra de paso actual es una alcantarilla pluvial tubular de 1.2m de diámetro, ubicada en la coordenada UTM 17N: 621055.43E, 1030059.21N (Imagen 4. 2), la cual los términos de referencia del proyecto piden reemplazar por un puente de dos carriles de 3.35 m de ancho cada uno, 0.60m de hombros, barreras de hormigón tipo New Jersey, una acera lateral peatonal de 1.50m de ancho y, una luz de puente de 18.00m de longitud.

3. OBJETIVOS

- 2.1. Determinación de cuenca del puente
- 2.2. Determinación del caudal de diseño para período de retorno de 100 años
- 2.3. Determinación del nivel de agua máximo extraordinario (N.A.M.E.)

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

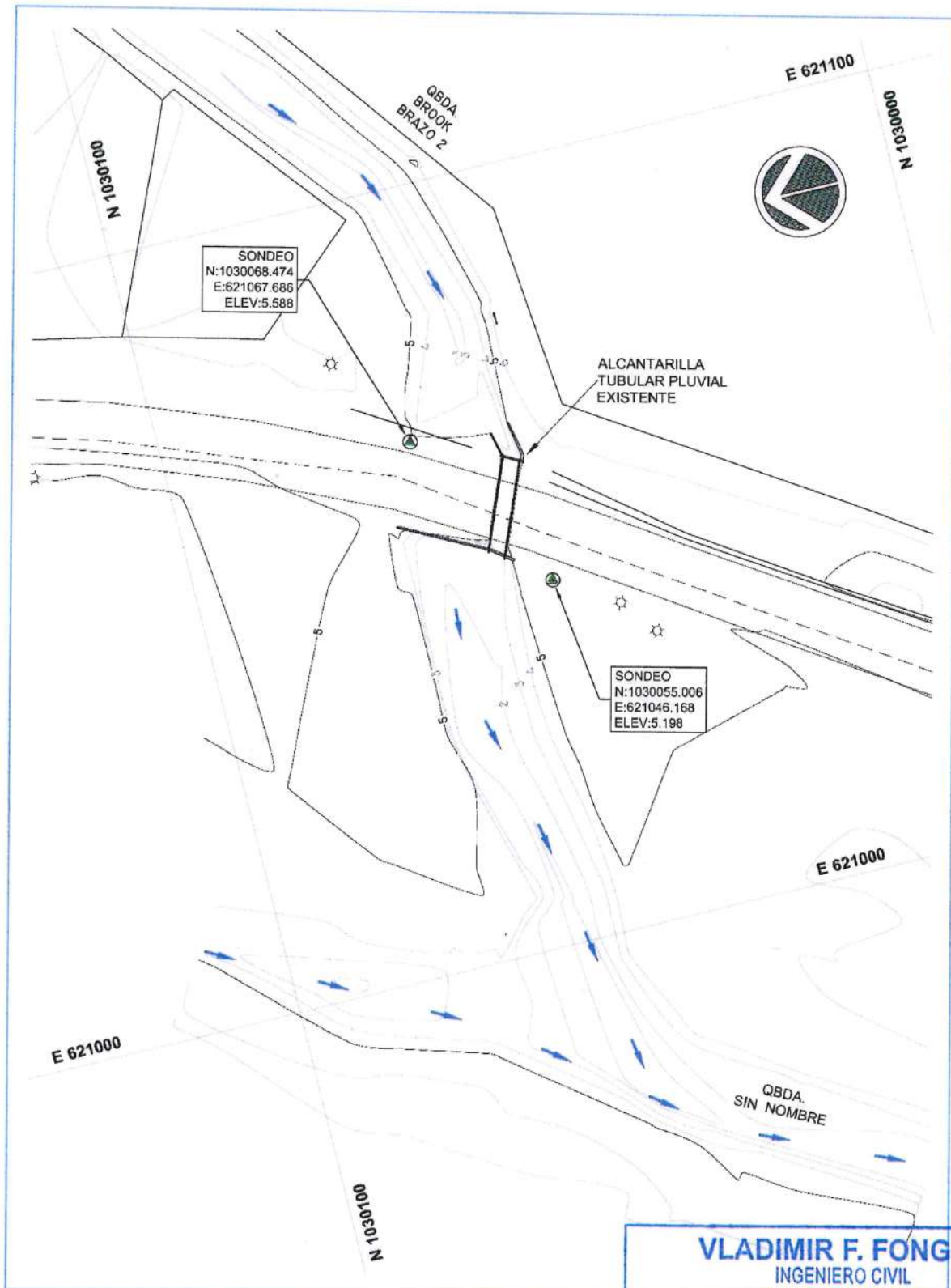
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para realizar el estudio y análisis del proyecto del puente, se procedió a encontrar la coordenada del puente proyectado por medio de navegadores GPS para confirmar su ubicación y, luego se establecieron puntos de control topográfico de amarre, para realizar un levantamiento topográfico terrestre la obra de paso existente, la vía y del cauce de la quebrada Brook brazo 2, por medio equipo de estación total.

El alcance del levantamiento del cauce fue de 50.00m aguas arriba y 50.00m aguas abajo con el cual posteriormente, se elaboró respectivo plano topográfico (Imagen 4. 1).



Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce de la quebrada Brook brazo 2



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS

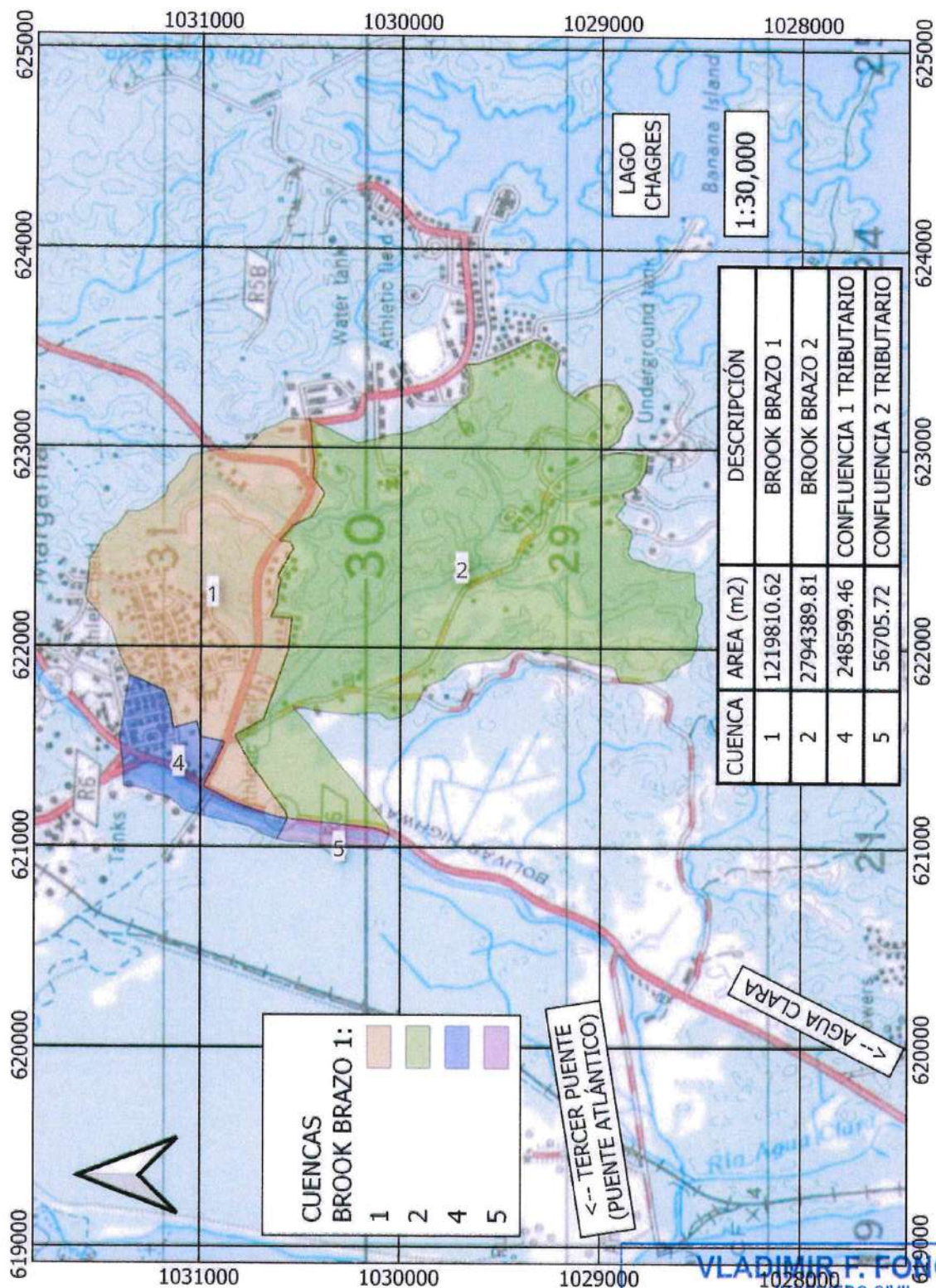
La determinación de la cuenca se realizó comparando los mosaicos topográficos a escalas 1:50,000 y 1:25,000 del Instituto Geográfico Tommy Guardia, con inspecciones de campo e información satelital GIS, encontrándose que los mosaicos 1:50,000 están más congruentes con lo observado, por lo tanto, fueron los que se utilizaron para el análisis gráfico de las cuencas.

Los mosaicos topográficos seleccionados se manipularon en una aplicación de computadora para colocarlos en sus coordenadas y escalas respectivas, para así gráficamente seguir y determinar la divisoria de aguas de la cuenca por medio de herramientas vectoriales de dibujo, hasta definirla por completo y determinar su área en unidades de metros cuadrados, siendo para el puente Brook Brazo 2 de 2,794,389.81 m² (Imagen 4. 2).

También se definió la cuenca de la quebrada sin nombre a la que tributa la quebrada Brook Brazo 2, ya que se ha incluido dentro del análisis hidráulico el comportamiento hidráulico, tomando en cuenta el efecto de la confluencia entre ambos cauces y los caudales tributarios que vienen de la confluencia de la quebrada Brook brazo 1 con la misma quebrada sin nombre.



Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente sobre la quebrada Brook brazo 2



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3. CÁLCULO DE CAUDALES

4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA

Con la ubicación y área de la cuenca determinadas, se encontró que no podría utilizarse de manera directa el Método Regional de Crecidas Máximas de ETESA, porque la cuenca del puente Brook brazo 2 se ubica dentro de la cuenca número 117, la cual no pertenece a ninguna región hidrológicamente homogénea del método regional (Imagen 4.3. 1).

Por otra parte, aunque los pliegos del proyecto indican que se utilizó el método regional para pre dimensionar los puentes del punto crítico, dejan a criterio de la empresa ganadora el cálculo definitivo.

Respecto a la utilización del método regional, las zonas hidrológicamente homogéneas más cercanas a la ubicación del proyecto son las pertenecientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), específicamente las zonas 1, 2 y 3. También la zona 7 forma parte de la cuenca del río Chagres, entonces, las ecuaciones de cada una de esas zonas tienen las siguientes expresiones:

Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53

Reemplazando en las ecuaciones anteriores, el valor de área de la cuenca de la quebrada Brook brazo 2 en unidades de kilómetros cuadrados (en la variable "A"), se obtuvieron los siguientes resultados de caudal:

Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años	Caudal 100 años (m³/s)
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 \times 2.7944^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	167.08
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 \times 2.7944^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	157.72
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25.0 \times 2.7944^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	122.85
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9.0 A \times 2.7944^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	41.75

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

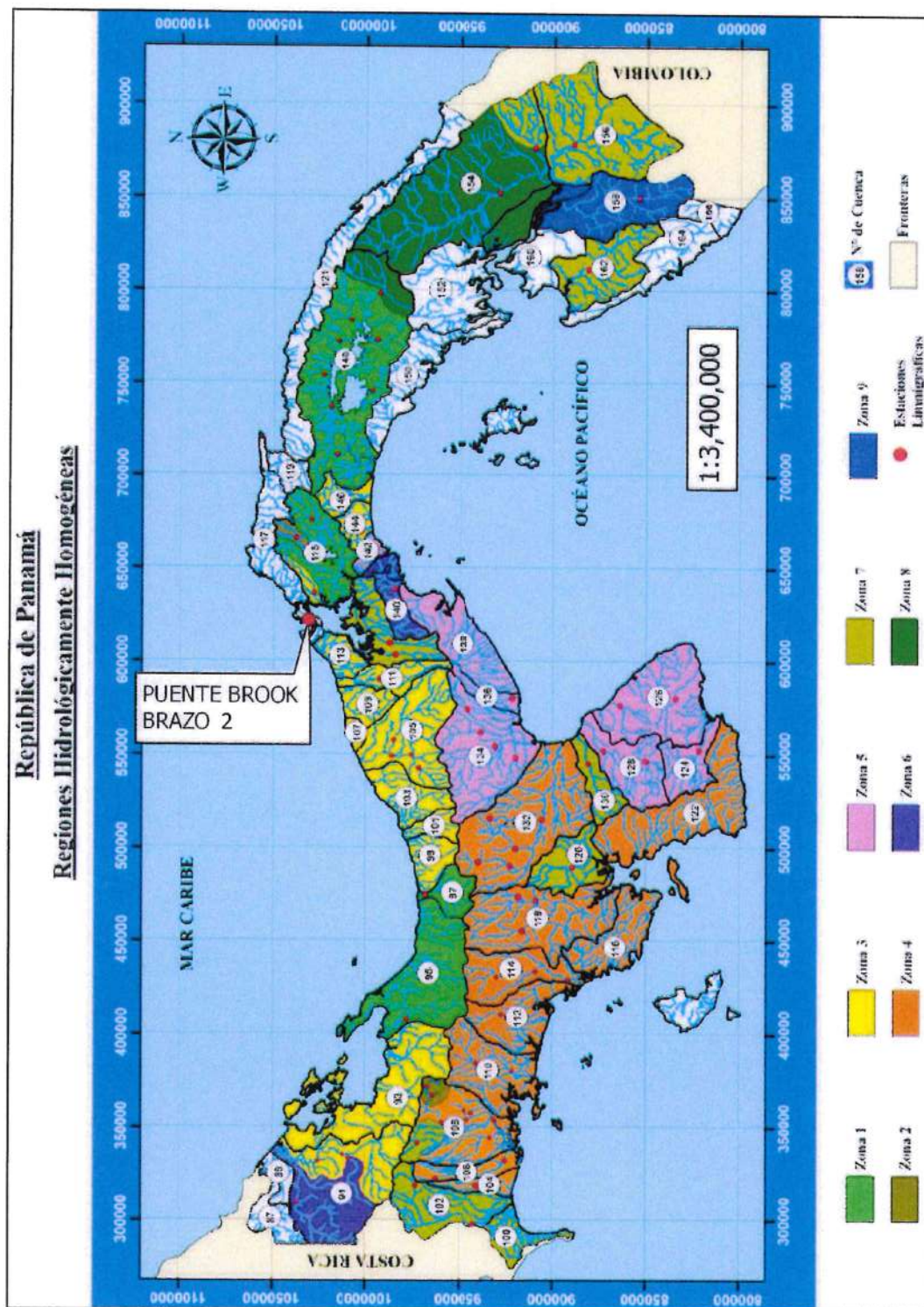
Como puede observarse, existe una significativa variación de resultados entre las ecuaciones correspondientes a las zonas hidrológicas más cercanas al proyecto (zonas 1, 2 y 3), principalmente entre la zona 1 y 3, ya que el caudal de la zona 1 ha resultado ser 1.36 veces más grande que el de la zona 3.

Siguiendo esa misma lógica, se ha comparado el caudal de la zona 1 con el de la zona 7, encontrándose que el de la zona 1 es 4.00 veces mayor. Por esa razón es que, en el presente estudio, se ha utilizado para el cálculo de caudales el método racional para las cuencas menores de 2.50 Kms², ya que es un método válido en Panamá, para el cual se han desarrollado ecuaciones de intensidad duración y frecuencia (IDFs), de varias cuencas dentro de la república de Panamá, y para varios periodos de retorno. Los cálculos efectuados se presentan con mayor detalle en el acápite siguiente.

Para la cuenca mayor que 2.50 Kms² se ha utilizado el método de la curva número, del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América, ya que el manual de aprobación de planos del MOP no permite la utilización del método racional para cuencas mayores de 2.50 Kms². Los cálculos efectuados se presentan con mayor detalle en un acápite posterior respectivo dentro del presente documento.



Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3.2. MÉTODO RACIONAL

El Manual de Aprobación de Planos de Panamá 2021, limita explícitamente el uso del método racional para áreas menores de 250.00 Ha (2.5 Kms²), por lo tanto, podría utilizarse para el cálculo de caudal de la cuenca del puente Brook brazo 1, ya que dicha cuenca tiene una extensión de 1.2198 Km², la cual es menor que 2.50 Km².

La expresión matemática del método racional puede adoptar muchas formas, dependiendo de las unidades de las dimensiones utilizadas en las variables relacionadas, con la inclusión de un factor de conversión adecuado. Para el caso del proyecto se ha utilizado la siguiente:

$$Q = \frac{C \times A \times i}{3.6}$$

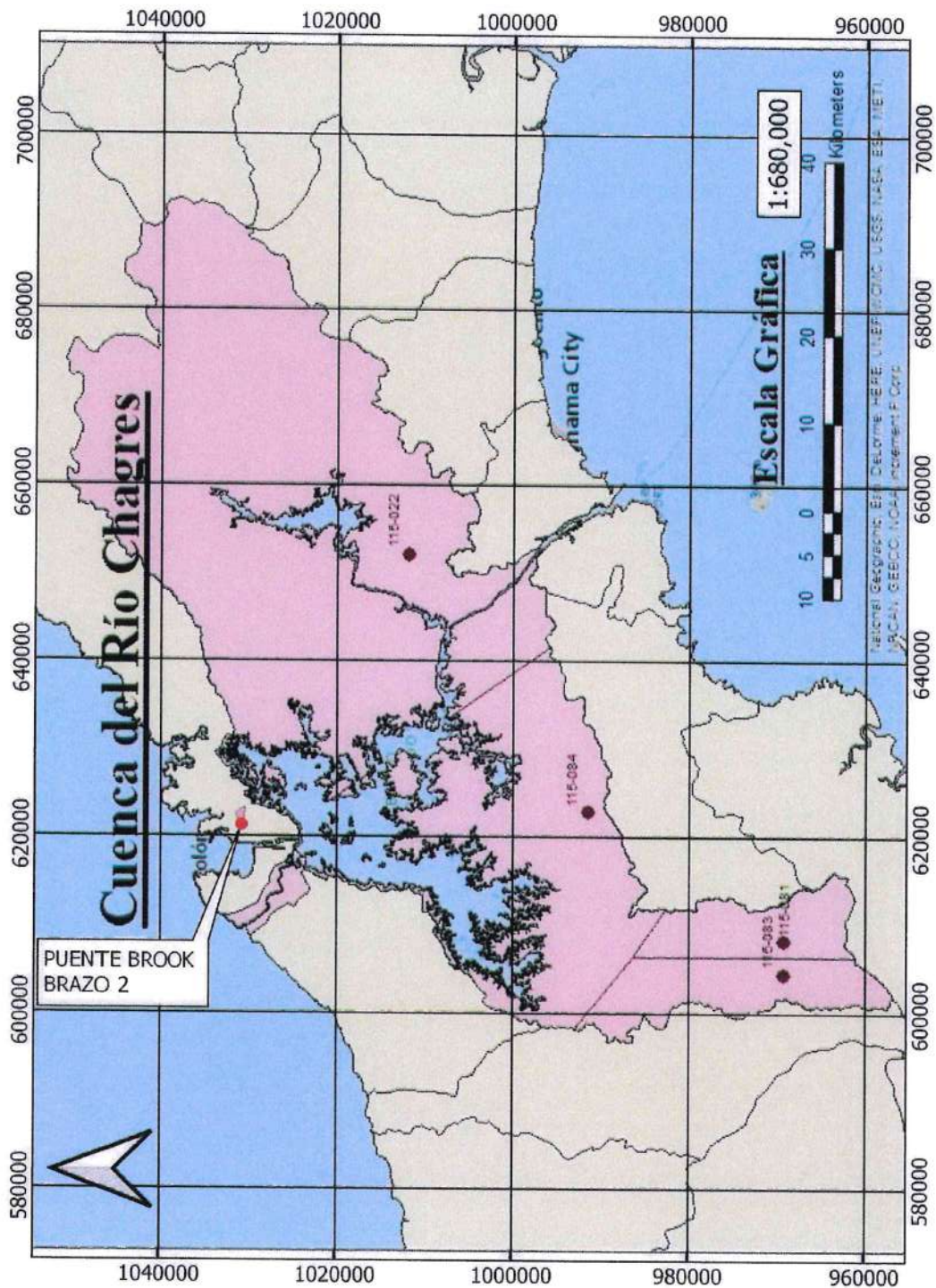
En donde:

- Q = caudal hidrológico en unidades de m³/s
- C = coeficiente de escorrentía adimensional, que según términos de referencia del proyecto es de 0.85
- A = área de drenaje de la cuenca en unidades de km²
- I = intensidad de precipitación de lluvia en unidades de mm/h, obtenida de las ecuaciones intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca, a la duración de la lluvia (tiempo de concentración), período de retorno de interés (100 años para el proyecto),

Las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia utilizadas fueron las disponibles en el Manual de Aprobación de planos del MOP vigente (año 2021), específicamente las correspondientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), ya que el puente se encuentra muy cerca de la desembocadura de esa cuenca (a menos de 4.00 Kms de distancia).



Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres



VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIAN°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos periodos de retorno

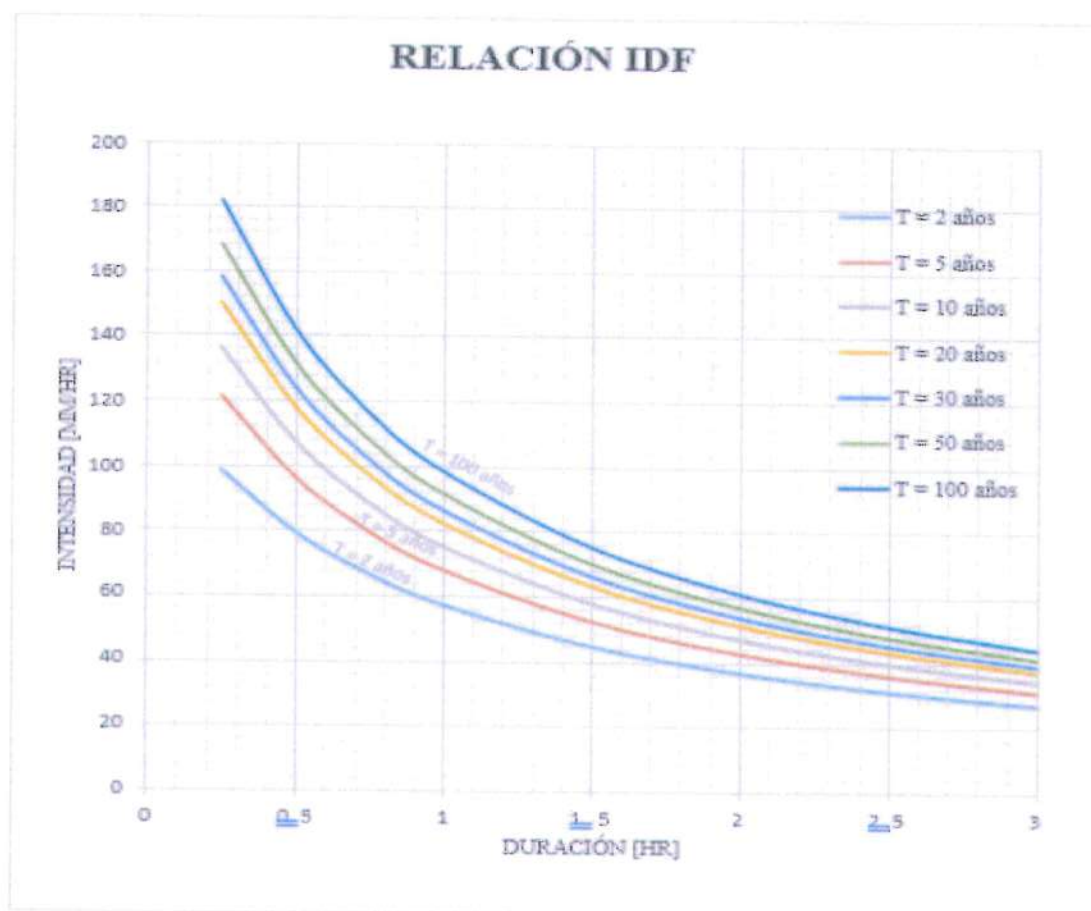


Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos periodos de retorno

	$I = \frac{a}{d + b}$						
T [años]	2	5	10	20	30	50	100
a [mm]	102.821	116.305	126.787	137.202	143.280	150.934	161.326
b [hr]	0.793	0.707	0.681	0.663	0.656	0.647	0.637
R ²	99.49%	99.52%	99.51%	99.51%	99.50%	99.50%	99.49%

Para determinar el tiempo de concentración se compararon los resultados de las fórmulas de Brasby-Williams, Federal Aviation Agency, Kirpich y la de la onda cinemática, para la trayectoria de escurrimientos de aguas más larga determinada en los mosaicos topográficos. A continuación, se presentan las fórmulas de tiempos de concentración mencionadas.



Fórmula de Brasby-Williams:

$$T_c = \frac{0.96 \times L^{1.20}}{(H^{0.20} \times A^{0.10}) \times 60}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

H = desnivel existente entre el punto de inicio y el punto final de escurrimiento

A = área de la cuenca en unidades de Kms²

Fórmula de la Federal Aviation Agency:

$$T_c = \frac{3.26 \times (1.10 - C) \times L^{0.50}}{(100 \times S)^{0.33}}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escorrentía del método racional, adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escorrentía de Manning adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de la onda cinemática:

$$T_c = \frac{0.94 \times L^{0.60} \times n^{0.60}}{i^{0.40} \times S^{0.30}}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de pies

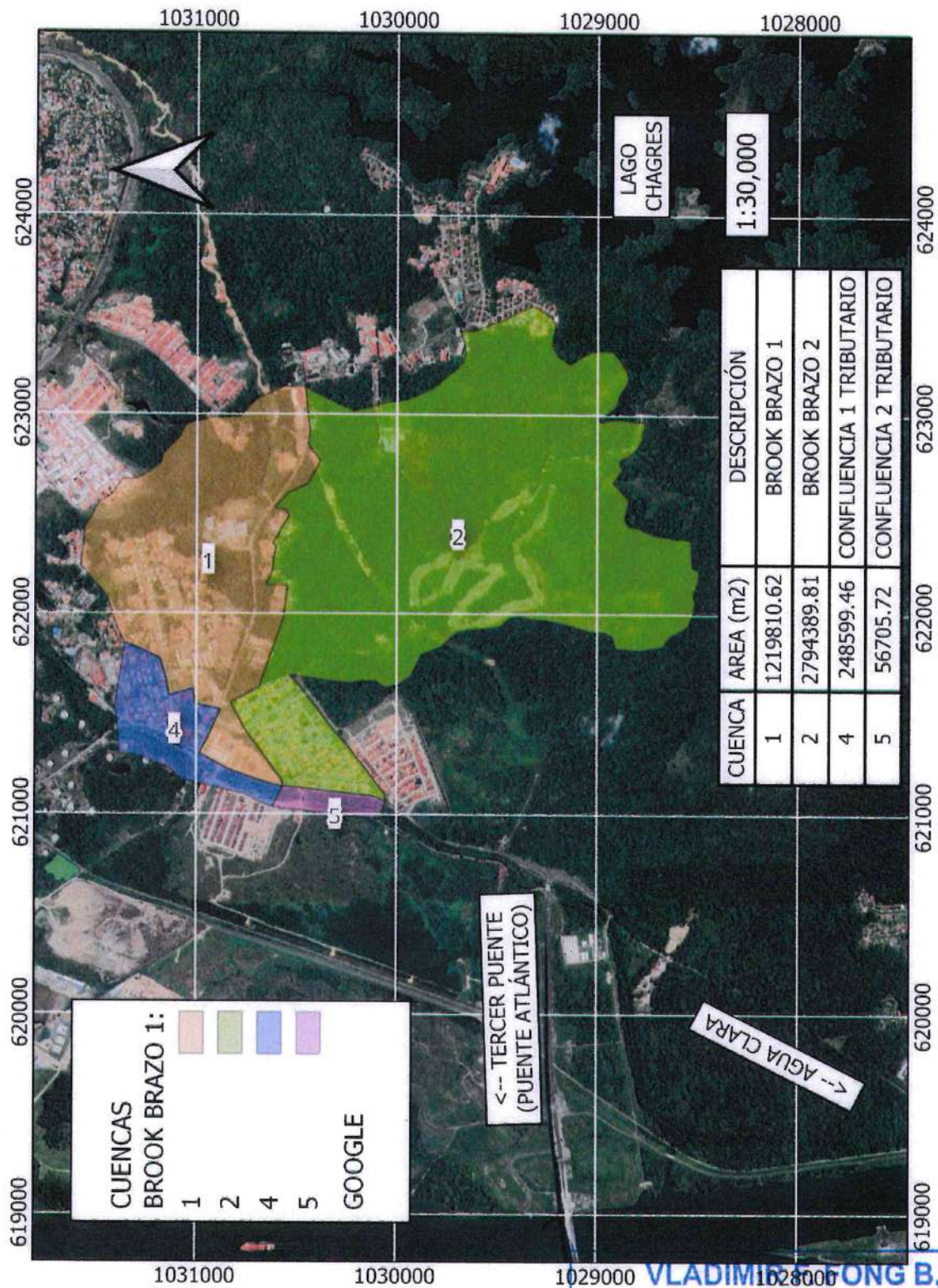
n = coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

i = intensidad de lluvia en pulg/h

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de pie/pie



Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth



VLADIMIR FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3.2. MÉTODO DE LA CURVA NÚMERO

4.3.2.1. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE CURVA NÚMERO

Como el Manual de Aprobación de Planos de Panamá 2021, limita explícitamente el uso del método racional para áreas menores de 250.00 Ha (2.5 Kms²), y al mismo tiempo el método regional de crecidas de ETESA, no podría utilizarse por lo explicado en el acápite 4.3.1. del presente documento, se ha recurrido al método de la curva número del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América. Por lo tanto, podría utilizarse para el cálculo de caudal de la cuenca del puente Brook brazo 2, ya que dicha cuenca tiene una extensión de 2.7944 Km², la cual es mayor que 2.50 Km².

El método fue adaptado a cuencas pequeñas y urbanas en su manual TR-55, constituyéndose con el paso del tiempo en uno de los métodos más utilizados en USA, lo cual ha favorecido el desarrollo de muchas aplicaciones del tipo comercial por empresas privadas y del tipo gratuito por agencias públicas, siendo la aplicación The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) del cuerpo de la Armada de los Estados Unidos de América (US Army Corps of Engineers), una de las más utilizadas. En parte por esta razón, esta aplicación es la que se ha utilizado para los análisis y cálculos hidrológico de la cuenca Brook brazo 2.

Dicho método requiere clasificar los suelos de las cuencas por tipo (A, B, C, y D) y por uso (cobertura). Respecto a los tipos de suelos, Panamá cuenta con un mapa taxonómico de suelos, el cual podría relacionarse y; respecto a los usos de suelos, Panamá cuenta también con un mapa de usos de suelos, el cual también puede relacionarse con el método de la curva número.

Para el caso de la cuenca del cauce Brook brazo 2 se facilita mucho la clasificación ya que toda la cuenca se encuentra en una zona con predominio de suelos Inceptisoles, Alfisoles y Ultisoles, los cuales pueden clasificarse como suelos hidrológicos (según metodología TR-55) tipo B.

Otra condición que simplifica el análisis de uso de suelos de la cuenca Brook brazo 2, es el hecho de que los términos de referencia del proyecto, establecen como parámetro mínimo de cumplimiento obligatorio, considerar un coeficiente de escurrimiento de escorrentía (método racional) de 0.85. Este coeficiente indica que el uso de suelos futuro de la cuenca, podría llegar a estar densamente urbanizado con un 85% de su área superficial impermeabilizada, por lo tanto, buscando una condición equivalente de suelo impermeabilizado en el método de la curva número, se encuentra el caso de "Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)", el cual según tabla y tipo de suelo B, le corresponde un valor de curva número (CN-II) de 92.

También el método utiliza un hidrograma estandarizado el cual puede ser alimentado por medio de un hietograma de tormenta de diseño específico del proyecto, dicho hietograma se ha elaborado igualando su duración al tiempo de concentración calculado por medio de las mismas ecuaciones empíricas utilizadas en el método

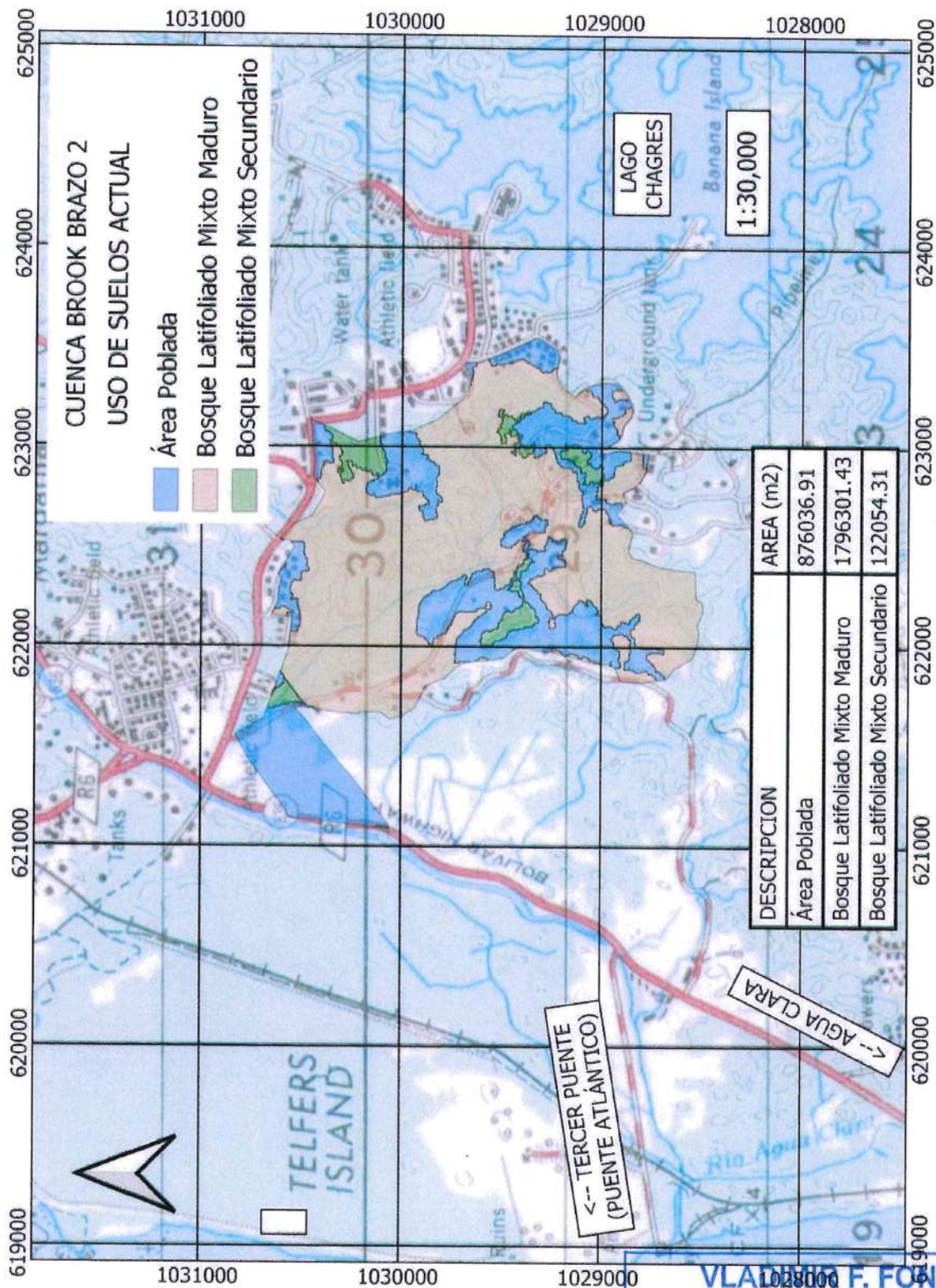


racional y, para calcular las alturas de precipitación del hietograma, se han utilizado las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia (IDFs), de la cuenca del lago Chagres (115) del Manual de Aprobación de Planos 2021, del Ministerio de Obras Públicas de Panamá.

La elaboración del hietograma de diseño se muestra posteriormente.



Imagen 3.2. 1 -- Uso de suelos actual de cuenca de quebrada Brook brazo 2



DESCRIPCION	AREA (m2)
Área Poblada	876036.91
Bosque Latifoliado Mixto Maduro	1796301.43
Bosque Latifoliado Mixto Secundario	122054.31

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 95

las tablas junto con las fórmulas y demás consideraciones del método de la curva número, se explican con mayor detalle a continuación:

Tabla 4.3. 3 – Valores típicos de números de curva (CN-II) de escorrentía superficial

Descripción del uso de la tierra		Valores de CN			
		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más		39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)		81	88	91	93
Zonas residenciales					
Tamaño medio del lote (m ²)	% promedio impermeable				
500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1350	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parqueos pavimentados, techos, superficies impermeables en general		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
pavimentadas con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
de grava		76	85	89	91
de tierra		72	82	87	89

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N° 99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

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

Este método se utiliza para estimar la precipitación neta o precipitación en exceso (Pe), a partir de datos de precipitación (P) y otros parámetros de la cuenca de drenaje que se traducen en el número de curva (CN). El método fue desarrollado utilizando datos de un gran número de cuencas experimentales y se basa en la siguiente relación:

$$Pe = \frac{[CN(P + 50.8) - 5080]^2}{CN[CN(P - 203.2) + 20320]}$$



donde:

Pe = precipitación en exceso, en mm

P = precipitación de la tormenta, en mm

CN = número de curva, cuyo valor para la cuenca Brook brazo 2 tiene un valor en condición de máximo desarrollo futuro de 95.

Para obtener la ecuación anterior para datos experimentales, los desarrolladores del método se basaron en una relación entre I_a y S, la cual es:

$$I_a = 0.2S$$

donde:

I_a = pérdidas o sustracciones iniciales, en mm, se define como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es una función de la intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía.

S = infiltración potencial máxima, en mm

El SCS, después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas, estableció una relación para estimar S a partir del número de curva CN, mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Si se conocen CN, de las ecuaciones anteriores, I_a se puede calcular como sigue:

$$I_a = 0.20 \frac{25400}{CN} - 254$$

$$I_a = \frac{5080}{CN} - 50.8$$

donde:

CN = número de curva

I_a = abstracciones iniciales o pérdidas iniciales

Para complementar la explicación y uso del método se aclara que la condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo; esto se encuentra en función de la cobertura vegetal y puede aproximarse, como se muestra en la tabla siguiente:



Tabla 4.3. 4 – Condición agrológica CN

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75 % del area	buena
entre 50 % y 75 % del area	regular
< 50 % del area	pobre

Respecto a los grupos hidrológicos de suelos el método define los grupos de suelos, los cuales pueden ser:

- Grupo A, tiene bajo potencial de escorrentía.
- Grupo B, tiene un moderado bajo potencial de escorrentía.
- Grupo C, tiene un moderado alto potencial de escorrentía.
- Grupo D, tiene un alto potencial de escorrentía.

Estos grupos de suelos se describen en la tabla siguiente:

Tabla 4.3. 5 – Grupos hidrológicos de suelos CN

GRUPO DE SUELOS	DESCRIPCIÓN
A Infiltración entre 7.62 -11.43 mm/hr	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento), aún cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B Infiltración entre 3.81 - 7.62 mm/hr	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están completamente mojados; están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión del agua.
C Infiltración entre 1.27-3.81 mm/hr	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o por suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
D Infiltración entre 0-1.27 mm/hr	Son suelos con alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados; están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Con relación al concepto de humedad antecedente (AMC)

La condición o estado de humedad tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca, determinados por la lluvia total en el periodo de los cinco días anteriores a la tormenta.

El SCS usa tres intervalos de AMC:



- AMC-I, es el límite inferior de humedad o el límite superior de S (infiltración potencial máxima). Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado o cultivos.
- AMC-II, es el promedio para el cual el SCS mostrado en la Tabla 4.3. 3.
- AMC-III, es el límite superior de humedad o el límite inferior de S. Hay máximo potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

El SCS presenta en la tabla siguiente para estimar la AMC, considerando el antecedente de cinco días de lluvia, el cual es simplemente la suma de la lluvia de los 5 días anteriores al día considerado.

Tabla 4.3. 6 – Condición de humedad antecedente CN

Condición de humedad antecedente (AMC)	Precipitación acumulada de los cinco días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación seca	Estación de crecimiento
I (seca)	menor de 1.3	menor de 3.5
II (media)	1.3 a 2.5	3.5 a 5
III (húmeda)	más de 2.5	más de 5

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

$$CN_{(III)} = \frac{23CN_{(II)}}{10 + 0.13CN_{(II)}}$$

Para el caso de la cuenca Brook Brazo 2, también se tomo en cuenta una condición de humedad antecedente tipo III, transformado el valor de CN inicialmente de 95 (CN-II) a un valor final de 98 (CN-III).

4.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL HIETOGRAMA DE TORMENTA

Tal como se explicó anteriormente, la tormenta de diseño se ha realizado a partir de las ecuaciones IDF anteriormente mencionadas, por medio del método de los bloques alternos, por lo tanto, se procedió a calcular el tiempo de concentración de las cuencas, tomando ese tiempo como igual a la duración del hietograma de tormenta.

El tiempo de concentración se adoptó de comparar el tiempo de concentración de 4 fórmulas empíricas, lo cual se muestra en la tabla respectiva. De dicha comparación se adoptó como tiempo de concentración un valor de 55 minutos. Este valor se utilizó también para calcular el tiempo de retardo (Lag Time) como de 0.60 veces el tiempo

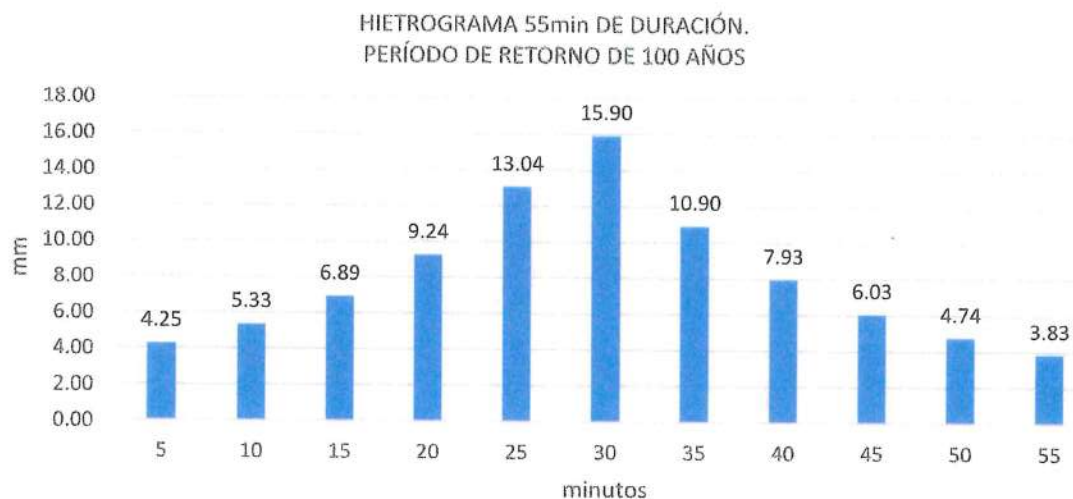


de concentración, ya que el tiempo de retardo también es una variable de ingreso necesaria en el método de la curva número.

Tabla 4.3. 7 – Condición de humedad antecedente CN

CALCULO DEL HIETOGRAMA DE LA TORMENTA DE DISEÑO. PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS Y DURACIÓN DE LA TORMENTA IGUAL AL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN. MÉTODO DE LOS BLOQUES ALTERNOS					
DURACION		INTENSIDAD	PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN INCREMENTAL	ALTURA DE HIETOGRAMA
min	h	mm/h	mm	mm	mm
5	0.08	190.75	15.90	15.90	4.25
10	0.17	173.64	28.94	13.04	5.33
15	0.25	159.35	39.84	10.90	6.89
20	0.33	147.23	49.08	9.24	9.24
25	0.42	136.83	57.01	7.93	13.04
30	0.50	127.79	63.90	6.89	15.90
35	0.58	119.88	69.93	6.03	10.90
40	0.67	112.89	75.26	5.33	7.93
45	0.75	106.67	80.00	4.74	6.03
50	0.83	101.10	84.25	4.25	4.74
55	0.92	96.08	88.07	3.83	3.83

Imagen 4.3. 2 – Hietograma de tormenta de 55 minutos, periodo de retorno 100 años



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

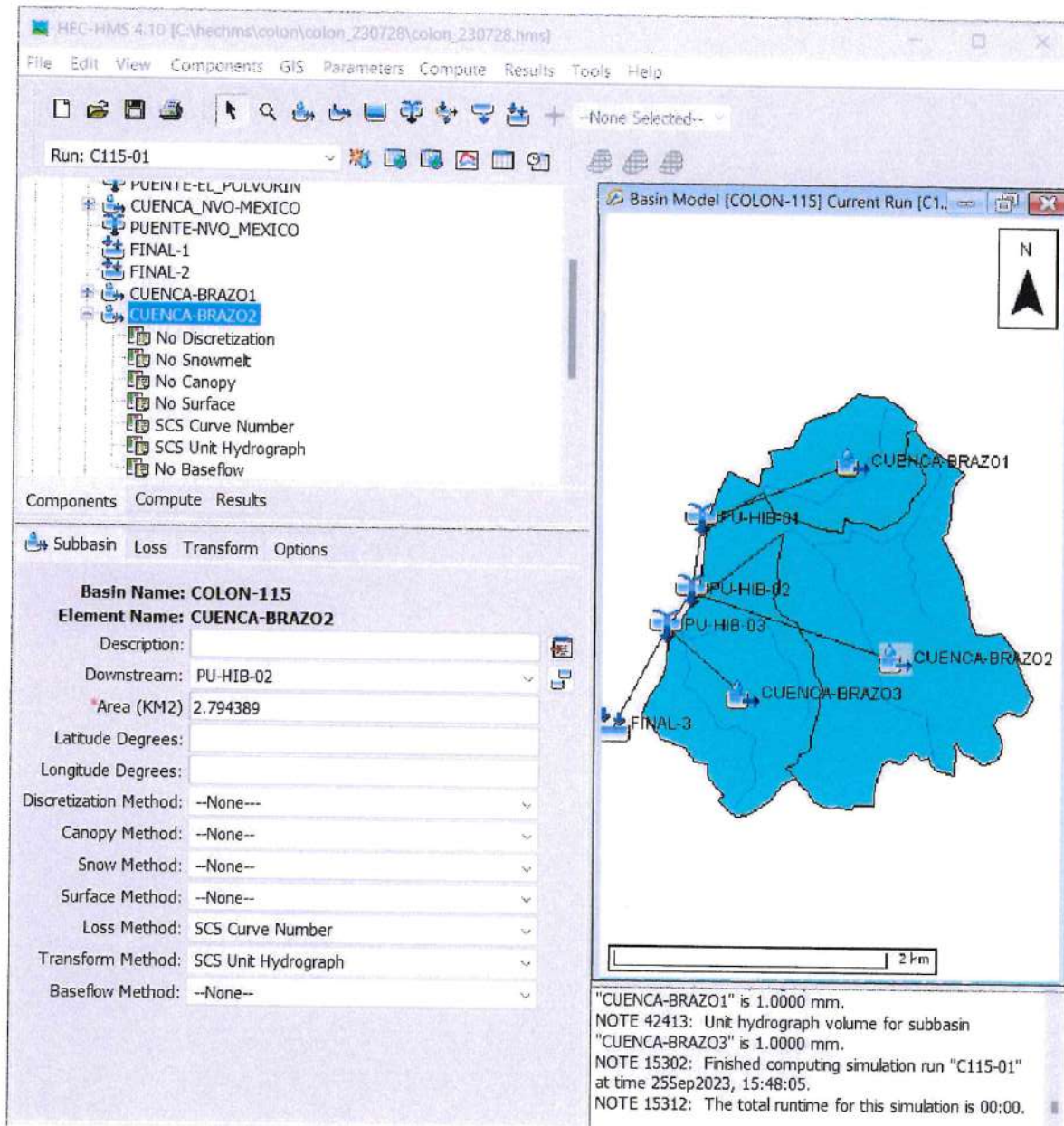
Ley 15 del 26 de Enero de 1959 101
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3.2.2. MODELACIÓN EN HEC-HMS Y CÁLCULO DE CAUDAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA BROOK BRAZO 2

A continuación, se muestran capturas de pantallas de la modelación y configuración hidrológica realizada en la aplicación HEH-HMS para el cálculo del caudal de la cuenca de la quebrada Brook Brazo 2, para una lluvia de 55 minutos de duración y período de retorno de 100 años:



Imagen 4.3. 3 – Pantalla principal HEC-HMS



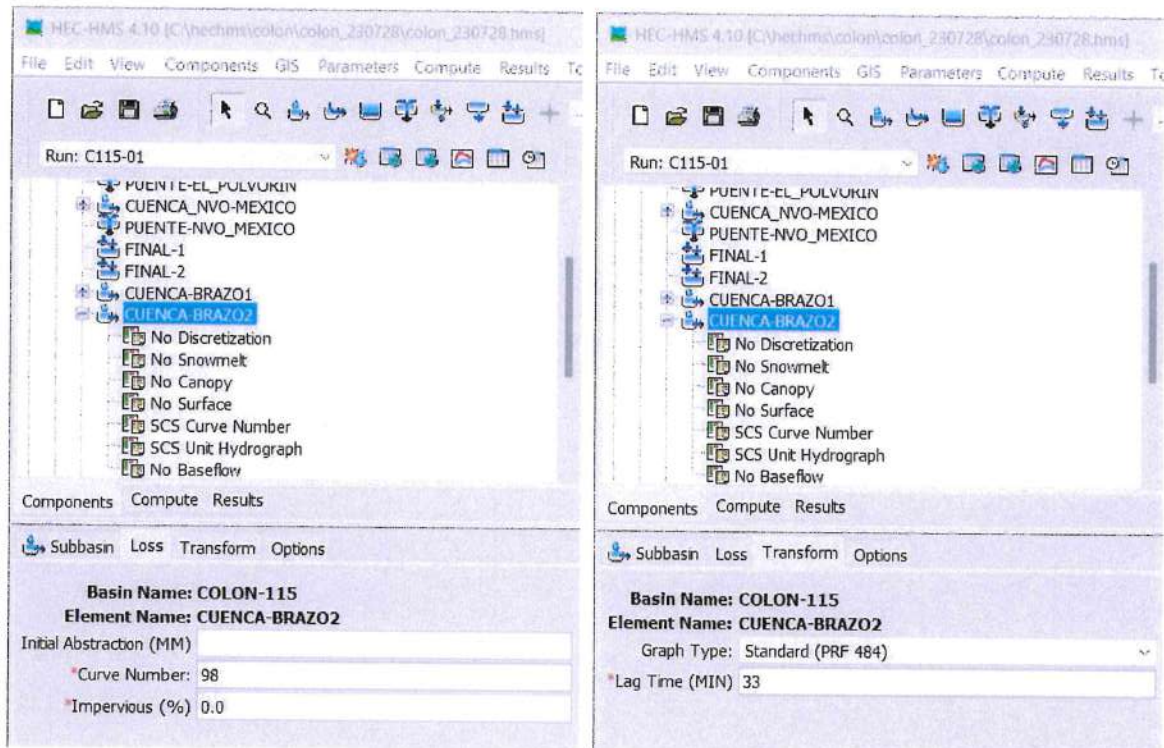
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

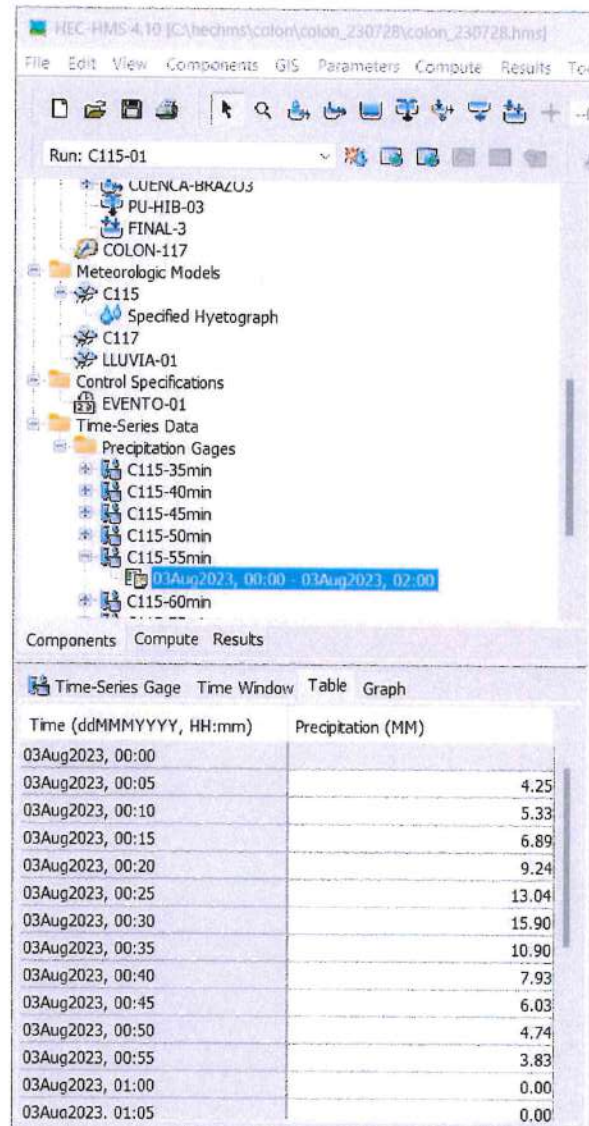
Imagen 4.3. 4 – Configuración de cuenca de quebrada Brook brazo 2



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3. 5 – Modelo meteorológico en HEC-HMS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3. 6 – Caudal pico calculado en cuenca de quebrada Brook brazo 2

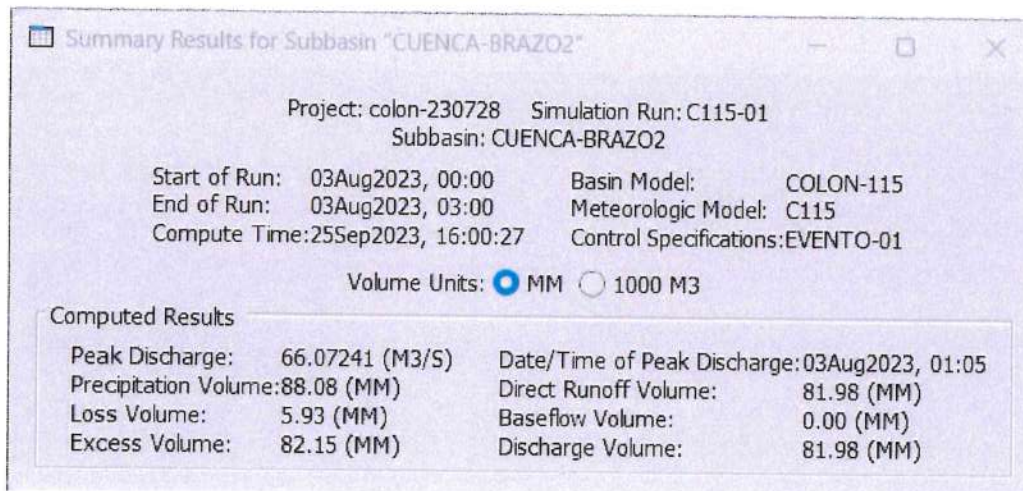
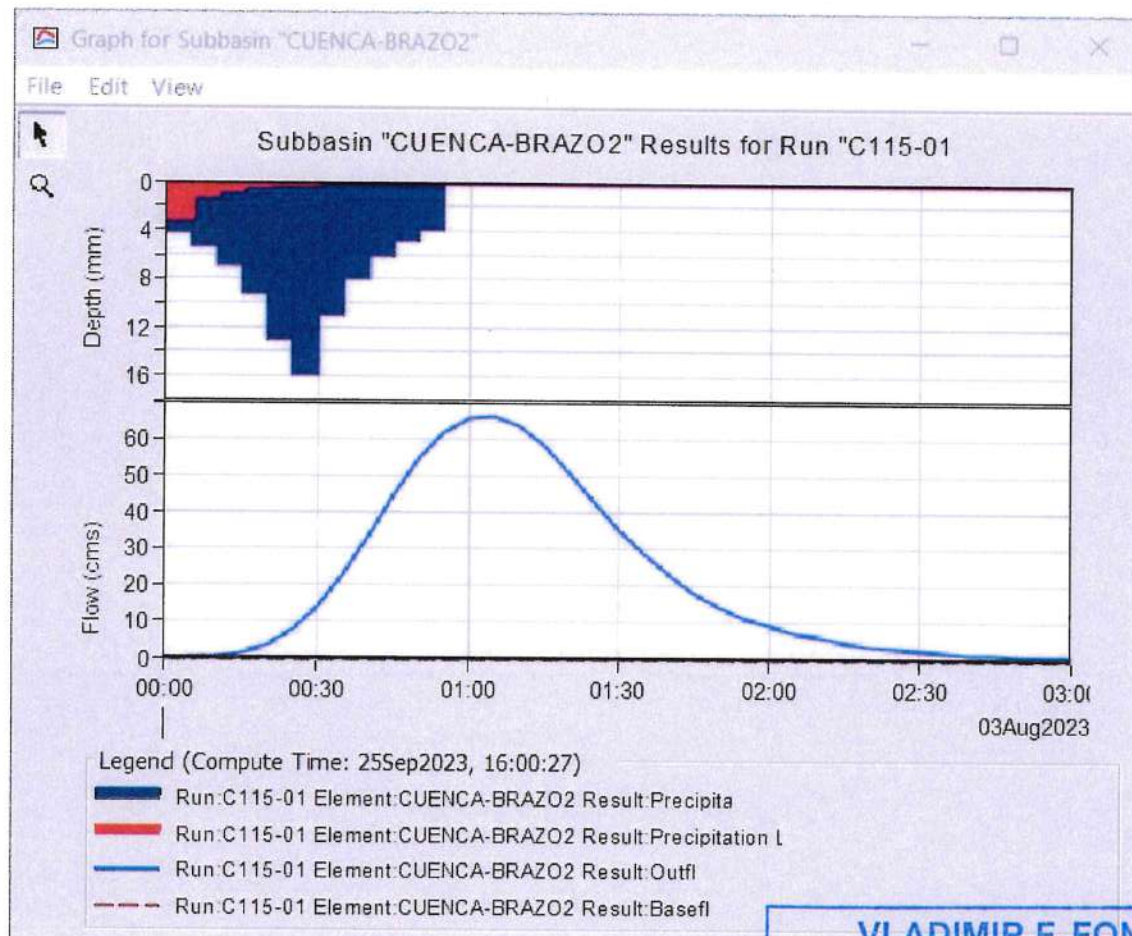


Imagen 4.3. 7 – Hidrograma de salida de la cuenca de quebrada Brook brazo 2



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3.3. RESUMEN DEL CÁLCULO DE CAUDALES DE LAS CUENCA BROOK BRAZO 2 Y CUENCAS RELACIONADAS

Un resumen de los cálculos efectuados para las 4 cuencas involucradas se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 4.3. 8 – Resumen de cálculos de caudales de la cuenca Brook brazo 2 y cuencas involucradas

Número de cuenca	Área, m ²	Área, Km ²	Distancia de escurrimiento, m	Elevaciones, msnm			Pendiente de Drenajes, m/m	C, método racional (adimensional)	CN-II, ponderado (adimensional)	CN-III, ponderado (adimensional)	Tc, min						Frecuencia de Lluvia, años	Intensidad de la lluvia, mm/h	Caudal método Racional, m ³ /s	Caudal SCS, m ³ /s
				Punto alto	Punto bajo	Diferencia de alturas					Brasby-Williams	Federal Aviation Agency	Kirpich	Ecuación de retardo SCS, CN-II	Ecuación de retardo SCS, CN-III	Adoptado				
1	1,219,810.62	1.2198	1952.00	20.00	5.00	15.00	0.0077	0.85	95.00	98.00	73.31	39.28	43.43	74.02	72.27	75.00	100	85.49	24.62	-
2	2,794,389.81	2.7944	3023.01	20.00	5.00	15.00	0.0320	0.85	95.00	98.00	114.05	30.53	35.11	51.47	50.25	55.00	100	103.84	68.51	66.07
4	248,599.46	0.2486	890.00	10.00	5.00	5.00	0.0056	0.85	95.00	98.00	41.72	29.41	26.76	46.19	45.09	45.00	100	116.31	6.83	-
5	56,705.72	0.0567	526.00	10.00	5.00	5.00	0.0095	0.85	95.00	98.00	25.73	19.01	14.58	23.31	22.76	23.00	100	158.11	2.12	-

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectos

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para realizar el análisis hidráulico del cauce Brook brazo 2 de la cuenca, se tomó en cuenta la ubicación del puente proyectado, la conformación de cauce necesaria para incrementar la anchura del cauce inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado y, el efecto de la confluencia que se forma con la quebrada sin nombre ubicada inmediatamente aguas abajo.

Se utilizó la aplicación computarizada HEC-RAS 6.3.1, la cual es una aplicación de análisis unidimensional de distribución gratuita y de amplio uso y aceptación a nivel mundial.

Para realizar el análisis en la aplicación, se elaboró la modelación en el editor geométrico de HEC-RAS. Este editor exige que se ingrese la información topográfica de cada sección transversal del cauce en estudio, lo más perpendicular posible a la dirección de la corriente y, en el sentido de aguas abajo a aguas arriba.

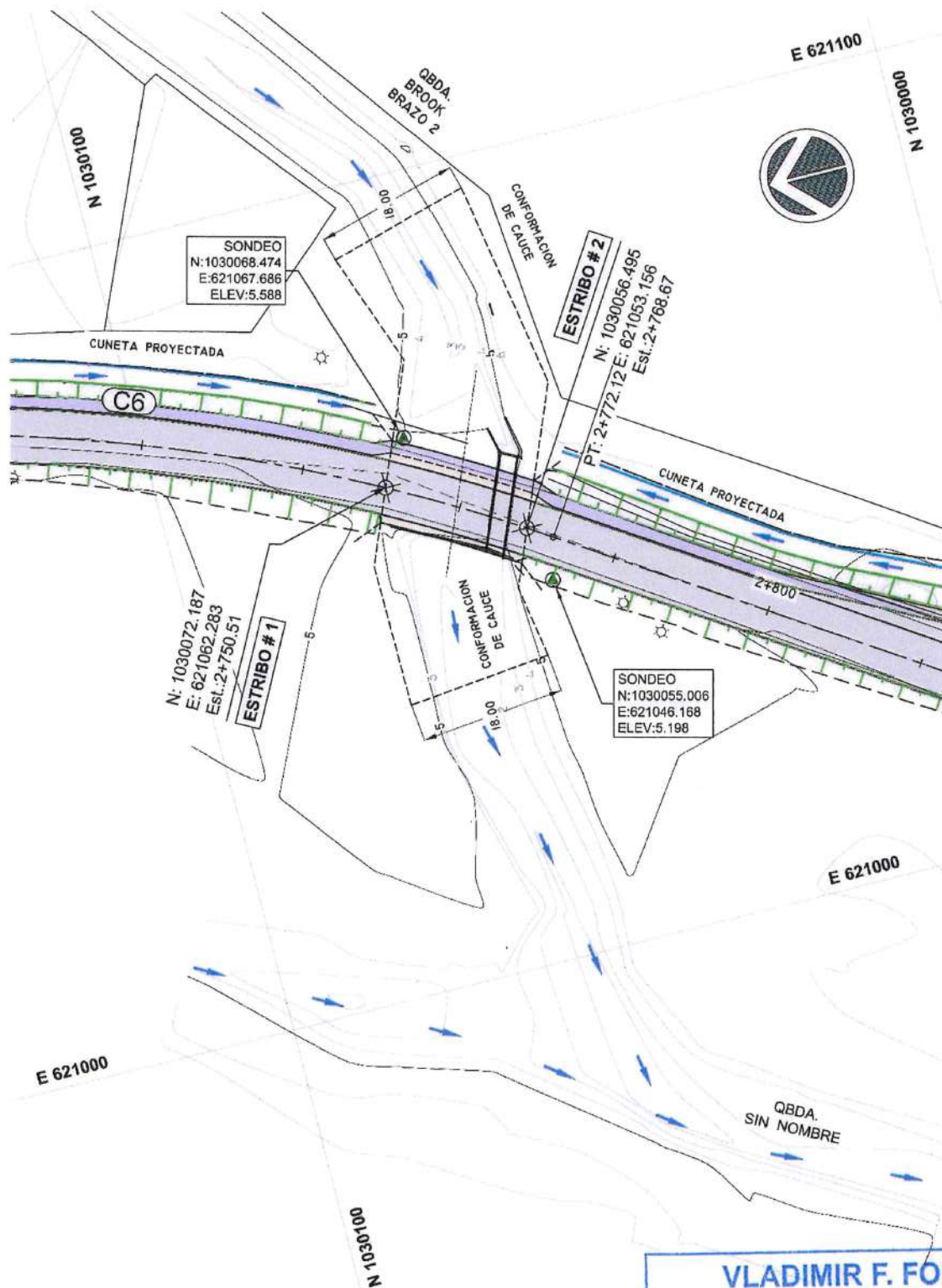
Con el levantamiento topográfico realizado, se obtuvieron secciones transversales del cauce a cada 20.00m de separación. Luego se introdujeron los datos geométricos de las secciones transversales en el editor geométrico del HEC-RAS. Para completar el modelo basándose en la inspección visual realizada al sitio del puente, se asignaron los coeficientes de rugosidad de Manning que se consideraron más adecuados para el canal del cauce y para las planicies de inundación del cauce. También se modeló la geometría del puente proyectado, tomando en cuenta la conformación de cauce necesaria, para simular taludes de protección con inclinación 1.50H: 1.00V inmediatamente aguas arriba y aguas debajo de la ubicación de puente proyectado.

Con el caudal máximo obtenido en el acápite anterior (período de retorno de 100 años), se asignaron las condiciones hidráulicas de frontera para análisis estático, para profundidad normal tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que por desconocerse su comportamiento, el análisis se configuró a régimen mixto, pues esta opción permite analizar simultáneamente a régimen de flujo sub crítico y a régimen supercrítico el modelo, los cuales compara internamente y arroja los resultados de la solución numérica más estable, que para el caso en estudio la quebrada Brook brazo 1 resultó tener comportamiento mayoritariamente sub crítico, con números de Froude en la mayoría de las secciones transversales menores que 1.00.

A continuación, se muestran capturas de pantallas de la modelación y configuraciones realizadas, ilustrando los parámetros y valores utilizados en el análisis hidráulico (de Imagen 5.1. 1 a Imagen 5.1. 13).



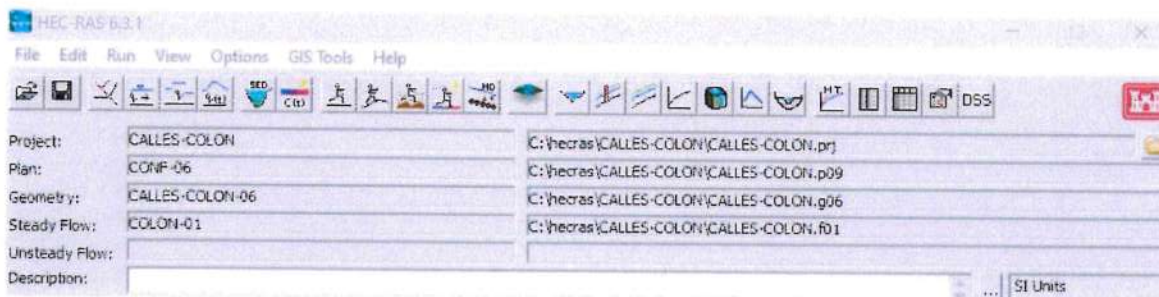
Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para la realización del modelo geométrico HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 5.0.7



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

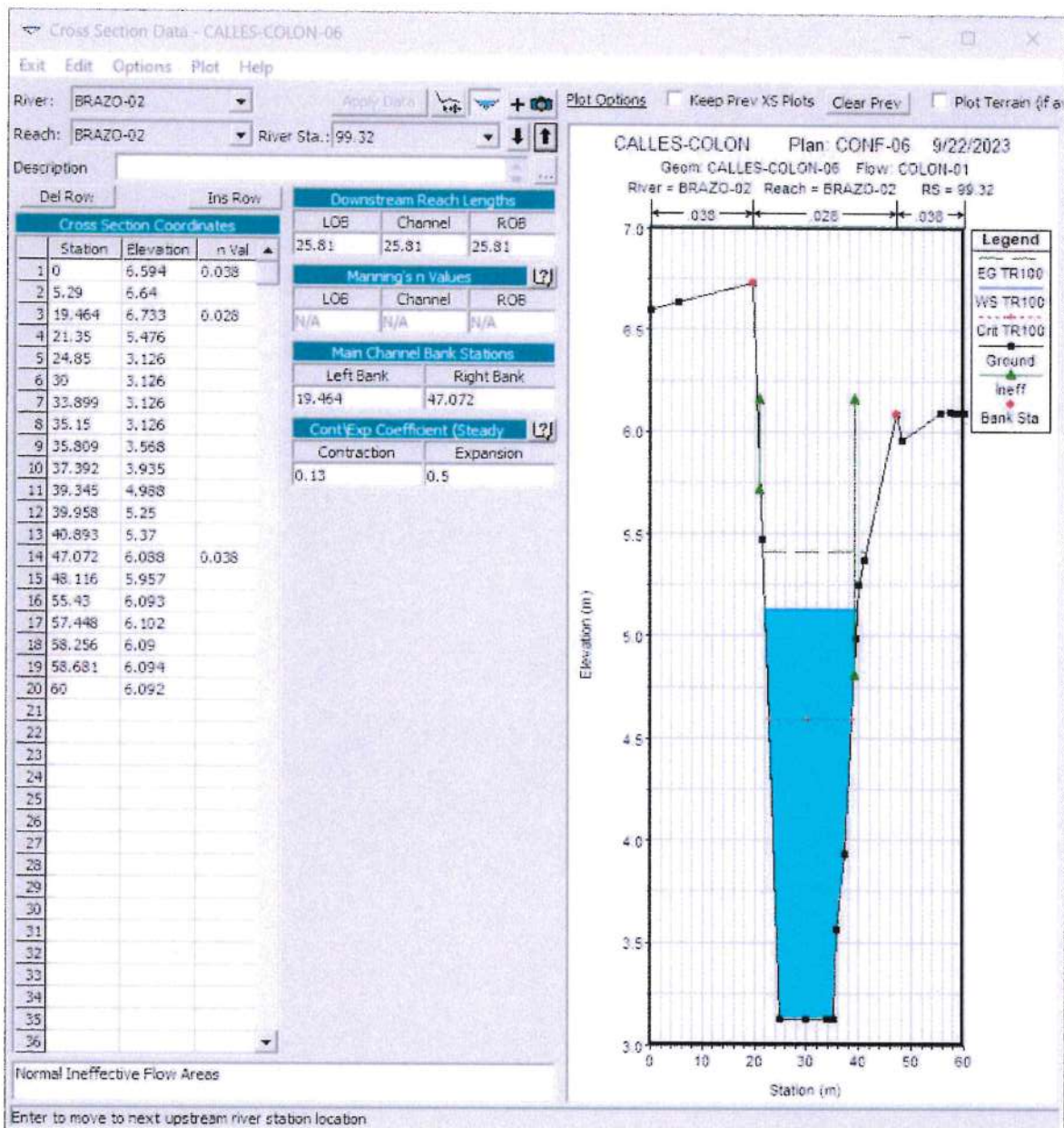
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS



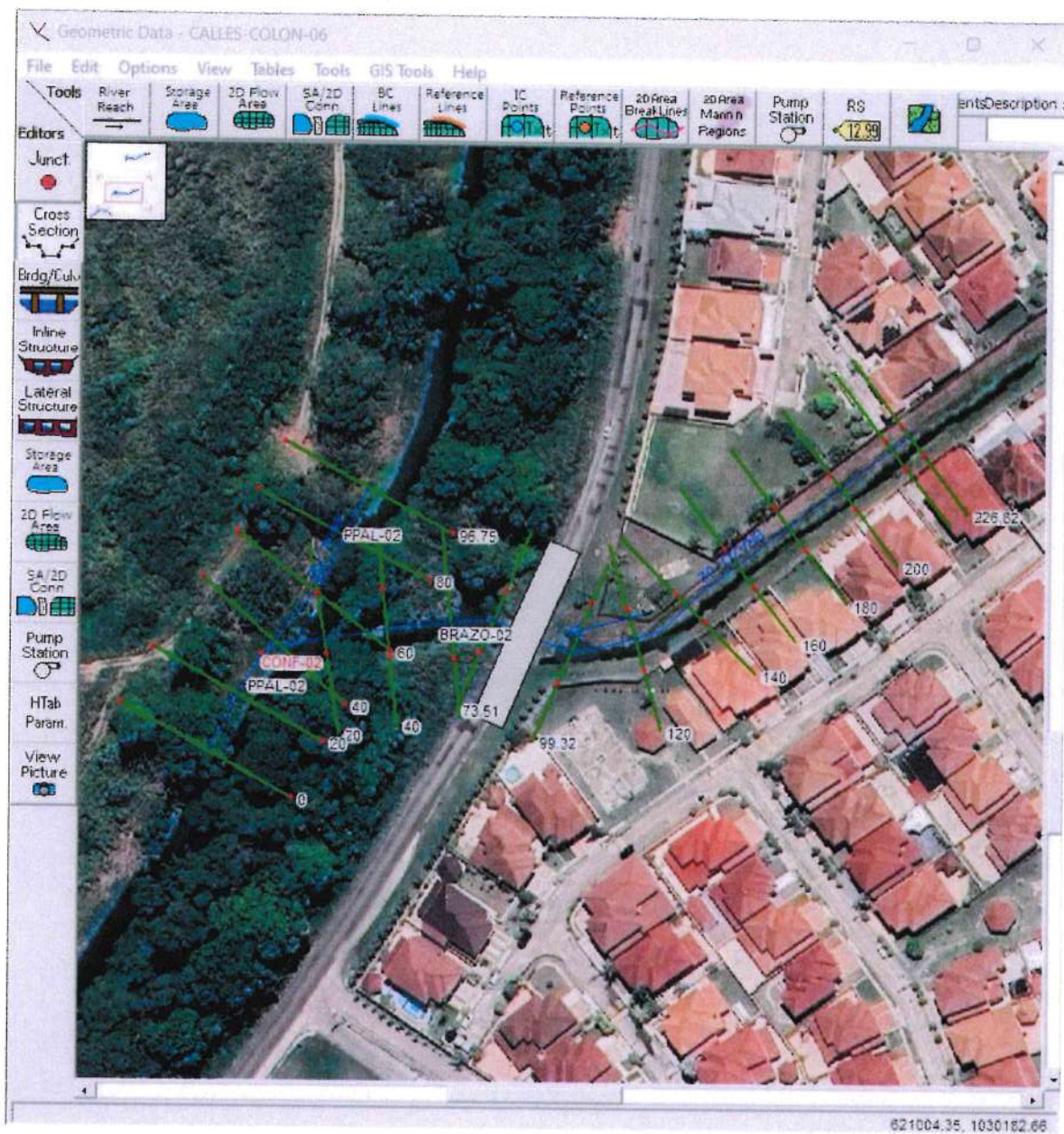
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

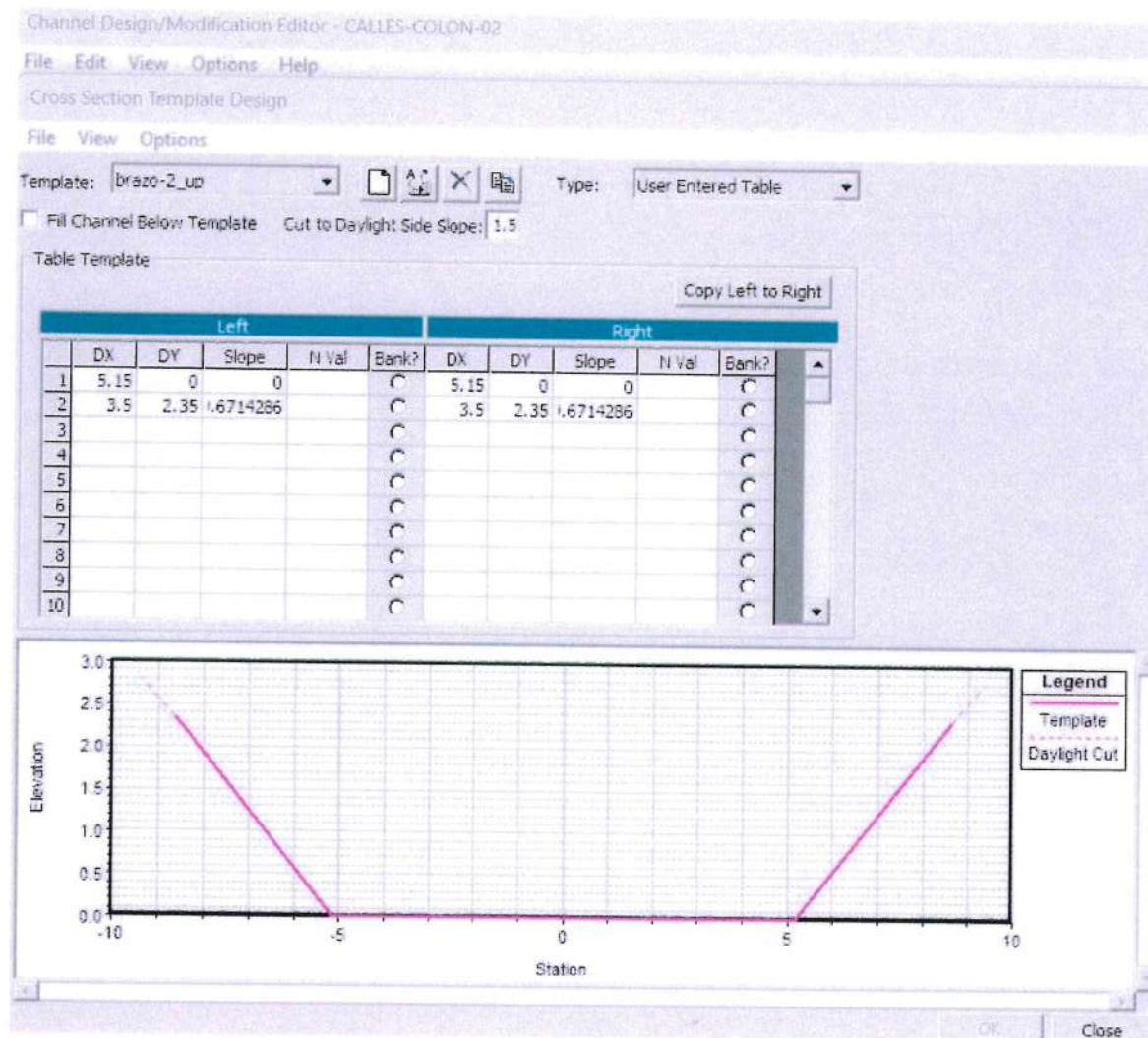
Imagen 5.1. 4- Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado



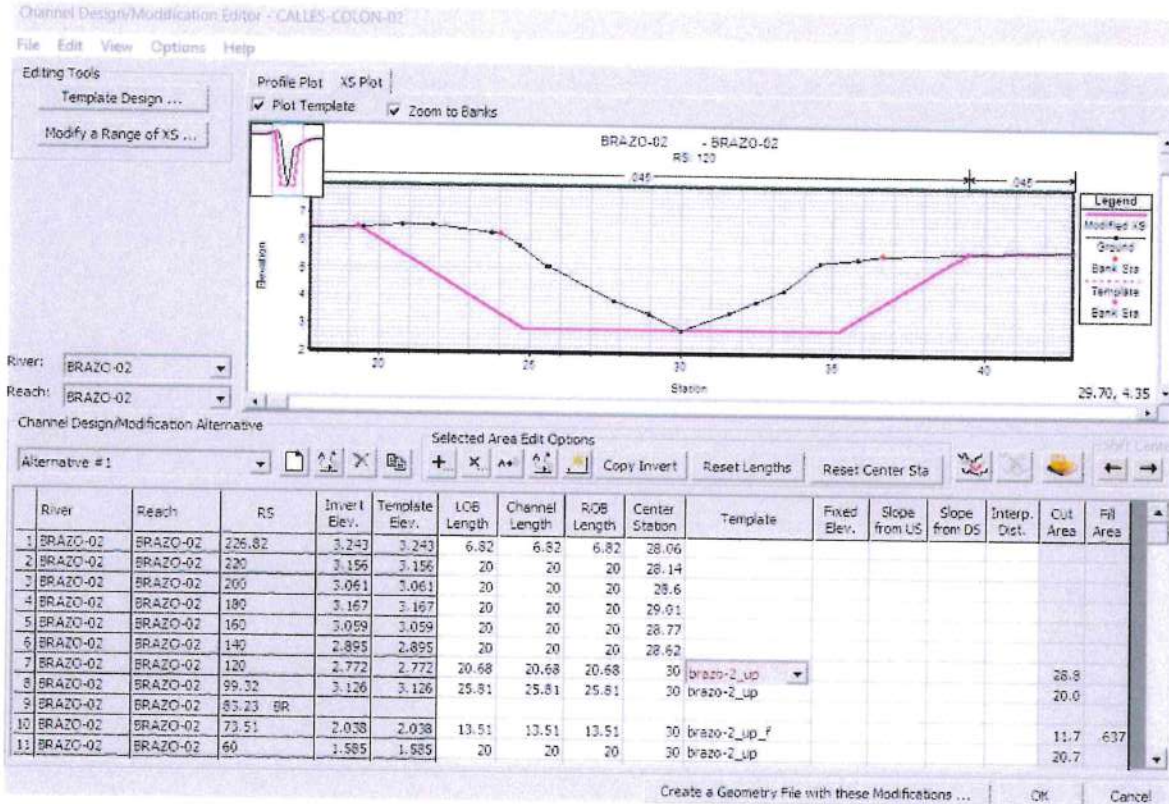
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)



VLADIMIR F. FONG B.

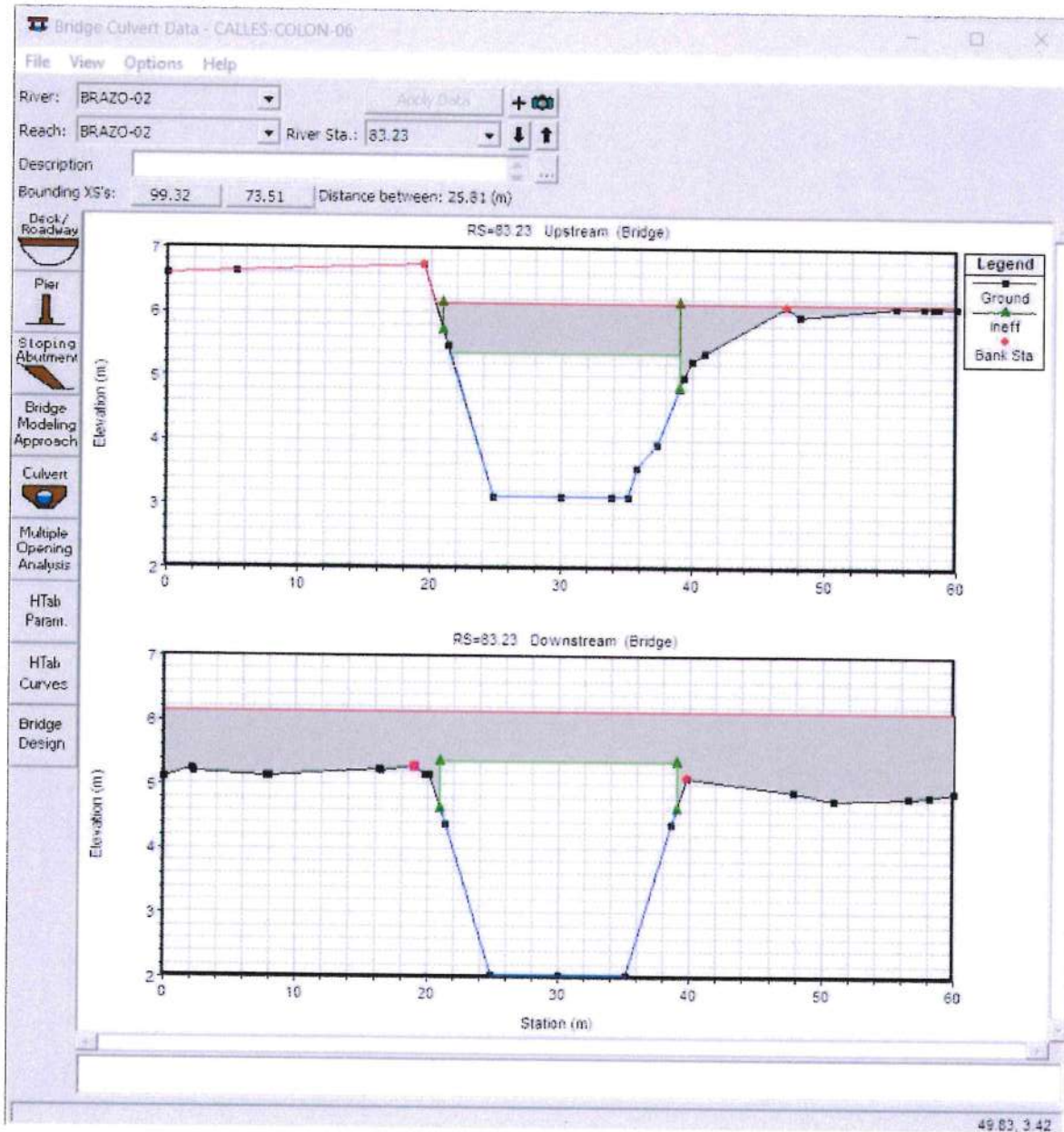
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 115

Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1

Del Row Ins Row

Upstream		Downstream	
Station	Elevation	Station	Elevation
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select Abutment to Edit

Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
10.	10.2	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	6.15	3.126	0	6.15	2.038
2	21	6.15	3.126	21	6.15	2.038
3	21	6.15	5.35	21	6.15	5.35
4	39	6.15	5.35	39	6.15	5.35
5	39	6.15	3.126	39	6.15	2.038
6	60	6.15	3.126	60	6.15	2.038
7						
8						

U.S Embankment SS 1.5 D.S Embankment SS 1.5

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo

Edit Contraction/Expansion Coefficients (Steady Flow)

River: BRAZO-02 ☒ Edit Interpolated XS's

Reach: BRAZO-02

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ...

	River Station	Contraction	Expansion
1	226.82	0.1	0.3
2	220	0.1	0.3
3	200	0.1	0.3
4	180	0.1	0.3
5	160	0.1	0.3
6	140	0.1	0.3
7	120	0.3	0.5
8	99.32	0.13	0.5
9	83.23	Bridge	
10	73.51	0.3	0.5
11	60	0.3	0.5
12	40	0.1	0.3
13	20	0.1	0.3

OK Cancel Help

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Data - COLON-01

File Options Help

Description : Apply Data

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: BRAZO-01 Add Multiple...

Reach: BRAZO-01 River Sta.: 200 Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates	
	River	Reach	RS	TR 100	
1	BRAZO-01	BRAZO-01	200	24.62	
2	BRAZO-02	BRAZO-02	226.82	66.07	
3	BRAZO-03	BRAZO-03	282.91	29.63	
4	PPAL-01	PPAL-01	60	6.83	
5	PPAL-01-DOWN	PPAL-01	20	31.45	
6	PPAL-02	PPAL-02	96.75	33.57	
7	PPAL-02-DOWN	PPAL-02	20	99.64	

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
BRAZO-01	BRAZO-01	all	Normal Depth S = 0.0036	Junction=CONF-01
BRAZO-02	BRAZO-02	all	Normal Depth S = 0.0123	Junction=CONF-02
BRAZO-03	BRAZO-03	all	Normal Depth S = 0.017	Normal Depth S = 0.0659
PPAL-01	PPAL-01	all	Normal Depth S = 0.03	Junction=CONF-01
PPAL-01-DOWN	PPAL-01	all	Junction=CONF-01	Normal Depth S = 0.0166
PPAL-02	PPAL-02	all	Normal Depth S = 0.0796	Junction=CONF-02
PPAL-02-DOWN	PPAL-02	all	Junction=CONF-02	Normal Depth S = 0.039

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...

OK Cancel Help

Enter to accept data changes.

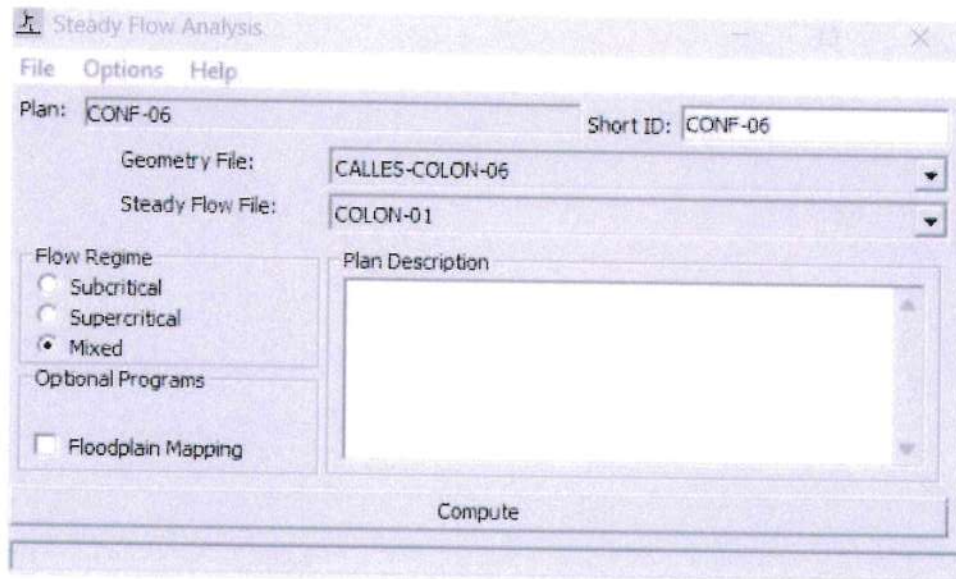
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS

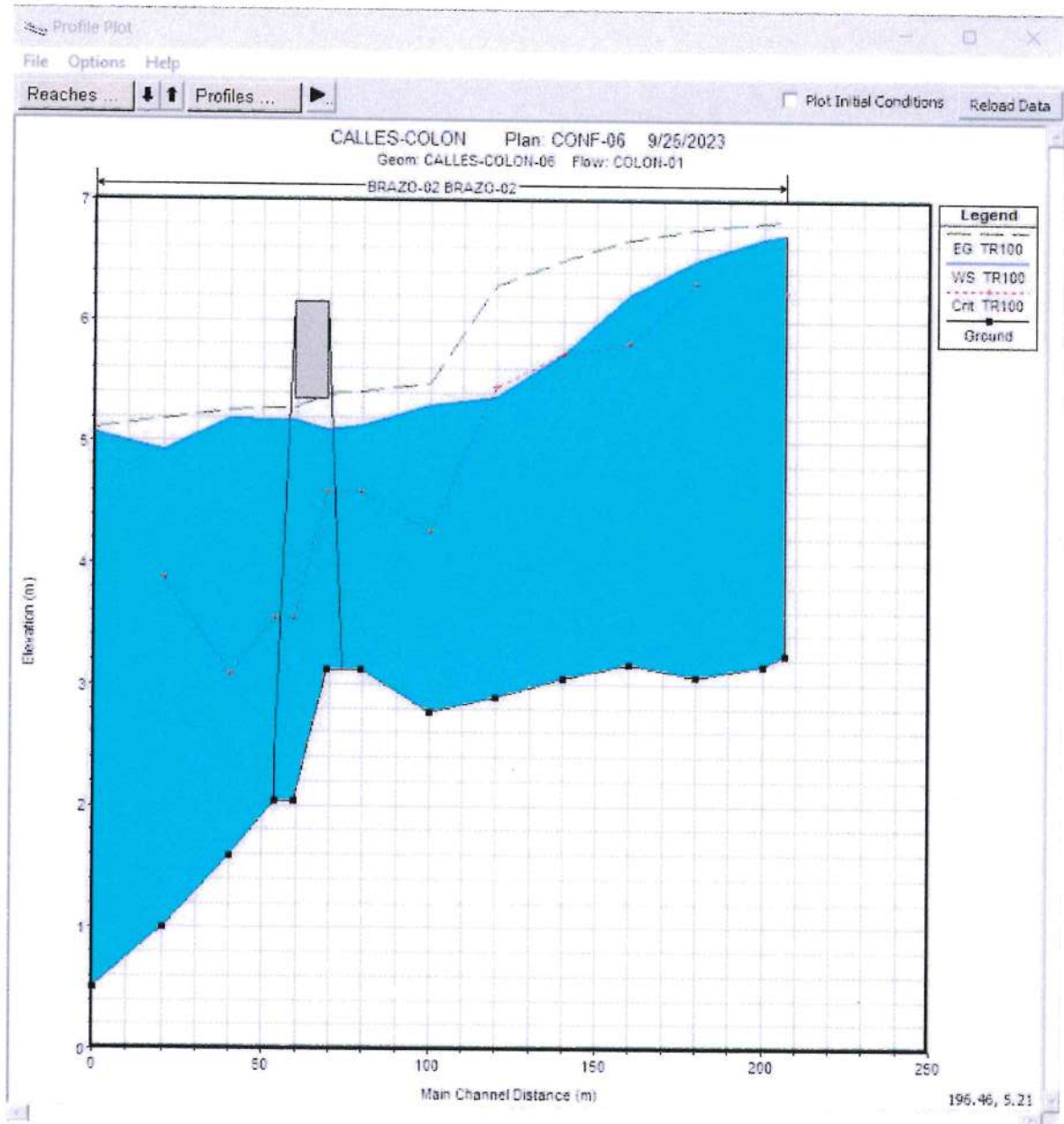


5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO

Los resultados obtenidos del modelo analizado se muestran en las siguientes capturas de pantalla, en donde puede observarse que el nivel de aguas máximas extraordinarias obtenido (N.A.M.E.) es de 5.17m respecto al datum del proyecto.



Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce

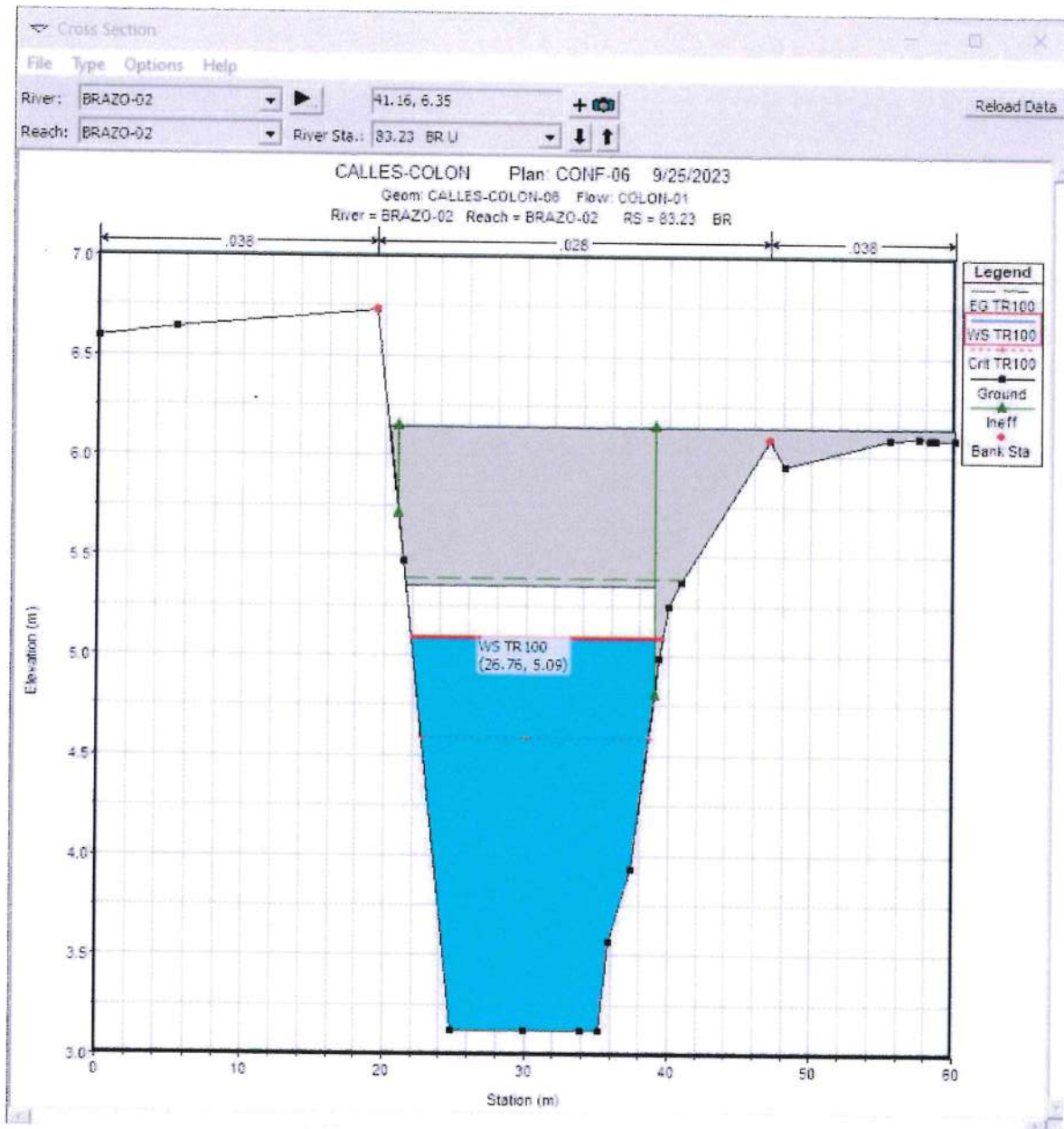


VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba

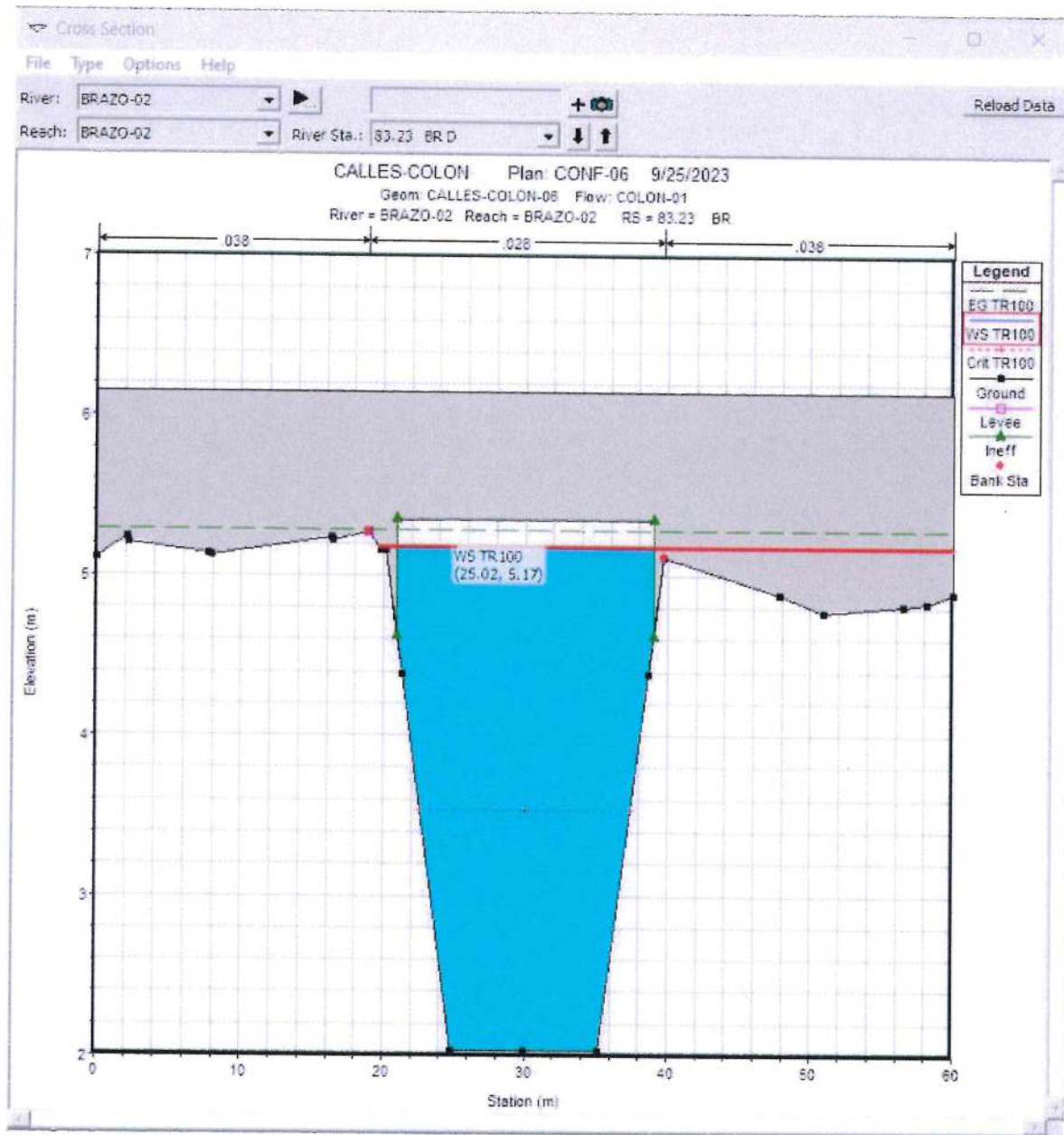


VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre la quebrada Potrero

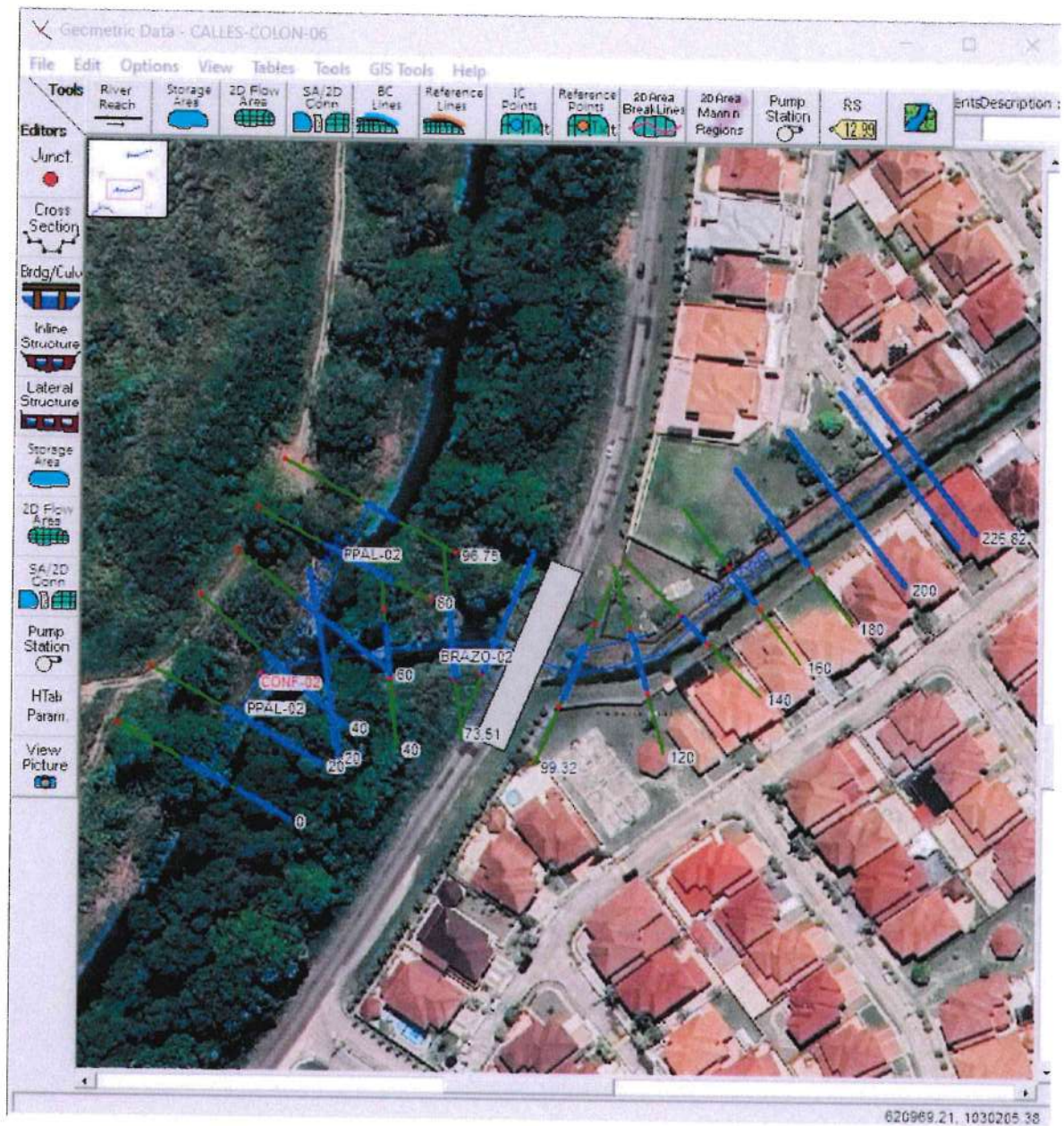
Bridge Output				
File Type Options Help				
River:	BRAZO-02	Profile:	TR 100	
Reach:	BRAZO-02	RS:	83.23	Plan: CONF-06
Plan: CONF-06 BRAZO-02 BRAZO-02 RS: 83.23 Profile: TR 100				
E.G. US. (m)	5.41	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	5.13	E.G. Elev (m)	5.38	5.28
Q Total (m3/s)	66.07	W.S. Elev (m)	5.09	5.17
Q Bridge (m3/s)	66.07	Crit W.S. (m)	4.59	3.53
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.96	3.14
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.40	1.42
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	27.53	46.51
Weir Submerg		Froude # Chl	0.55	0.26
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	40.82	75.49
Min El Weir Flow (m)	6.15	Hydr Depth (m)	1.61	2.58
Min El Prs (m)	5.35	W.P. Total (m)	18.36	20.68
Delta EG (m)	0.14	Conv. Total (m3/s)	1288.3	2851.6
Delta WS (m)	-0.04	Top Width (m)	17.08	18.00
BR Open Area (m2)	32.02	Frctn Loss (m)	0.01	0.00
BR Open Vel (m/s)	2.40	C & E Loss (m)	0.10	0.00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	38.68	11.84
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	92.83	16.82

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

126

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1. El área de la cuenca del puente sobre la quebrada Brook brazo 2, determinada de los mosaicos cartográficos Tommy Guardia escala 1:50,000, fue de 2,794,389.81 m² equivalente a 2.7944 Km²
- 6.2. Para el cálculo de caudales no fue posible utilizar directamente el método regional de crecidas máximas de ETESA, ya que el proyecto no está ubicado en una zona hidrológicamente homogénea, aún así, se calcularon los caudales por medio de las ecuaciones de las zonas hidrológicamente homogéneas más cercas al proyecto, pero se encontraron variaciones demasiado significativas en los resultados, por lo tanto, los resultados solo se utilizaron como referencia, para justificar y validar el uso del método de la curva número para la cuenca de la quebrada Brook brazo 2 y por el método racional para el resto de cuencas involucradas (tributarias de la confluencia).
- 6.3. Como el área de la cuenca del cauce Brook brazo 2 es mayor que 2.50 Kms², se calculó y dejó como definitivo el caudal de la cuenca por medio del método de la curva número obteniéndose un caudal de a flujo constante de 66.07 m³/s para la quebrada Brook brazo 2 y de 33.57 m³/s por el método racional, aguas arriba de la confluencia de la quebrada Brook brazo 2 con la quebrada sin nombre a la que tributa. Ambos caudales calculados corresponden a un período de retorno de 100 años.
- 6.4. También se utilizaron las ecuaciones IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Plano, específicamente la correspondiente al período de retorno de 100 años, para el cálculo de intensidades por el método racional y el de la curva número. También se utilizó un coeficiente "C" para el método racional de 0.85, tal como lo indican los términos de referencia del proyecto.
- 6.5. El análisis hidráulico realizado para el cauce del proyecto fue del tipo unidimensional (1D), ya que para el proyecto se realizó un levantamiento topográfico de detalle con equipo de estación total, levantando secciones transversales a cada 20.00m de separación, con un alcance de 100.00m aguas arriba y 100.00m aguas abajo.
- 6.6. Con el levantamiento topográfico realizado, se elaboraron curvas de nivel a cada 1.00m de elevación del relieve del terreno existente (sin proyecto), y se construyó el modelo geométrico en HEC-RAS 6.5 en una dimensión (1D), con sus respectivas obras hidráulicas proyectadas (puente y conformación de cauce). Por esta razón no fue necesario elaborar un modelo digital de elevación con proyecto ni curvas de nivel con proyecto, ya que no se ha realizado un análisis hidráulico en 2 dimensiones (2D) en este estudio, sino que únicamente en 1 dimensión (1D).
- 6.7. Posteriormente se revisó la posibilidad de incorporar dentro de HEC-RAS 6.5 un modelo digital de elevaciones auxiliándose de una herramienta GIS.

VLADIMIR E. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

para crear un archivo DEM, el cual se importó dentro de HEC-RAS 6.5 por medio de su herramienta nativa RAS-MAPPER creándose de esa manera un RAS TERRAIN LAYER en formato *.hdf, sin embargo, el uso del mismo fue descartado porque al superponer su geometría en las secciones transversales del modelo 1D (cross section data), se observó que el mismo no superaba la precisión ni la calidad de la información 1D modelada y en consecuencia tampoco de la topografía levantada.

- 6.8. Con el modelo HEC-RAS 6.5 elaborado, se configuraron los parámetros hidráulicos respectivos (condiciones de frontera, régimen de flujo, etc.) y se ejecutó la simulación hidráulica, calculándose un nivel de aguas máximas esperado (NAME) para el puente sobre la quebrada Brook Brazo 2, de 5.17 m respecto al datum del proyecto.
- 6.9. El comportamiento del flujo la quebrada Brook brazo 2 para el caudal de diseño utilizado mixto, obteniéndose números régimen sub crítico, en la zona de conformación del cauce, con números de Froude en las secciones transversales de dicho tramo menores que 1.00.
- 6.10. Las velocidades de flujo calculadas en el cauce de la quebrada Brook brazo 2, en todas las secciones transversales en el tramo de conformacion resultaron menores de 2.35 m/s, la cual es una velocidad favorable que puede circular sin causar desgaste en los zampeados y elementos de concreto del la subestructura del puente proyectado.
- 6.11. Luego de las modelaciones se concluye que no existe el riesgo de inundación para el puente proyectado, ya que el mismo se ha diseñado (según planos aprobados) respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 de altura.
- 6.12. Para la revisión y validación de los resultados de la simulación, se adjuntan los siguientes insumos y productos utilizados y generados por HEC RAS 6.5:
 - 6.12.1. Archivo DEM utilizado para elaborar el "terrain".
 - 6.12.2. Archivo proyecto generado por la simulación.
 - 6.12.3. Archivo de geometría generado por la simulación con proyecto (modelo 1D).
 - 6.12.4. Archivo plan generado por la simulación.
 - 6.12.5. Archivo de flujo constante o no constante generado por la simulación.
 - 6.12.6. Archivo ráster final de resultado de simulación sin proyecto



ANEXO – 01: RESULTADOS ADICIONALES



Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+200

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: CONF-06 Profile: TR100

Reload Data

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # CH
PPAL-02-DOWN	PPAL-02	20	TR100	99.64	1.70	4.57	4.55	5.04	0.013316	3.04	32.80	34.58	1.00
PPAL-02-DOWN	PPAL-02	0	TR100	99.64	1.61	4.29	4.29	4.78	0.013164	3.09	32.27	33.68	1.01
PPAL-02	PPAL-02	96.75	TR100	33.57	3.29	4.41	5.01	6.23	0.079625	5.96	5.63	10.64	2.62
PPAL-02	PPAL-02	80	TR100	33.57	1.93	5.05	3.88	5.12	0.001035	1.17	28.64	23.71	0.34
PPAL-02	PPAL-02	60	TR100	33.57	0.83	5.09		5.10	0.000073	0.45	74.82	35.26	0.10
PPAL-02	PPAL-02	40	TR100	33.57	0.20	5.08		5.09	0.000158	0.56	59.47	34.00	0.14
BRAZO-02	BRAZO-02	226.82	TR100	66.07	3.24	6.71	6.24	6.83	0.001264	1.80	56.43	60.00	0.39
BRAZO-02	BRAZO-02	220	TR100	66.07	3.16	6.68		6.82	0.001484	1.91	52.79	60.00	0.42
BRAZO-02	BRAZO-02	200	TR100	66.07	3.06	6.50	6.31	6.77	0.002992	2.45	36.93	60.00	0.88
BRAZO-02	BRAZO-02	180	TR100	66.07	3.17	6.21	5.81	6.67	0.005537	3.01	24.25	37.13	0.79
BRAZO-02	BRAZO-02	160	TR100	66.07	3.06	5.73	5.73	6.50	0.009150	3.88	17.02	11.07	1.00
BRAZO-02	BRAZO-02	140	TR100	66.07	2.89	5.37	5.45	6.29	0.010465	4.25	15.56	9.68	1.07
BRAZO-02	BRAZO-02	120	TR100	66.07	2.77	5.30	4.26	5.48	0.001205	1.86	35.56	17.83	0.42
BRAZO-02	BRAZO-02	99.32	TR100	66.07	3.13	5.13	4.59	5.41	0.002378	2.34	28.24	17.82	0.58
BRAZO-02	BRAZO-02	83.23		Bridge									
BRAZO-02	BRAZO-02	73.51	TR100	66.07	2.04	5.17	3.53	5.27	0.000501	1.42	46.46	40.27	0.28
BRAZO-02	BRAZO-02	60	TR100	66.07	1.58	5.18	3.08	5.25	0.000331	1.17	56.35	21.04	0.23
BRAZO-02	BRAZO-02	40	TR100	66.07	1.00	4.93	3.88	5.18	0.002339	2.24	29.48	15.18	0.51
BRAZO-02	BRAZO-02	20	TR100	66.07	0.51	5.06		5.11	0.000264	1.00	87.61	57.44	0.19

Total flow in cross section.

VLADIMIR F. FONG B.

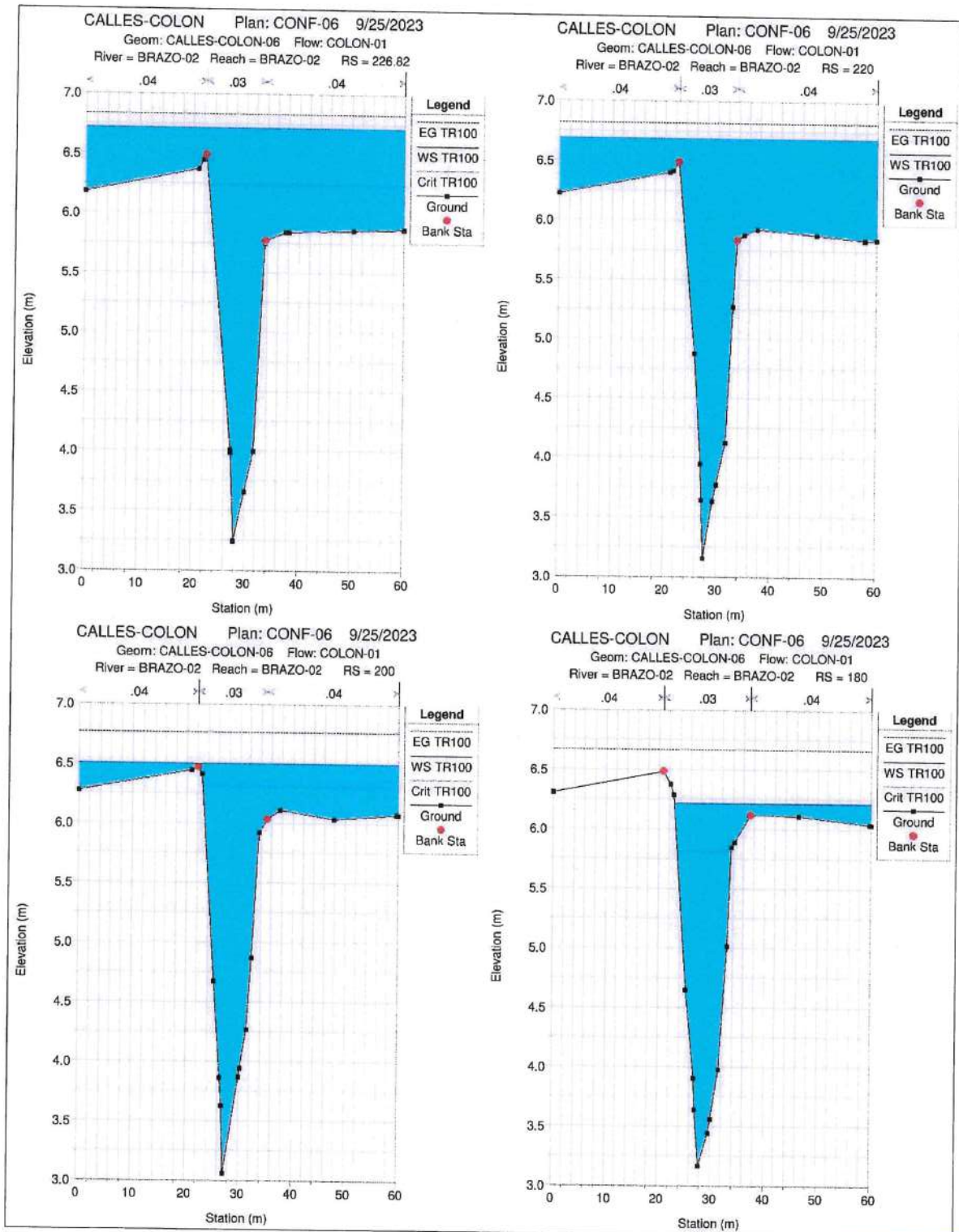
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+180.00 a 0+226.82

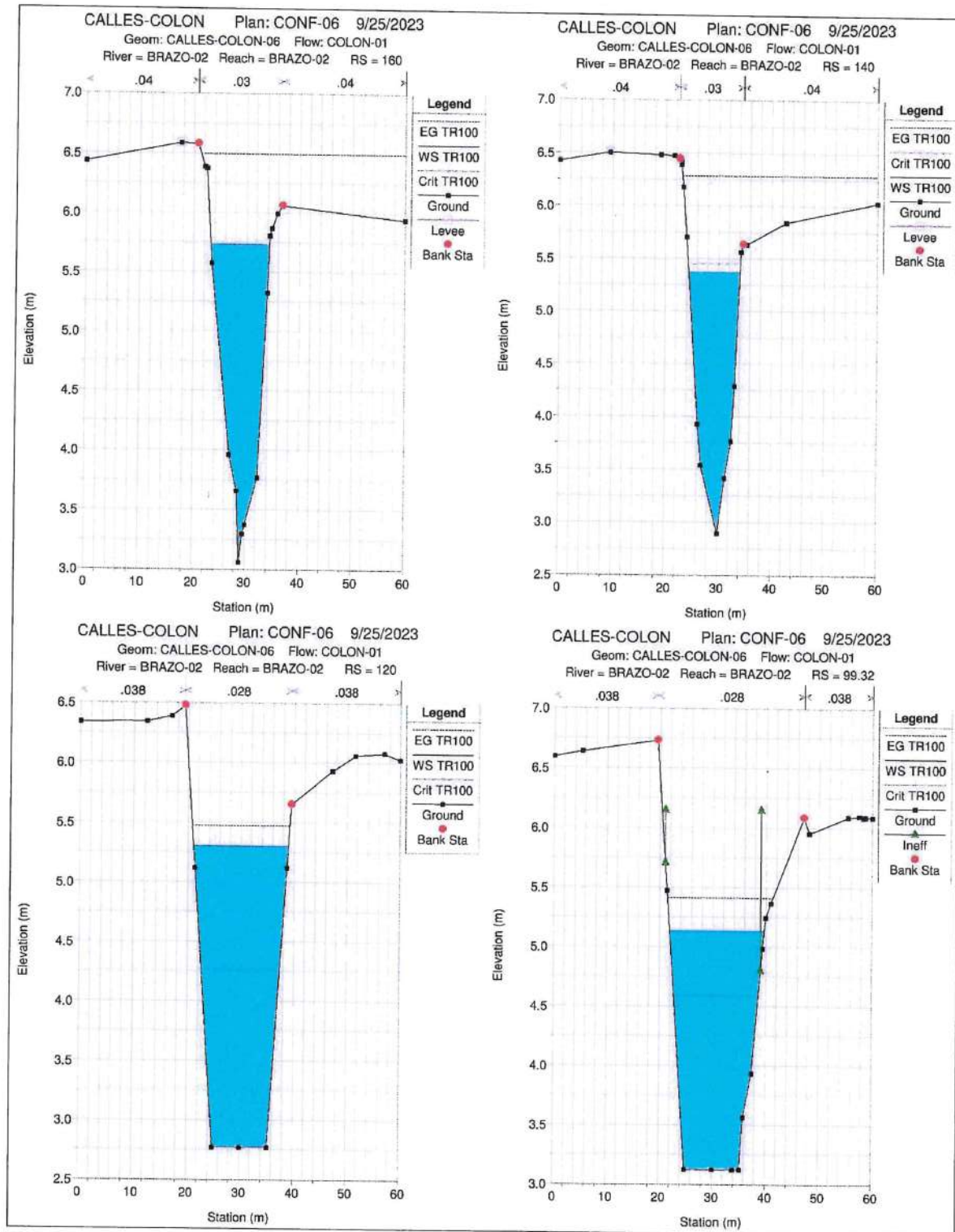


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+099.32 a 0+160.00



VLADIMIR F. FONG B.

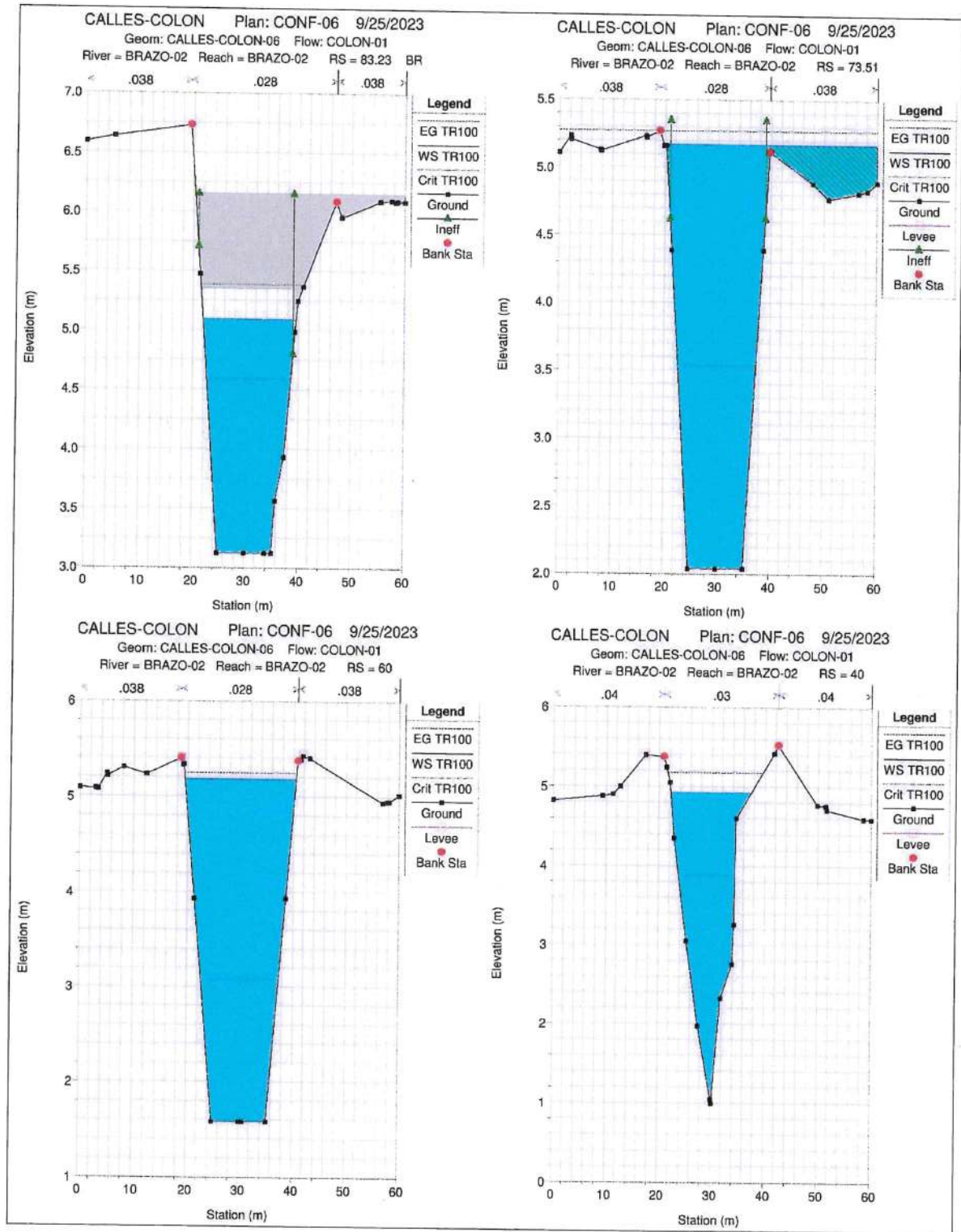
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 132

imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 1. Estaciones 0+040.00 a 0+073.51



VLADIMIR F. FONG B.

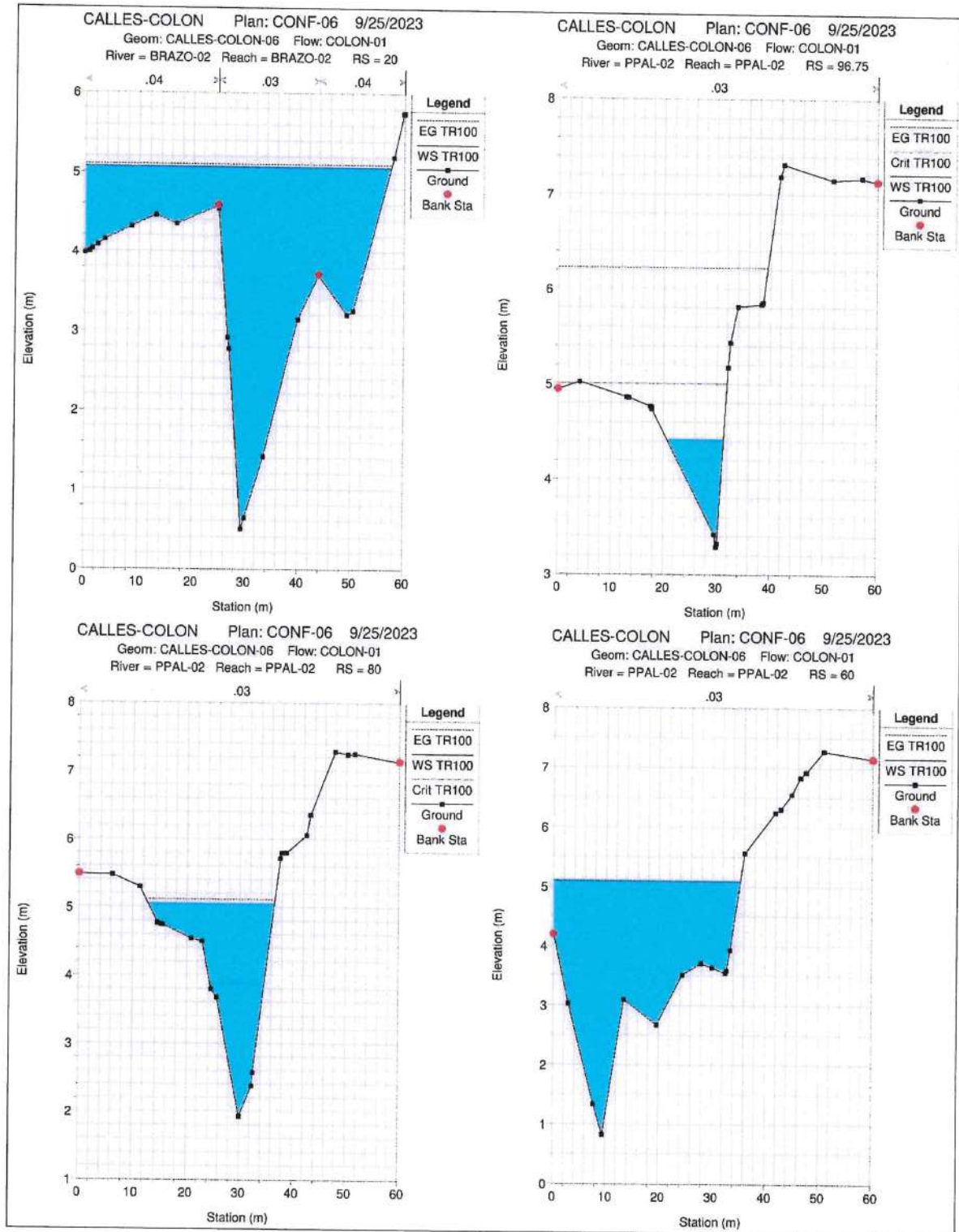
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 133

Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce quebrada sin nombre. Estaciones 0+060.00 a 0+96.75



VLADIMIR F. FONG B.

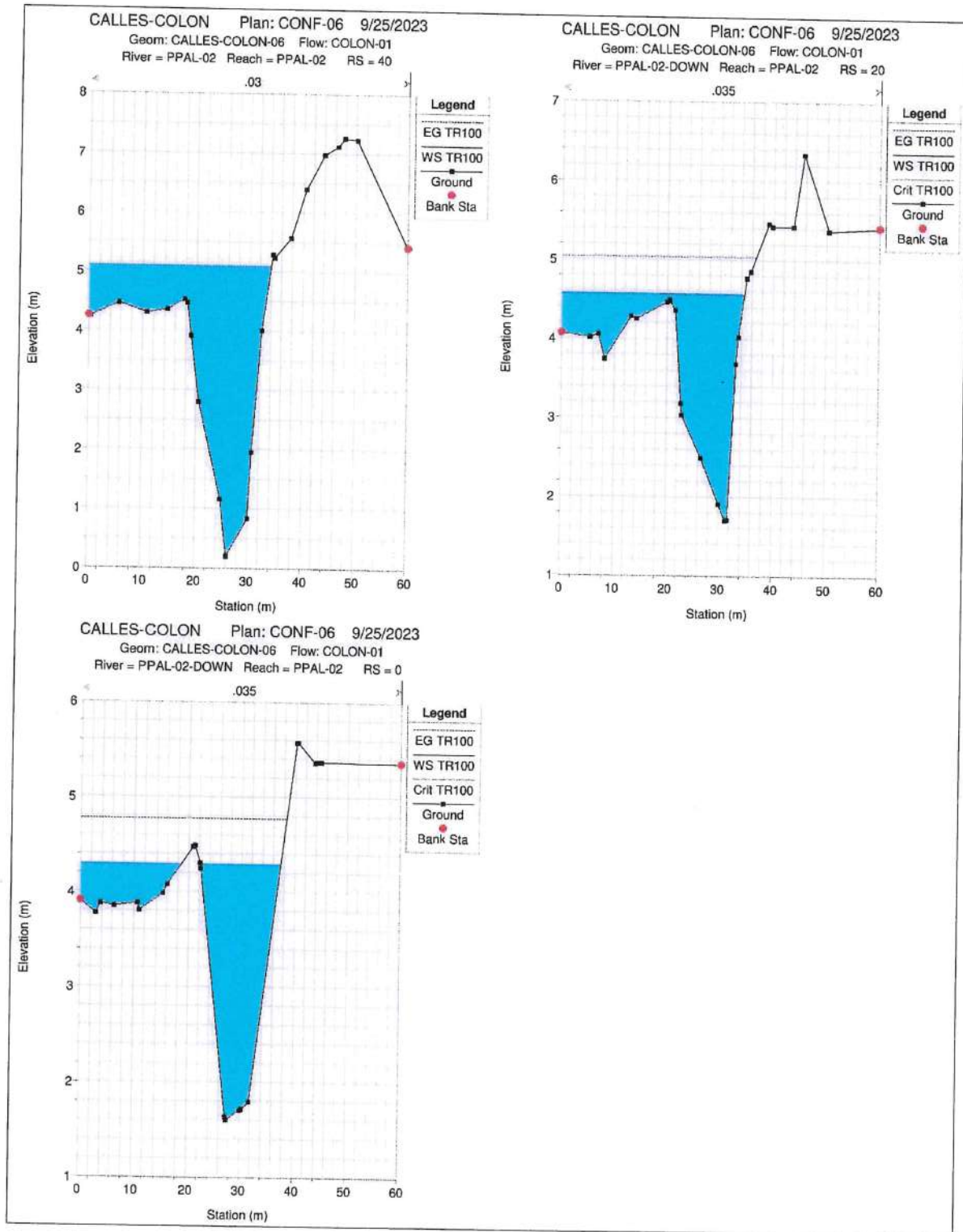
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N° 99-006-123

[Handwritten Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 134

Imagen A. 6 – Secciones hidráulicas de cauce quebrada sin nombre. Estaciones 0+060.00 a 0+96.75



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura



REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**PROYECTO: "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL
DISTRITO DE COLÓN"
PROVINCIA DE COLÓN**

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DE PUENTE BROOK BRAZO 3
(EST. 2K+136.81 – 3K+136.81)**

PRESENTADO POR:

CONSORCIO IRC CONSTRUCTORES



Ingeniería y Tecnología Especializada en
Concreto, Preesfuerzo y Acero



CONCOR, S. A.

SEPTIEMBRE DE 2023



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	3
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	3
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	3
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS	5
4.3. CÁLCULO DE CAUDALES	7
4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA	7
4.3.2. MÉTODO RACIONAL	10
5. ANÁLISIS HIDRÁULICO	17
5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA	17
5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO	28
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce de la quebrada Brook brazo 3	4
Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente sobre la quebrada Brook brazo 3	6
Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).	9
Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres	11
Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth	14
Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS	18
Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 5.0.7	19
Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS	20
Imagen 5.1. 4– Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS	21
Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado	22
Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)	23
Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente	24
Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)	25
Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terrapién	25
Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo	26



Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS	27
Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS.....	27
Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS	28
Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce	29
Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba	30
Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo	31
Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre la quebrada Potrero	32
Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años	33
Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS	34
Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+282.91	38
Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+240.00 a 0+282.91	39
Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+177.52 a 0+220.00	40
Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+120.00 a 0+168.18	41
Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+040.00 a 0+100.00	42
Imagen A. 6 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+000.00 a 0+23.33	43
Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudal de la cuenca (método racional)	16



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el estudio hidrológico e hidráulico para el diseño final del puente sobre la quebrada Brook brazo 3, para el proyecto denominado "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN", en la provincia de Colón.

2. UBICACIÓN

La obra de paso actual es una alcantarilla tubular pluvial de 7.00m de ancho, ubicado en la coordenada UTM 17N: 620901.05E y 1029824.94N (Imagen 4. 2), el cual lo términos de referencia del proyecto piden reemplazar por un puente de dos carriles de 3.35 m de ancho cada uno, 0.60m de hombros, barreras de hormigón tipo New Jersey, una acera lateral peatonal de 1.50m de ancho y, una luz de puente de 9.00m de longitud.

3. OBJETIVOS

- 2.1. Determinación de cuenca del puente
- 2.2. Determinación del caudal de diseño para período de retorno de 100 años
- 2.3. Determinación del nivel de agua máximo extraordinario (N.A.M.E.)

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

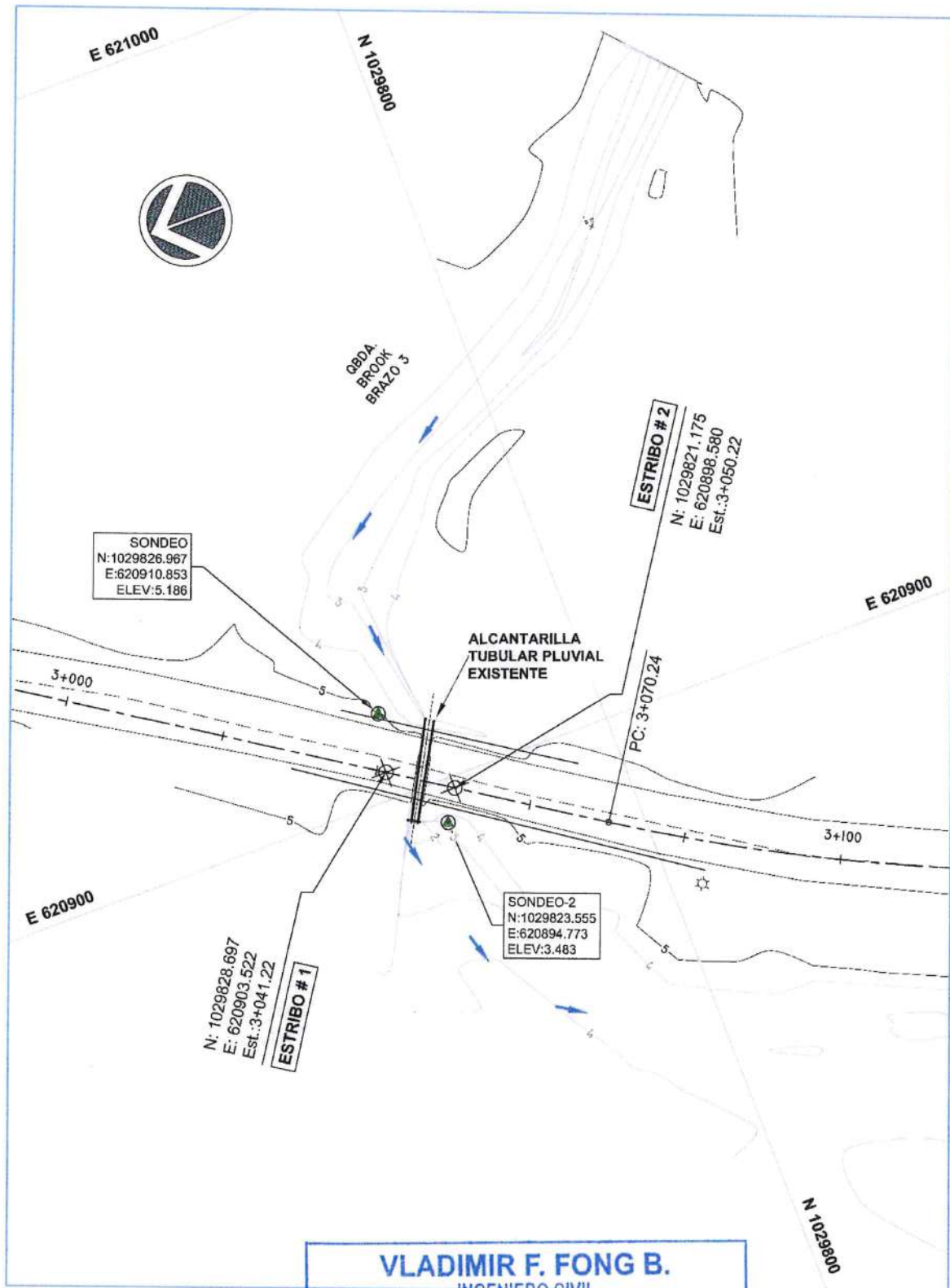
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para realizar el estudio y análisis del proyecto del puente, se procedió a encontrar la coordenada del proyecto por medio de navegadores GPS para confirmar su ubicación y, luego se establecieron puntos de control topográfico de amarre, para realizar un levantamiento topográfico terrestre del puente existente y del cauce de la quebrada Brook brazo 3, por medio equipo de estación total.

El alcance del levantamiento del cauce fue de 50.00m aguas arriba y 50.00m aguas abajo con el cual posteriormente, se elaboró respectivo plano topográfico (Imagen 4. 1).



imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce de la quebrada Brook brazo 3



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS

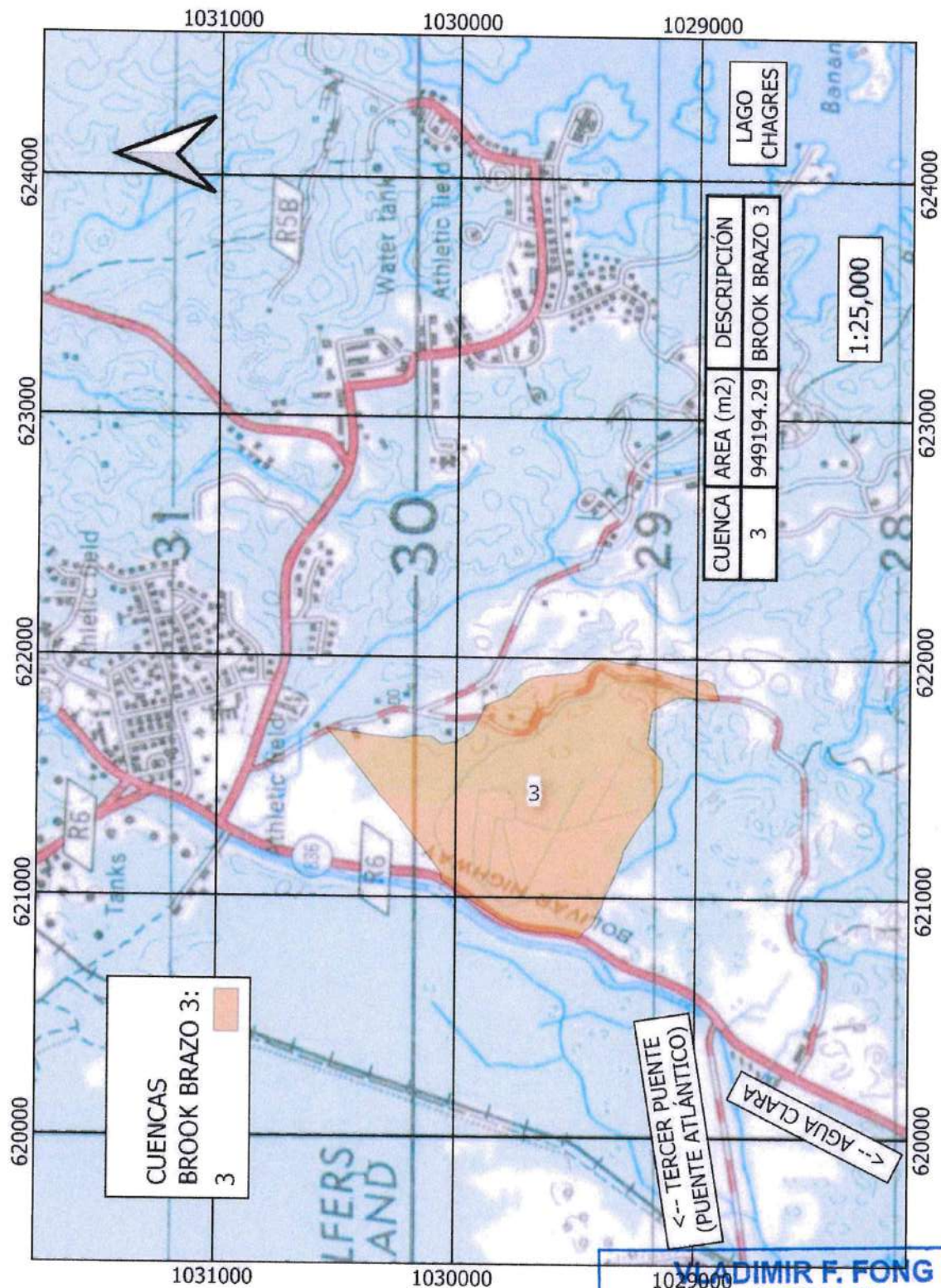
La determinación de la cuenca se realizó comparando los mosaicos topográficos a escalas 1:50,000 y 1:25,000 del Instituto Geográfico Tommy Guardia, con inspecciones de campo e información satelital GIS, encontrándose que los mosaicos 1:50,000 están más congruentes con lo observado, por lo tanto, fueron los que se utilizaron para el análisis gráfico de las cuencas.

Los mosaicos topográficos seleccionados se manipularon en una aplicación de computadora para colocarlos en sus coordenadas y escalas respectivas, para así gráficamente seguir y determinar la divisoria de aguas de la cuenca por medio de herramientas vectoriales de dibujo, hasta definirla por completo y determinar su área en unidades de metros cuadrados, siendo para el puente Brook Brazo 1 de 1,219,810.62 m² (Imagen 4. 2).

También se definió la cuenca de la quebrada sin nombre a la que tributa la quebrada Brook Brazo 1, ya que se ha incluido dentro del análisis hidráulico el comportamiento hidráulico tomando en cuenta el efecto de la confluencia entre ambos cauces.



Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente sobre la quebrada Brook brazo 3



VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3. CÁLCULO DE CAUDALES

4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA

Con la ubicación y área de la cuenca determinadas, se encontró que no podría utilizarse de manera directa el Método Regional de Crecidas Máximas de ETESA, porque la cuenca del proyecto se ubica dentro de la cuenca número 117, la cual no pertenece a ninguna región hidrológicamente homogénea del método regional (Imagen 4.3. 1).

Por otra parte, aunque los pliegos del proyecto indican que se utilizó el método regional para pre dimensionar los puentes del punto crítico, dejan a criterio de la empresa contratada el cálculo definitivo.

Respecto a la utilización del método regional, las zonas hidrológicamente homogéneas más cercanas a la ubicación del proyecto son las pertenecientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), específicamente las zonas 1, 2 y 3. También la zona 7 forma parte de la cuenca del río Chagres, entonces, las ecuaciones de cada una de esas zonas tienen las siguientes expresiones:

Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años
1	1	$Q_{\max} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
2	1	$Q_{\max} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53
3	2	$Q_{\max} = 25.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
7	4	$Q_{\max} = 9.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53

Reemplazando en las ecuaciones anteriores, el valor de área de la cuenca en unidades de kilómetros cuadrados (en la variable "A"), se obtuvieron los siguientes resultados de caudal:

Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años	Caudal 100 años (m ³ /s)
1	1	$Q_{\max} = 34.0 \times 0.9492^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	83.87
2	1	$Q_{\max} = 34.0 \times 0.9492^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	79.18
3	2	$Q_{\max} = 25.0 \times 0.9492^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	61.67
7	4	$Q_{\max} = 9.0 A \times 0.9492^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	20.96

VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

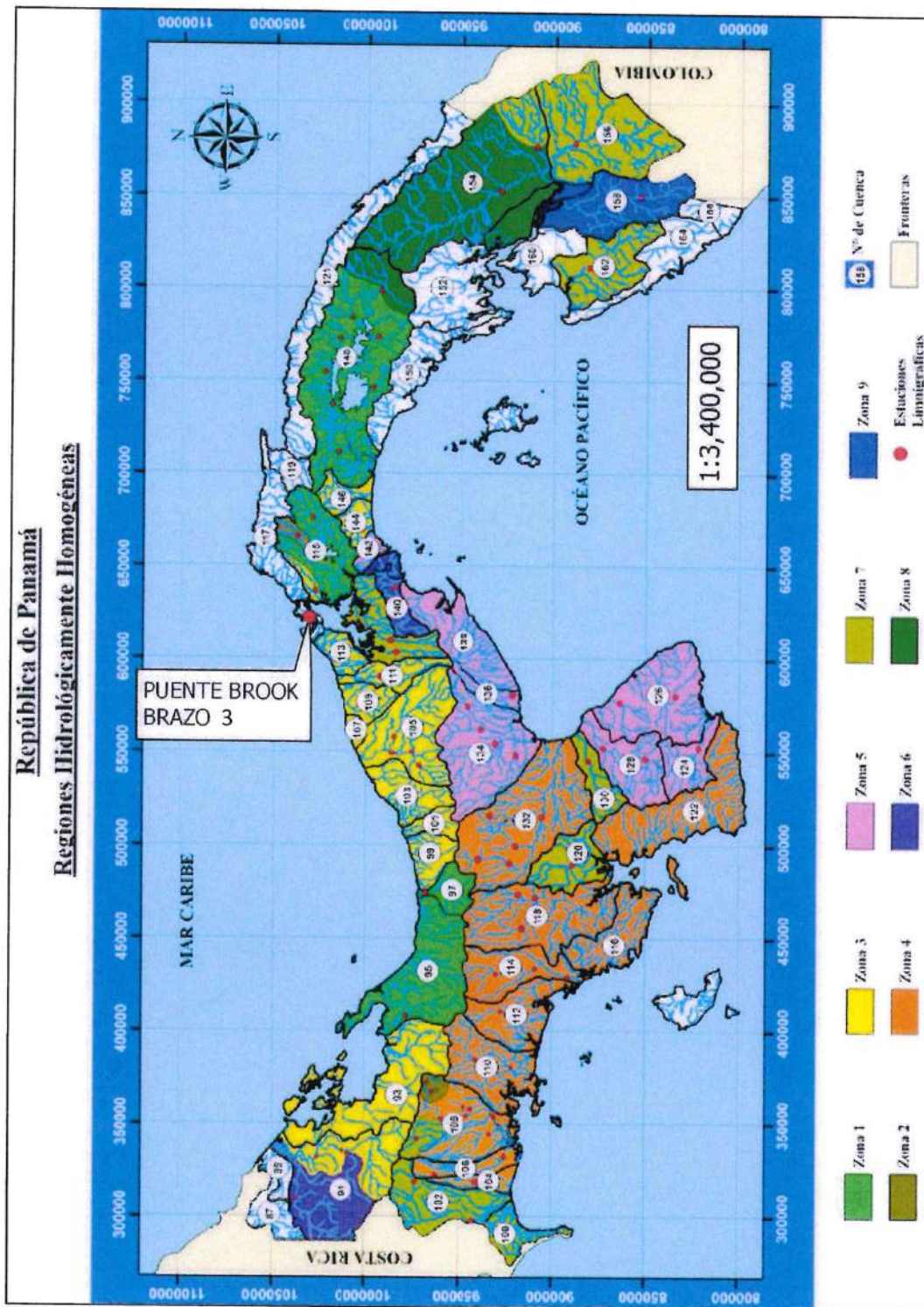
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Como puede observarse, existe una significativa variación de resultados entre las ecuaciones correspondientes a las zonas hidrológicas más cercanas al proyecto (zonas 1, 2 y 3), principalmente entre la zona 1 y 3, ya que el caudal de la zona 1 ha resultado ser 1.36 veces más grande que el de la zona 3.

Siguiendo esa misma lógica, se ha comparado el caudal de la zona 1 con el de la zona 7, encontrándose que el de la zona 1 es 4.00 veces mayor. Por esa razón es que, en el presente estudio, se ha realizado el cálculo de caudales por el método racional, ya que es un método válido en Panamá, para el cual se han desarrollado ecuaciones de intensidad duración y frecuencia (IDFs), de varias cuencas dentro de la república de Panamá, y para varios períodos de retorno. Los cálculos efectuados se presentan con mayor detalle en el acápite siguiente.



Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3.2. MÉTODO RACIONAL

El Manual de Aprobación de Planos de Panamá 2021, limita explícitamente el uso del método racional para áreas menores de 250.00 Ha (2.5 Kms²), por lo tanto, podría utilizarse para el cálculo de caudal de la cuenca del puente Brook brazo 3, ya que dicha cuenca tiene una extensión de 0.9492 Km², la cual es menor que 2.50 Km².

La expresión matemática del método racional puede adoptar muchas formas, dependiendo de las unidades de las dimensiones utilizadas en las variables relacionadas, con la inclusión de un factor de conversión adecuado. Para el caso del proyecto se ha utilizado la siguiente:

$$Q = \frac{C \times A \times i}{3.6}$$

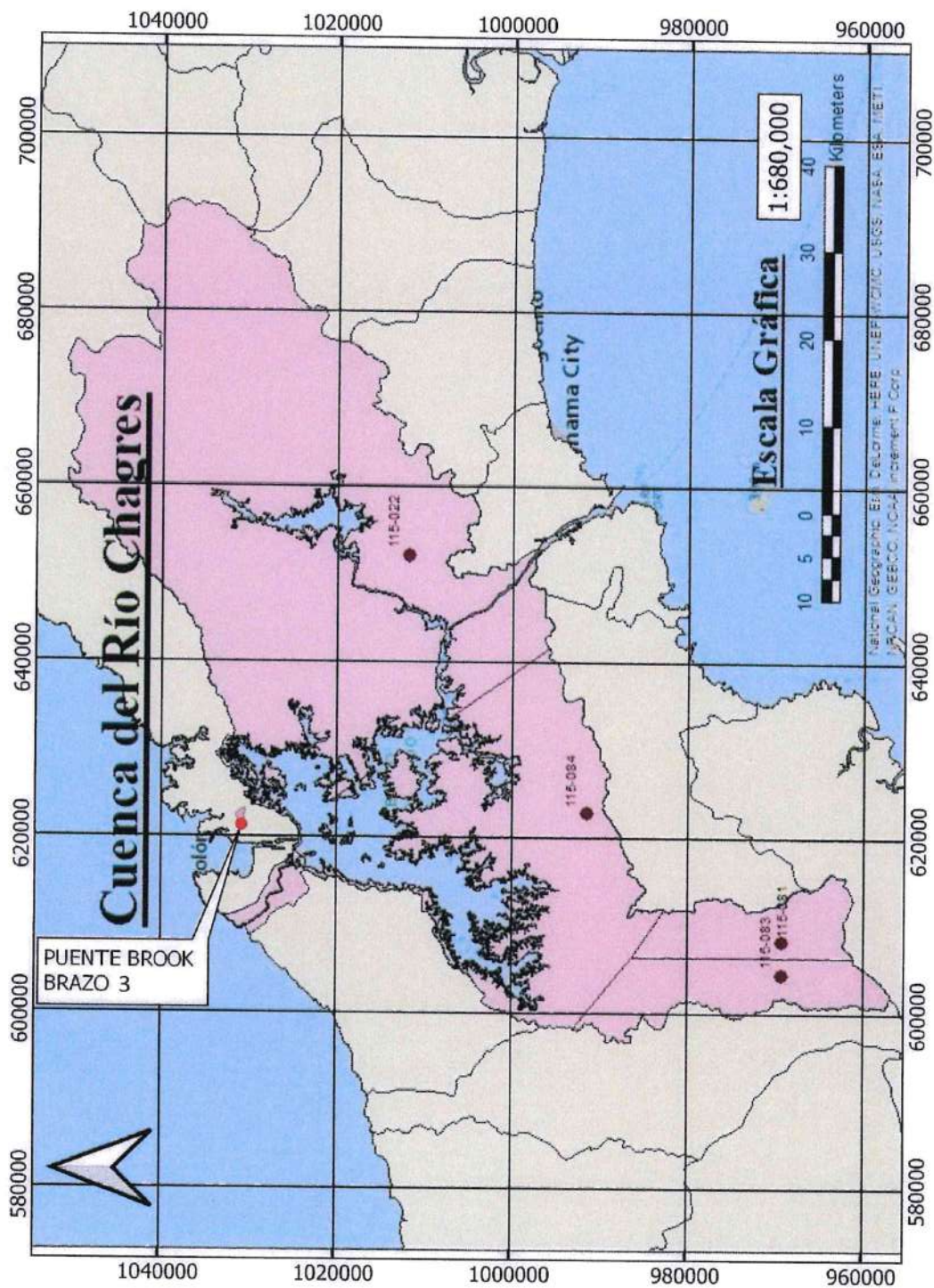
En donde:

- Q = caudal hidrológico en unidades de m³/s
- C = coeficiente de escorrentía adimensional, que según términos de referencia del proyecto es de 0.85
- A = área de drenaje de la cuenca en unidades de km²
- I = intensidad de precipitación de lluvia en unidades de mm/h, obtenida de las ecuaciones intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca, a la duración de la lluvia (tiempo de concentración), período de retorno de interés (100 años para el proyecto),

Las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia utilizadas fueron las disponibles en el Manual de Aprobación de planos del MOP vigente (año 2021), específicamente las correspondientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), ya que el puente se encuentra muy cerca de la desembocadura de esa cuenca (a menos de 4.00 Kms de distancia).



Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos periodos de retorno

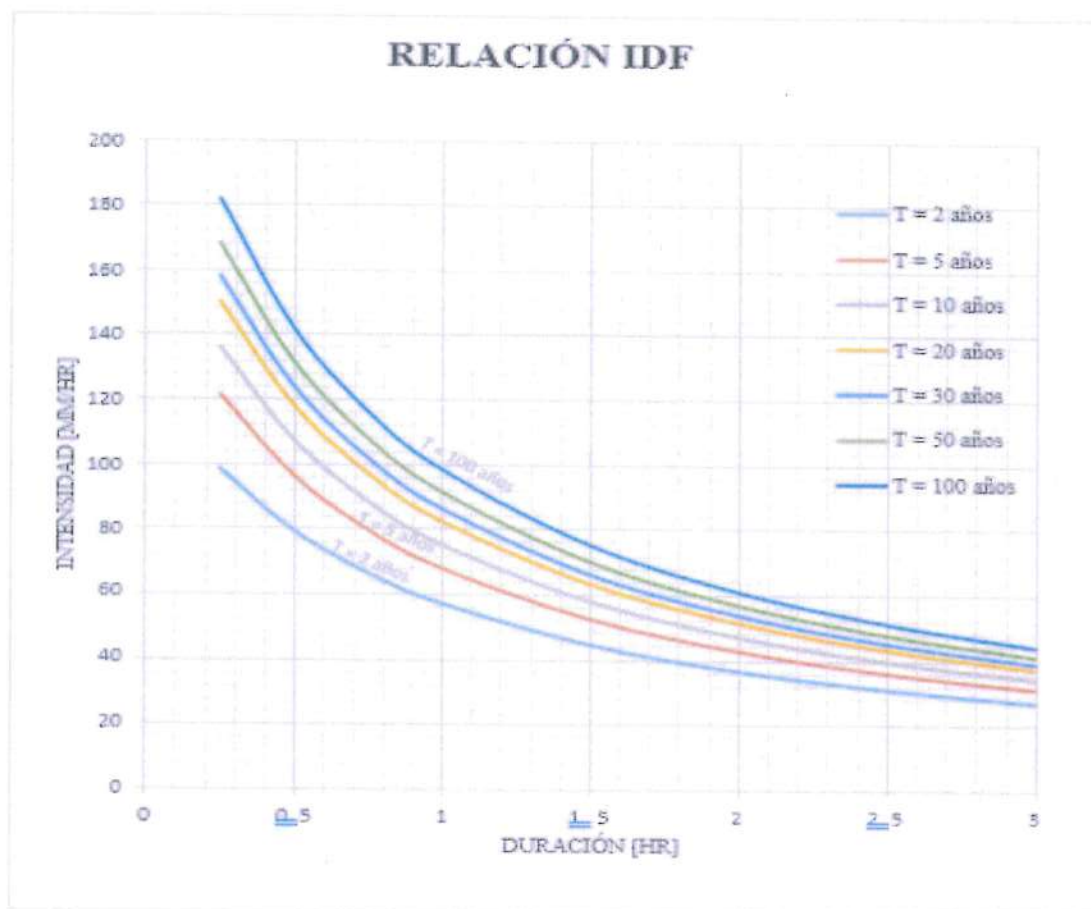


Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos periodos de retorno

	$I = \frac{a}{d + b}$						
T [años]	2	5	10	20	30	50	100
a [mm]	102.821	116.305	126.787	137.202	143.280	150.934	161.326
b [hr]	0.793	0.707	0.681	0.663	0.656	0.647	0.637
R ²	99.49%	99.52%	99.51%	99.51%	99.50%	99.50%	99.49%

Para determinar el tiempo de concentración se compararon los resultados de las fórmulas de Brasby-Williams, Federal Aviation Agency, Kirpich y la de la onda cinemática, para la trayectoria de escurrimientos de aguas más larga determinada en los mosaicos topográficos. A continuación, se presentan las fórmulas de los tiempos de concentración mencionadas.

Vladimir F. Fong B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Fórmula de Brasby-Williams:

$$T_c = \frac{0.96 \times L^{1.20}}{(H^{0.20} \times A^{0.10}) \times 60}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

H = desnivel existente entre el punto de inicio y el punto final de escurrimiento

A = área de la cuenca en unidades de Kms²

Fórmula de la Federal Aviation Agency:

$$T_c = \frac{3.26 \times (1.10 - C) \times L^{0.50}}{(100 \times S)^{0.33}}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escorrentía del método racional, adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escorrentía de Manning adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de la onda cinemática:

$$T_c = \frac{0.94 \times L^{0.60} \times n^{0.60}}{i^{0.40} \times S^{0.30}}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de pies

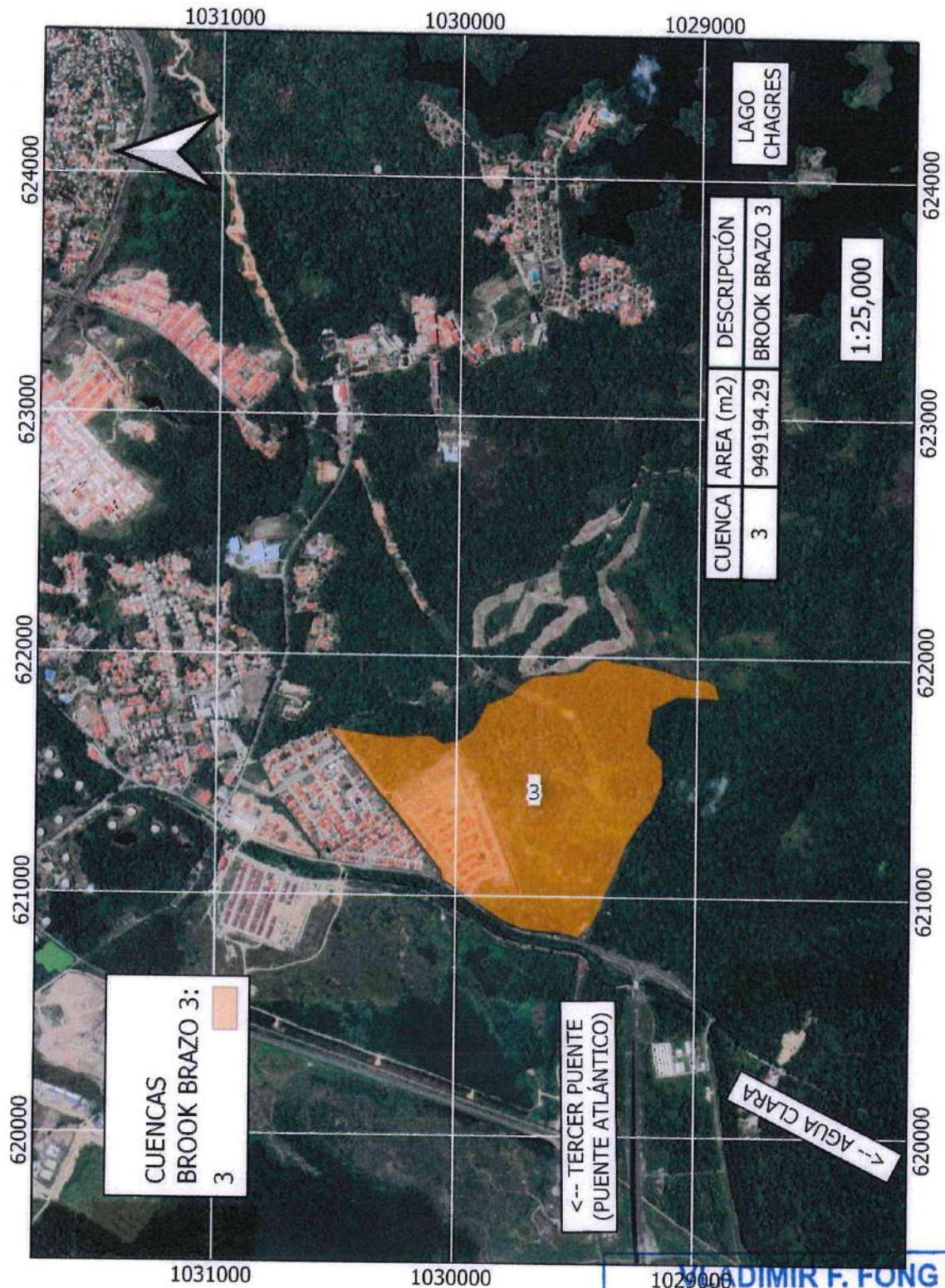
n = coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

i = intensidad de lluvia en pulg/h

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de pie/pie



Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth



1029000

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 150

Un resumen de los cálculos efectuados para las 2 cuencas involucradas se muestra en la siguiente tabla:



Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudal de la cuenca (método racional)

CÁLCULOS HIDROLÓGICOS											
Número de cuenca	3	Area, m ²	949,194.29	Area, Km ²	0.9492	Distancia de escurrimiento, m	1781.96	Punto alto	20.00	Punto bajo	5.00
						Diferencia de alturas	15.00	Pendiente de Drenajes, m/m	0.0320	C, método racional (adimensional)	0.85
						Brasby-Williams	67.38	Federal Aviation Agency	23.44	Kirpich	23.37
						Ecuación de retardo SCS, CN-II	33.72	Adoptado	35.00	Frecuencia de Lluvia, años	100
										Intensidad de la lluvia, mm/h	132.20
										Caudal método Racional, m ³ /s	29.63

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para realizar el análisis hidráulico del cauce Brook brazo 3 de la cuenca, se tomó en cuenta la ubicación del puente proyectado, la conformación de cauce necesaria para incrementar la anchura del cauce inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado.

Se utilizó la aplicación computarizada HEC-RAS 6.3.1, la cual es una aplicación de análisis unidimensional de distribución gratuita y de amplio uso y aceptación a nivel mundial.

Para realizar el análisis en la aplicación, se elaboró la modelación en el editor geométrico de HEC-RAS. Este editor exige que se ingrese la información topográfica de cada sección transversal del cauce en estudio, lo más perpendicular posible a la dirección de la corriente y, en el sentido de aguas abajo a aguas arriba.

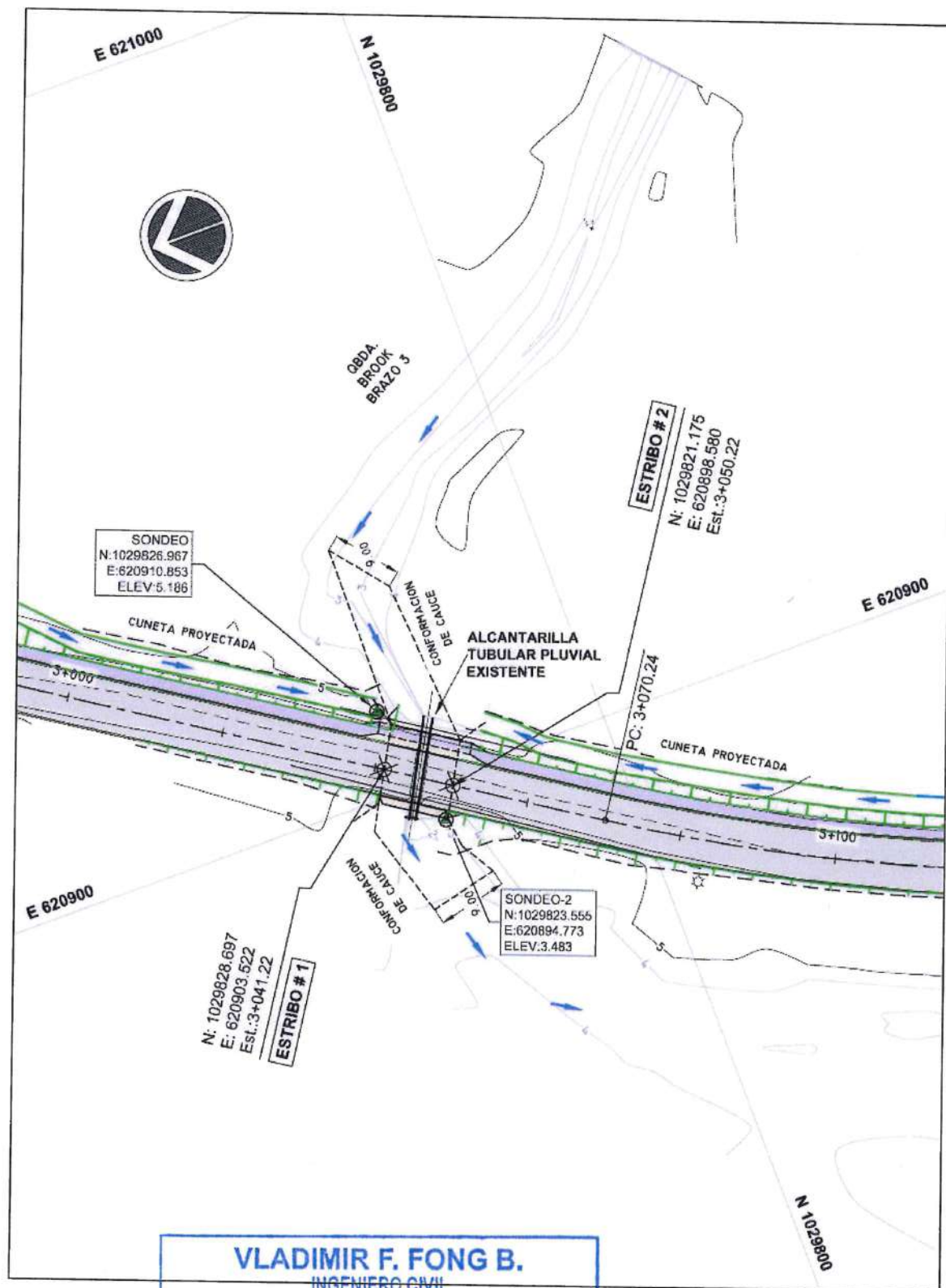
Con el levantamiento topográfico realizado, se obtuvieron secciones transversales del cauce a cada 20.00m de separación. Luego se introdujeron los datos geométricos de las secciones transversales en el editor geométrico del HEC-RAS. Para completar el modelo basándose en la inspección visual realizada al sitio del puente, se asignaron los coeficientes de rugosidad de Manning que se consideraron más adecuados para el canal del cauce y para las planicies de inundación del cauce. También se modeló la geometría del puente proyectado, tomando en cuenta la conformación de cauce necesaria, para simular taludes de protección con inclinación 1.50H:1.00V inmediatamente aguas arriba y aguas debajo de la ubicación de puente proyectado.

Con el caudal máximo obtenido en el acápite anterior (período de retorno de 100 años), se asignaron las condiciones hidráulicas de frontera para análisis estático, para profundidad normal tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que por desconocerse su comportamiento, el análisis se configuró a régimen mixto, pues esta opción permite analizar simultáneamente a régimen de flujo sub crítico y a régimen supercrítico el modelo, los cuales compara internamente y arroja los resultados de la solución numérica más estable, que para el caso en estudio la quebrada Brook brazo 3 resultó tener comportamiento mayoritariamente sub crítico, con números de Froude en la mayoría de las secciones transversales menores que 1.00.

A continuación, se muestran capturas de pantallas de la modelación y configuraciones realizadas, ilustrando los parámetros y valores utilizados en el análisis hidráulico (de Imagen 5.1. 1 a Imagen 5.1. 13).



Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para la realización del modelo geométrico HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 5.0.7

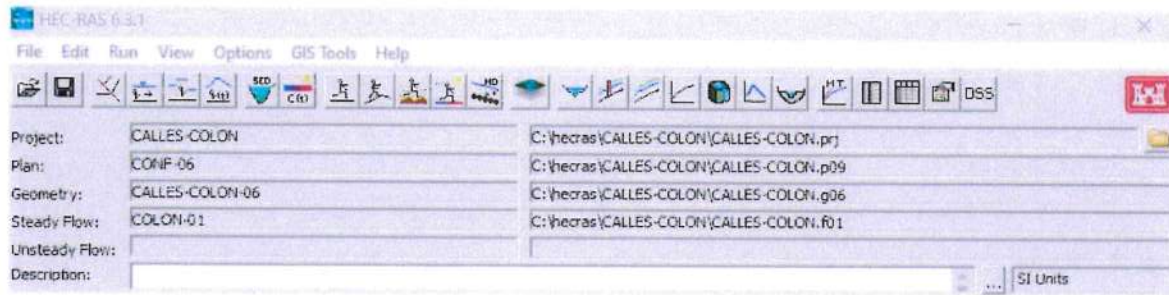
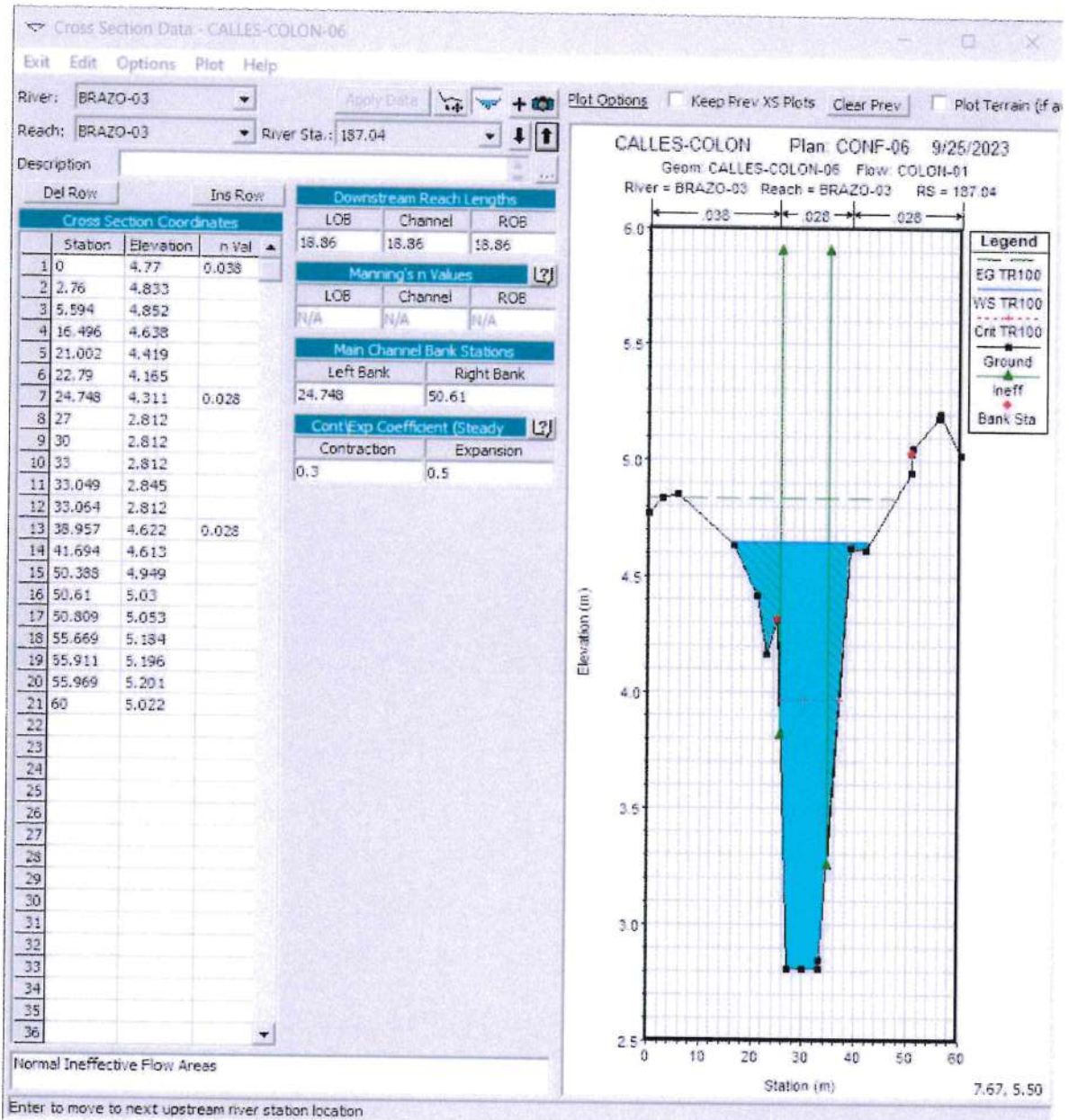


Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

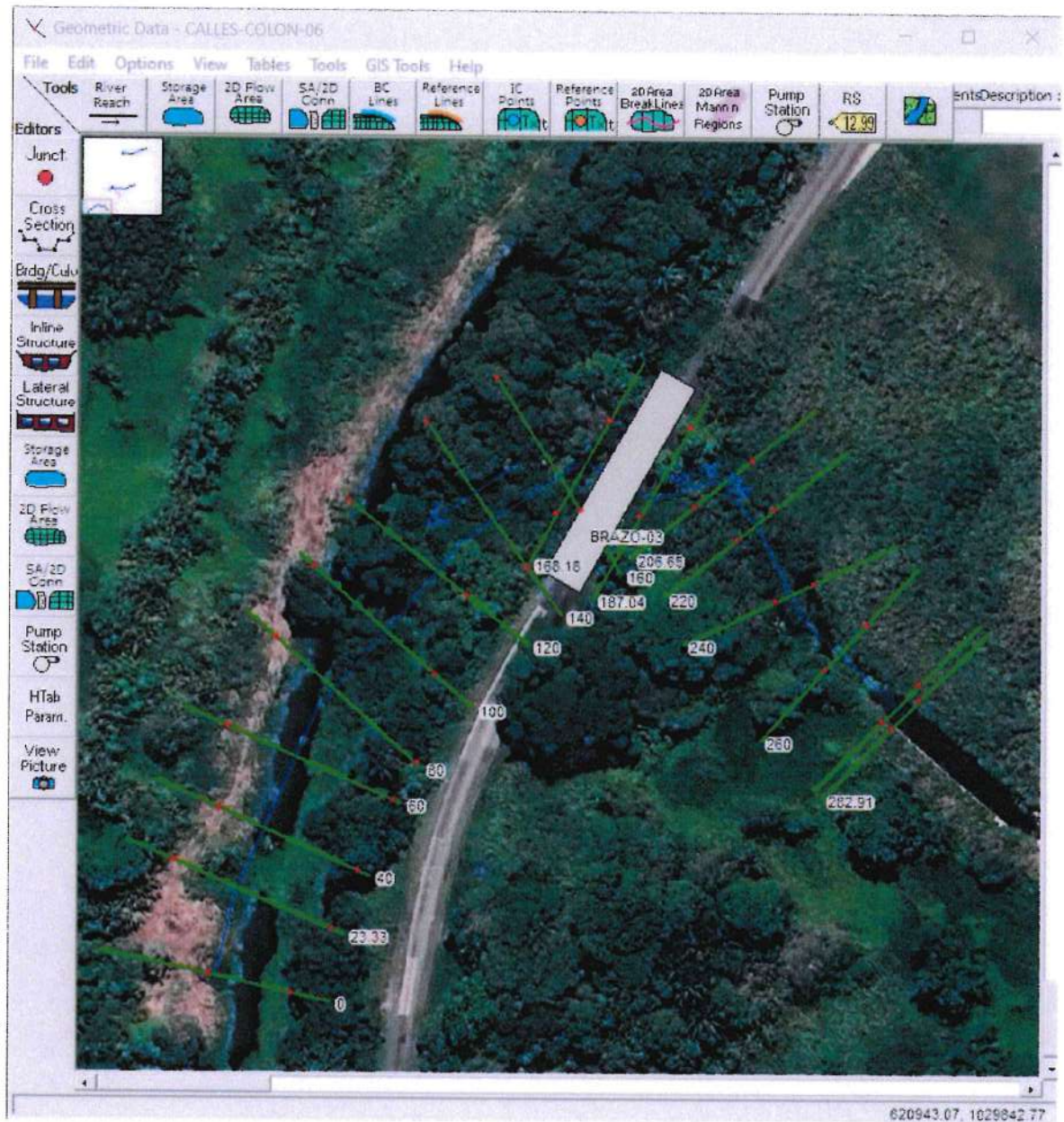
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Firma]

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 4- Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

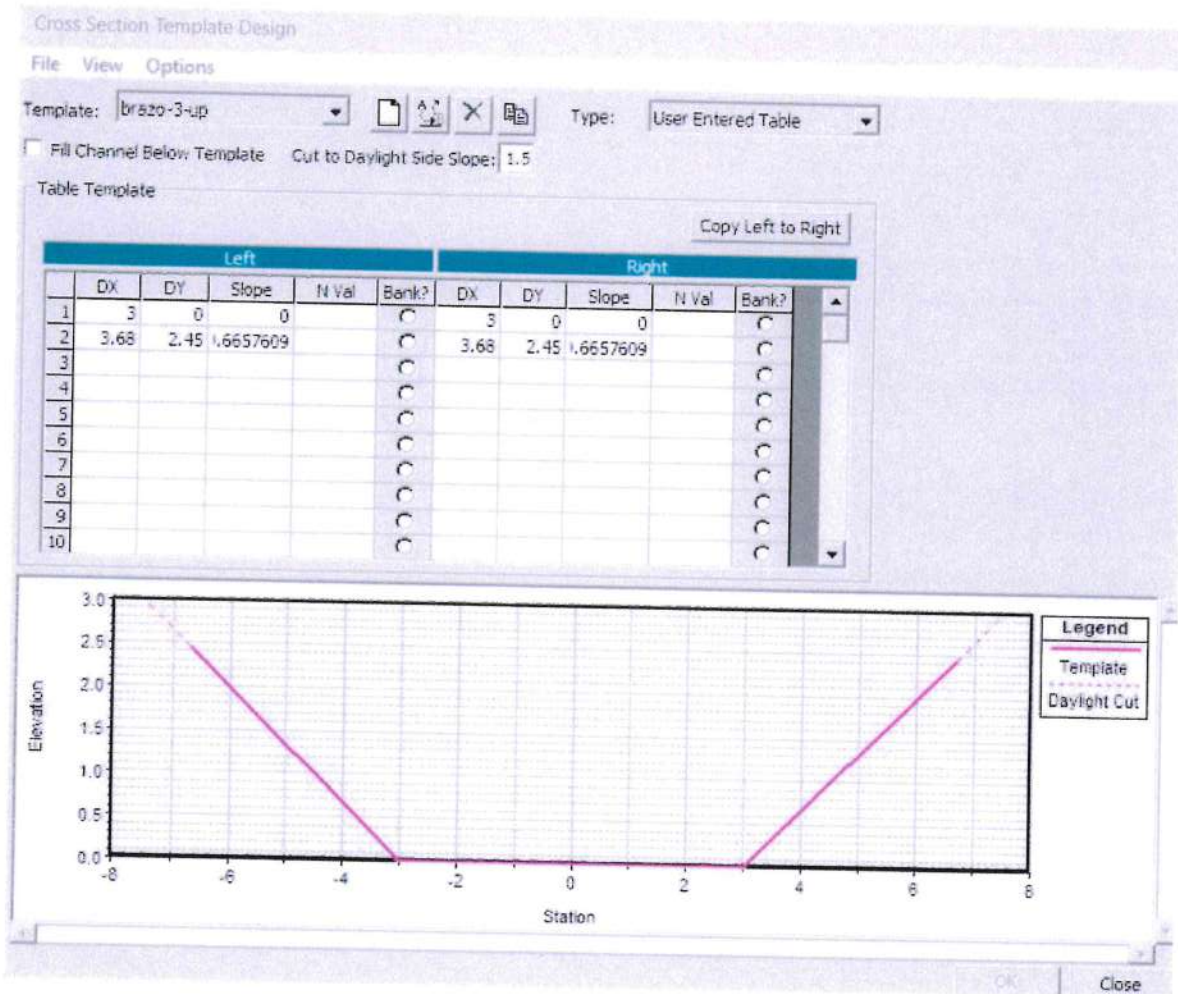
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N° 99-006-123

[Handwritten Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado

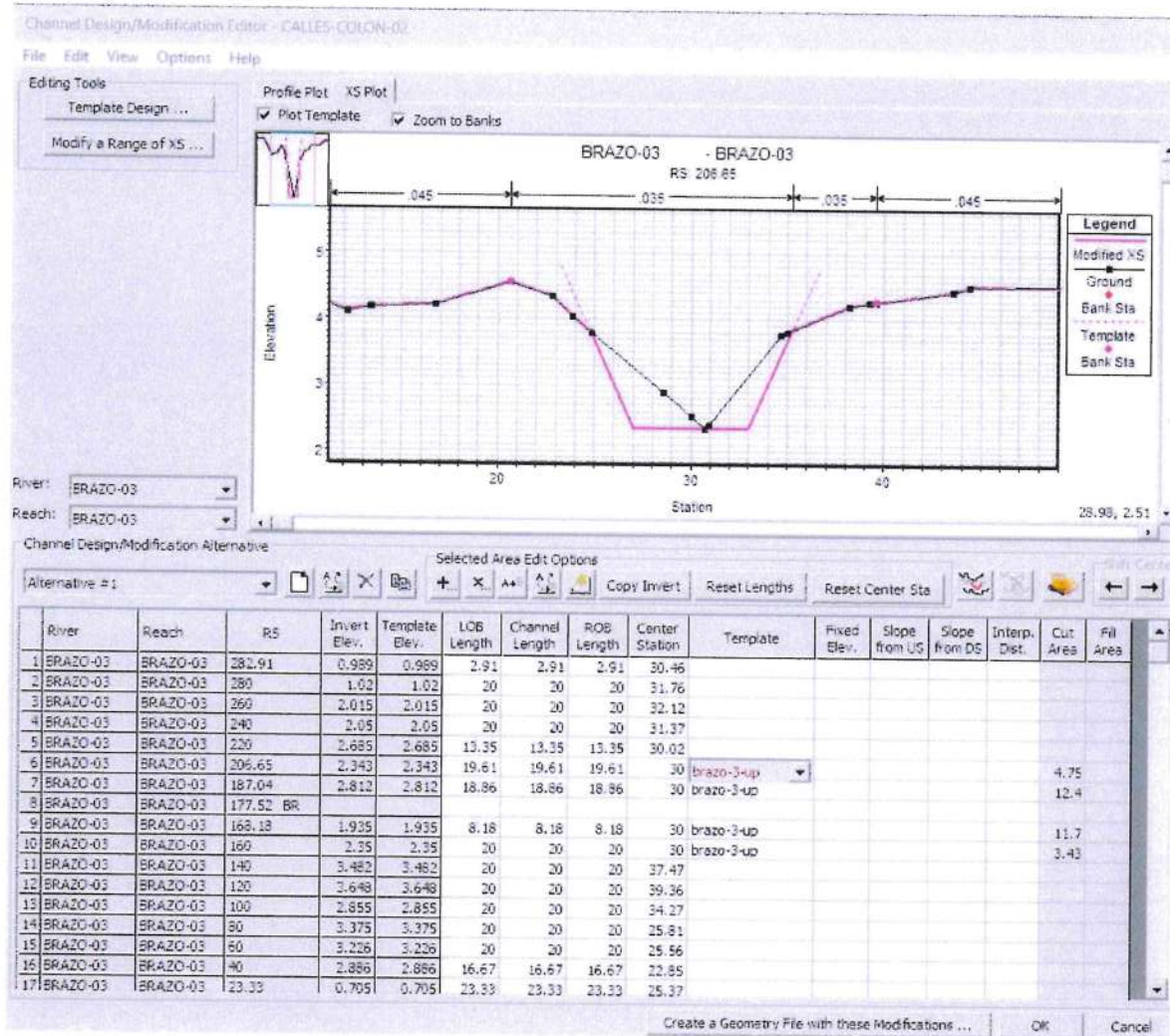


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)

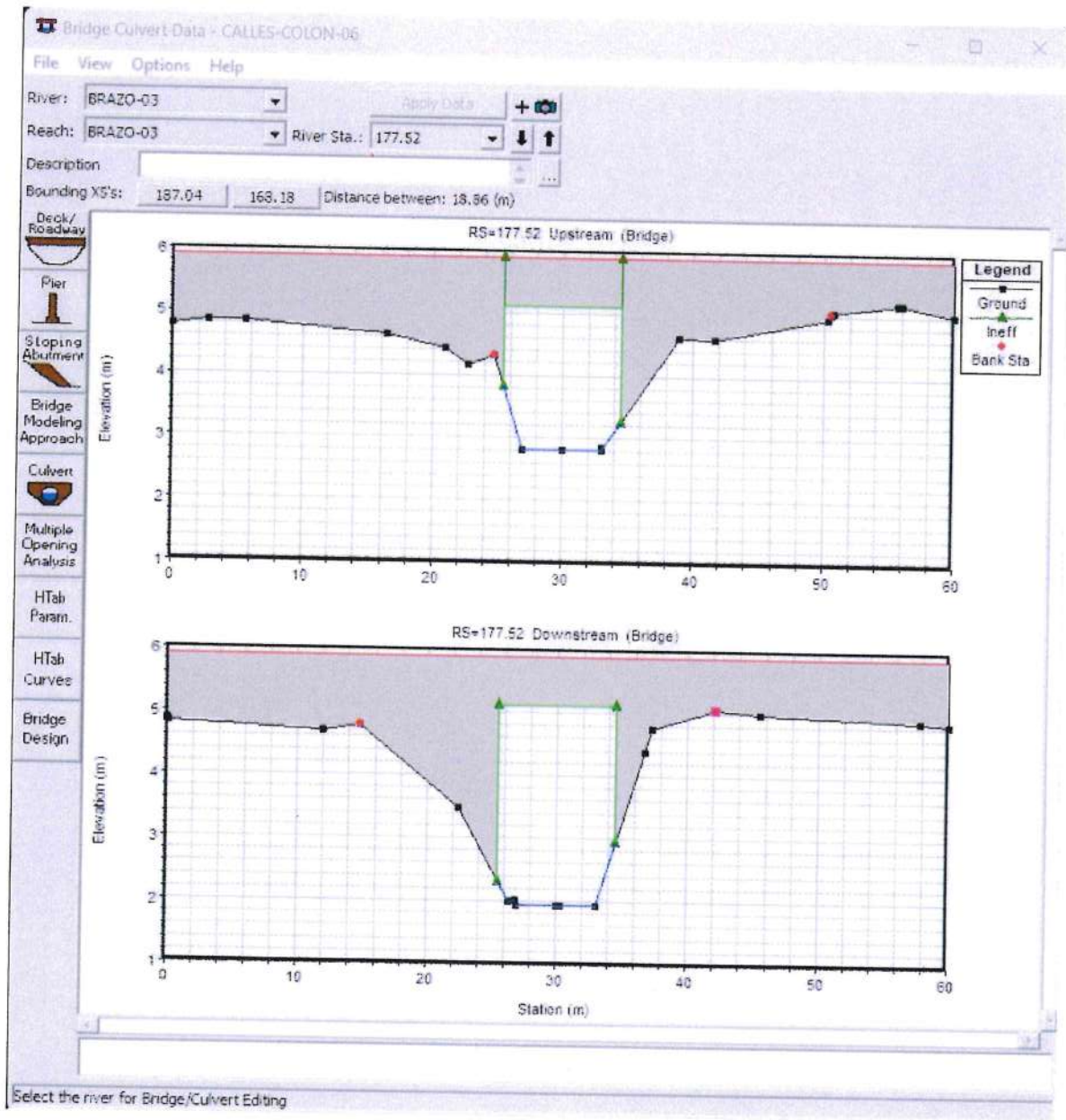


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente



VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1

Del Row Ins Row

	Upstream		Downstream	
	Station	Elevation	Station	Elevation
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select Abutment to Edit

Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
4.	10.2	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

	Upstream			Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	5.9	2.812	0	5.9	1.935
2	25.5	5.9	2.812	25.5	5.9	1.935
3	25.5	5.9	5.1	25.5	5.9	5.1
4	34.5	5.9	5.1	34.5	5.9	5.1
5	34.5	5.9	2.812	34.5	5.9	1.935
6	60	5.9	2.812	60	5.9	1.935
7						
8						

U.S Embankment SS 1.5 D.S Embankment SS 1.5

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo

Edit Contraction/Expansion Coefficients (Steady Flow)

River: BRAZO-03 ☐ Edit Interpolated XS's

Reach: BRAZO-03

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ...

	River Station	Contraction	Expansion
1	282.91	0.1	0.3
2	280	0.1	0.3
3	260	0.1	0.3
4	240	0.1	0.3
5	220	0.1	0.3
6	206.65	0.3	0.5
7	187.04	0.3	0.5
8	177.52	Bridge	
9	168.18	0.3	0.5
10	160	0.3	0.5
11	140	0.1	0.3
12	120	0.1	0.3
13	100	0.1	0.3
14	80	0.1	0.3
15	60	0.1	0.3
16	40	0.1	0.3
17	23.33	0.1	0.3
18	0	0.1	0.3

OK Cancel Help

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15/ del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Data - COLON-01

File Options Help

Description :

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: BRAZO-03 Add Multiple...

Reach: BRAZO-03 River Sta.: 282.91 Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates
	River	Reach	RS	TR100
1	BRAZO-01	BRAZO-01	200	24.62
2	BRAZO-02	BRAZO-02	226.82	66.07
3	BRAZO-03	BRAZO-03	282.91	29.63
4	PPAL-01	PPAL-01	60	6.83
5	PPAL-01-DOWN	PPAL-01	20	31.45
6	PPAL-02	PPAL-02	96.75	33.57
7	PPAL-02-DOWN	PPAL-02	20	99.64

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
BRAZO-01	BRAZO-01	all	Normal Depth S = 0.0036	Junction=CONF-01
BRAZO-02	BRAZO-02	all	Normal Depth S = 0.0123	Junction=CONF-02
BRAZO-03	BRAZO-03	all	Normal Depth S = 0.017	Normal Depth S = 0.0659
PPAL-01	PPAL-01	all	Normal Depth S = 0.03	Junction=CONF-01
PPAL-01-DOWN	PPAL-01	all	Junction=CONF-01	Normal Depth S = 0.0166
PPAL-02	PPAL-02	all	Normal Depth S = 0.0796	Junction=CONF-02
PPAL-02-DOWN	PPAL-02	all	Junction=CONF-02	Normal Depth S = 0.039

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...

OK Cancel Help

Enter to accept data changes.

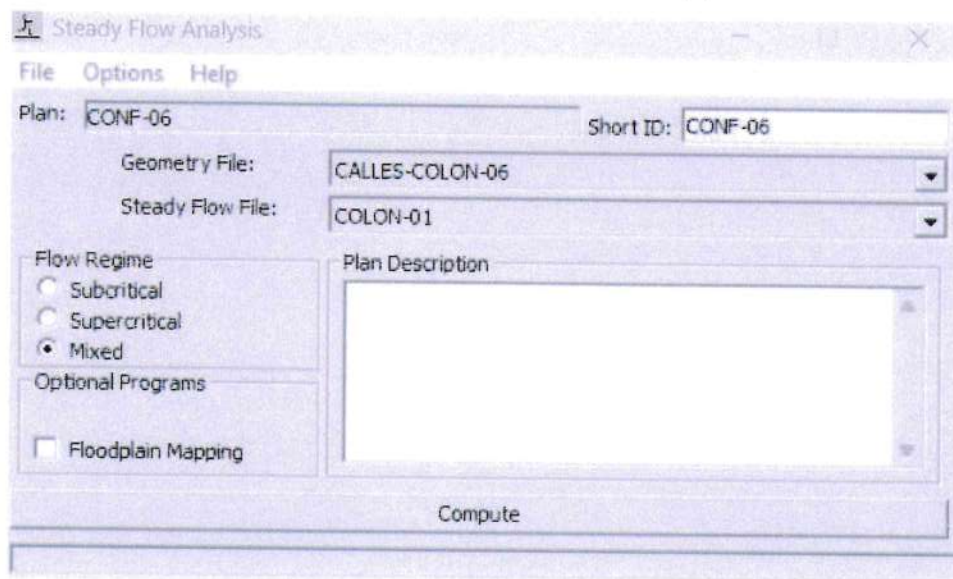
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS

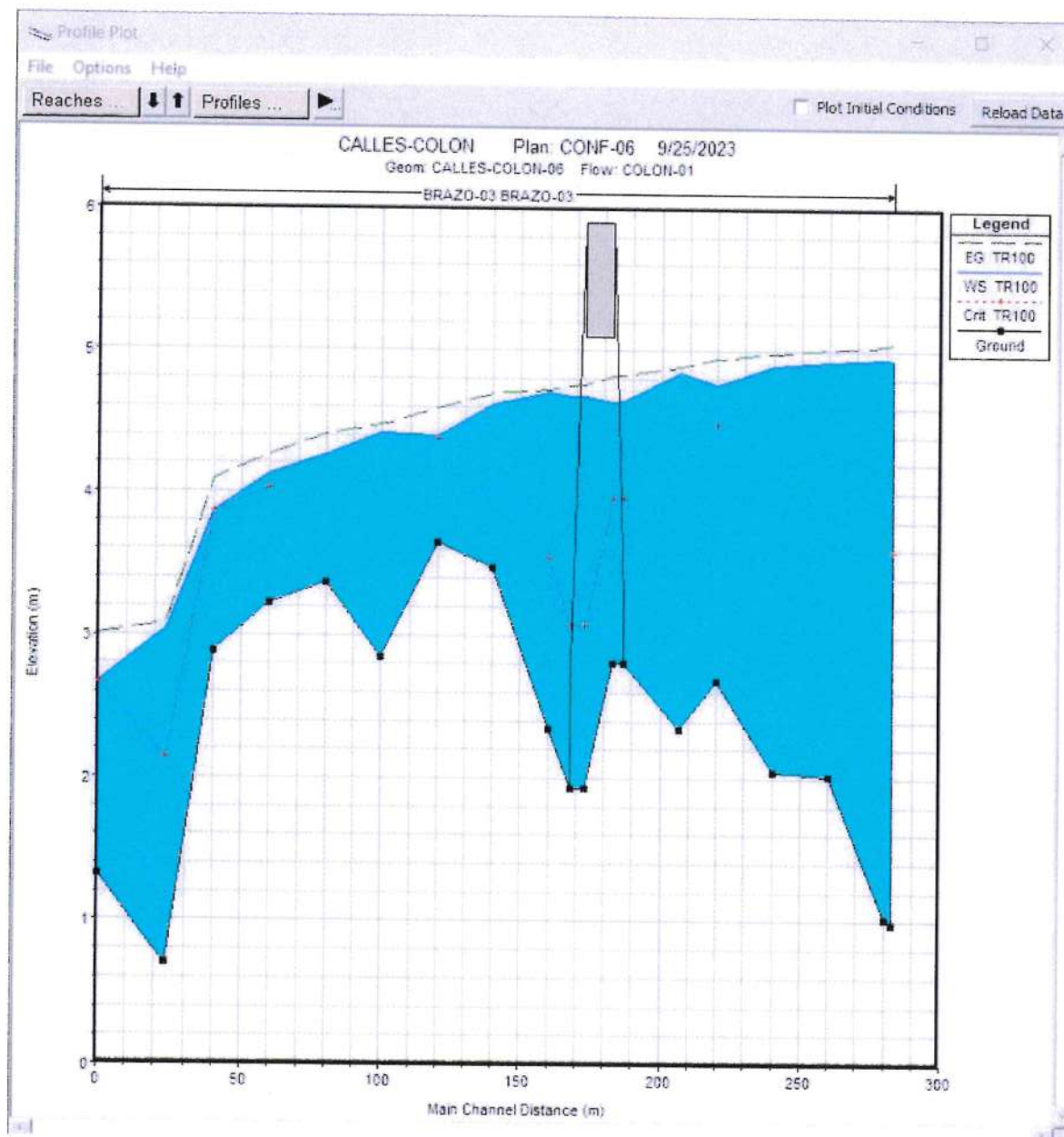


5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO

Los resultados obtenidos del modelo analizado se muestran en las siguientes capturas de pantalla, en donde puede observarse que el nivel de aguas máximas extraordinarias obtenido (N.A.M.E.) es de 4.68m respecto al datum del proyecto.



Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce



VLADIMIR F. FONG B.

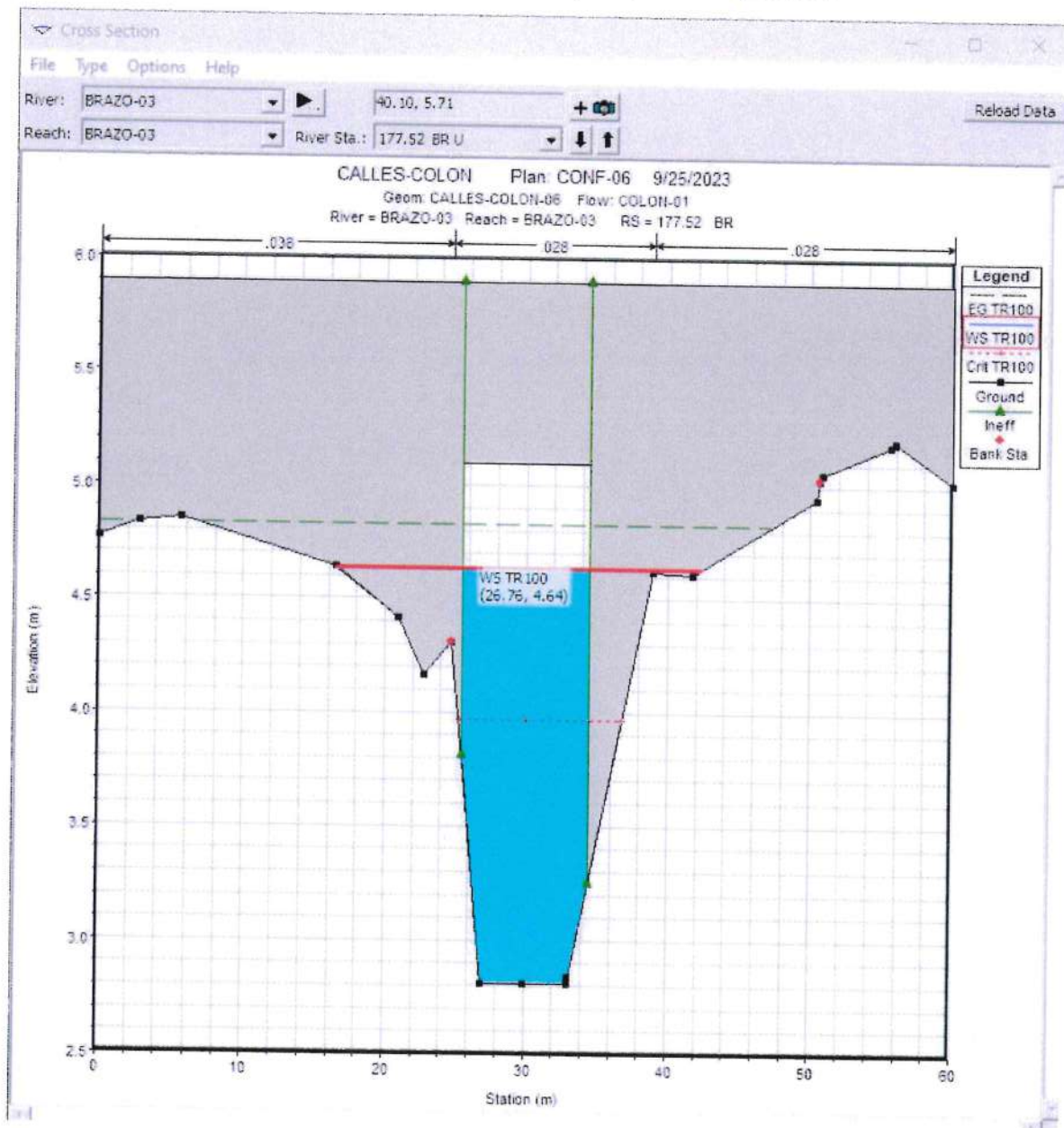
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba

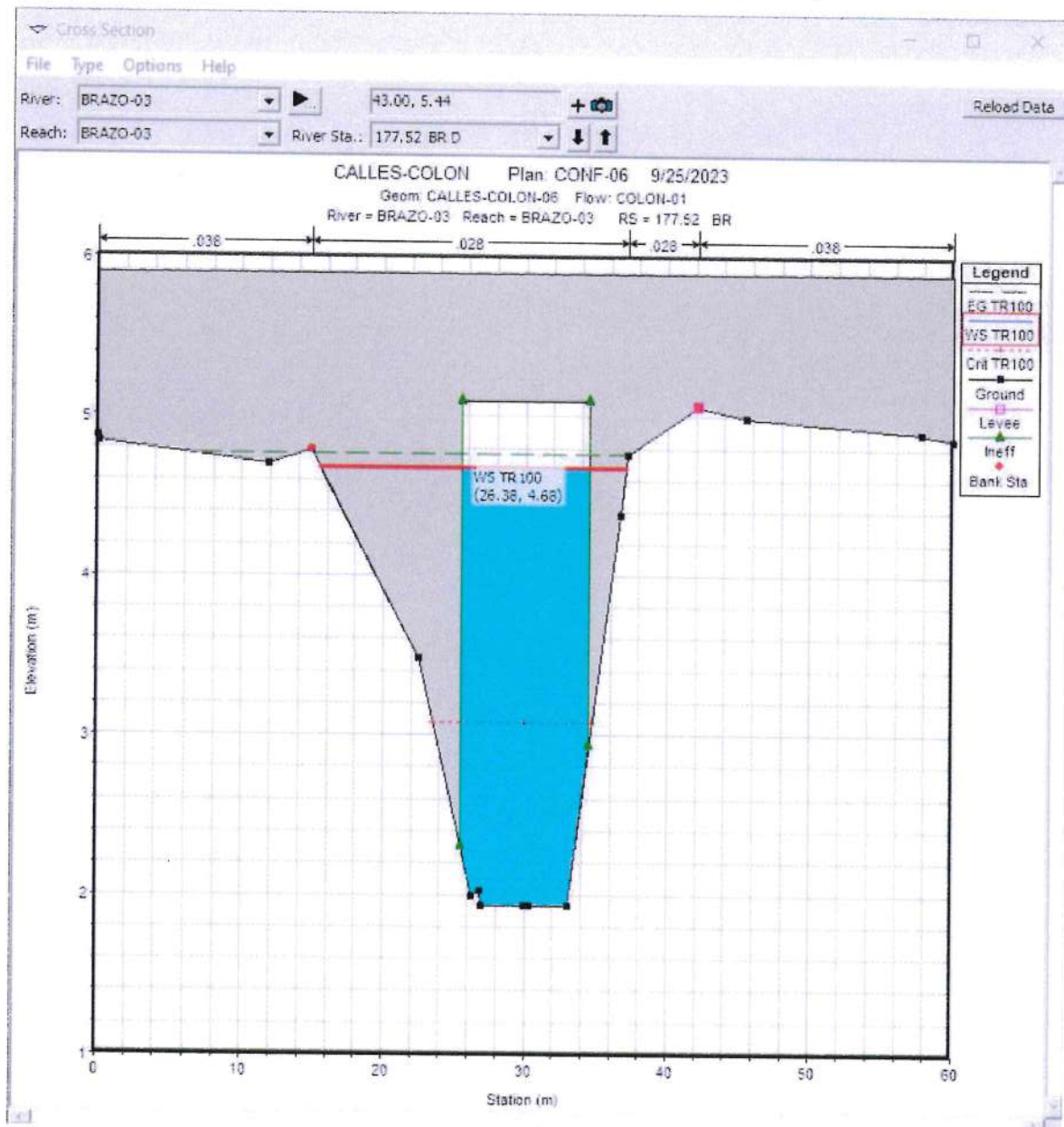


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre la quebrada Potrero

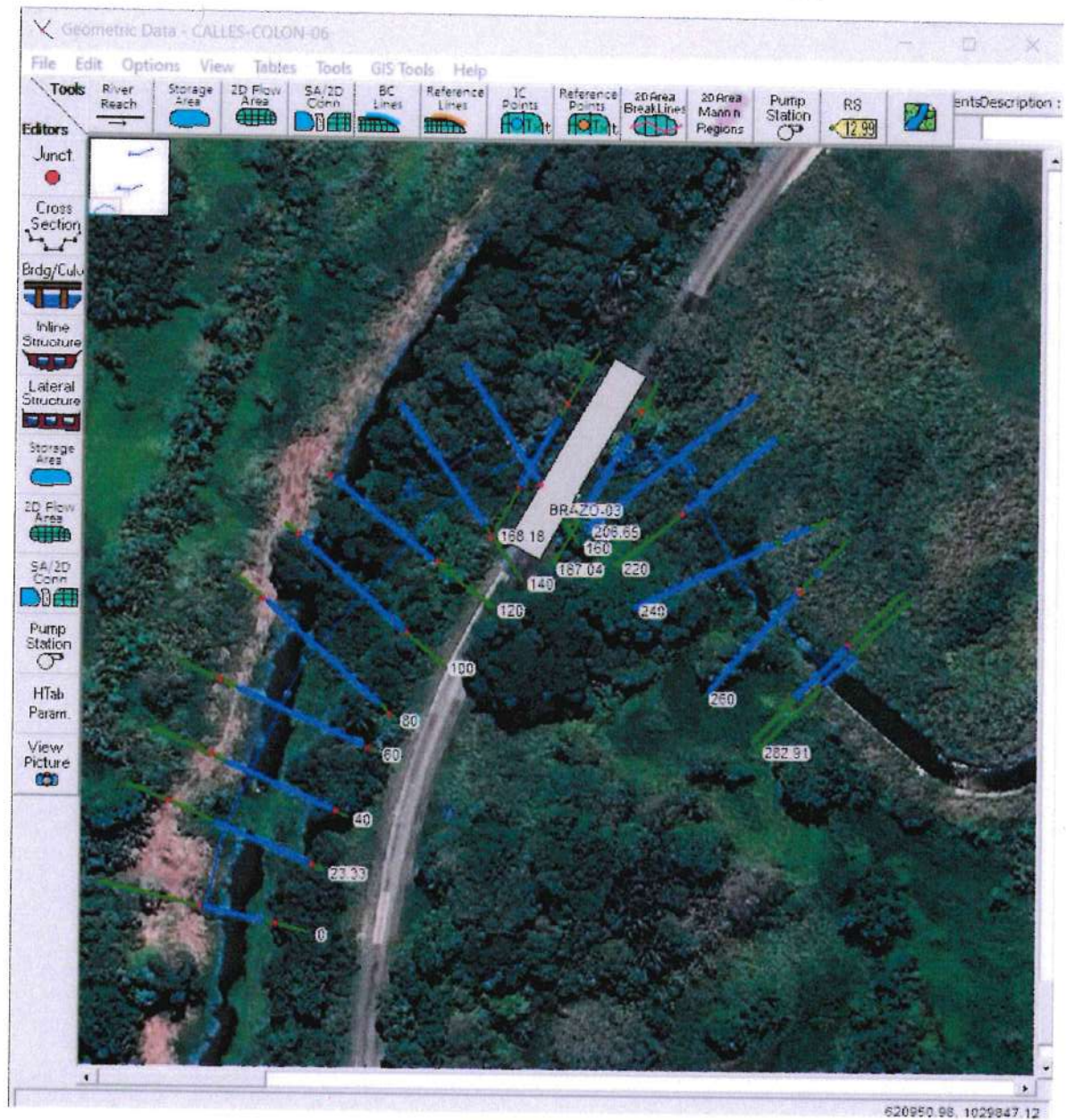
Bridge Output				
File Type Options Help				
River:	BRAZO-03	Profile:	TR100	
Reach:	BRAZO-03	RS:	177.52	Plan: CONF-06
Plan: CONF-06 BRAZO-03 BRAZO-03 RS: 177.52 Profile: TR100				
E.G. US. (m)		Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	4.64	E.G. Elev (m)	4.83	4.76
Q Total (m3/s)	29.63	W.S. Elev (m)	4.64	4.68
Q Bridge (m3/s)	29.63	Crit W.S. (m)	3.96	3.08
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.82	2.75
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.93	1.25
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	15.35	23.75
Weir Submerg		Froude # Chl	0.46	0.24
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	19.15	35.32
Min El Weir Flow (m)	5.90	Hydr Depth (m)	1.71	2.64
Min El Prs (m)	5.10	W.P. Total (m)	11.61	13.51
Delta EG (m)	0.07	Conv. Total (m3/s)	660.3	1234.9
Delta WS (m)	-0.03	Top Width (m)	9.00	9.00
BR Open Area (m2)	19.52	Frcn Loss (m)	0.01	0.00
BR Open Vel (m/s)	1.93	C & E Loss (m)	0.06	0.00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	26.11	9.92
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	50.41	12.38

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para periodo de retorno 100 años

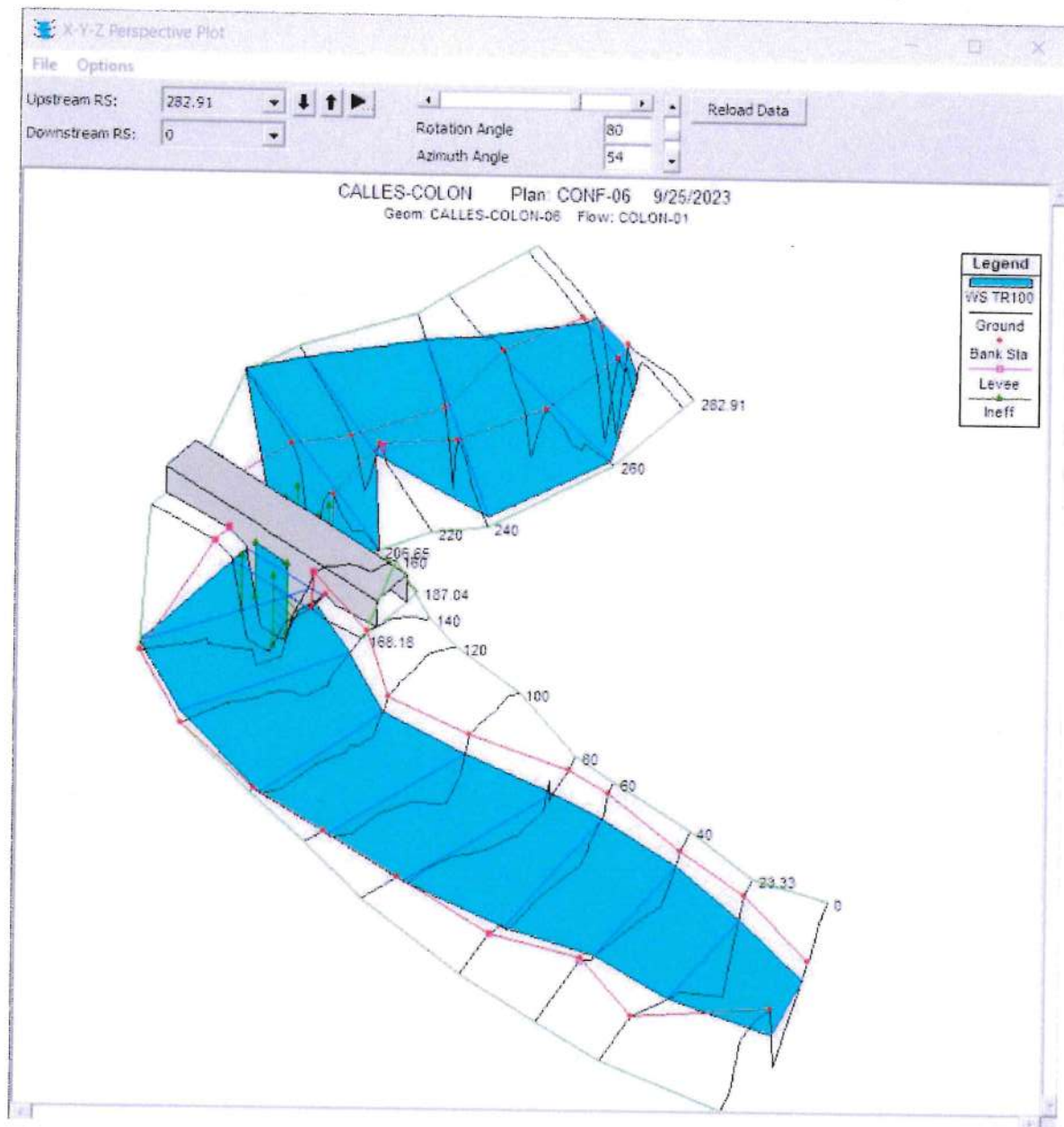


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N° 99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1. El área de la cuenca del puente sobre la quebrada Brook brazo 3, determinada de los mosaicos cartográficos Tommy Guardia escala 1:50,000, fue de 949,194.29m² equivalente a 0.9492 Km²
- 6.2. Para el cálculo de caudales no fue posible utilizar directamente el método regional de crecidas máximas de ETESA, ya que el proyecto no está ubicado en una zona hidrológicamente homogénea, aún así, se calcularon los caudales por medio de las ecuaciones de las zonas hidrológicamente homogéneas más cercas al proyecto, pero se encontraron variaciones demasiado significativas en los resultados, por lo tanto, los resultados solo se utilizaron como referencia, para justificar y validar el uso del método racional y sus resultados respectivos.
- 6.3. Como el área de la cuenca del cauce Brook brazo 3 es menor que 2.50 Kms², se calculó y dejó como definitivo el caudal de la cuenca a flujo constante por medio del método racional, utilizando las ecuaciones IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Plano, específicamente la correspondiente al período de retorno de 100 años. También se utilizó un coeficiente "C" para el método racional de 0.85, tal como lo indican los términos de referencia del proyecto.
- 6.4. Con la información de área, coeficiente de escorrentía, tiempos de concentración e intensidades calculada para las cuencas, se obtuvo un caudal de 29.63 m³/s para la quebrada Brook brazo 3 para un período de retorno de 100 años.
- 6.5. El análisis hidráulico realizado para el cauce del proyecto fue del tipo unidimensional (1D), ya que para el proyecto se realizó un levantamiento topográfico de detalle con equipo de estación total, levantando secciones transversales a cada 20.00m de separación, con un alcance de 100.00m aguas arriba y 100.00m aguas abajo.
- 6.6. Con el levantamiento topográfico realizado, se elaboraron curvas de nivel a cada 1.00m de elevación del relieve del terreno existente (sin proyecto), y se construyó el modelo geométrico en HEC-RAS 6.5 en una dimensión (1D), con sus respectivas obras hidráulicas proyectadas (puente y conformación de cauce). Por esta razón no fue necesario elaborar un modelo digital de elevación con proyecto ni curvas de nivel con proyecto, ya que no se ha realizado un análisis hidráulico en 2 dimensiones (2D) en este estudio, sino que únicamente en 1 dimensión (1D).
- 6.7. Posteriormente se revisó la posibilidad de incorporar dentro de HEC-RAS 6.5 un modelo digital de elevaciones auxiliándose de una herramienta GIS para crear un archivo DEM, el cual se importó dentro de HEC-RAS 6.5 por medio de su herramienta nativa RAS-MAPPER creándose de esa manera un RAS TERRAIN LAYER en formato *.hdf, sin embargo, el uso del mismo fue descartado porque al superponer su geometría en las secciones



- transversales del modelo 1D (cross section data), se observó que el mismo no superaba la precisión ni la calidad de la información 1D modelada y en consecuencia tampoco de la topografía levantada.
- 6.8. Con el modelo HEC-RAS 6.5 elaborado, se configuraron los parámetros hidráulicos respectivos (condiciones de frontera, régimen de flujo, etc.) y se ejecutó la simulación hidráulica, calculándose un nivel de aguas máximas esperado (NAME) para el puente sobre la quebrada Brook Brazo 3, fue de 4.68 m respecto al datum del proyecto.
 - 6.9. El comportamiento del flujo la quebrada Brook brazo 3 para el caudal de diseño utilizado fue mayoritariamente sub crítico, obteniéndose números de Froude en la mayoría de secciones transversales menores que 1.00.
 - 6.10. Las velocidades de flujo calculadas en el cauce de la quebrada Brook brazo 1, en todas las secciones transversales resultaron menores de 2.60 m/s, la cual es una velocidad favorable que puede circular sin causar desgaste en los zampeados y elementos de concreto la subestructura del puente proyectado.
 - 6.11. Luego de las modelaciones se concluye que no existe el riesgo de inundación para el puente proyectado, ya que el mismo se ha diseñado (según planos aprobados) respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 de altura.
 - 6.12. Para la revisión y validación de los resultados de la simulación, se adjuntan los siguientes insumos y productos utilizados y generados por HEC RAS 6.5:
 - 6.12.1. Archivo DEM utilizado para elaborar el "terrain".
 - 6.12.2. Archivo proyecto generado por la simulación.
 - 6.12.3. Archivo de geometría generado por la simulación con proyecto
 - 6.12.4. (modelo 1D).
 - 6.12.5. Archivo plan generado por la simulación.
 - 6.12.6. Archivo de flujo constante o no constante generado por la simulación.
 - 6.12.7. Archivo ráster final de resultado de simulación sin proyecto



ANEXO – 01: RESULTADOS ADICIONALES



Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+282.91

HEC-RAS Plan: CONF-06 River: BRAZO-03 Reach: BRAZO-03 Profile: TR100												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /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 (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chi
BRAZO-03	282.91	TR100	29.63	0.99	4.93	3.59	5.06	0.001238	1.56	19.14	11.59	0.35
BRAZO-03	280	TR100	29.63	1.02	4.95		5.05	0.001148	1.40	22.78	19.36	0.35
BRAZO-03	260	TR100	29.63	2.02	4.93		5.02	0.001360	1.40	26.94	36.94	0.39
BRAZO-03	240	TR100	29.63	2.05	4.90		4.99	0.001282	1.46	26.90	49.46	0.38
BRAZO-03	220	TR100	29.63	2.68	4.77	4.49	4.94	0.002930	1.97	19.13	32.11	0.57
BRAZO-03	206.65	TR100	29.63	2.34	4.85		4.89	0.000376	0.91	42.58	60.00	0.24
BRAZO-03	187.04	TR100	29.63	2.81	4.64	3.97	4.83	0.001494	1.92	15.43	26.34	0.47
BRAZO-03	177.52		Bridge									
BRAZO-03	168.18	TR100	29.63	1.93	4.68	3.08	4.76	0.000355	1.25	23.73	21.64	0.25
BRAZO-03	160	TR100	29.63	2.35	4.70	3.55	4.73	0.000269	0.67	44.55	38.58	0.20
BRAZO-03	140	TR100	29.63	3.48	4.62		4.70	0.002761	1.22	24.21	40.82	0.51
BRAZO-03	120	TR100	29.63	3.65	4.39	4.38	4.59	0.011077	1.96	15.08	35.82	0.97
BRAZO-03	100	TR100	29.63	2.86	4.41		4.48	0.001749	1.09	27.07	38.53	0.42
BRAZO-03	80	TR100	29.63	3.38	4.26		4.40	0.008018	1.69	17.56	40.82	0.82
BRAZO-03	60	TR100	29.63	3.23	4.13	4.03	4.26	0.005952	1.59	18.60	38.06	0.73
BRAZO-03	40	TR100	29.63	2.89	3.86	3.86	4.09	0.011581	2.10	14.12	31.44	1.00
BRAZO-03	23.33	TR100	29.63	0.71	3.03	2.14	3.09	0.000834	0.99	29.79	27.80	0.31
BRAZO-03	0	TR100	29.63	1.32	2.67	2.67	3.01	0.010864	2.59	11.44	17.01	1.01

Total flow in cross section.

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

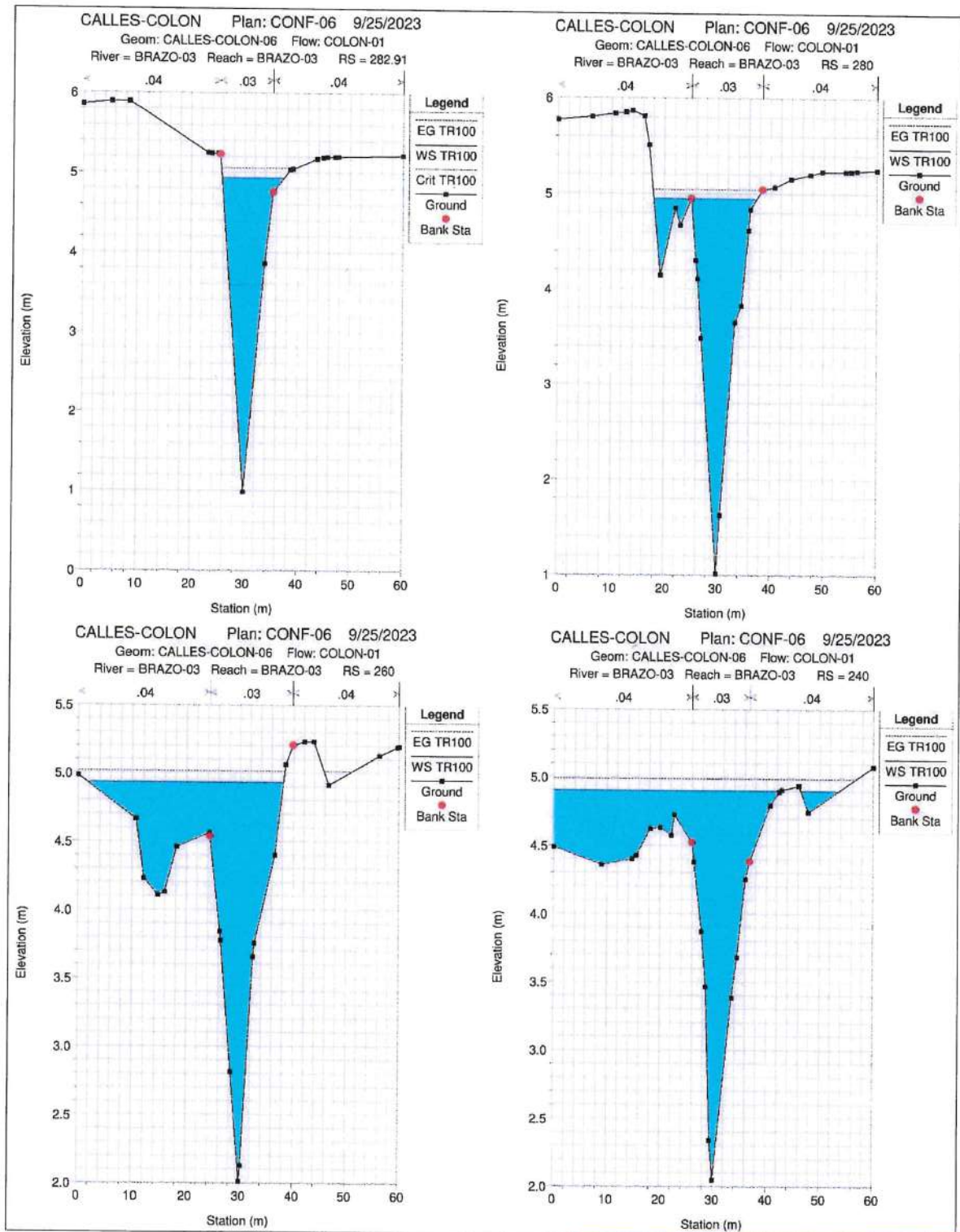
LICENCIA N°99-006-123



Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+240.00 a 0+282.91



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

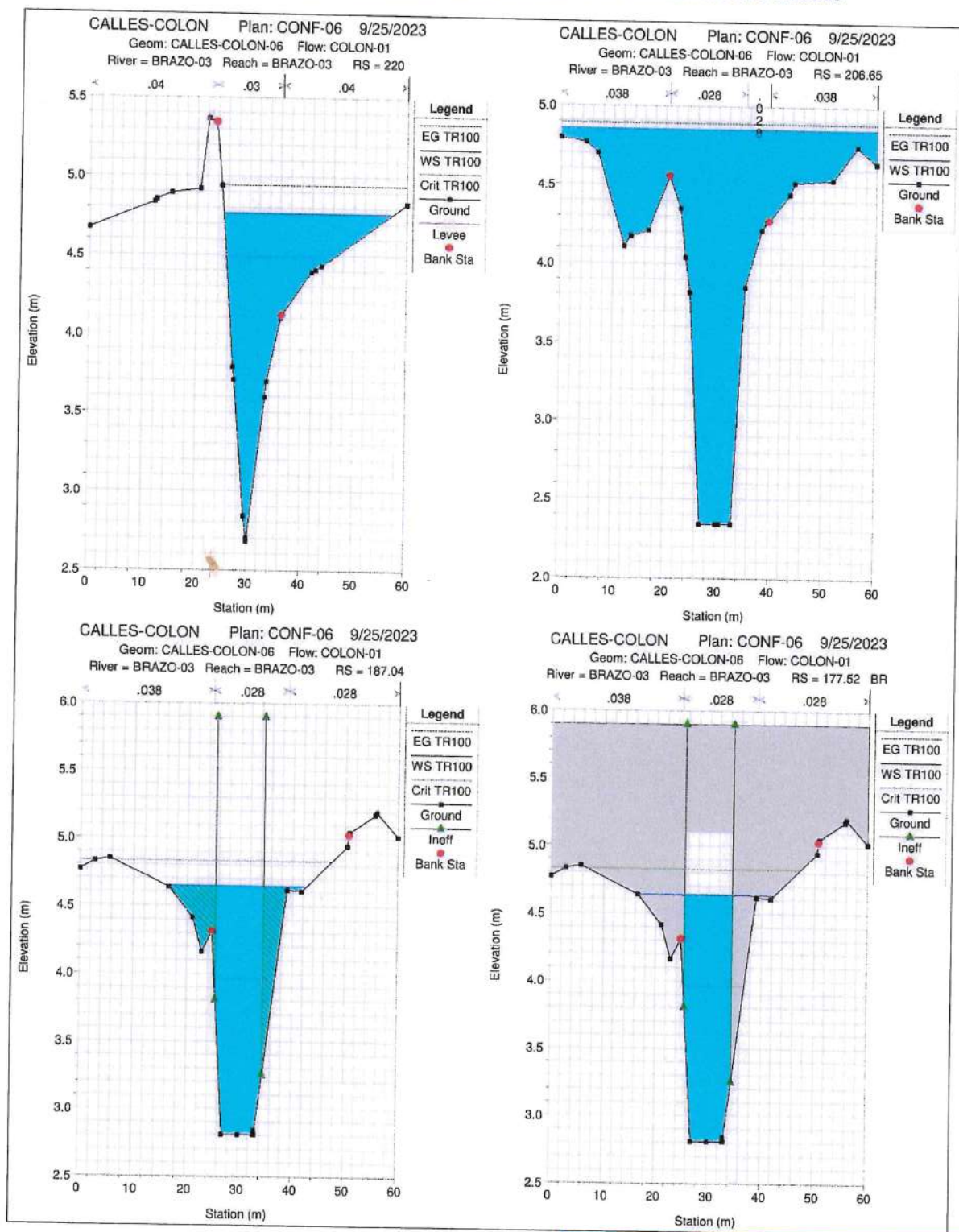
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+177.52 a 0+220.00



VLADIMIR F. FONG B.

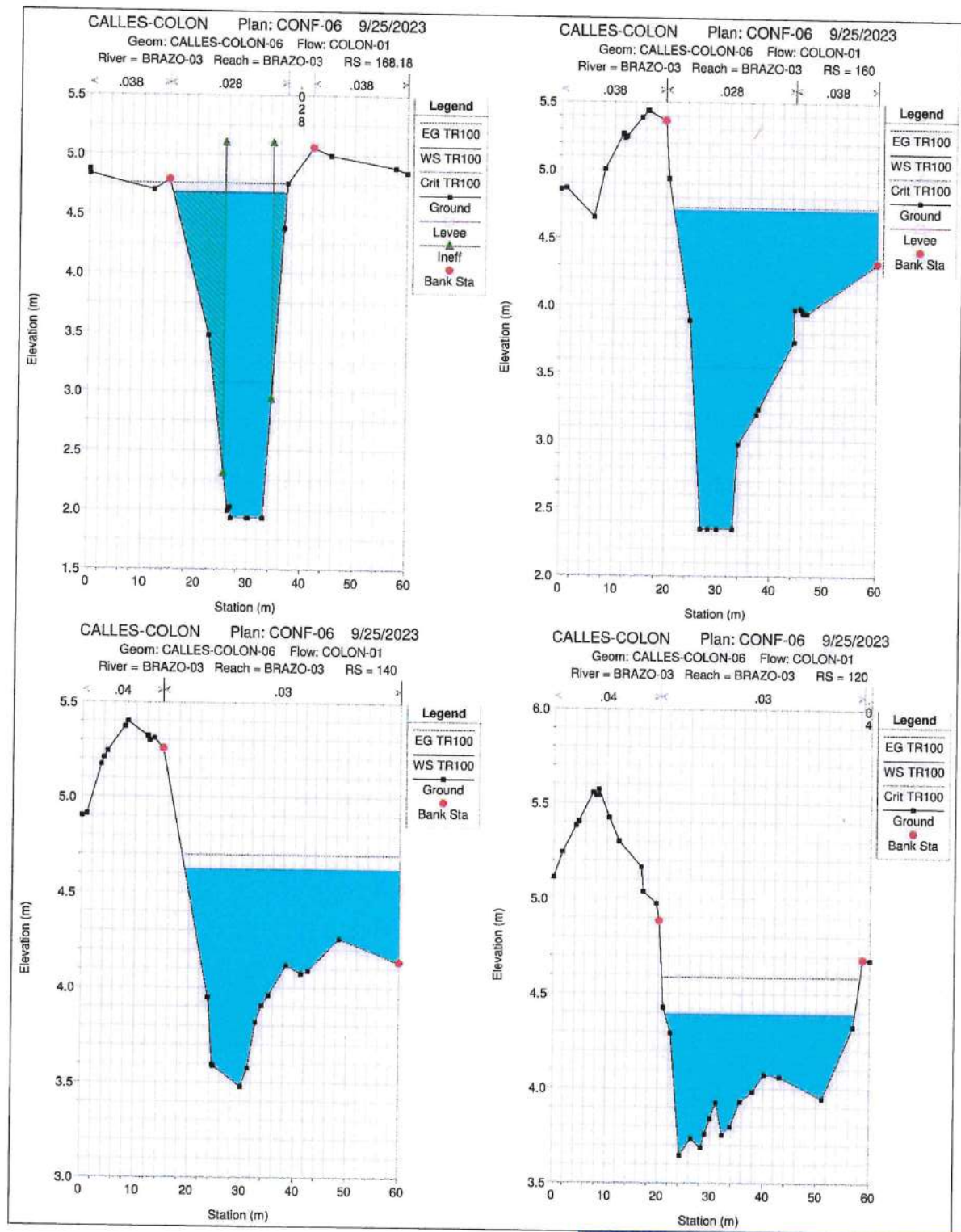
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+120.00 a 0+168.18



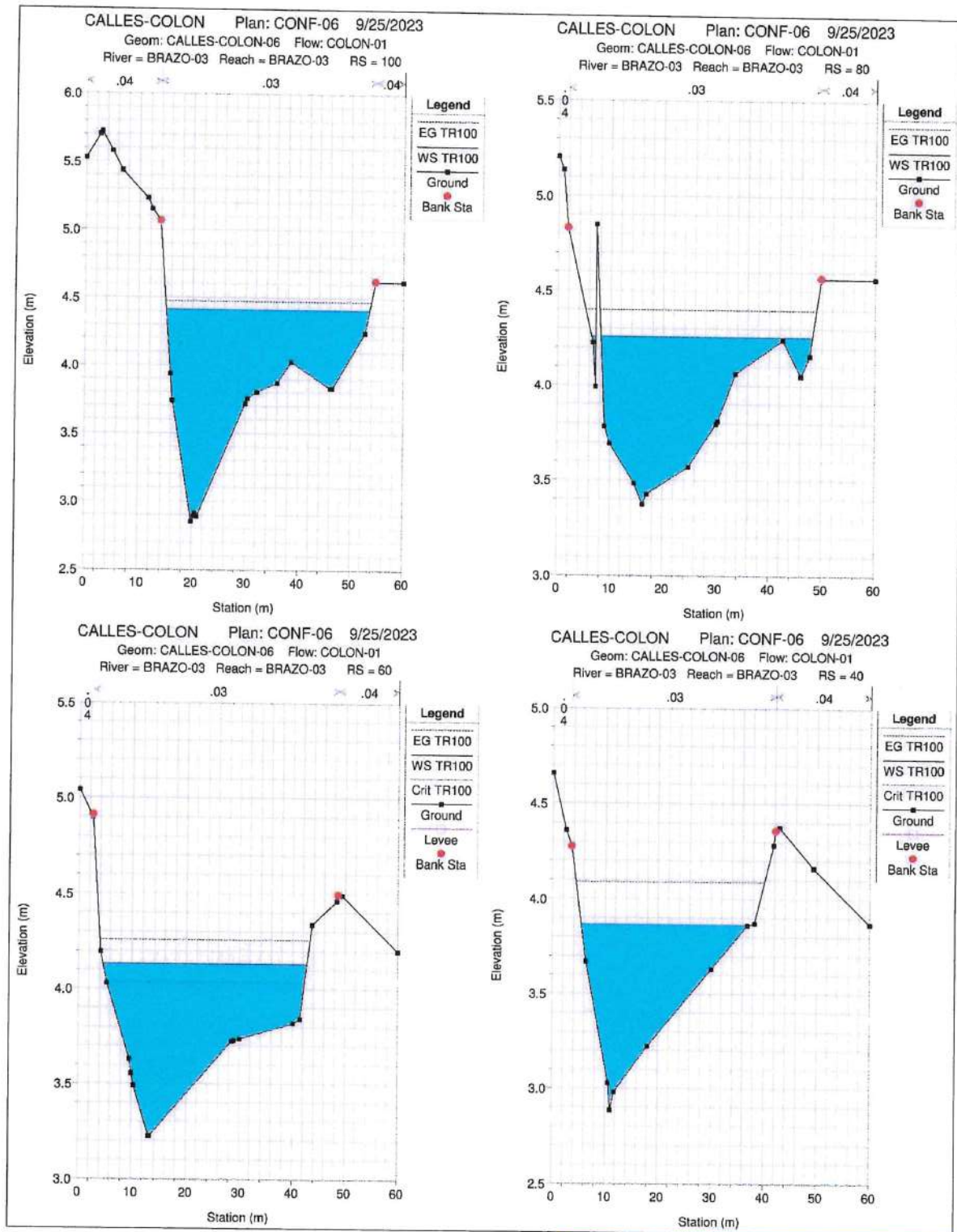
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+040.00 a 0+100.00



VLADIMIR F. FONG B.

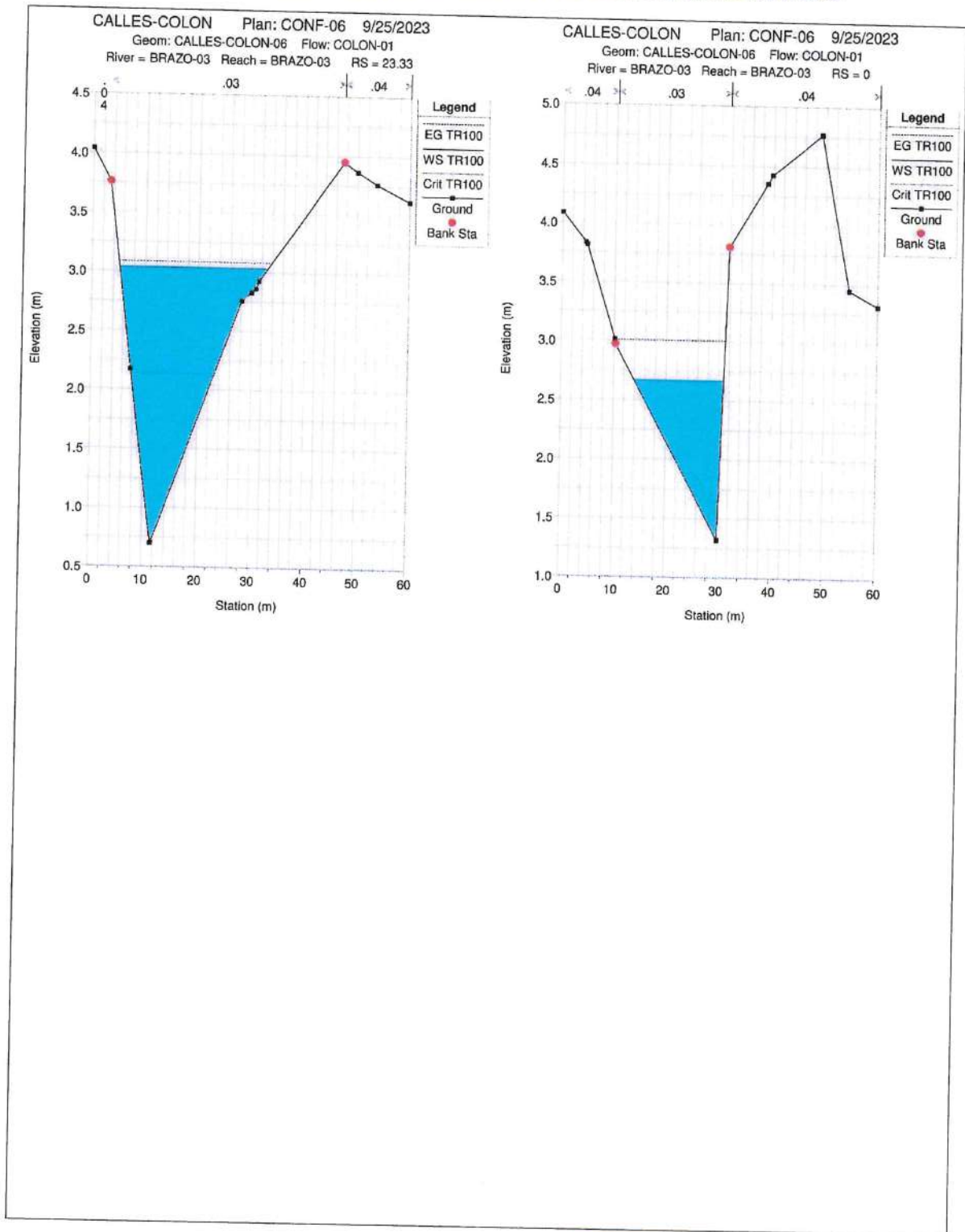
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

imagen A. 6 – Secciones hidráulicas de cauce Brook brazo 3. Estaciones 0+000.00 a 0+23.33



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-008-123

[Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura



REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**PROYECTO: "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL
DISTRITO DE COLÓN"
PROVINCIA DE COLÓN**

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO
PUENTE EN CALLE POLVORÍN PRINCIPAL**

PRESENTADO POR:

CONSORCIO IRC CONSTRUCTORES



SEPTIEMBRE DE 2023



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	3
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	3
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	3
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS	5
4.3. CÁLCULO DE CAUDALES	7
4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA	7
4.3.2. MÉTODO RACIONAL	10
5. ANÁLISIS HIDRÁULICO	17
5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA	17
5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO	27
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce en calle El Polvorín principal	4
Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente en calle Polvorín principal	6
Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).	9
Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres	11
Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth	15
Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS	18
Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 6.3.1	19
Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS	20
Imagen 5.1. 4 – Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS	21
Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado	22
Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)	23
Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente	24
Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)	25
Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén	25
Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo	26



Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS	26
Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS.....	27
Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS	27
Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce	28
Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba	29
Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo	30
Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre el cauce	31
Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años	32
Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS	33
Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+170	37
Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+110.00 a 0+170.00	38
Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+060.00 a 0+093.86	39
Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+000.00 a 0+040.00	40
 Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de cuencas (método racional).....	16



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el estudio hidrológico e hidráulico para el diseño final del puente en calle Polvorín principal, para el proyecto denominado "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN", en la provincia de Colón.

2. UBICACIÓN

El puente actual está ubicado en la coordenada UTM 17N: 627858.65E y 1034990.84N (Imagen 4. 2), el cual los términos de referencia del proyecto piden reemplazar por un puente de dos carriles de 3.00m de ancho cada uno, con acera peatonal de 1.20m de ancho, barreras de hormigón tipo New Jersey de 0.40 m de ancho, barandales peatonales de acero y losa de hormigón reforzado.

3. OBJETIVOS

- 2.1. Determinación de cuenca del puente
- 2.2. Determinación del caudal de diseño para período de retorno de 100 años
- 2.3. Determinación del nivel de agua máximo extraordinario (N.A.M.E.)

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

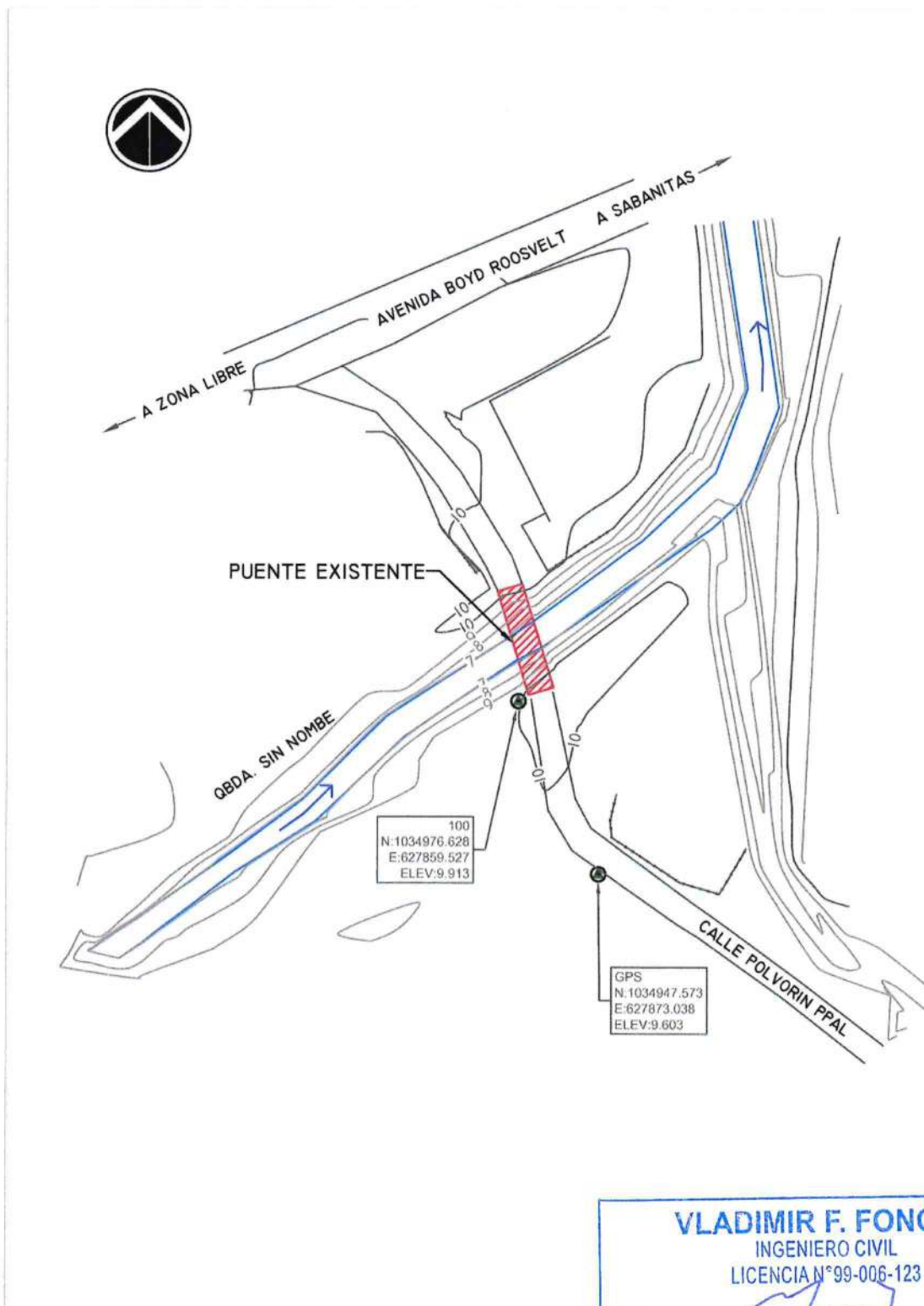
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para realizar el estudio y análisis del proyecto del puente, se procedió a encontrar la coordenada del proyecto por medio de navegadores GPS para confirmar su ubicación y, luego se establecieron puntos de control topográfico de amarre, para realizar un levantamiento topográfico terrestre del puente existente y del cauce de la quebrada sin nombre bajo el puente, por medio equipo de estación total.

El alcance del levantamiento del cauce fue de 50.00m aguas arriba y 50.00m aguas abajo con el cual posteriormente, se elaboró respectivo plano topográfico (Imagen 4. 1).



Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce en calle El Polvorín principal



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

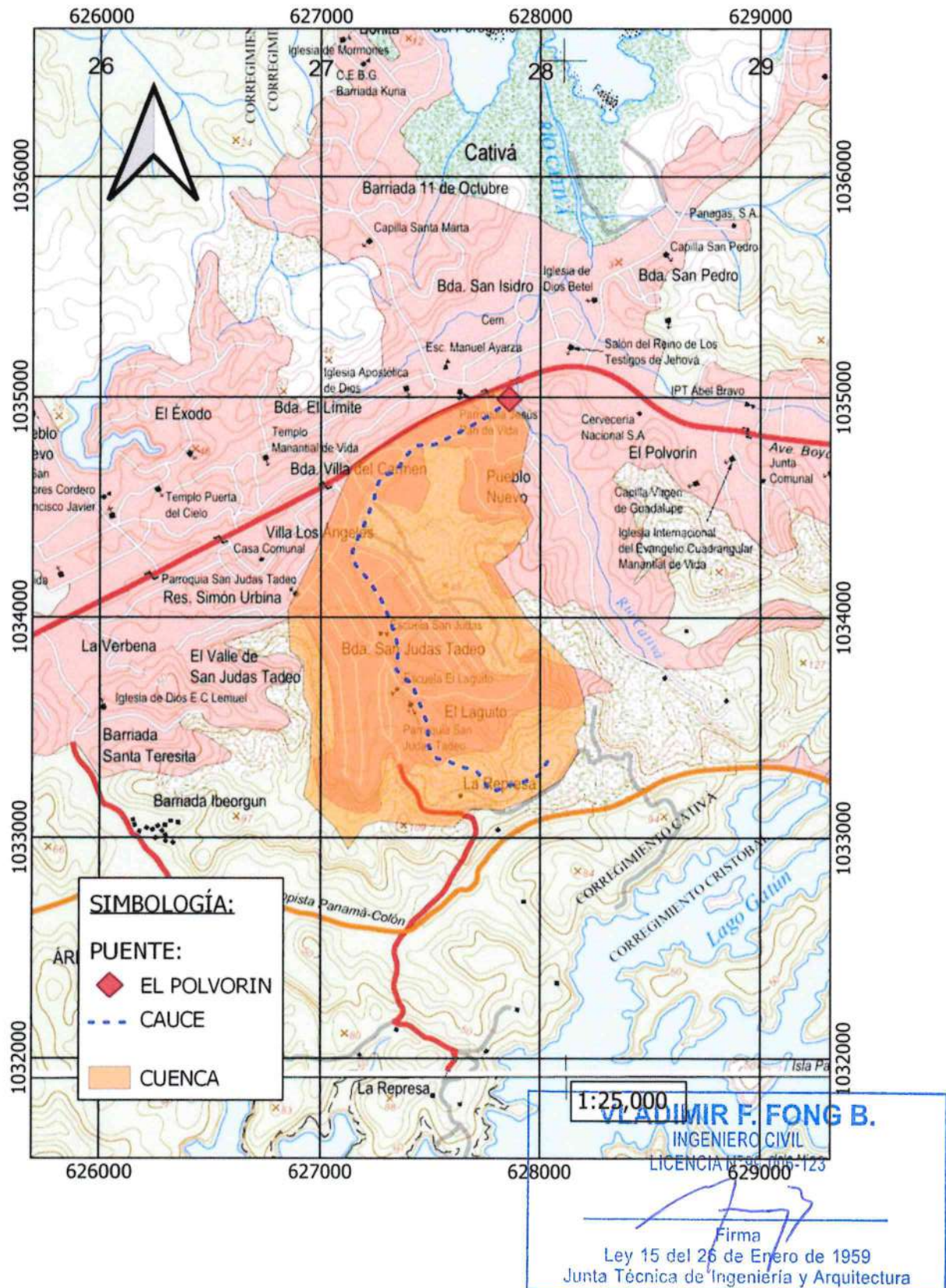
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS

La determinación de la cuenca se realizó con los mosaicos topográficos a escala 1:25,000 del Instituto Geográfico Tommy Guardia, confrontado con inspecciones de campo e información satelital GIS. El mosaico utilizado fue el denominado con nomenclatura 4244_III_SE.

El mosaico topográfico seleccionado se manipuló en una aplicación de computadora para colocarlo en sus coordenadas y escalas respectivas, para así gráficamente seguir y determinar la divisoria de aguas de la cuenca por medio de herramientas vectoriales de dibujo, hasta definirla por completo y determinar su área en unidades de metros cuadrados, siendo para la cuenca del puente de 1,865,346.01 m² (Imagen 4. 2).



Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente en calle Polvorín principal



4.3. CÁLCULO DE CAUDALES

4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA

Con la ubicación y área de la cuenca determinadas, se encontró que no podría utilizarse de manera directa el Método Regional de Crecidas Máximas de ETESA, porque la cuenca del proyecto se ubica dentro de la cuenca número 117, la cual no pertenece a ninguna región hidrológicamente homogénea del método regional (Imagen 4.3. 1).

Por otra parte, aunque los pliegos del proyecto indican que se utilizó el método regional para predimensionar los puentes del punto crítico, dejan a criterio de la empresa ganadora el cálculo definitivo.

Respecto a la utilización del método regional, las zonas hidrológicamente homogéneas más cercanas a la ubicación del proyecto son las pertenecientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), específicamente las zonas 1, 2 y 3. También la zona 7 forma parte de la cuenca del río Chagres, entonces, las ecuaciones de cada una de esas zonas tienen las siguientes expresiones:

Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años
1	1	$Q_{\max} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
2	1	$Q_{\max} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53
3	2	$Q_{\max} = 25.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
7	4	$Q_{\max} = 9.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53

Reemplazando en las ecuaciones anteriores, el valor de área de la cuenca en unidades de kilómetros cuadrados (en la variable "A"), se obtuvieron los siguientes resultados de caudal:

Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años	Caudal 100 años (m³/s)
1	1	$Q_{\max} = 34.0 \times 1.8653^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	131.63
2	1	$Q_{\max} = 34.0 \times 1.8653^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	124.26
3	2	$Q_{\max} = 25.0 \times 1.8653^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	96.79
7	4	$Q_{\max} = 9.0 \times 1.8653^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	32.89

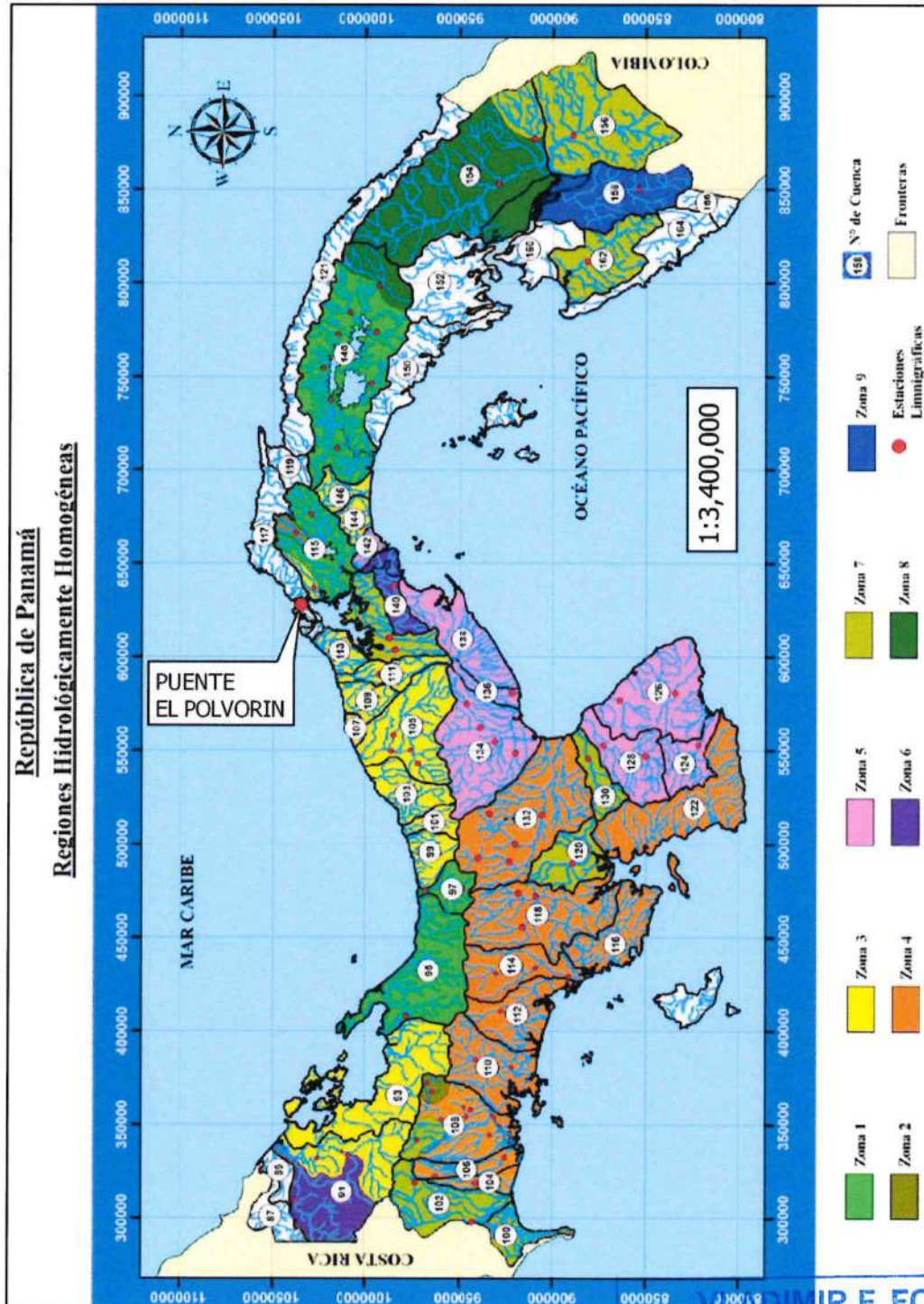


Como puede observarse, existe una significativa variación de resultados entre las ecuaciones correspondientes a las zonas hidrológicas más cercanas al proyecto (zonas 1, 2 y 3), principalmente entre la zona 1 y 3, ya que el caudal de la zona 1 ha resultado ser 1.36 veces más grande que el de la zona 3.

Siguiendo esa misma lógica, se ha comparado el caudal de la zona 1 con el de la zona 7, encontrándose que el de la zona 1 es 4.00 veces mayor. Por esa razón es que, en el presente estudio, se ha realizado el cálculo de caudales por el método racional, ya que es un método válido en Panamá, para el cual se han desarrollado ecuaciones de intensidad duración y frecuencia (IDFs), de varias cuencas dentro de la república de Panamá, y para varios períodos de retorno. Los cálculos efectuados se presentan con mayor detalle en el acápite siguiente.



Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3.2. MÉTODO RACIONAL

El Manual de Aprobación de Planos de Panamá 2021, limita explícitamente el uso del método racional para áreas menores de 250.00 Ha (2.5 Kms²), por lo tanto, podría utilizarse para el cálculo de caudal de la cuenca del puente en calle El Polvorín, ya que dicha cuenca tiene una extensión de 1.8653 Km², la cual es menor que 2.50 Km².

La expresión matemática del método racional puede adoptar muchas formas, dependiendo de las unidades de las dimensiones utilizadas en las variables relacionadas, con la inclusión de un factor de conversión adecuado. Para el caso del proyecto se ha utilizado la siguiente:

$$Q = \frac{C \times A \times i}{3.6}$$

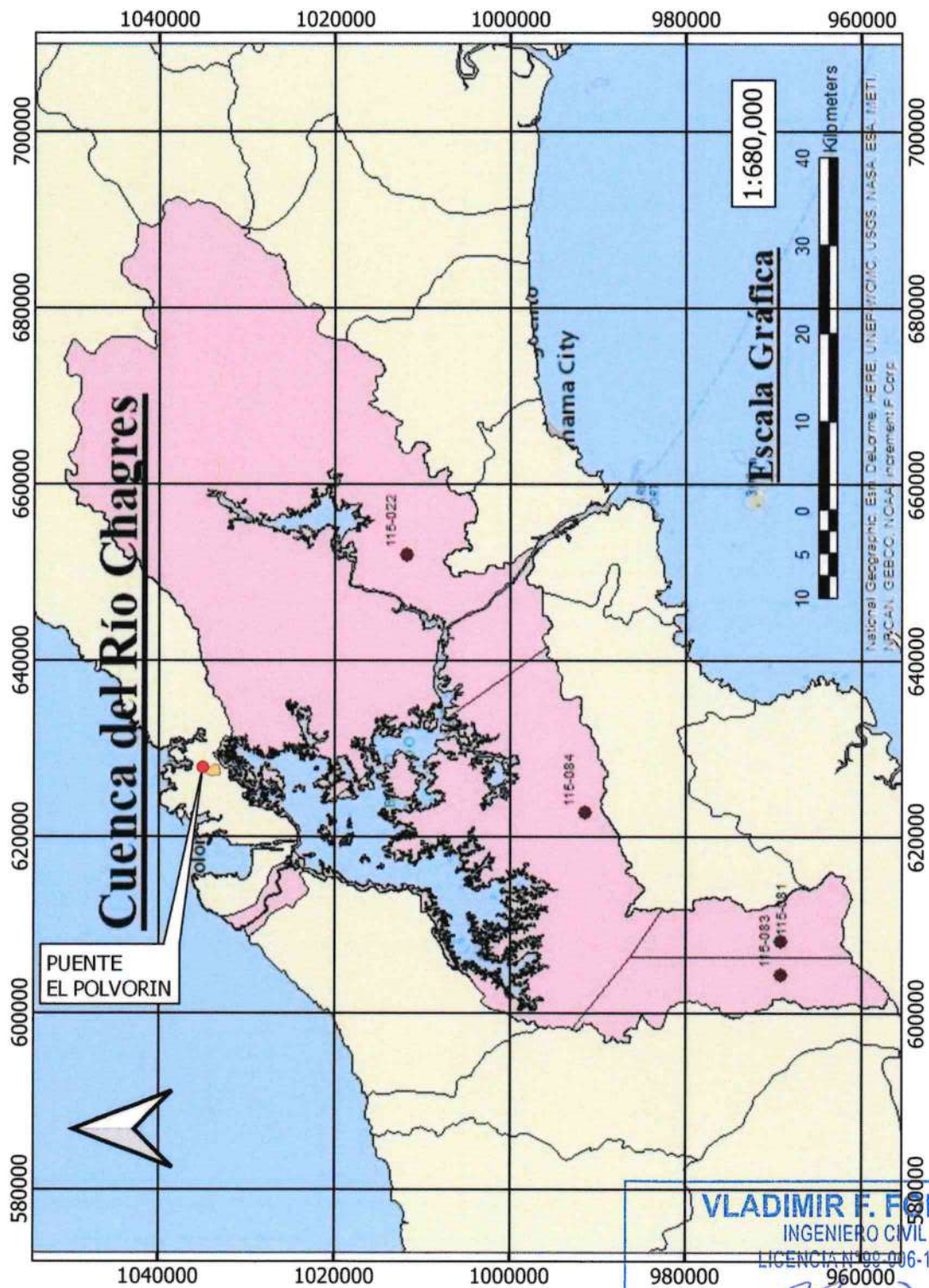
En donde:

- Q = caudal hidrológico en unidades de m³/s
- C = coeficiente de escorrentía adimensional, que según términos de referencia del proyecto es de 0.85
- A = área de drenaje de la cuenca en unidades de km²
- I = intensidad de precipitación de lluvia en unidades de mm/h, obtenida de las ecuaciones intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca, a la duración de la lluvia (tiempo de concentración), período de retorno de interés (100 años para el proyecto),

Las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia utilizadas fueron las disponibles en el Manual de Aprobación de planos del MOP vigente (año 2021), específicamente las correspondientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), ya que el puente se encuentra muy cerca de la desembocadura de esa cuenca (a menos de 4.00 Kms de distancia).



Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N° 98-006-123

Firmen

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno

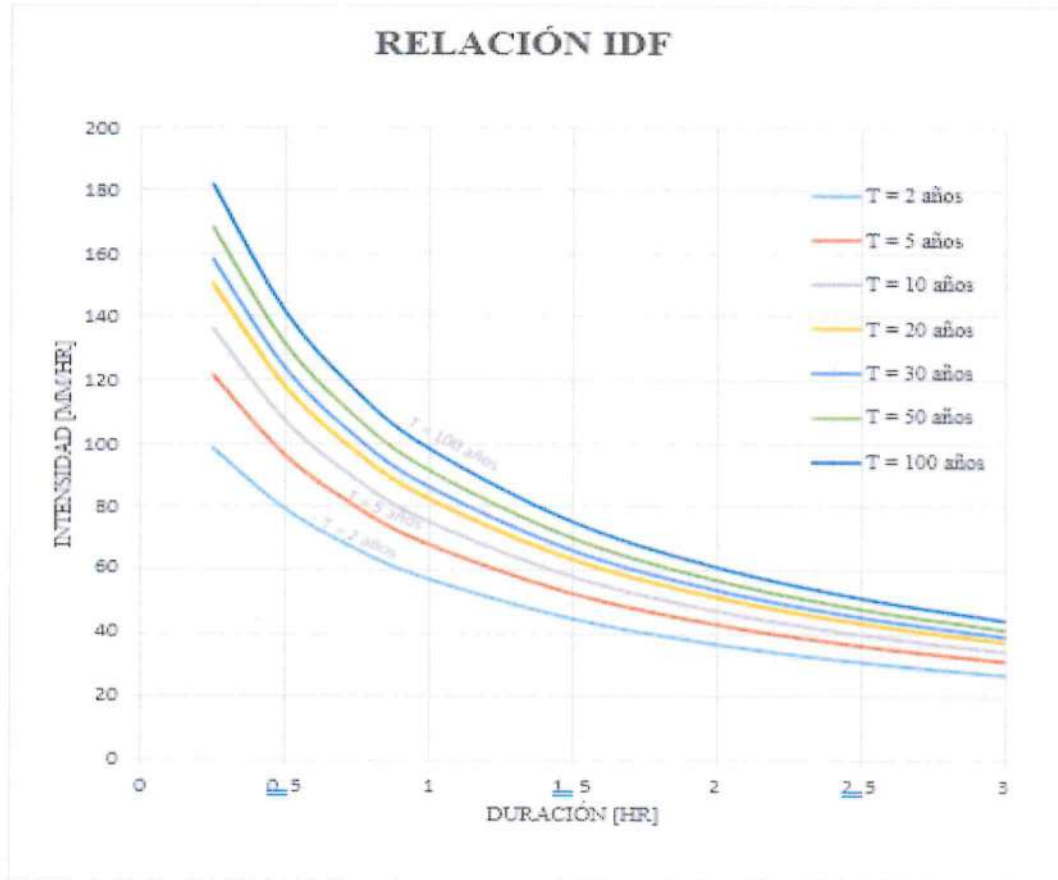


Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno

	$I = \frac{a}{d + b}$						
T [años]	2	5	10	20	30	50	100
a [mm]	102.821	116.305	126.787	137.202	143.280	150.934	161.326
b [hr]	0.793	0.707	0.681	0.663	0.656	0.647	0.637
R ²	99.49%	99.52%	99.51%	99.51%	99.50%	99.50%	99.49%

Para determinar el tiempo de concentración se compararon los resultados de las fórmulas de Brasby-Williams, Federal Aviation Agency, Kirpich y la de la onda cinemática, para la trayectoria de escurrimientos de aguas más larga determinada en

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIADO N° 99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

los mosaicos topográficos. A continuación, se presentan las fórmulas de tiempos de concentración mencionadas.

Fórmula de Brasby-Williams:

$$T_c = \frac{0.96 \times L^{1.20}}{(H^{0.20} \times A^{0.10}) \times 60}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

H = desnivel existente entre el punto de inicio y el punto final de escurrimiento

A = área de la cuenca en unidades de Kms²

Fórmula de la Federal Aviation Agency:

$$T_c = \frac{3.26 \times (1.10 - C) \times L^{0.50}}{(100 \times S)^{0.33}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escurrimiento del método racional, adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escurrimiento de Manning adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de la onda cinemática:

$$T_c = \frac{0.94 \times L^{0.60} \times n^{0.60}}{i^{0.40} \times S^{0.30}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de pies

n = coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

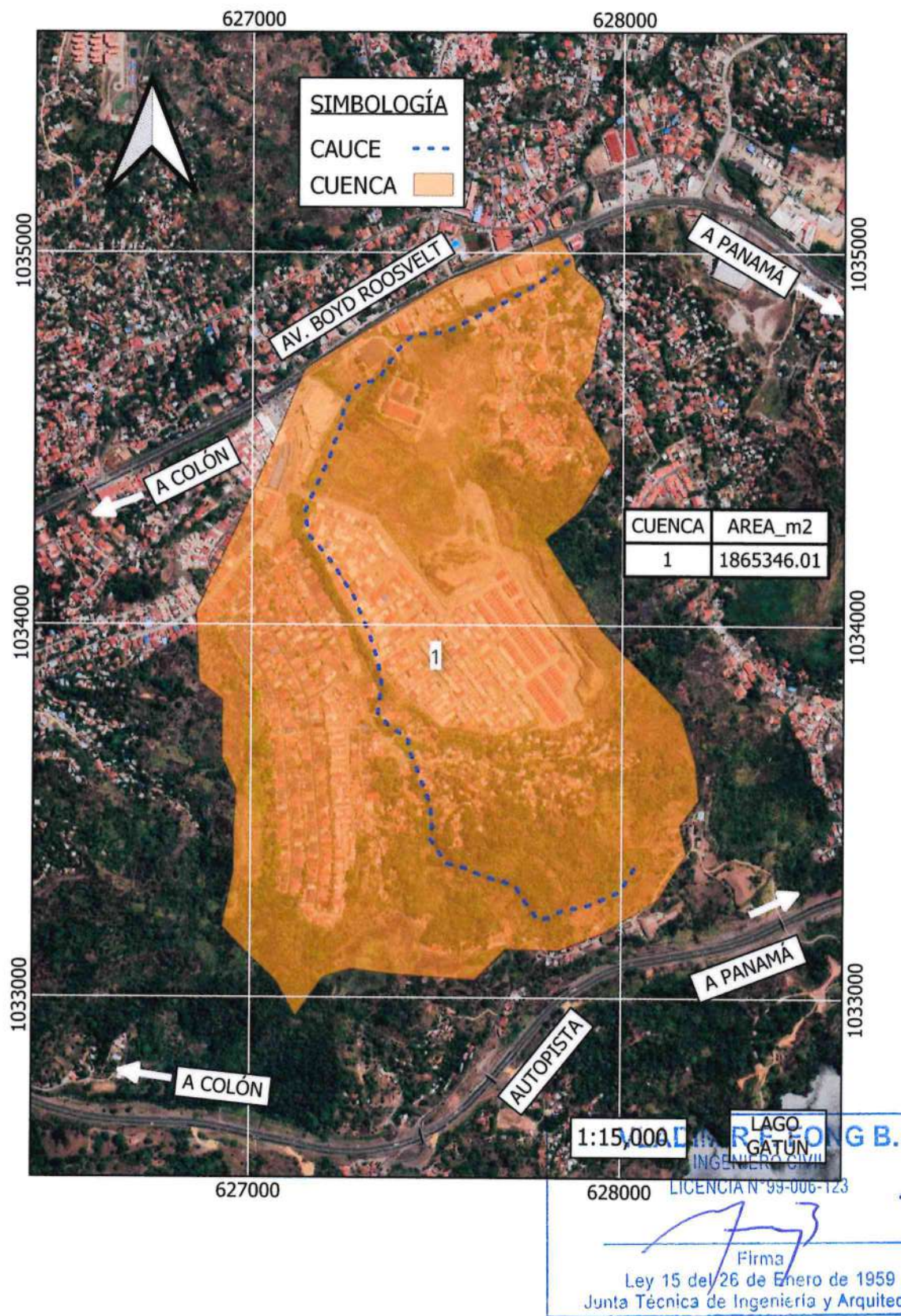


i = intensidad de lluvia en pulg/h

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de pie/pie



Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth



Un resumen de los cálculos efectuados para la cuenca involucrada se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de cuencas (método racional)

CÁLCULOS HIDROLÓGICOS	Cuenca	1	1,865,346.01	2741.00	Longitud de drenaje, m			Punto alto	20.00	Punto bajo	10.00	Diferencia de alturas	10.00	Pendiente de Drenajes, m/m	0.0320	C, método racional (adimensional)	0.85	CN-II, ponderado (adimensional)	80.00	Tc, min					Brasby-Williams	114.51	Federal Aviation Agency	29.07	Kirpich	32.56	Ecuación de retardo SCS, CN-II	54.43	Adoptado	53.00	Frecuencia de Lluvia, años	100	Intensidad de la lluvia, mm/h	106.11	Caudal método Racional, m³/s	46.73
-----------------------	--------	---	--------------	---------	------------------------	--	--	------------	-------	------------	-------	-----------------------	-------	----------------------------	--------	-----------------------------------	------	---------------------------------	-------	---------	--	--	--	--	-----------------	--------	-------------------------	-------	---------	-------	--------------------------------	-------	----------	-------	----------------------------	-----	-------------------------------	--------	------------------------------	-------

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°66-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para realizar el análisis hidráulico del cauce de la cuenca del puente en calle El Polvorín, se tomó en cuenta la ubicación del puente proyectado y la conformación de cauce necesaria para incrementar la anchura del cauce inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado.

Se utilizó la aplicación computarizada HEC-RAS 6.5, la cual es una aplicación de análisis unidimensional de distribución gratuita y de amplio uso y aceptación a nivel mundial.

Para realizar el análisis en la aplicación, se elaboró la modelación en el editor geométrico de HEC-RAS. Este editor exige que se ingrese la información topográfica de cada sección transversal del cauce en estudio, lo más perpendicular posible a la dirección de la corriente y, en el sentido de aguas abajo a aguas arriba.

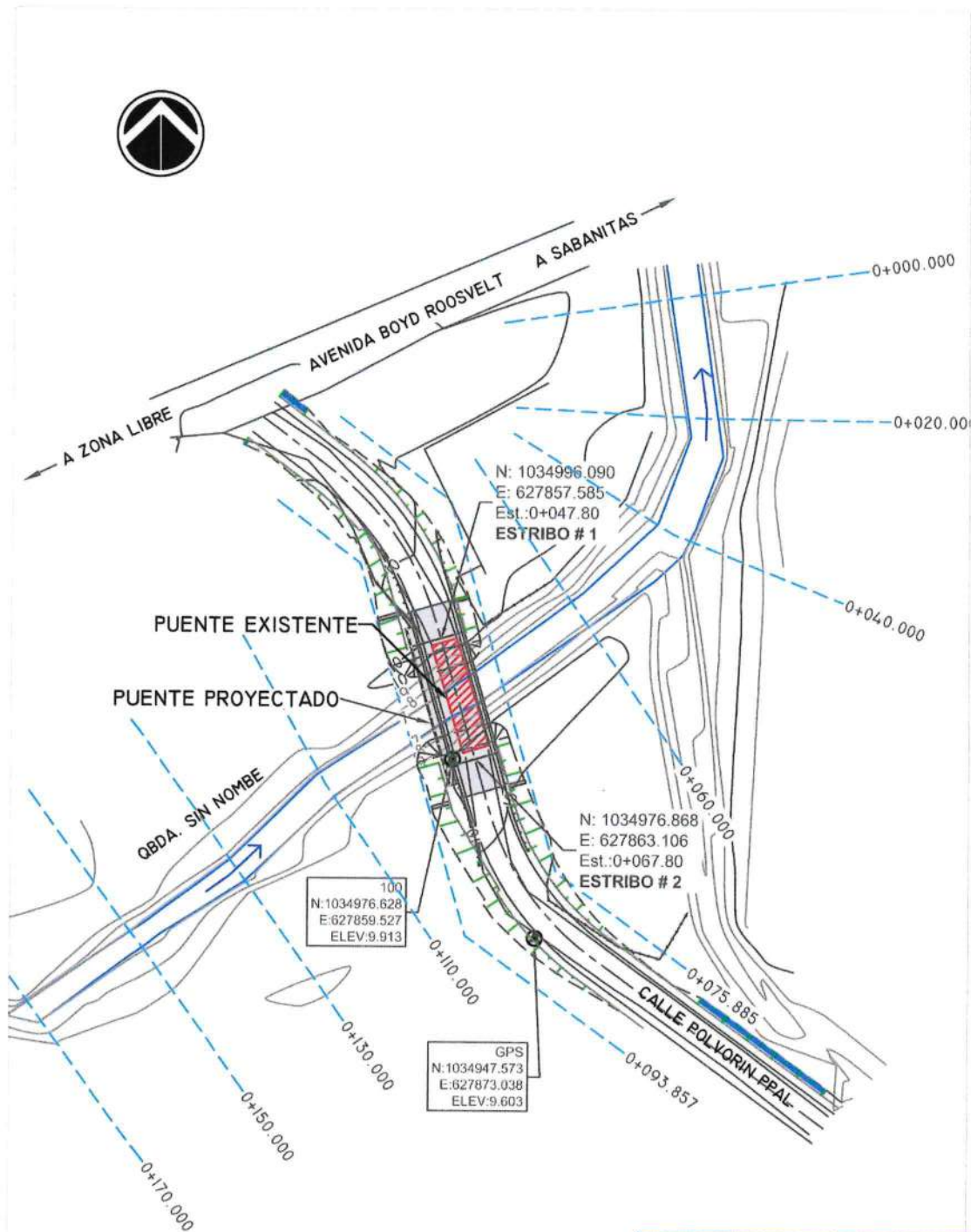
Con el levantamiento topográfico realizado, se obtuvieron secciones transversales del cauce a cada 20.00m de separación. Luego se introdujeron los datos geométricos de las secciones transversales en el editor geométrico del HEC-RAS. Para completar el modelo basándose en la inspección visual realizada al sitio del puente, se asignaron los coeficientes de rugosidad de Manning que se consideraron más adecuados para el canal del cauce y para las planicies de inundación del cauce. También se modeló la geometría del puente proyectado, tomando en cuenta la conformación de cauce necesaria, para simular taludes de protección con inclinación 1.50H: 1.00V inmediatamente aguas arriba y aguas debajo de la ubicación de puente proyectado.

Con el caudal máximo obtenido en el acápite anterior (período de retorno de 100 años), se asignaron las condiciones hidráulicas de frontera para análisis estático, para profundidad normal tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que por desconocerse su comportamiento, el análisis se configuró a régimen mixto, pues esta opción permite analizar simultáneamente a régimen de flujo sub crítico y a régimen supercrítico el modelo, los cuales compara internamente y arroja los resultados de la solución numérica más estable, que para el caso en estudio resultó tener comportamiento mayoritariamente sub crítico, con números de Froude en la mayoría de las secciones transversales menores que 1.00.

A continuación, se muestran capturas de pantallas de la modelación y configuraciones realizadas, ilustrando los parámetros y valores utilizados en el análisis hidráulico (de Imagen 5.1. 1 a Imagen 5.1. 13).



Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS



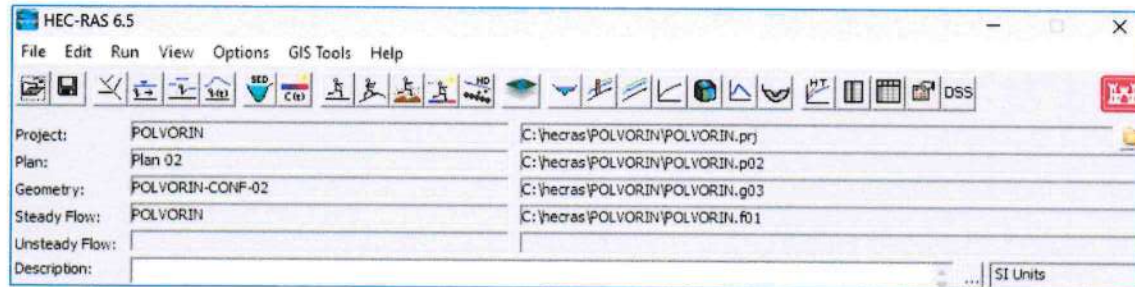
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 6.3.1



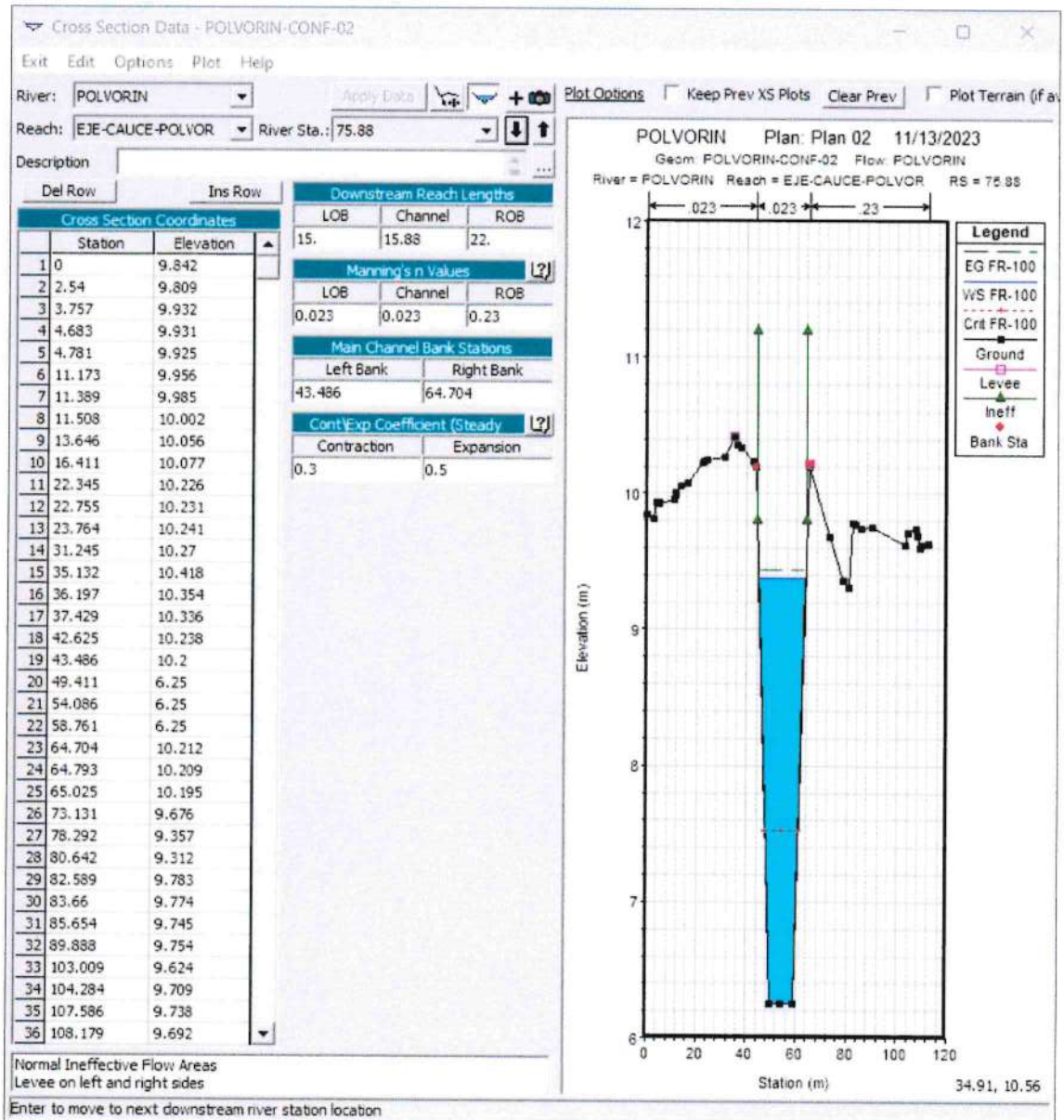
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS



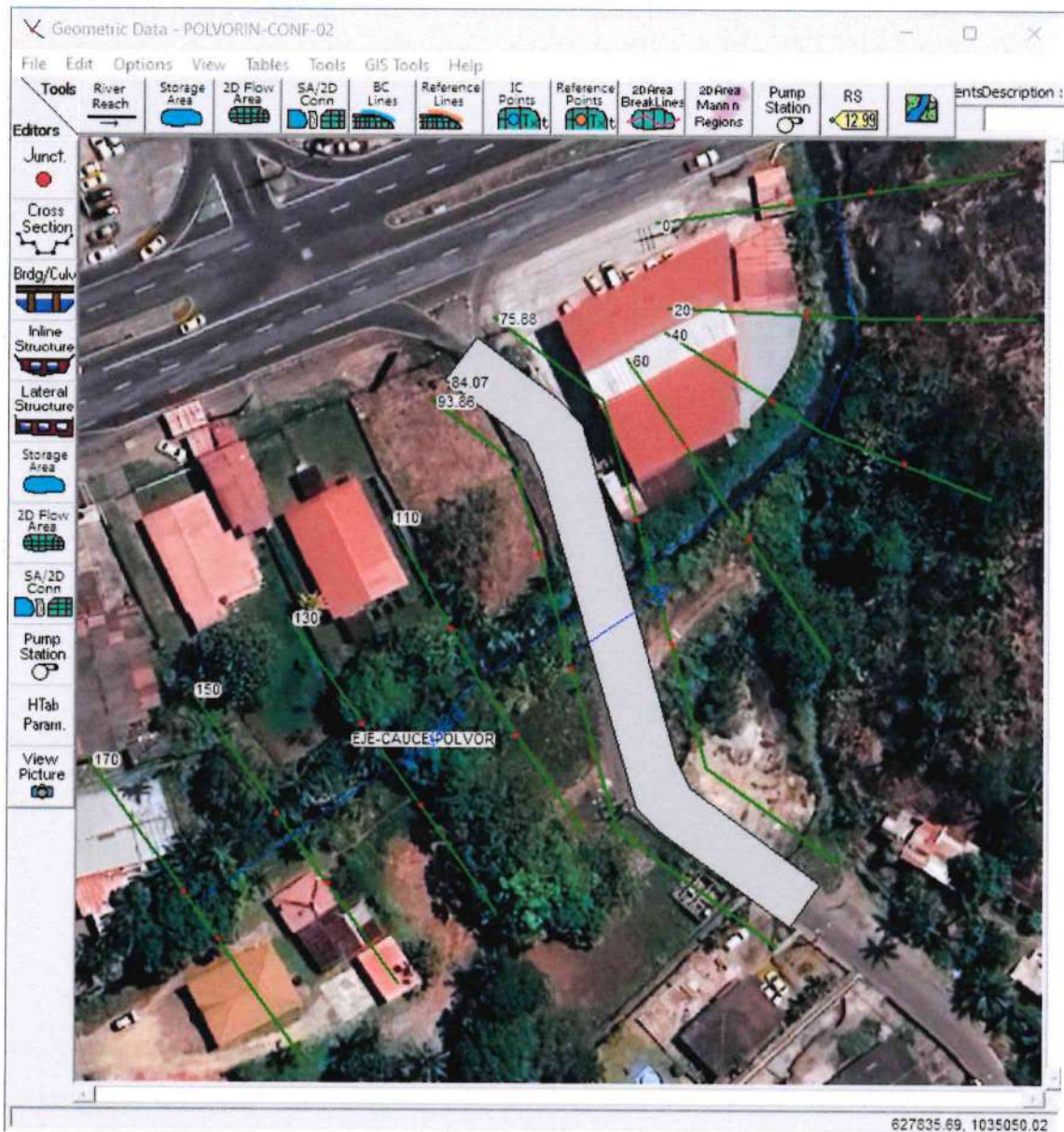
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 4- Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado

Cross Section Template Design

File View Options

Template: **CONF-01** Type: **User Entered Table**

☒ Fill Channel Below Template Cut to Daylight Side Slope: **1.5**

Table Template Copy Left to Right

	Left					Right				
	DX	DY	Slope	N Val	Bank?	DX	DY	Slope	N Val	Bank?
1	5.2	0		0	<input type="radio"/>	5.2	0		0	<input type="radio"/>
2					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
3					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
4					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
5					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
6					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
7					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
8					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
9					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>
10					<input type="radio"/>					<input type="radio"/>

Elevation

Station

Legend

- Template
- Daylight Cut

OK Close

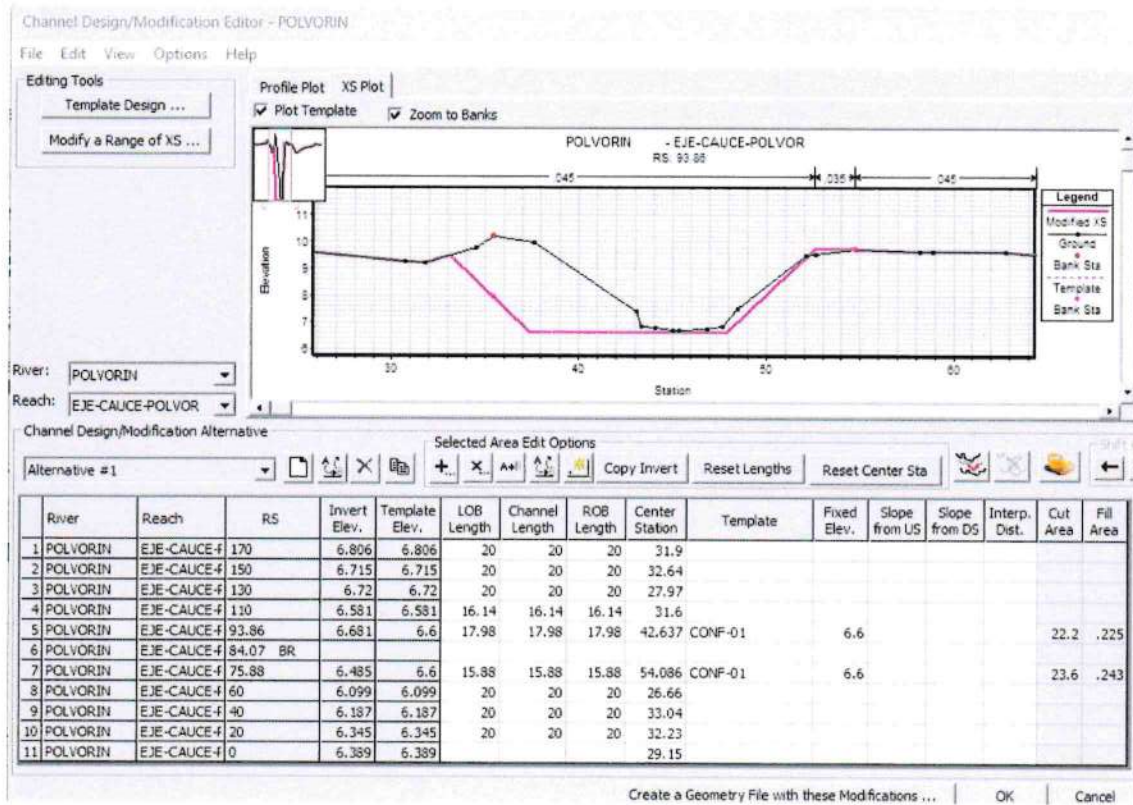
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIAN°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)



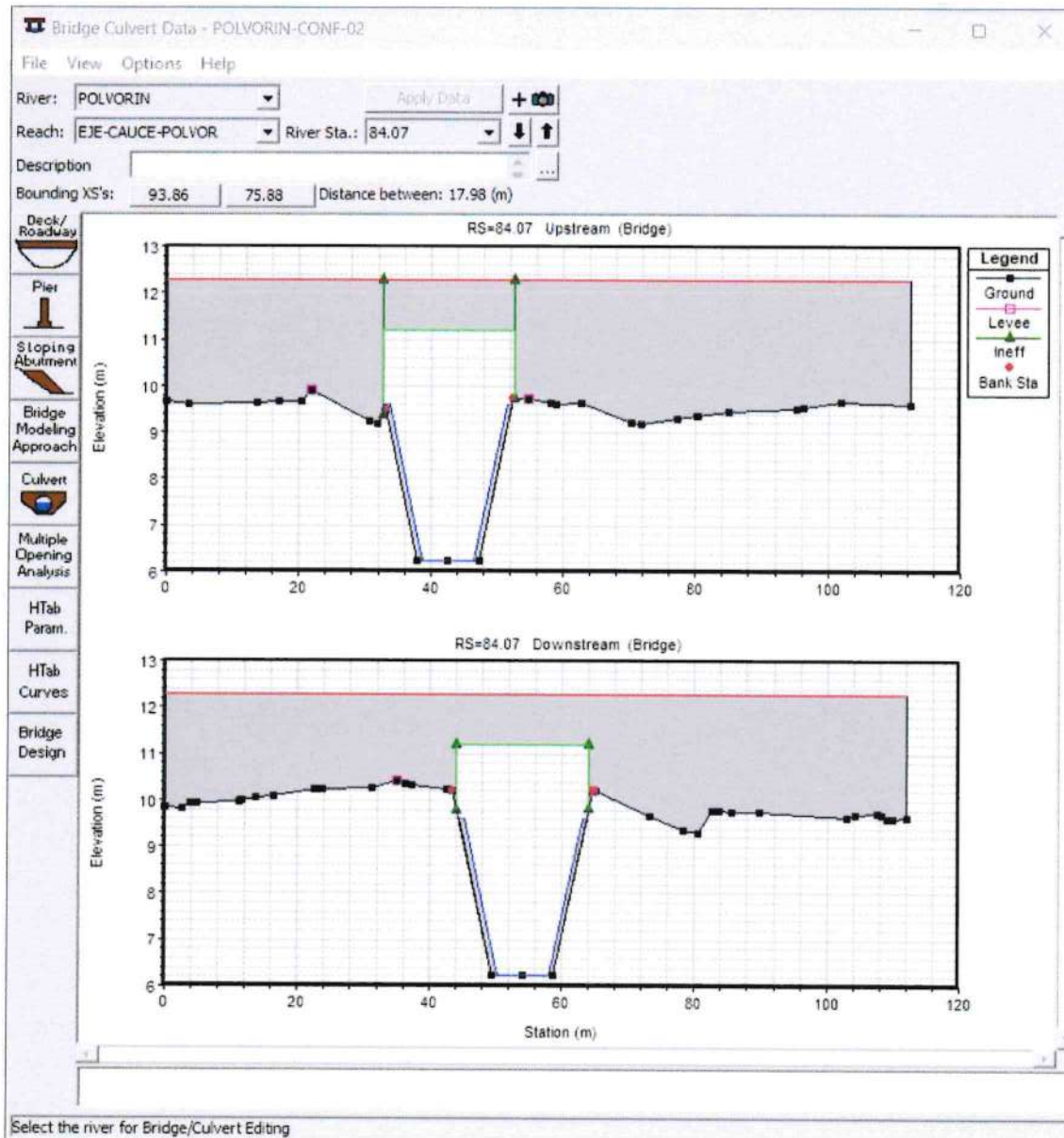
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1

Del Row Ins Row

Upstream		Downstream	
Station	Elevation	Station	Elevation
1 32.64	9.6	44.09	9.6
2 33.837	9.6	45.29	9.6
3 46.452	1.19	57.905	1.19
4			
5			
6			
7			

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select Abutment to Edit

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 2

Del Row Ins Row

Upstream		Downstream	
Station	Elevation	Station	Elevation
1 39.025	1.19	50.475	1.19
2 51.64	9.6	63.09	9.6
3 52.64	9.6	64.24	9.6
4			
5			
6			
7			

OK Cancel Help Copy Up to Down

Enter to move to previous Abutment

Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
4.149	9.2	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1 0	12.29	6.681	0	12.29	6.485
2 32.637	12.29	6.681	44.086	12.29	6.485
3 32.637	12.29	11.19	44.086	12.29	11.19
4 52.637	12.29	11.19	64.086	12.29	11.19
5 52.637	12.29	6.681	64.086	12.29	6.485
6 112.424	12.29	6.681	112.123	12.29	6.485
7					
8					

U.S Embankment SS 1.5 D.S Embankment SS 1.5

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo

Edit Contraction/Expansion Coefficients (Steady Flow)

River: ☒ Edit Interpolated XS's

Reach:

Selected Area Edit Options

	River Station	Contraction	Expansion
1	170	0.1	0.3
2	150	0.1	0.3
3	130	0.1	0.3
4	110	0.3	0.5
5	93.86	0.3	0.5
6	84.07	Bridge	
7	75.88	0.3	0.5
8	60	0.3	0.5
9	40	0.3	0.5
10	20	0.1	0.3
11	0	0.1	0.3

Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Data - POLVORIN

File Options Help

Description:

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):

Locations of Flow Data Changes

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
	River	Reach	RS	TR-100	FR-100
1	POLVORIN	EJE-CAUCE-POLVOR	170	47.04	46.73

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123



Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
POLVORIN	EJE-CAUCE-POLV	all	Normal Depth S = 0.023	Normal Depth S = 0.023

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ... OK Cancel Help

Select Boundary condition for the downstream side of selected reach.

Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Analysis

File Options Help

Plan: Plan 02 Short ID: CONF-02

Geometry File: POLVORIN-CONF-02

Steady Flow File: POLVORIN

Flow Regime

☐ Subcritical

☐ Supercritical

☒ Mixed

Optional Programs

☐ Floodplain Mapping

Plan Description

Compute

Enter/Edit short identifier for plan (used in plan comparisons)

5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO

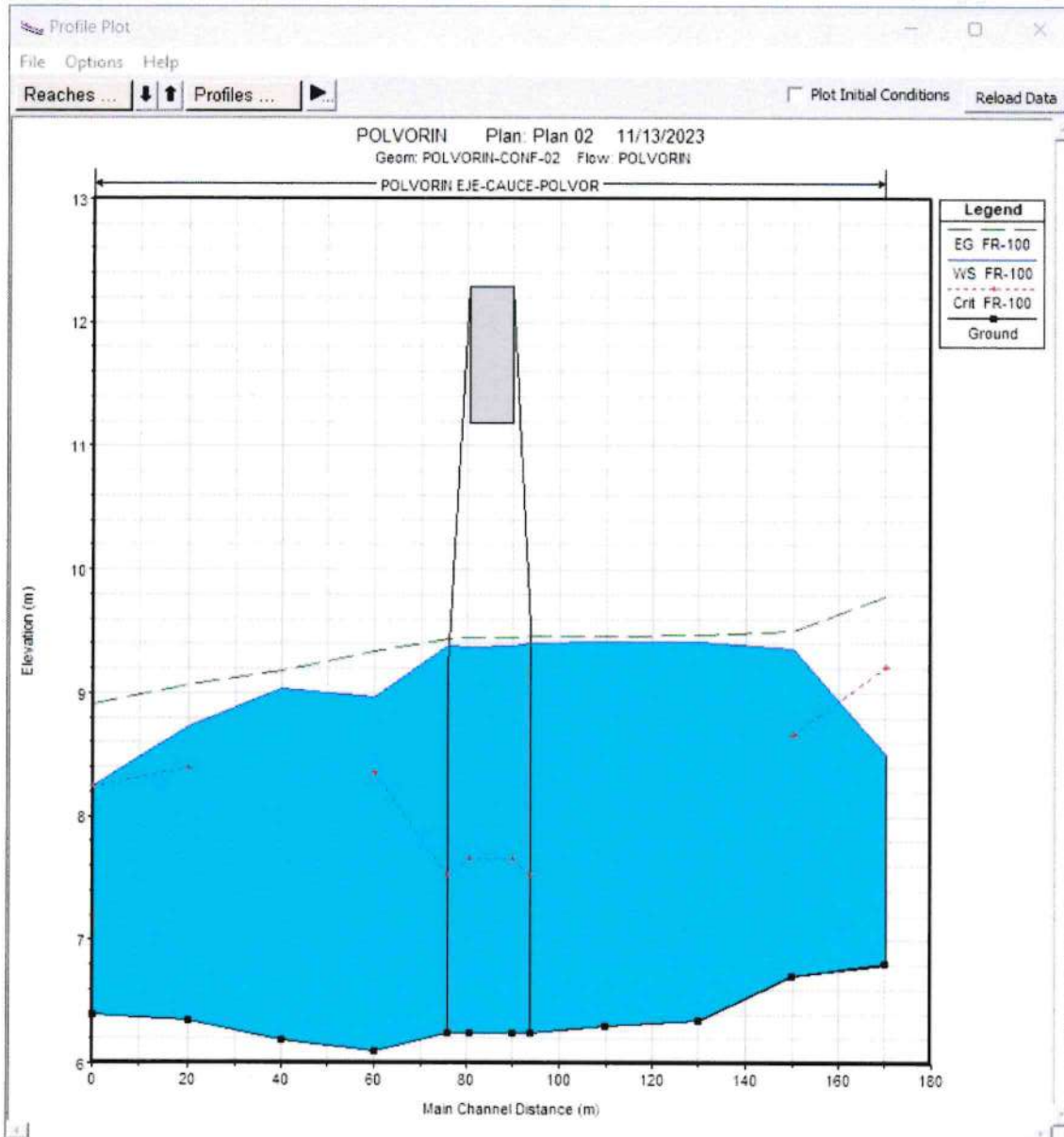
Los resultados obtenidos del modelo analizado se muestran en las siguientes capturas de pantalla, en donde puede observarse que el nivel de aguas máximas extraordinarias obtenido (N.A.M.E.) es de 9.38m respecto al datum del proyecto.

ALEXANDER FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N° 99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce

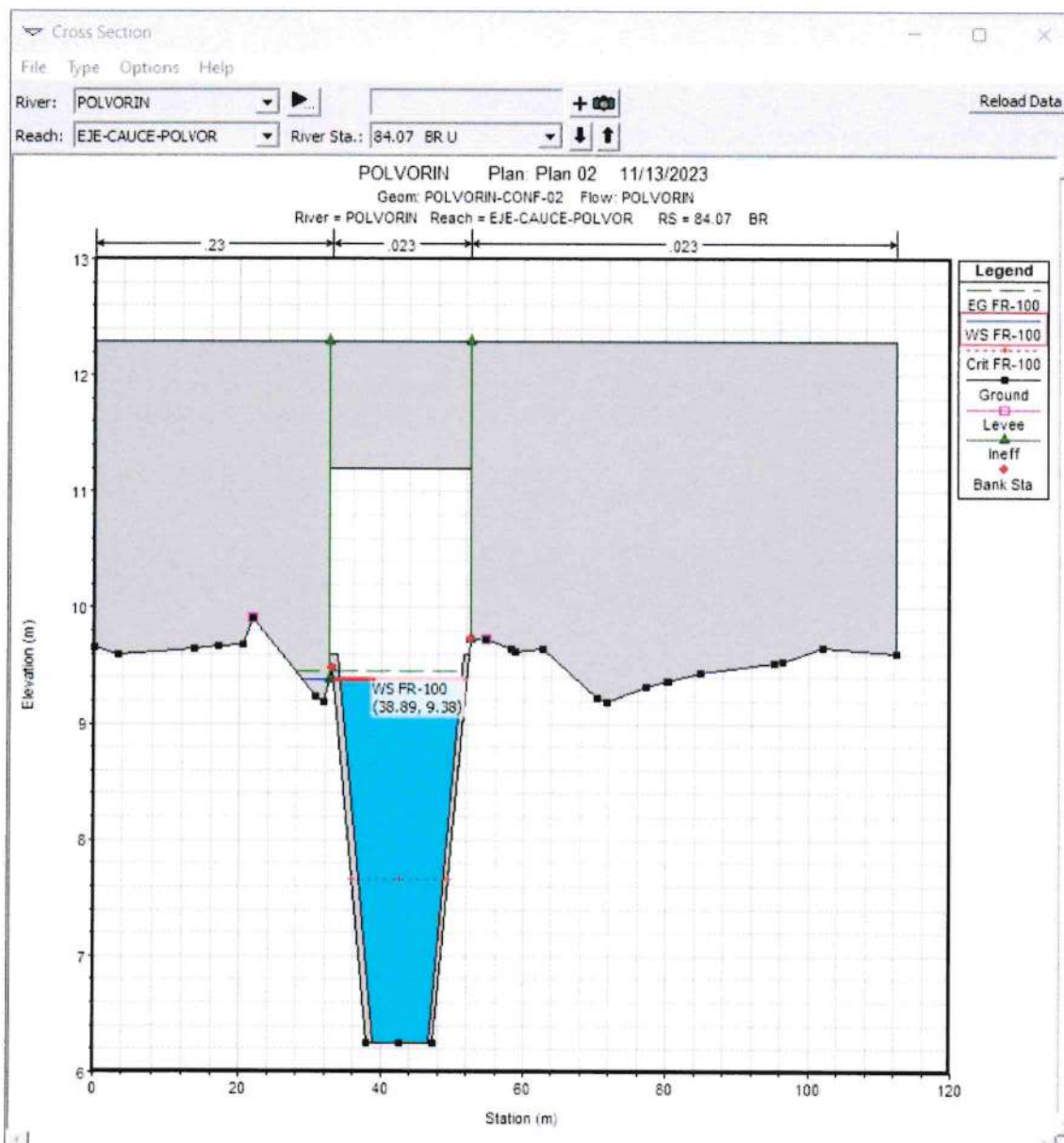


VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba



VLADIMIR F. FONG B.

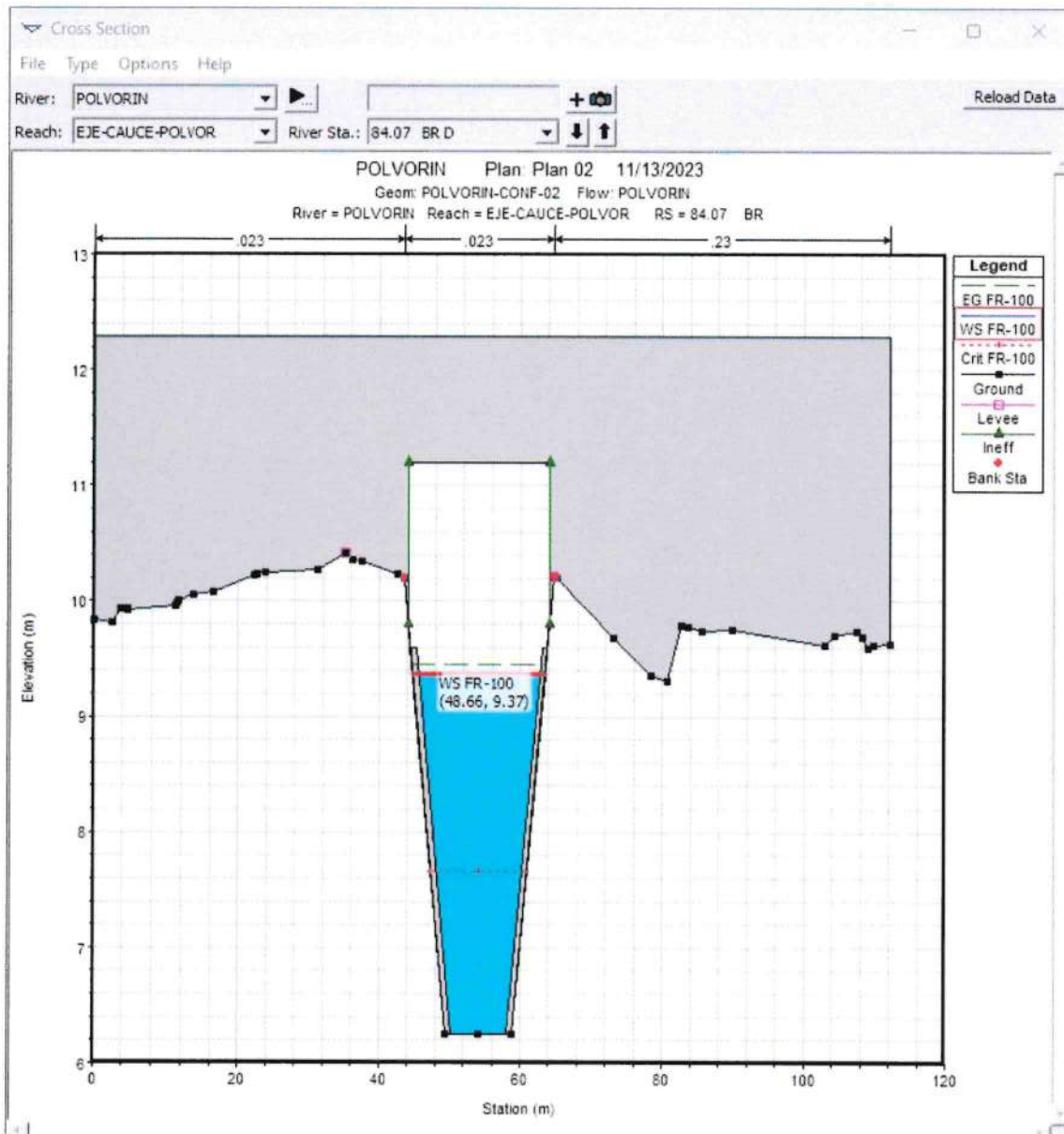
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre el cauce

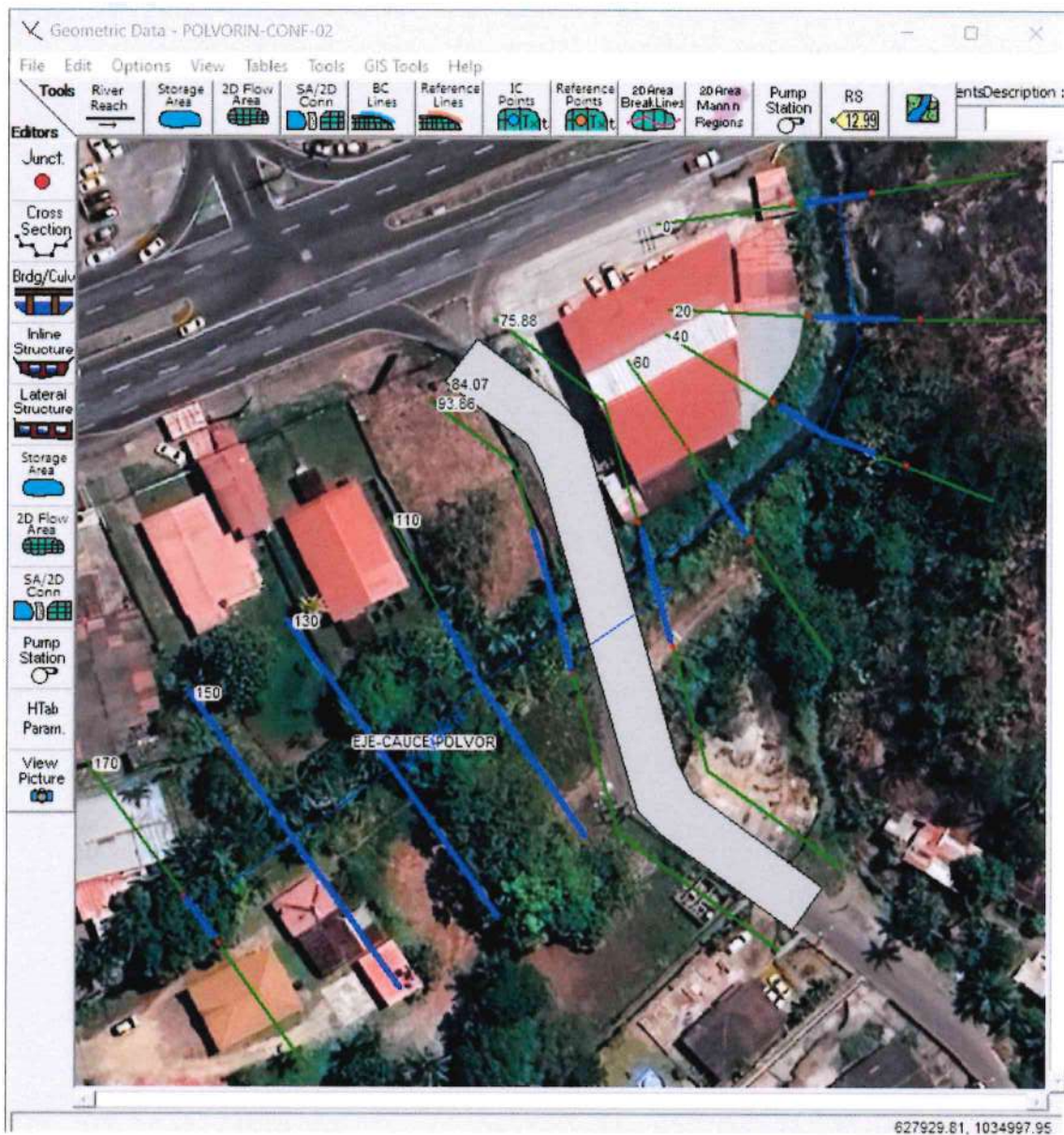
Plan: CONF-02 POLVORIN EJE-CAUCE-POLVOR RS: 84.07 Profile: FR-100				
E.G. US. (m)	9.46	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	9.40	E.G. Elev (m)	9.45	9.45
Q Total (m3/s)	46.73	W.S. Elev (m)	9.38	9.37
Q Bridge (m3/s)	46.73	Crit W.S. (m)	7.65	7.66
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	3.13	3.12
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.20	1.20
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	38.90	38.84
Weir Submerg		Froude # Chl	0.25	0.26
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	58.90	58.78
Min El Weir Flow (m)	12.29	Hydr Depth (m)	2.27	2.27
Min El Prs (m)	11.19	W.P. Total (m)	19.03	19.01
Delta EG (m)	0.02	Conv. Total (m3/s)	2725.0	2719.3
Delta WS (m)	0.02	Top Width (m)	17.14	17.12
BR Open Area (m2)	74.53	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	1.20	C & E Loss (m)	0.00	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	5.90	5.92
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	7.08	7.12

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

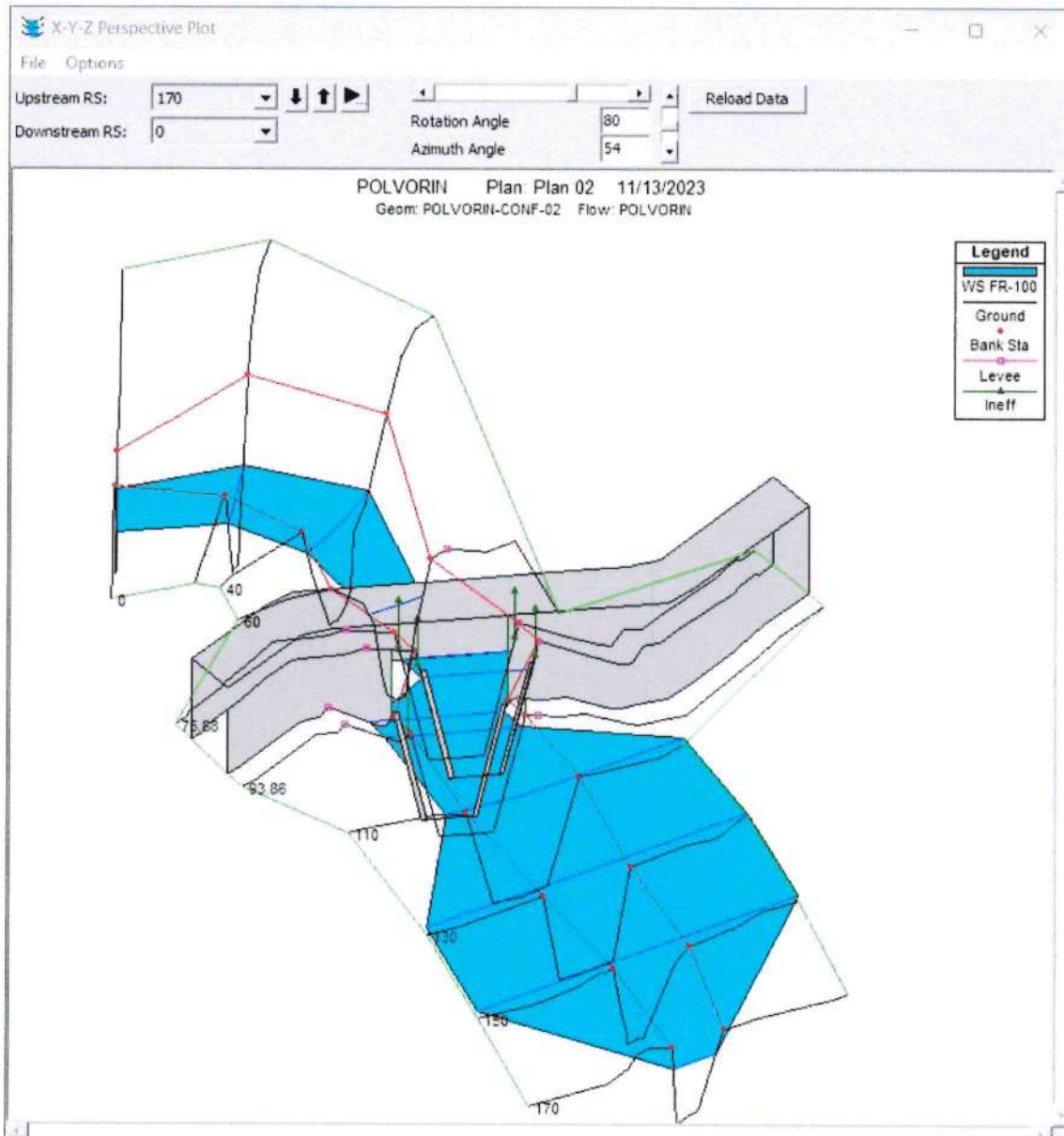
Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para periodo de retorno 100 años



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Handwritten Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1. El área de la cuenca del puente calle Polvorín principal, determinada de los mosaicos cartográficos Tommy Guardia escala 1:25,000, fue de 1,219,810.62m² equivalente a 1.8653 Km²
- 6.2. Para el cálculo de caudales no fue posible utilizar directamente el método regional de crecidas máximas de ETESA, aún así, se calcularon los caudales por medio de las ecuaciones de las zonas hidrológicamente homogéneas más cercas al proyecto, pero se encontraron variaciones demasiado significativas en los resultados, por lo tanto, los resultados solo se utilizaron como referencia, para justificar y validar el uso del método racional y sus resultados respectivos.
- 6.3. Como el área de la cuenca del cauce de la quebrada sin nombre en la ubicación del puente, es menor que 2.50 Kms², se calcularon y dejaron como definitivos los caudales de las cuencas a flujo constante por medio del método racional, utilizando las ecuaciones IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Plano, específicamente la correspondiente al período de retorno de 100 años. También se utilizó un coeficiente "C" para el método racional de 0.85, tal como lo indican los términos de referencia del proyecto.
- 6.4. Con la información de área, coeficiente de escorrentía, tiempos de concentración e intensidades calculada para las cuencas, se obtuvo un caudal de 46.73 m³/s para un período de retorno de 100 años.
- 6.5. El análisis hidráulico realizado para el cauce del proyecto fue del tipo unidimensional (1D), ya que para el proyecto se realizó un levantamiento topográfico de detalle con equipo de estación total, levantando secciones transversales a cada 20.00m de separación, con un alcance de 100.00m aguas arriba y 100.00m aguas abajo.
- 6.6. Con el levantamiento topográfico realizado, se elaboraron curvas de nivel a cada 1.00m de elevación del relieve del terreno existente (sin proyecto), y se construyó el modelo geométrico en HEC-RAS 6.5 en una dimensión (1D), con sus respectivas obras hidráulicas proyectadas (puente y conformación de cauce). Por esta razón no fue necesario elaborar un modelo digital de elevación con proyecto ni curvas de nivel con proyecto, ya que no se ha realizado un análisis hidráulico en 2 dimensiones (2D) en este estudio, sino que únicamente en 1 dimensión (1D).
- 6.7. Posteriormente se revisó la posibilidad de incorporar dentro de HEC-RAS 6.5 un modelo digital de elevaciones auxiliándose de una herramienta GIS para crear un archivo DEM, el cual se importó dentro de HEC-RAS 6.5 por medio de su herramienta nativa RAS-MAPPER creándose de esa manera un RAS TERRAIN LAYER en formato *.hdf, sin embargo, el uso del mismo fue descartado porque al superponer su geometría en las secciones transversales del modelo 1D (cross section data), se observó que el mismo

VLADIMIR FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99.006-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura 214


- no superaba la precisión ni la calidad de la información 1D modelada y en consecuencia tampoco de la topografía levantada.
- 6.8. Con el modelo HEC-RAS 6.5 elaborado, se configuraron los parámetros hidráulicos respectivos (condiciones de frontera, régimen de flujo, etc.) y se ejecutó la simulación hidráulica, calculándose un nivel de aguas máximas esperado (NAME) para el cauce bajo el puente de la calle Polvorín, de 9.38 m respecto al datum del proyecto.
 - 6.9. El comportamiento del flujo del cauce para el caudal de diseño utilizado fue mayoritariamente sub crítico, obteniéndose números de Froude en la mayoría de secciones transversales menores que 1.00.
 - 6.10. Las velocidades de flujo calculadas en el cauce, en todas las secciones transversales resultaron menores de 2.70 m/s, la cual es una velocidad favorable que puede circular sin causar desgaste en los zampeados y elementos de concreto del puente de la subestructura del puente proyectado.
 - 6.11. Luego de las modelaciones se concluye que no existe el riesgo de inundación para el puente proyectado, ya que el mismo se ha diseñado (según planos aprobados) respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 de altura.
 - 6.12. Para la revisión y validación de los resultados de la simulación, se adjuntan los siguientes insumos y productos utilizados y generados por HEC RAS 6.5:
 - 6.12.1. Archivo DEM utilizado para elaborar el "terrain".
 - 6.12.2. Archivo proyecto generado por la simulación.
 - 6.12.3. Archivo de geometría generado por la simulación con proyecto (modelo 1D).
 - 6.12.4. Archivo plan generado por la simulación.
 - 6.12.5. Archivo de flujo constante o no constante generado por la simulación.
 - 6.12.6. Archivo ráster final de resultado de simulación sin proyecto



ANEXO – 01: RESULTADOS ADICIONALES



Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+170



Profile Output Table - Standard Table 1

File

Options

Std. Tables

Locations

Help

HEC-RAS Plan: CONF-02 River: POLVORIN Reach: EJE-CAUCE-POLVOR Profile: FR-100

Reload Data

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
EJE-CAUCE-POLVOR	170	FR-100	46.73	6.81	8.50	9.21	9.79	0.023035	5.03	9.28	7.82	1.48
EJE-CAUCE-POLVOR	150	FR-100	46.73	6.72	9.36	8.66	9.51	0.001741	1.79	35.38	60.00	0.45
EJE-CAUCE-POLVOR	130	FR-100	46.73	6.35	9.42		9.47	0.000295	1.05	55.58	60.00	0.21
EJE-CAUCE-POLVOR	110	FR-100	46.73	6.30	9.42		9.46	0.000270	0.97	52.06	43.81	0.20
EJE-CAUCE-POLVOR	93.86	FR-100	46.73	6.25	9.40	7.52	9.46	0.000213	1.05	44.33	22.99	0.22
EJE-CAUCE-POLVOR	84.07		Bridge									
EJE-CAUCE-POLVOR	75.88	FR-100	46.73	6.25	9.38	7.52	9.44	0.000218	1.06	43.97	18.74	0.22
EJE-CAUCE-POLVOR	60	FR-100	46.73	6.10	8.96	8.36	9.33	0.003533	2.70	17.29	9.90	0.65
EJE-CAUCE-POLVOR	40	FR-100	46.73	6.19	9.03		9.18	0.001540	1.68	27.81	17.36	0.42
EJE-CAUCE-POLVOR	20	FR-100	46.73	6.35	8.73	8.39	9.07	0.004472	2.57	18.16	13.10	0.70
EJE-CAUCE-POLVOR	0	FR-100	46.73	6.39	8.24	8.24	8.91	0.009335	3.62	12.91	9.68	1.00

Total flow in cross section.

VLADIMIR F. FONG B.

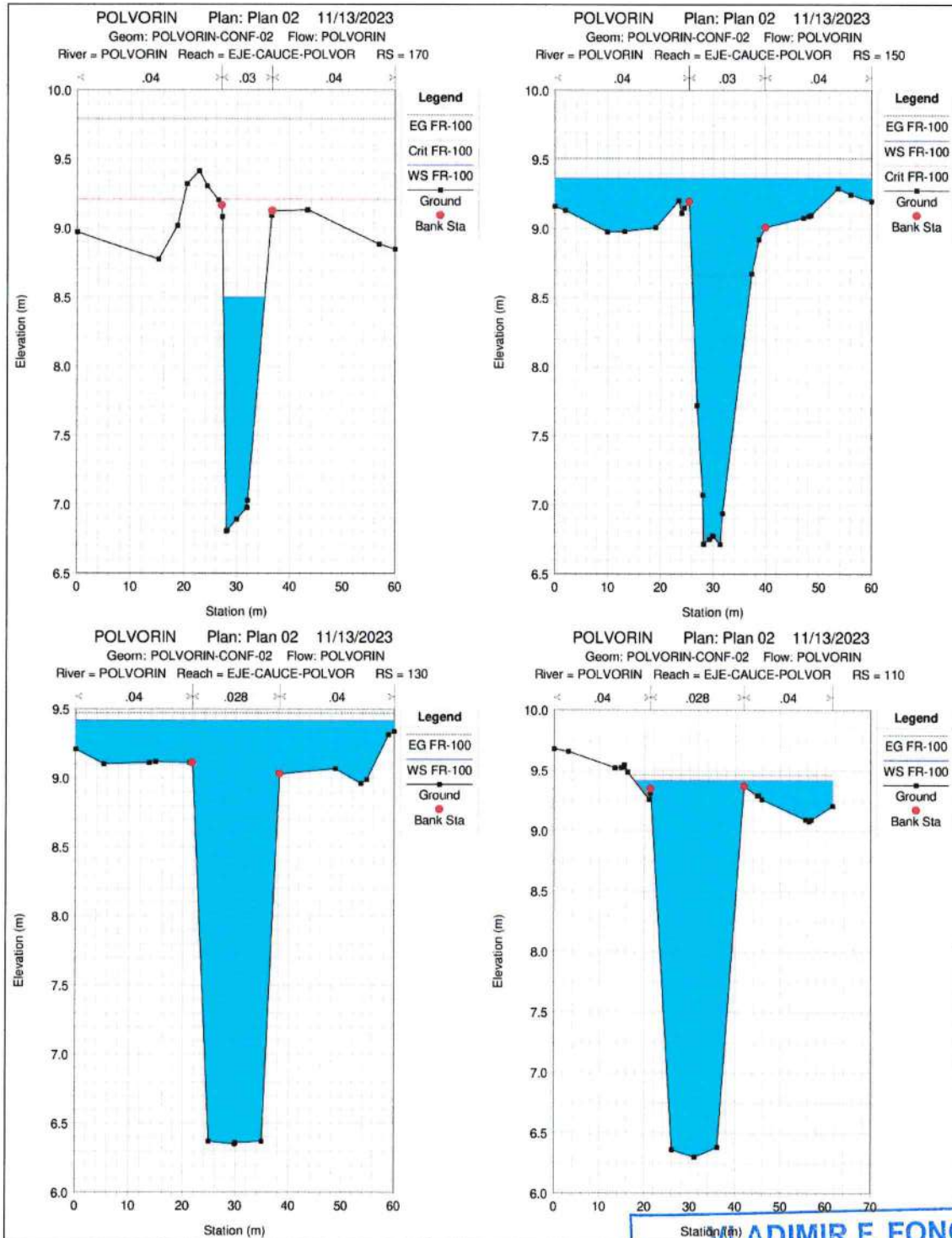
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123


Firma

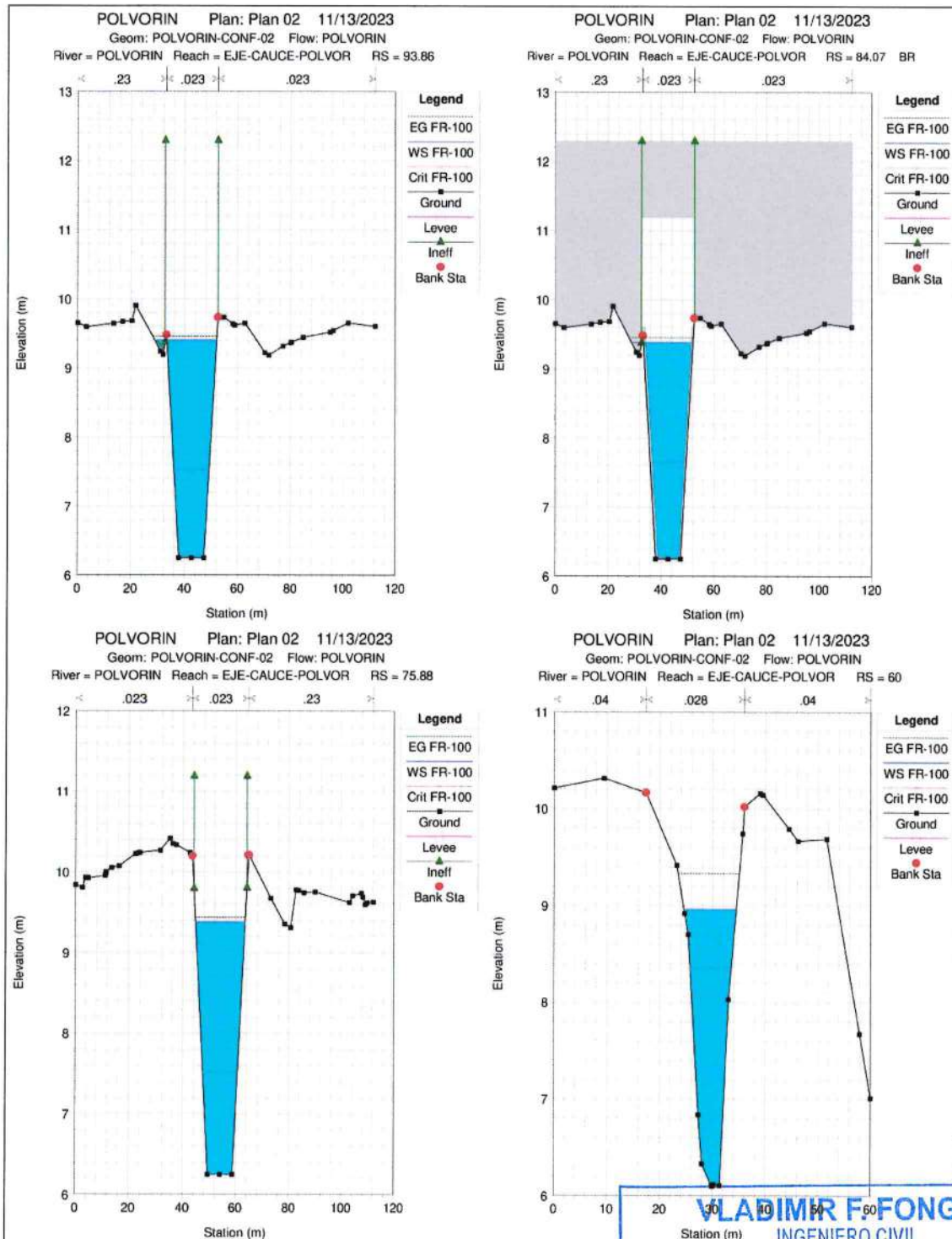
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+110.00 a 0+170.00



VLADIMIR E. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N° 09-006-123
 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Art. 1. Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+060.00 a 0+093.86



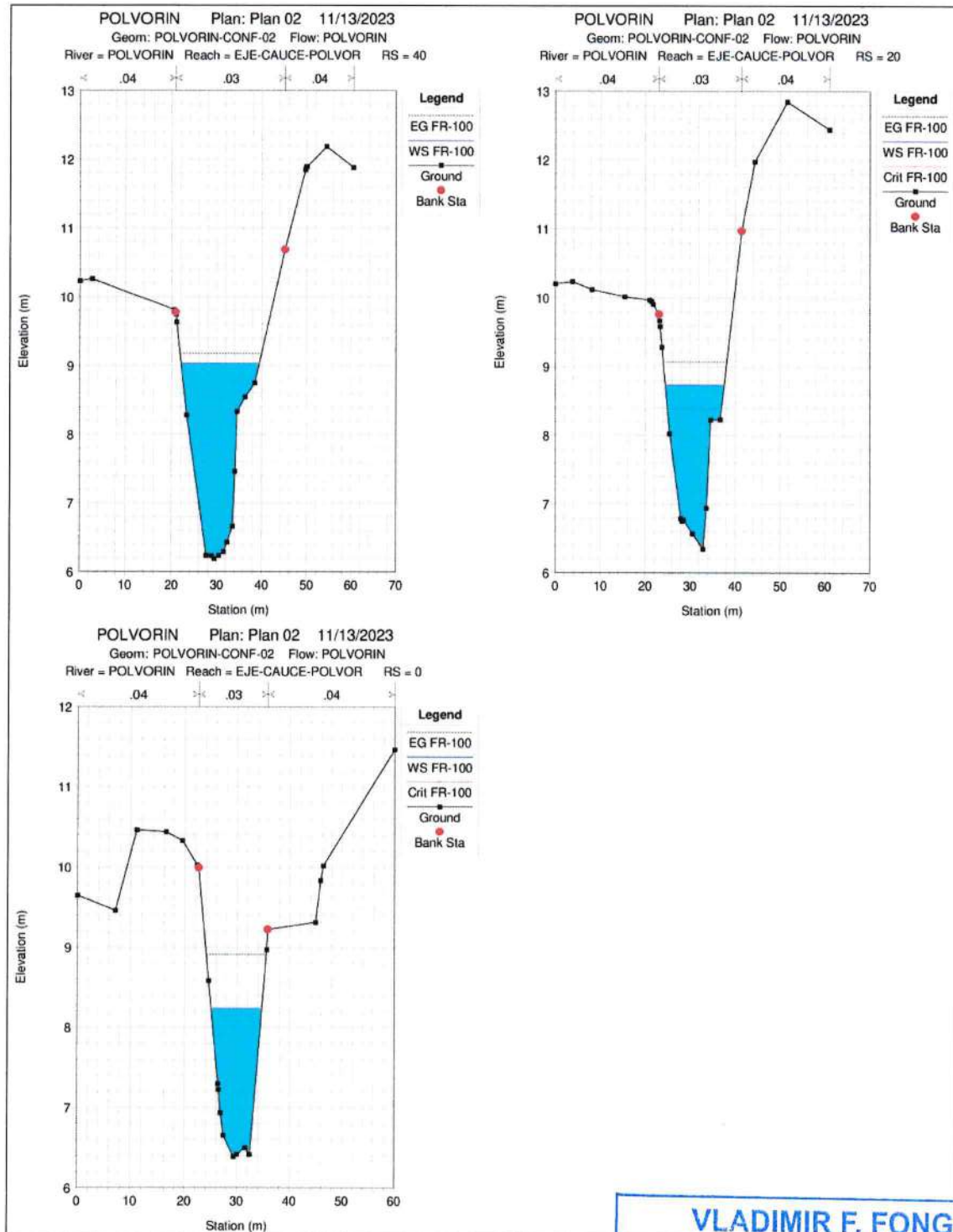
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+000.00 a 0+040.00



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura



REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**PROYECTO: “REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL
DISTRITO DE COLÓN”
PROVINCIA DE COLÓN**

**ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO
PUENTE EN CALLE NUEVO MEXICO 1**

PRESENTADO POR:

CONSORCIO IRC CONSTRUCTORES



SEPTIEMBRE DE 2023



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN	3
3. OBJETIVOS	3
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	3
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	3
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS	5
4.3. CÁLCULO DE CAUDALES	7
4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA	7
4.3.2. MÉTODO RACIONAL	10
5. ANÁLISIS HIDRÁULICO	17
5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA	17
5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO	27
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34

INDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce en Nuevo México 1	4
Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente en calle Nuevo México 1	6
Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).	9
Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres	11
Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno	12
Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth	15
Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS	18
Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 6.3.1	19
Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS	20
Imagen 5.1. 4– Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS	21
Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado	22
Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)	23
Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente	24
Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)	25
Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén	25
Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo	26



Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS	26
Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS.....	27
Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS	27
Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce	28
Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba	29
Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo	30
Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre el cauce	31
Imagen 5.2. 5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años	32
Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS	33
Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+170	37
Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+200.00 a 0+260.00	38
Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+137.75 a 0+180.00	39
Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+080.00 a 0+137.75	40
Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+000.00 a 0+060.00	41
Imagen A. 6 – Secciones hidráulicas de cauce tributario. Estaciones 0+020.00 a 0+040.36	42
Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA).....	7
Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de cuencas (método racional).....	16



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el estudio hidrológico e hidráulico para el diseño final del puente en la calle con nombre Nuevo México 1, para el proyecto denominado "REHABILITACIÓN Y FINANCIAMIENTO DE LAS CALLES DEL DISTRITO DE COLÓN", en la provincia de Colón.

2. UBICACIÓN

El puente actual está ubicado en la coordenada UTM 17N: 631,861.68E y 1,033,695.39N (Imagen 4. 2), el cual los términos de referencia del proyecto piden reemplazar por un puente de dos carriles de 3.00m de ancho cada uno, con acera peatonal de 1.20m de ancho, barreras de hormigón tipo New Jersey de 0.40 m de ancho, barandales peatonales de acero y losa de hormigón reforzado.

3. OBJETIVOS

- 2.1. Determinación de cuenca del puente
- 2.2. Determinación del caudal de diseño para período de retorno de 100 años
- 2.3. Determinación del nivel de agua máximo extraordinario (N.A.M.E.)

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

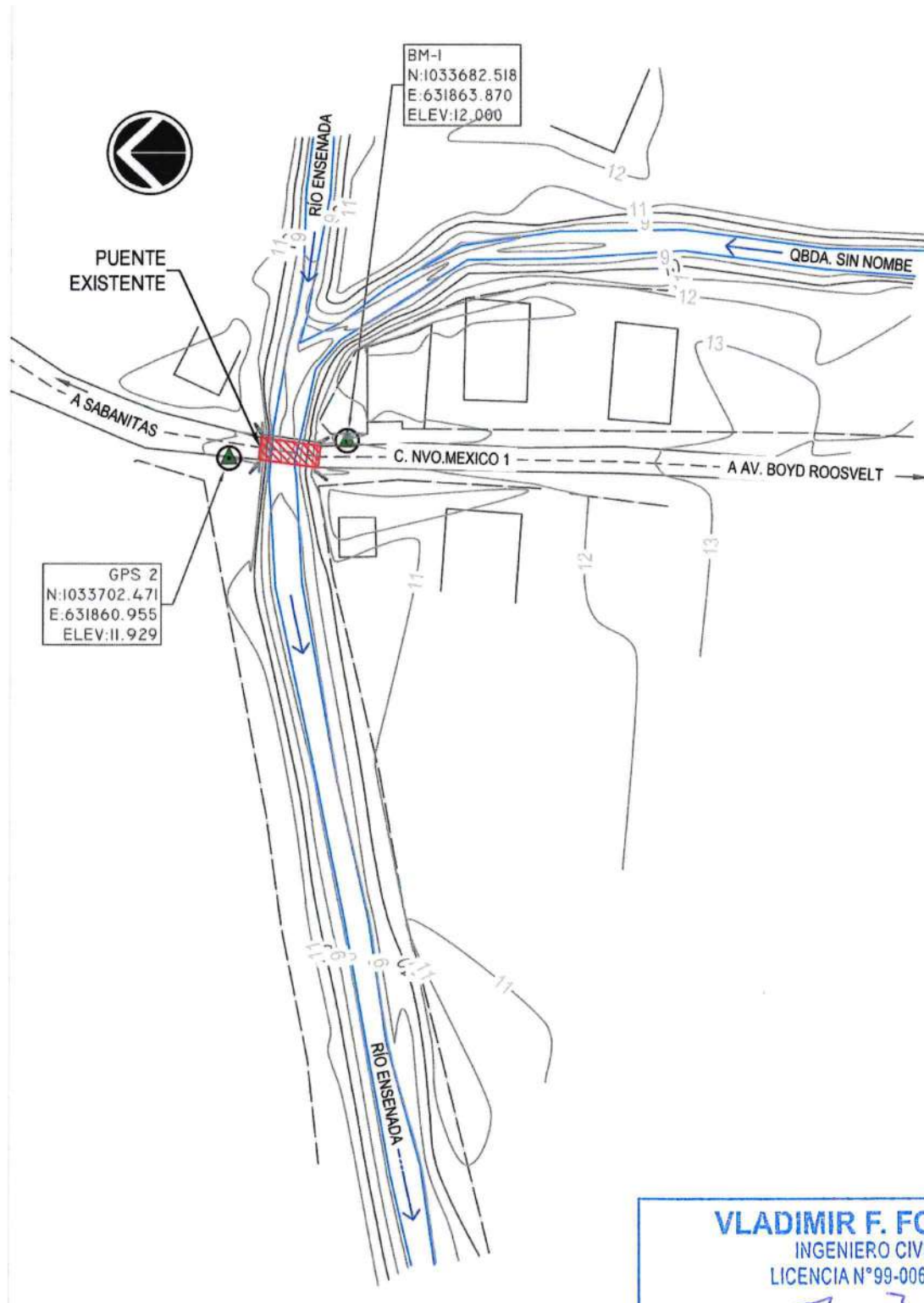
4.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para realizar el estudio y análisis del proyecto del puente, se procedió a encontrar la coordenada del proyecto por medio de navegadores GPS para confirmar su ubicación y, luego se establecieron puntos de control topográfico de amarre, para realizar un levantamiento topográfico terrestre del puente existente y del cauce de la confluencia del río Ensenada con la quebrada sin nombre bajo el puente, por medio equipo de estación total.

El alcance del levantamiento del cauce fue de 50.00m aguas arriba y 50.00m aguas abajo con el cual posteriormente, se elaboró respectivo plano topográfico (Imagen 4. 1).



Imagen 4. 1 – Topografía del puente y cauce en Nuevo México 1



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

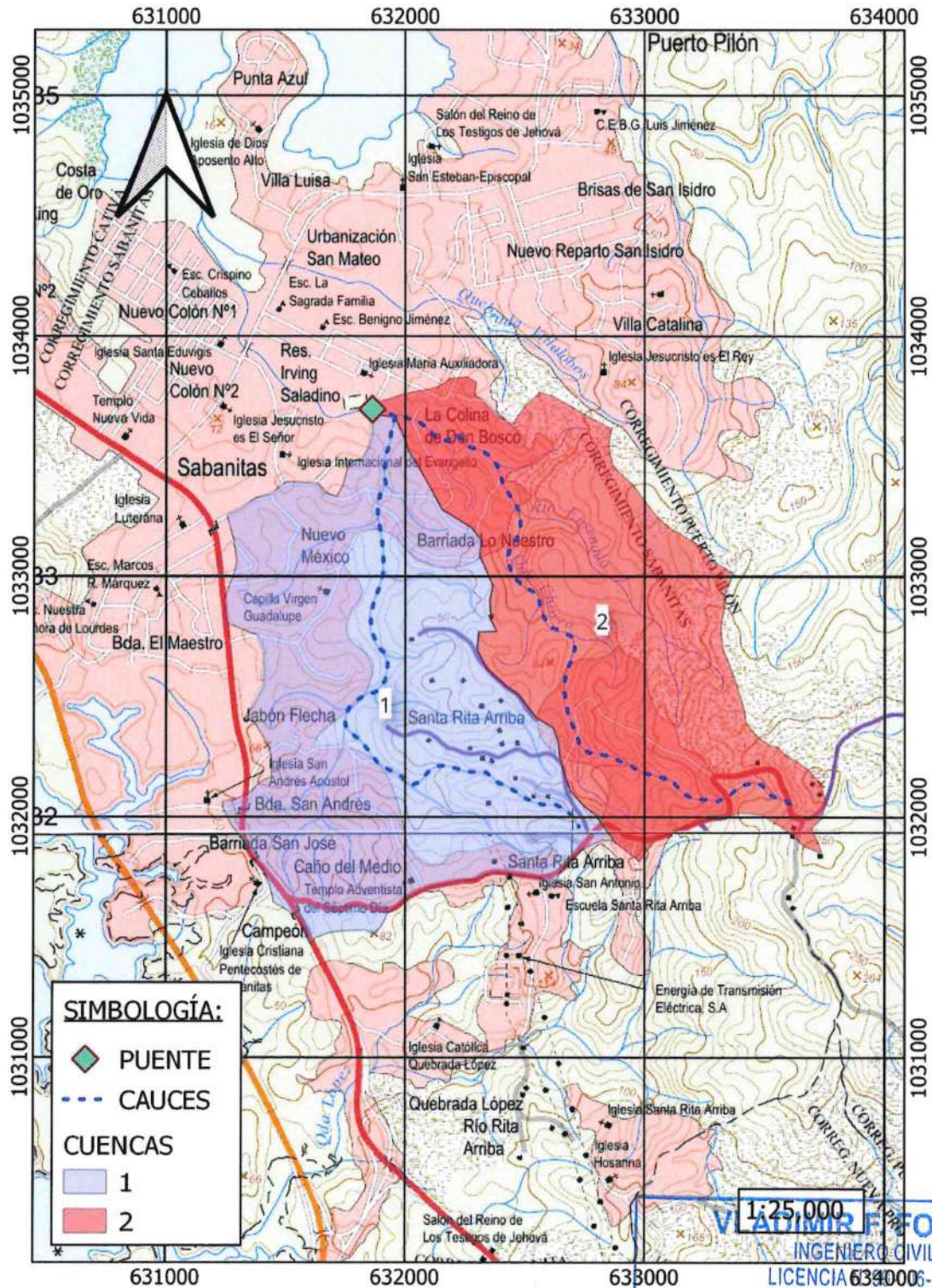
4.2. DETERMINACIÓN DE CUENCAS

La determinación de la cuenca se realizó con los mosaicos topográficos a escala 1:25,000 del Instituto Geográfico Tommy Guardia, confrontado con inspecciones de campo e información satelital GIS. El mosaico utilizado fue el denominado con nomenclatura 4243_IV_NE y 4244_III_SE.

El mosaico topográfico seleccionado se manipuló en una aplicación de computadora para colocarlo en sus coordenadas y escalas respectivas, para así gráficamente seguir y determinar las divisorias de aguas de las cuencas por medio de herramientas vectoriales de dibujo, hasta definir las por completo y determinar sus áreas en unidades de metros cuadrados, siendo para las cuencas del puente de 2,031,386.14 m² para la cuenca 1 y de 1,668,943.56 (Imagen 4. 2).



Imagen 4. 2 – Cuenca del proyecto del puente en calle Nuevo México 1



Vladimir Fong B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA 634006-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

4.3. CÁLCULO DE CAUDALES

4.3.1. MÉTODO REGIONAL DE CRECIDAS MÁXIMAS DE ETESA

Con la ubicación y área de la cuenca determinadas, se encontró que no podría utilizarse de manera directa el Método Regional de Crecidas Máximas de ETESA, porque la cuenca del proyecto se ubica dentro de la cuenca número 117, la cual no pertenece a ninguna región hidrológicamente homogénea del método regional (Imagen 4.3. 1).

Por otra parte, aunque los pliegos del proyecto indican que se utilizó el método regional para predimensionar los puentes del punto crítico, dejan a criterio de la empresa ganadora el cálculo definitivo.

Respecto a la utilización del método regional, las zonas hidrológicamente homogéneas más cercanas a la ubicación del proyecto son las pertenecientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), específicamente las zonas 1, 2 y 3. También la zona 7 forma parte de la cuenca del río Chagres, entonces, las ecuaciones de cada una de esas zonas tienen las siguientes expresiones:

Tabla 4.3. 1 – Ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25.0 A^{0.59}$	Tabla# 1	2.68
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9.0 A^{0.59}$	Tabla# 3	2.53

Reemplazando en las ecuaciones anteriores, el valor de área de la cuenca 1 en unidades de kilómetros cuadrados (en la variable "A"), se obtuvieron los siguientes resultados de caudal:

Tabla 4.3. 2 – Caudales calculados por ecuaciones de regiones homogéneas más cercanas al proyecto (método regional, ETESA)

Zona	Número de ecuación	Ecuación	Distribución de frecuencia	Factor Tr 100 años	Caudal 100 años (m³/s)
1	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 \times 2.0314^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	138.42
2	1	$Q_{\text{máx}} = 34.0 \times 2.0314^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	130.68
3	2	$Q_{\text{máx}} = 25.0 \times 2.0314^{0.59}$	Tabla# 1	2.68	101.78
7	4	$Q_{\text{máx}} = 9.0 \times 2.0314^{0.59}$	Tabla# 3	2.53	64.59

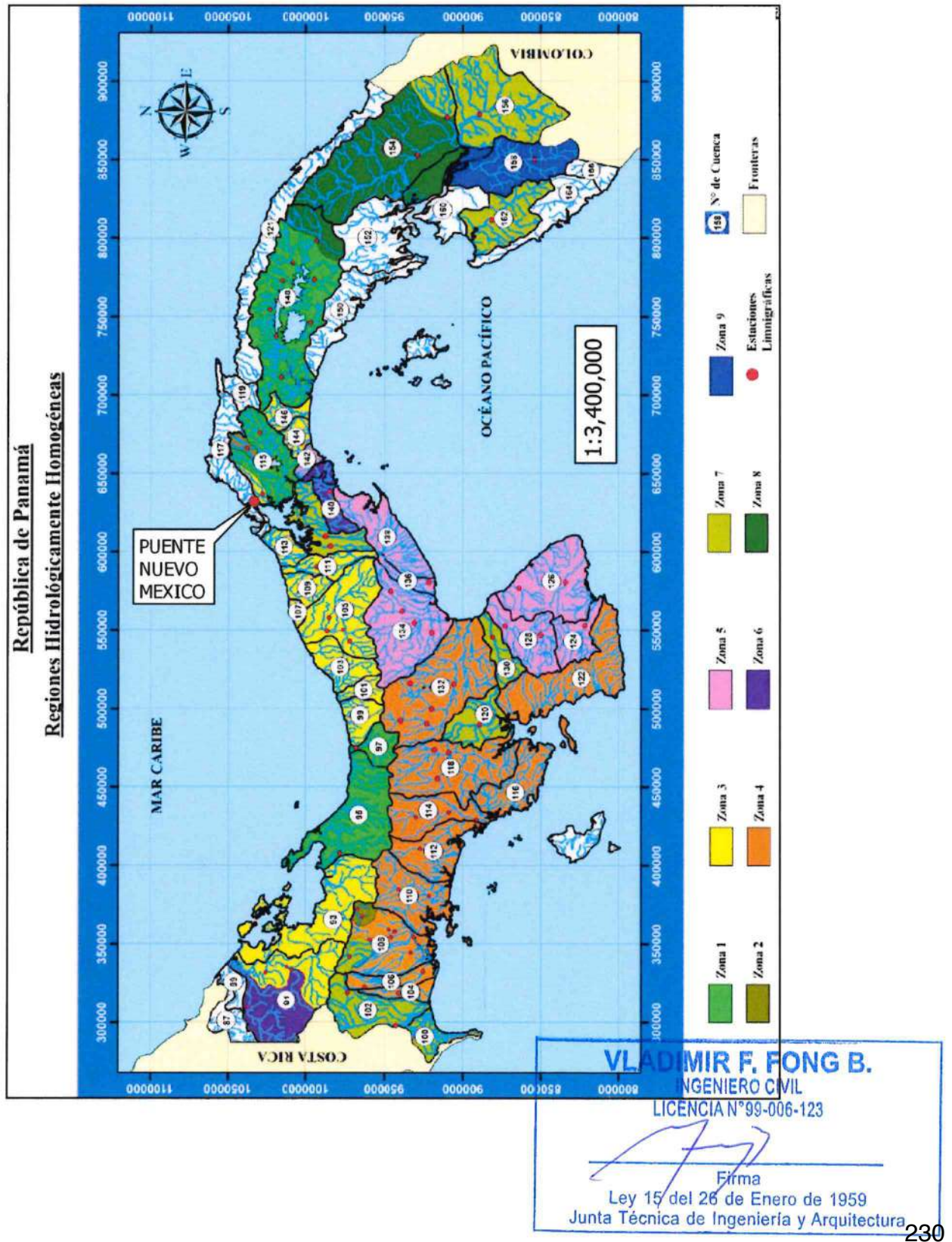
VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Como puede observarse, existe una significativa variación de resultados entre las ecuaciones correspondientes a las zonas hidrológicas más cercanas al proyecto (zonas 1, 2 y 3), principalmente entre la zona 1 y 3, ya que el caudal de la zona 1 ha resultado ser 1.36 veces más grande que el de la zona 3.

Siguiendo esa misma lógica, se ha comparado el caudal de la zona 1 con el de la zona 7, encontrándose que el de la zona 1 es 4.00 veces mayor. Por esa razón es que, en el presente estudio, se ha realizado el cálculo de caudales por el método racional, ya que es un método válido en Panamá, para el cual se han desarrollado ecuaciones de intensidad duración y frecuencia (IDFs), de varias cuencas dentro de la república de Panamá, y para varios períodos de retorno. Los cálculos efectuados se presentan con mayor detalle en el acápite siguiente.



Imagen 4.3. 1 - Mapa de zonas y regiones hidrológicamente homogéneas (ETESA).



4.3.2. MÉTODO RACIONAL

El Manual de Aprobación de Planos de Panamá 2021, limita explícitamente el uso del método racional para áreas menores de 250.00 Ha (2.5 Kms²), por lo tanto, podría utilizarse para el cálculo de caudal de las cuencas del puente en calle Nuevo México 1, ya que dichas cuencas tienen extensiones de 2.0314 m² para la cuenca 1 (quebrada sin nombre) y de 1.6689 Km² para la cuenca 2 (río Ensenada), cada una de las cuales es menor que 2.50 Km².

La expresión matemática del método racional puede adoptar muchas formas, dependiendo de las unidades de las dimensiones utilizadas en las variables relacionadas, con la inclusión de un factor de conversión adecuado. Para el caso del proyecto se ha utilizado la siguiente:

$$Q = \frac{C \times A \times i}{3.6}$$

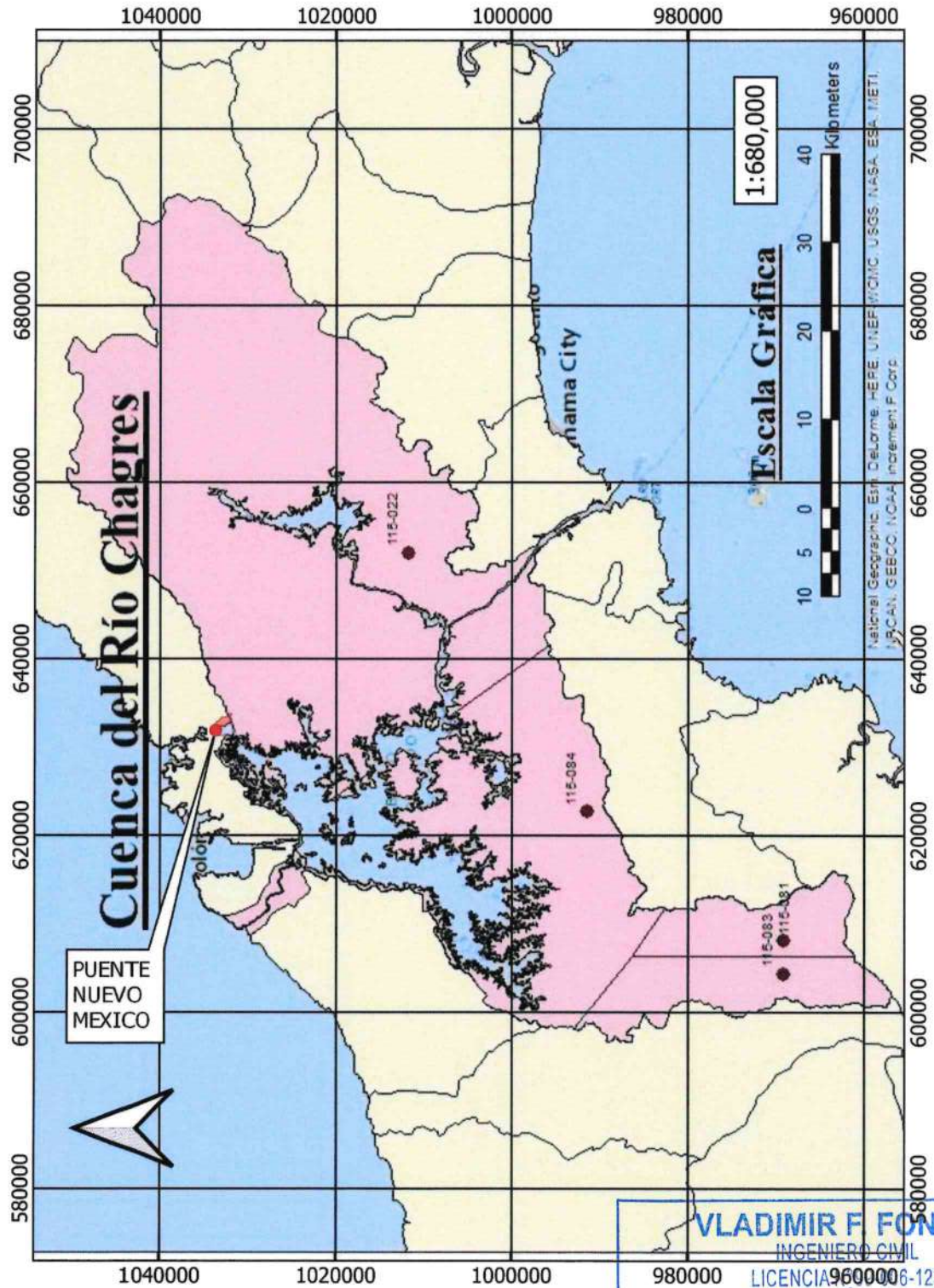
En donde:

- Q = caudal hidrológico en unidades de m³/s
- C = coeficiente de escorrentía adimensional, que según términos de referencia del proyecto es de 0.85
- A = área de drenaje de la cuenca en unidades de km²
- I = intensidad de precipitación de lluvia en unidades de mm/h, obtenida de las ecuaciones intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca, a la duración de la lluvia (tiempo de concentración), período de retorno de interés (100 años para el proyecto),

Las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia utilizadas fueron las disponibles en el Manual de Aprobación de planos del MOP vigente (año 2021), específicamente las correspondientes a la cuenca del río Chagres (cuenca 115), ya que el puente se encuentra muy cerca de la desembocadura de esa cuenca (a menos de 16.00 Kms de distancia).



Imagen 4.3.2. 1 – Cuenca del río Chagres



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA 9600006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 4.3.2. 2 – Curvas de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno

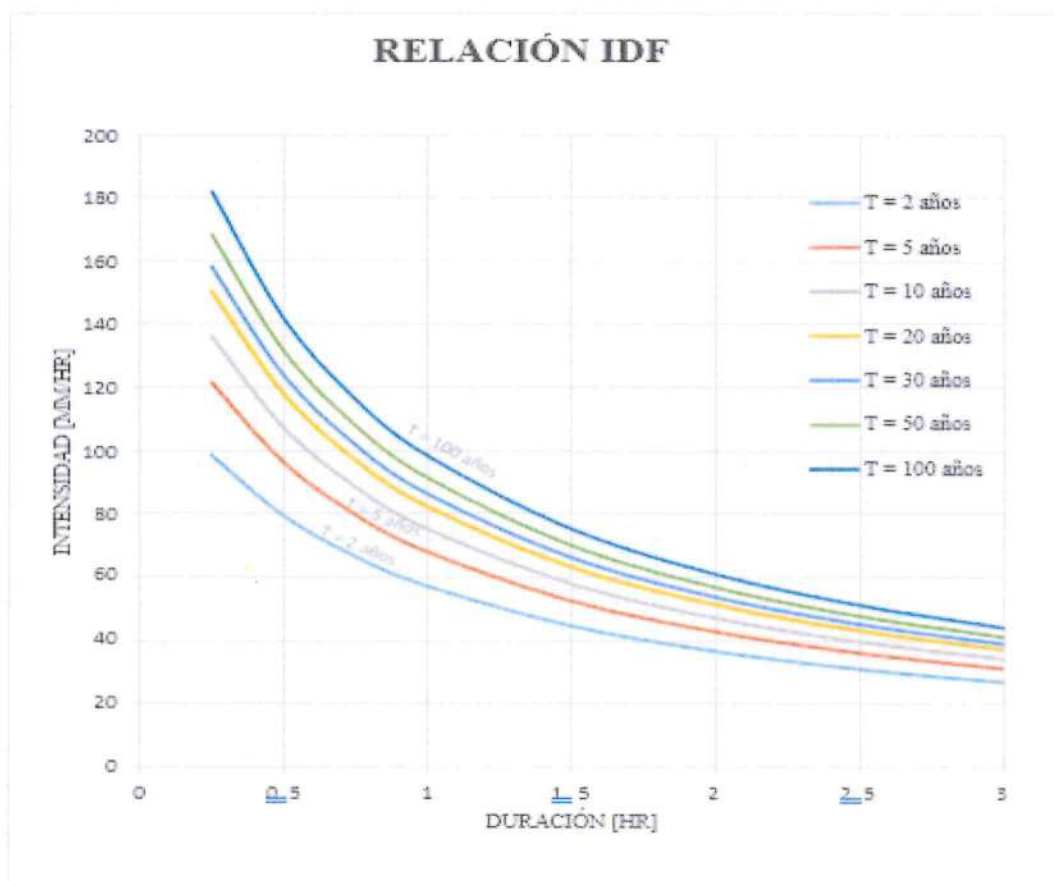


Imagen 4.3.2. 3 - Ecuaciones de Intensidad duración y frecuencia (IDF) para la cuenca del río Chagres y diversos períodos de retorno

$I = \frac{a}{d + b}$							
T [años]	2	5	10	20	30	50	100
a [mm]	102.821	116.305	126.787	137.202	143.280	150.934	161.326
b [hr]	0.793	0.707	0.681	0.663	0.656	0.647	0.637
R ²	99.49%	99.52%	99.51%	99.51%	99.50%	99.50%	99.49%

Para determinar el tiempo de concentración se compararon los resultados de las fórmulas de Brasby-Williams, Federal Aviation Agency, Kirpich y la de la onda cinemática, para la trayectoria de escurrimientos de aguas más larga determinada en

VLADIMIR E. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIADO 99-000-129

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

los mosaicos topográficos. A continuación, se presentan las fórmulas de tiempos de concentración mencionadas.

Fórmula de Brasby-Williams:

$$T_c = \frac{0.96 \times L^{1.20}}{(H^{0.20} \times A^{0.10}) \times 60}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

H = desnivel existente entre el punto de inicio y el punto final de escurrimiento

A = área de la cuenca en unidades de Kms²

Fórmula de la Federal Aviation Agency:

$$T_c = \frac{3.26 \times (1.10 - C) \times L^{0.50}}{(100 \times S)^{0.33}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escurrimiento del método racional, adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.0195 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

C = coeficiente de escurrimiento de Manning adimensional

L = longitud del escurrimiento en unidades de Kms

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de m/m

Fórmula de la onda cinemática:

$$T_c = \frac{0.94 \times L^{0.60} \times n^{0.60}}{i^{0.40} \times S^{0.30}}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración en minutos

L = longitud del escurrimiento en unidades de pies

n = coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

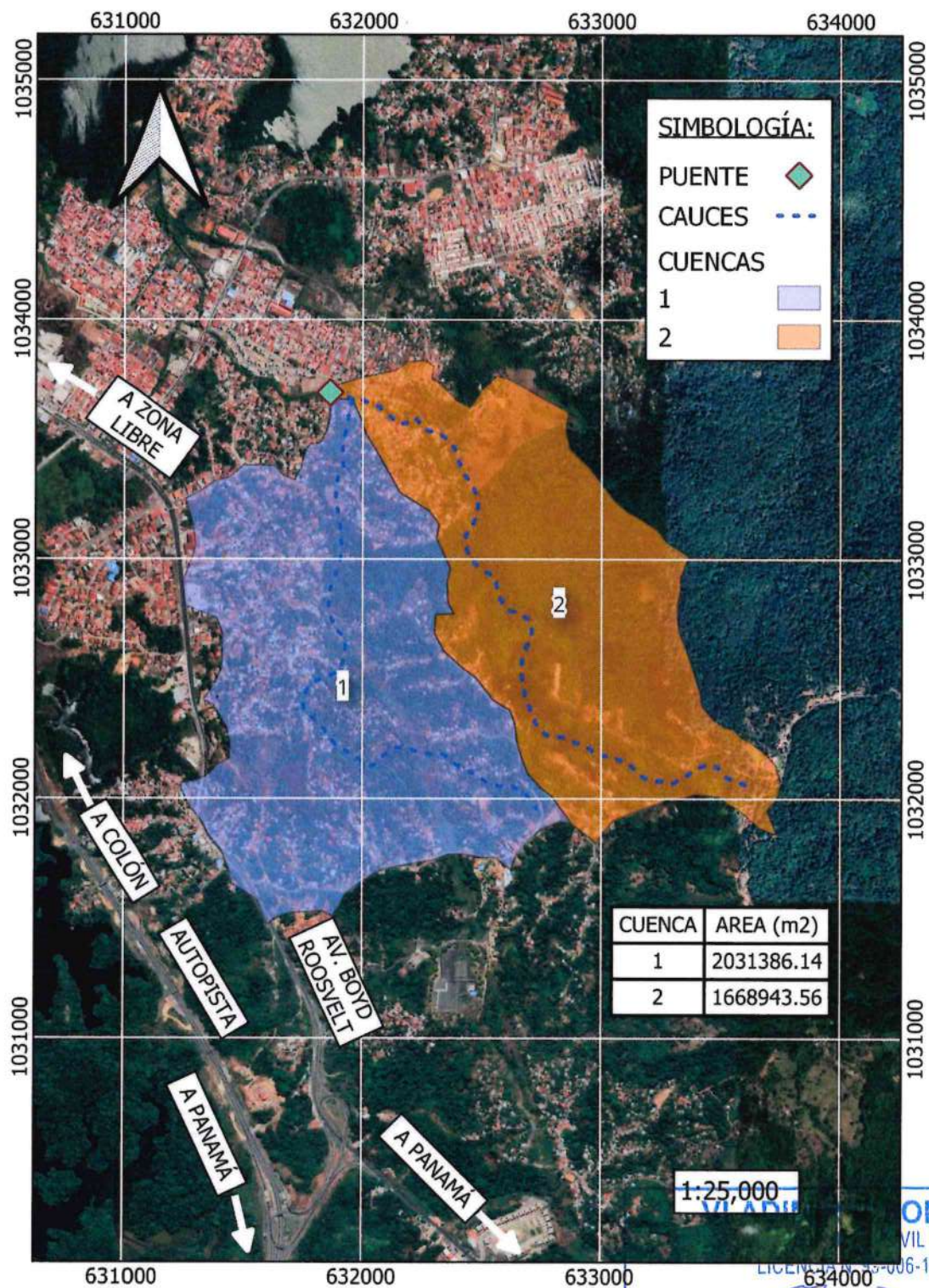


i = intensidad de lluvia en pulg/h

S = pendiente promedio del escurrimiento en unidades de pie/pie



Imagen 4.3.2. 4 – Cuencas involucradas sobre imagen Google Earth



ONG B.
VIL
LICENCIADO 95-006-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Un resumen de los cálculos efectuados para la cuenca involucrada se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.3. 3 – Resumen de cálculos de caudales de cuencas (método racional)

CÁLCULOS HIDROLÓGICOS									
Cuenca	Área de drenaje, m ²	Longitud de drenaje, m	Elevaciones, msnm			Pendiente de Drenajes, m/m	C, método racional (adimensional)	CN-II, ponderado (adimensional)	Tc, min
			Punto alto	Punto bajo	Diferencia de alturas				
1	2,031,386.14	2596.77	120.00	10.00	110.00	0.0424	0.85	95.00	Brasby-Williams
2	1,668,943.56	2977.53	220.00	10.00	210.00	0.0705	0.85	95.00	Federal Aviation Agency
									Kirpich
									Ecuación de retardo SCS, CN-II
									Adoptado
									Frecuencia de Lluvia, años
									Intensidad de la lluvia, mm/h
									Caudal método Racional, m ³ /s

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO

5.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para realizar el análisis hidráulico del cauce de la cuenca del puente en calle Nuevo México 1, se tomó en cuenta la ubicación del puente proyectado y la conformación de cauce necesaria para incrementar la anchura del cauce inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado.

Se utilizó la aplicación computarizada HEC-RAS 6.5, la cual es una aplicación de análisis unidimensional de distribución gratuita, de amplio uso y aceptación mundial.

Para realizar el análisis en la aplicación, se elaboró la modelación en el editor geométrico de HEC-RAS. Este editor exige que se ingrese la información topográfica de cada sección transversal del cauce en estudio, lo más perpendicular posible a la dirección de la corriente y, en el sentido de aguas abajo a aguas arriba.

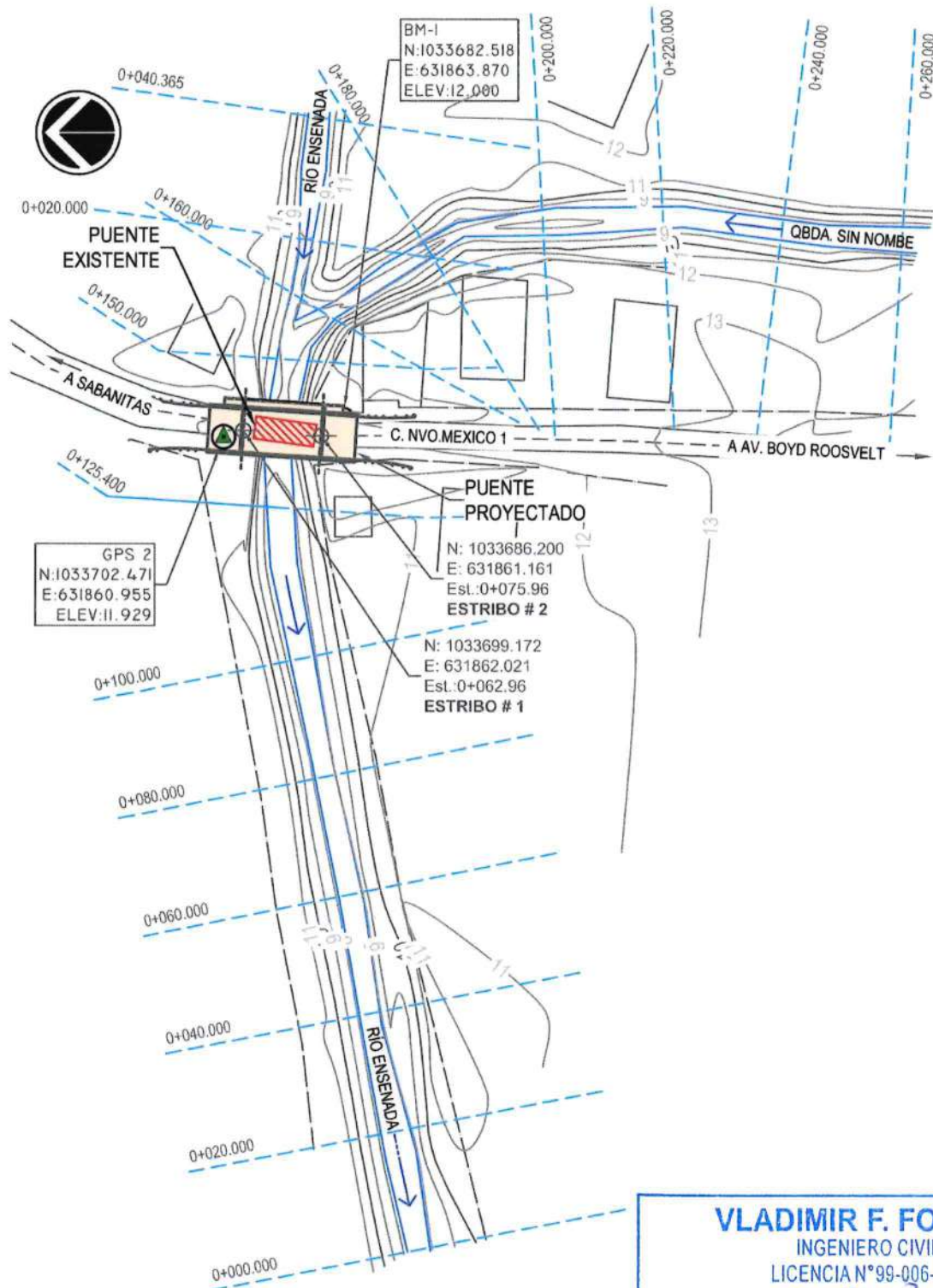
Con el levantamiento topográfico realizado, se obtuvieron secciones transversales del cauce a cada 20.00m de separación. Luego se introdujeron los datos geométricos de las secciones transversales en el editor geométrico del HEC-RAS. Para completar el modelo basándose en la inspección visual realizada al sitio del puente, se asignaron los coeficientes de rugosidad de Manning que se consideraron más adecuados para el canal del cauce y para las planicies de inundación del cauce. También se modeló la geometría del puente proyectado, tomando en cuenta la conformación de cauce necesaria, para simular taludes de protección con inclinación 1.50H:1.00V inmediatamente aguas arriba y aguas debajo de la ubicación de puente proyectado.

Con el caudal máximo obtenido en el acápite anterior (período de retorno de 100 años), se asignaron las condiciones hidráulicas de frontera para análisis estático, para profundidad normal tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que por desconocerse su comportamiento, el análisis se configuró a régimen mixto, pues esta opción permite analizar simultáneamente a régimen de flujo sub crítico y a régimen supercrítico el modelo, los cuales compara internamente y arroja los resultados de la solución numérica más estable, que para el caso en estudio resultó tener comportamiento mayoritariamente sub crítico, con números de Froude en la mayoría de las secciones transversales menores que 1.00.

A continuación, se muestran capturas de pantallas de la modelación y configuraciones realizadas, ilustrando los parámetros y valores utilizados en el análisis hidráulico (de Imagen 5.1. 1 a Imagen 5.1. 13).



Imagen 5.1. 1 – Topografía proyectada, utilizada para le realización del modelo geométrico HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 2 – Configuración general del proyecto en HEC-RAS 6.3.1

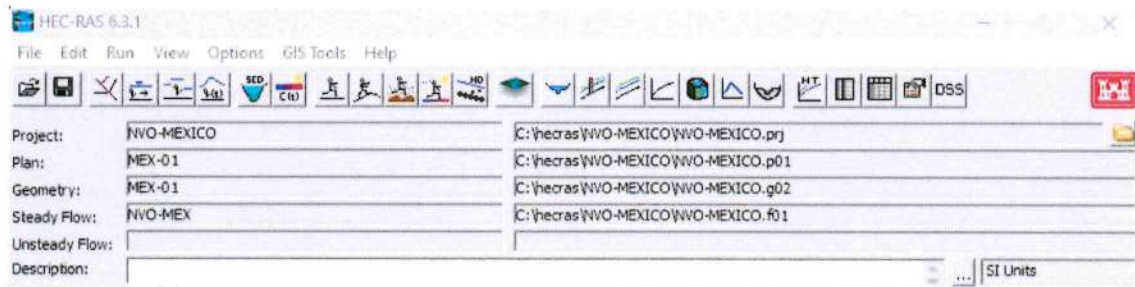
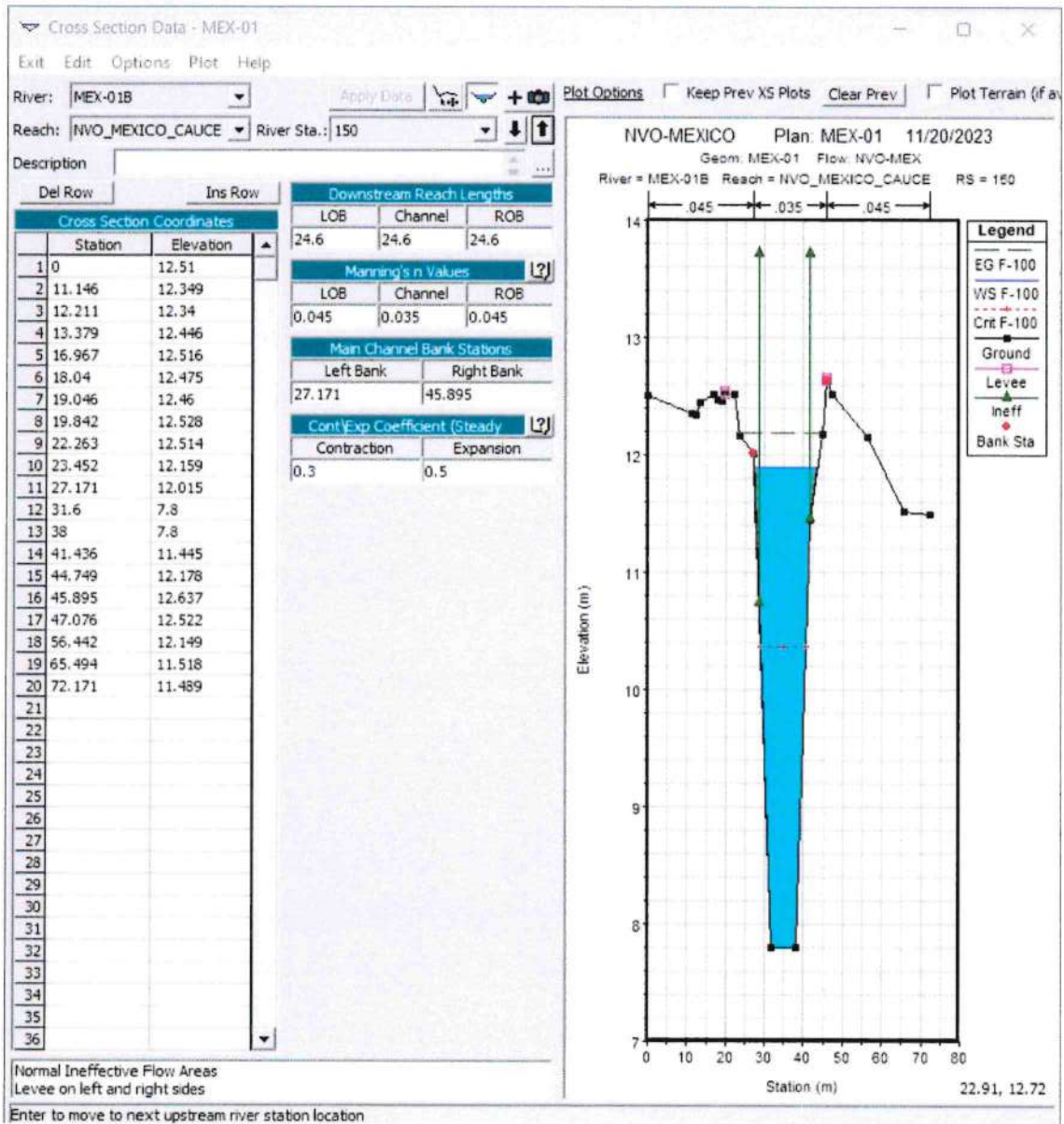


Imagen 5.1. 3 – Introducción de secciones transversales de cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.

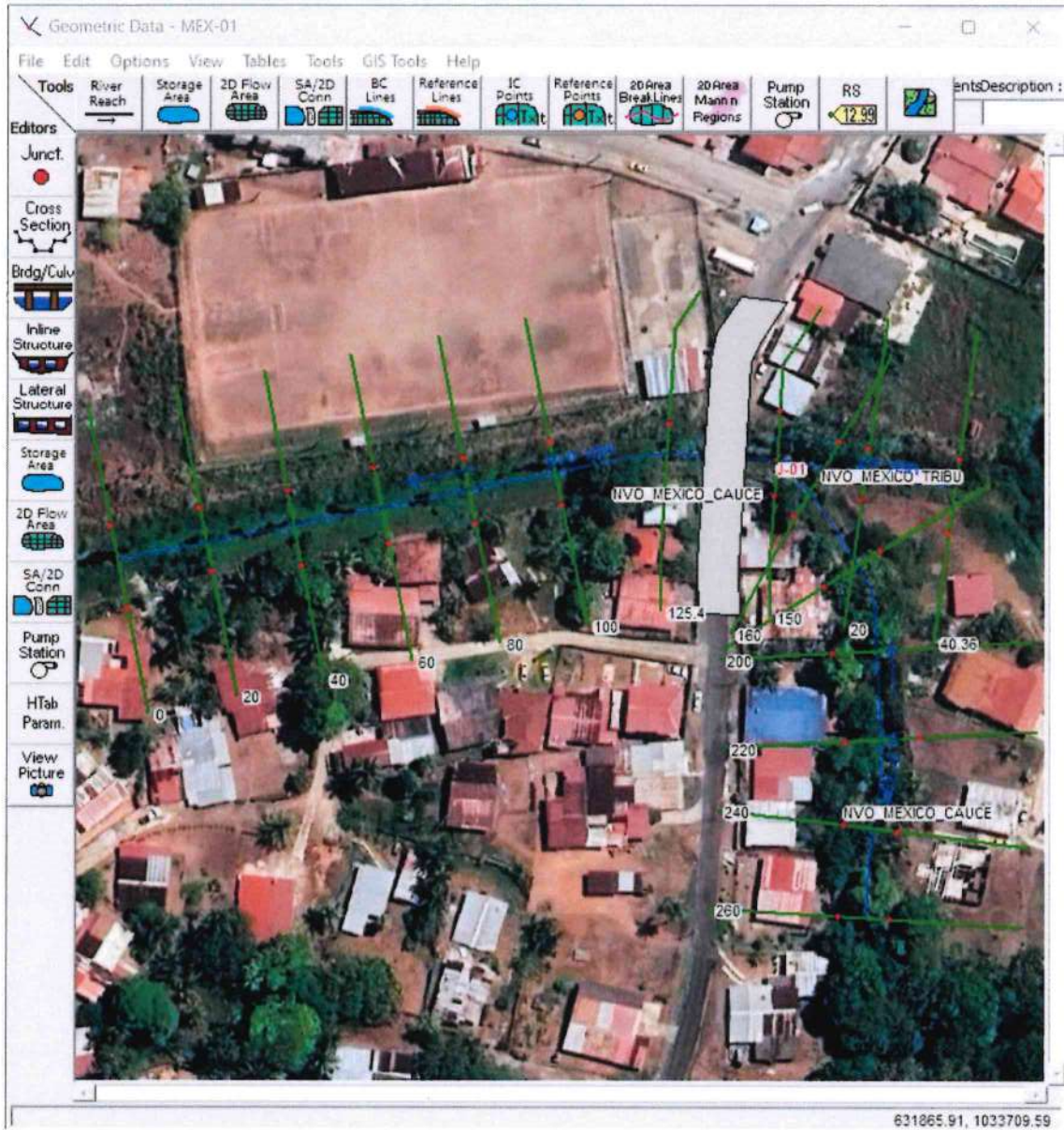
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 4- Modelación hidráulica de cauce y puente proyectado en HEC-RAS



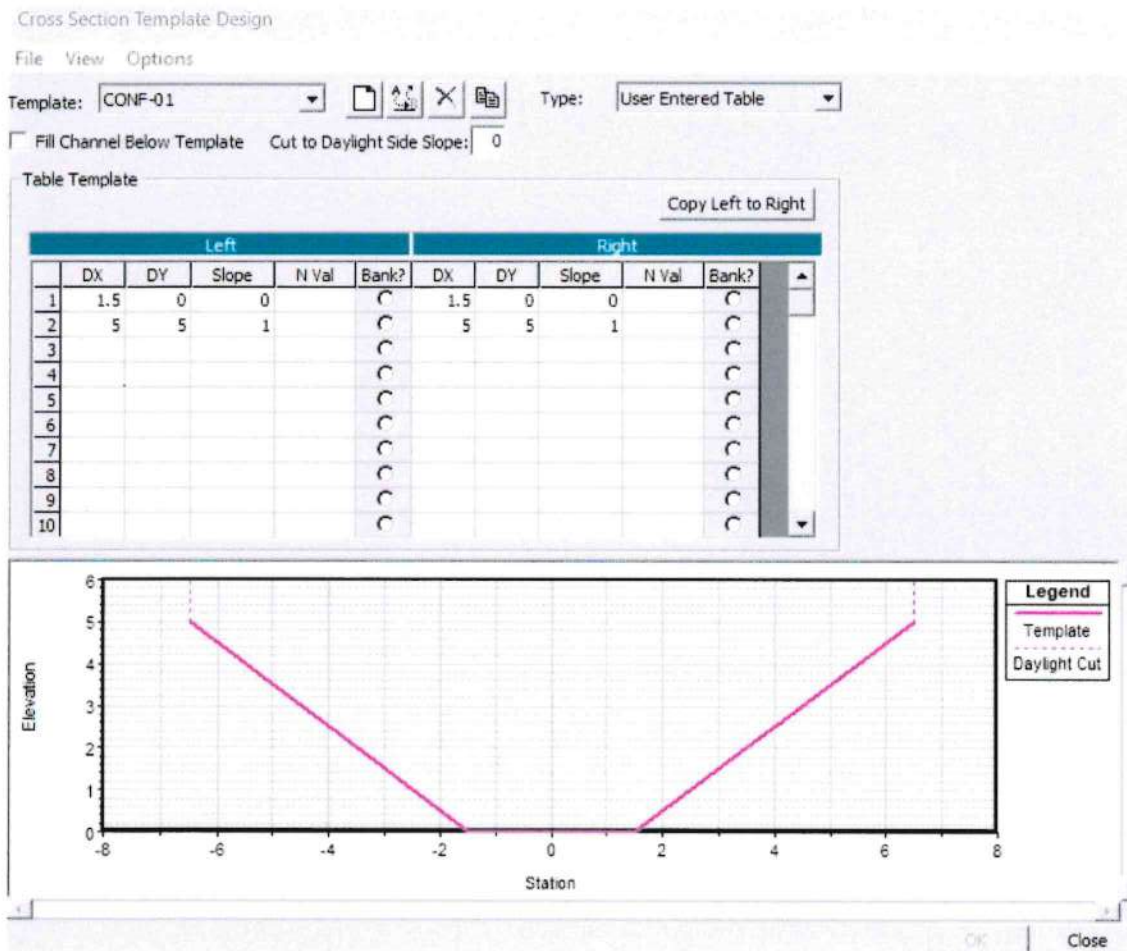
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 5 – Configuración de plantilla de diseño para conformación de cauce aguas arriba y aguas abajo del puente proyectado

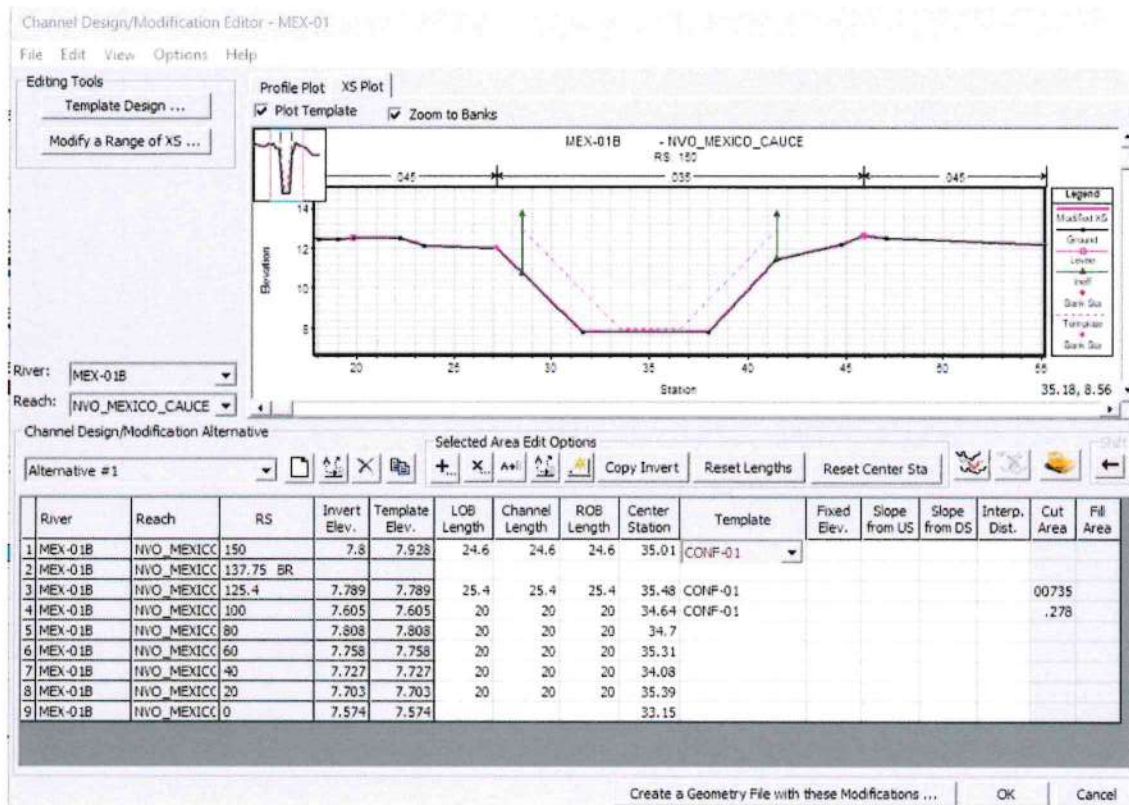


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 6 – Modificación de cauce en puente (taludes de protección)



VLADIMIR F. FONG B.

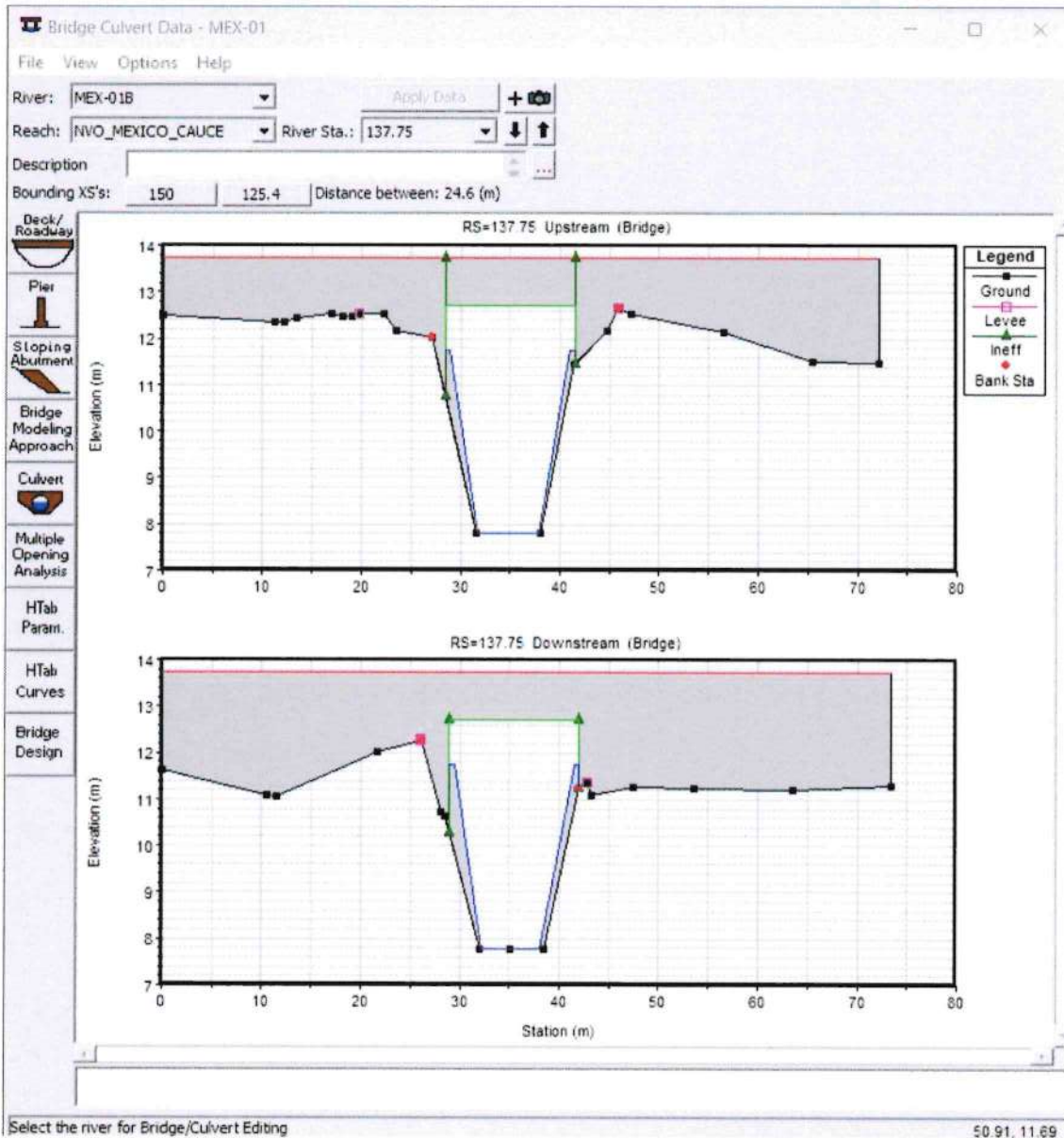
INGENIERO CIVIL

LICENCIA N° 99-006-123

[Firma]

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 7 – Modelación de puente



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 8 – Modelación de taludes de estribos (omitidos en el puente propuesto)

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1

Del Row Ins Row

	Upstream		Downstream	
	Station	Elevation	Station	Elevation
1	28.5	11.75	28.98	11.75
2	29.01	11.75	29.48	11.75
3	32.5	6.68	33	6.54
4				
5				
6				
7				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select Abutment to Edit

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 2

Del Row Ins Row

	Upstream		Downstream	
	Station	Elevation	Station	Elevation
1	37	6.68	37	6.54
2	41.01	11.75	41.48	11.75
3	41.51	11.75	41.98	11.75
4				
5				
6				
7				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Enter to move to previous Abutment

Imagen 5.1. 9 – Modelación de tablero de puente y taludes de terraplén

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
7.05	9.2	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

	Upstream			Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	13.72	7.928	0	13.72	7.789
2	28.509	13.72	7.928	28.983	13.72	7.789
3	28.509	13.72	12.72	28.983	13.72	12.72
4	41.509	13.72	12.72	41.983	13.72	12.72
5	41.509	13.72	7.928	41.983	13.72	7.789
6	72.171	13.72	7.928	73.375	13.72	7.789
7						
8						

U.S Embankment SS 1.5 D.S Embankment SS 1.5

Weir Data

Max Submergence: 0.98 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape

☒ Broad Crested

☐ Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 10 – Coeficientes de contracción y expansión del modelo

Edit Contraction/Expansion Coefficients (Steady Flow)

River: MEX-01B ☐ Edit Interpolated XS's

Reach: NVO_MEXICO_CAUCE

Selected Area Edit Options

Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ...

	River Station	Contraction	Expansion
1	150	0.3	0.5
2	137.75	Bridge	
3	125.4	0.3	0.5
4	100	0.3	0.5
5	80	0.1	0.3
6	60	0.1	0.3
7	40	0.1	0.3
8	20	0.1	0.3
9	0	0.1	0.3

OK Cancel Help

Imagen 5.1. 11 – Configuración caudales de diseño y condiciones de frontera del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Data - NVO-MEX

File Options Help

Description : Apply Data

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): 1 Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: MEX-01B Add Multiple...

Reach: NVO_MEXICO_CAUCE River Sta.: 150 Add A Flow Change Location

Flow Change Location				Profile Names and Flow Rates
River	Reach	RS	F-100	
1 MEX-01A	NVO_MEXICO_CA	260	55.79	
2 MEX-01B	NVO_MEXICO_CA	150	101.62	
3 MEX-02	NVO_MEXICO_TRJ	40.36	45.83	

Edit Steady flow data for the profiles (m3/s)

VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.1. 12 – Configuración de condiciones de frontera del modelo HEC-RAS

Steady Flow Boundary Conditions

☒ Set boundary for all profiles ☐ Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Known W.S. Critical Depth Normal Depth Rating Curve Delete

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
MEX-01A	NVO_MEXICO_CA	all	Normal Depth S = 0.0064	Junction=J-01
MEX-01B	NVO_MEXICO_CA	all	Junction=J-01	Normal Depth S = 0.0089
MEX-02	NVO_MEXICO_TR	all	Normal Depth S = 0.0405	Junction=J-01

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ... OK Cancel Help

Enter to accept data changes.

Imagen 5.1. 13 – Configuración del escenario de análisis y régimen de flujo del modelo en HEC-RAS

Steady Flow Analysis

File Options Help

Plan: Plan 02 Short ID: CONF-02

Geometry File: POLVORIN-CONF-02

Steady Flow File: POLVORIN

Flow Regime

☐ Subcritical

☐ Supercritical

☒ Mixed

Optional Programs

☐ Floodplain Mapping

Plan Description

Compute

Enter/Edit short identifier for plan (used in plan comparisons)

5.2. NIVEL DE AGUAS MÁXIMO CALCULADO

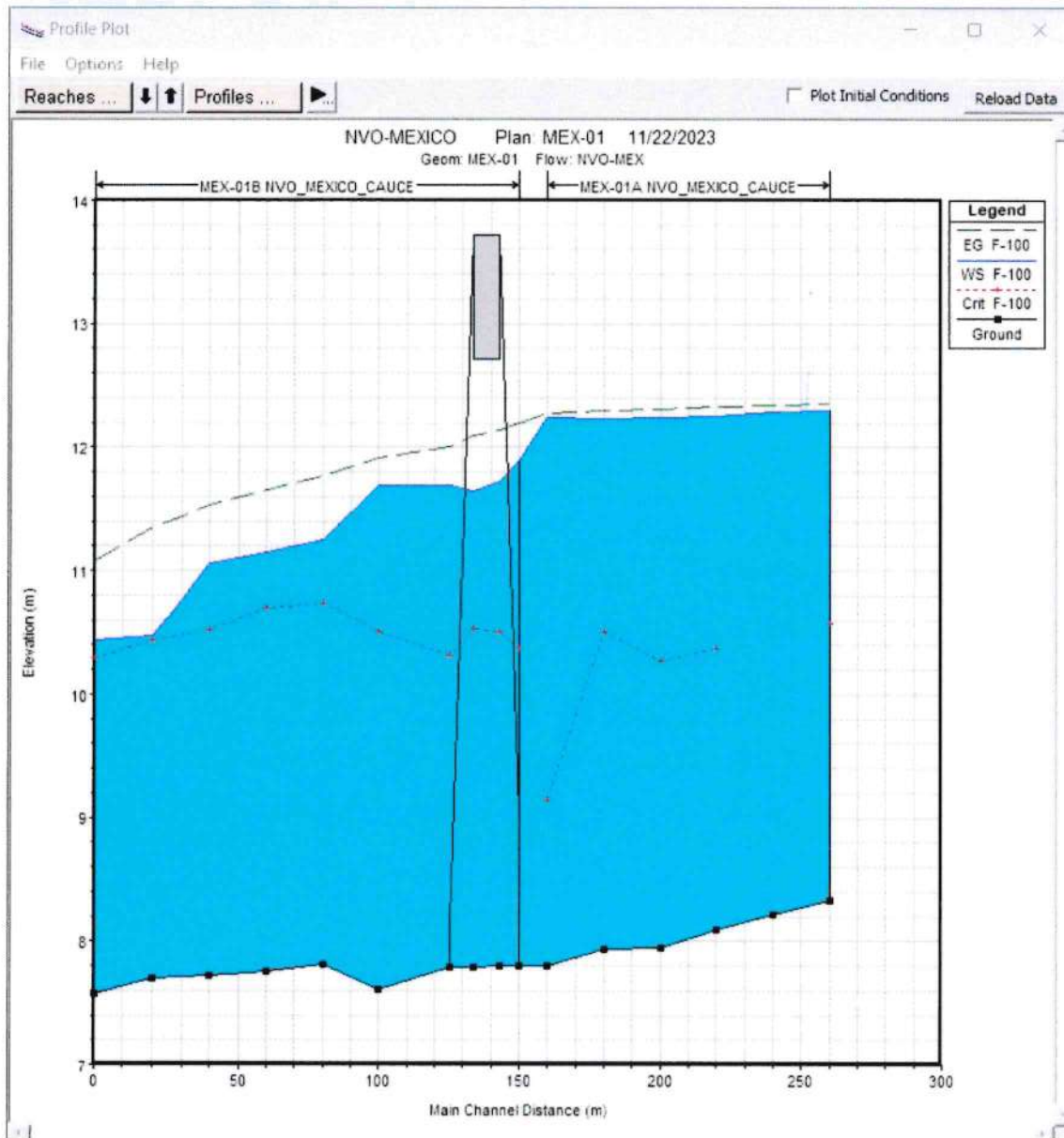
Los resultados obtenidos del modelo analizado se muestran en las siguientes capturas de pantalla, en donde puede observarse que el nivel de aguas máximas extraordinarias obtenido (N.A.M.E.) es de 11.72m respecto al datum del proyecto.

VLADIMIR F. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 1 – Perfil hidráulico del cauce



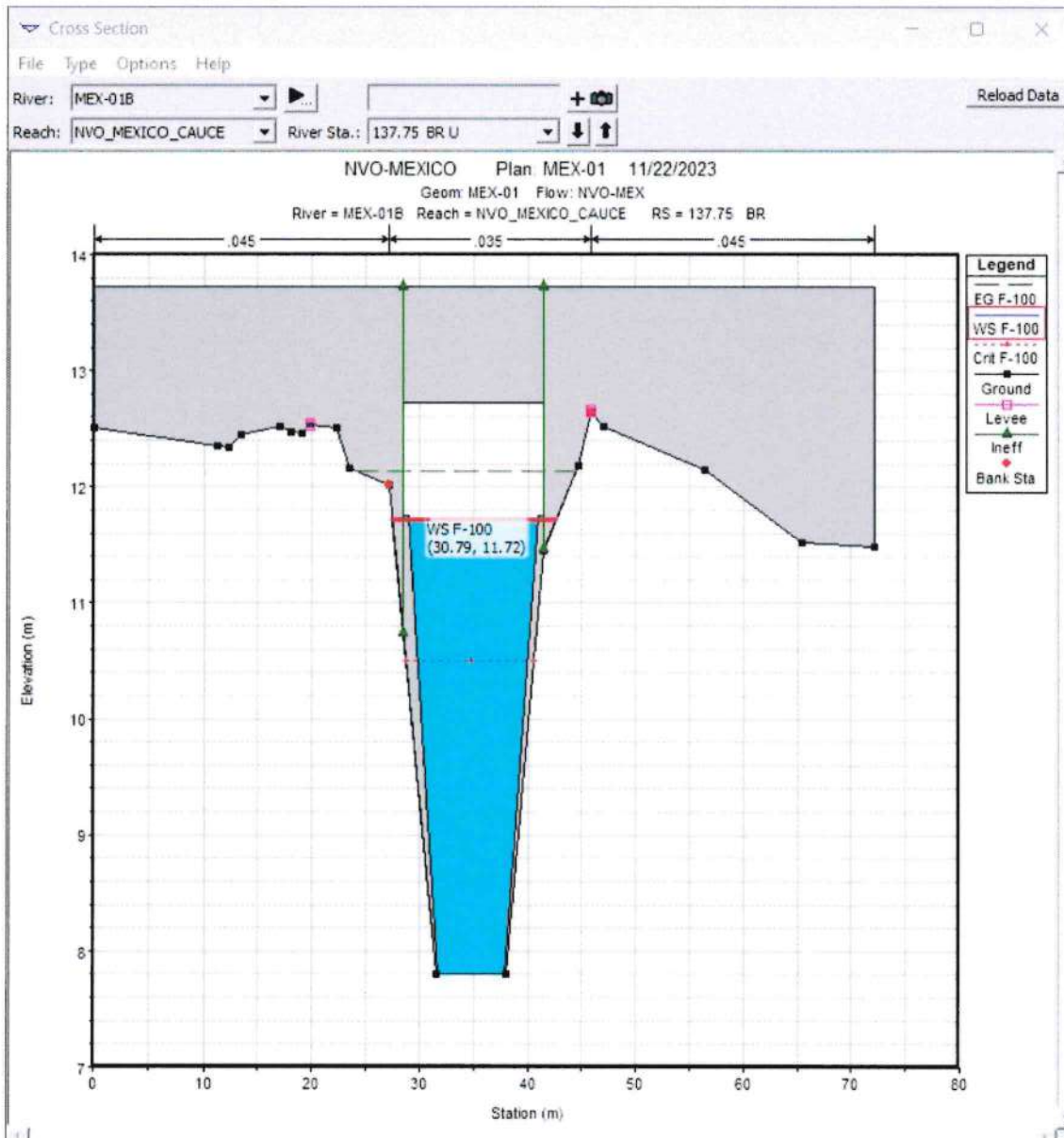
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 2 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas arriba

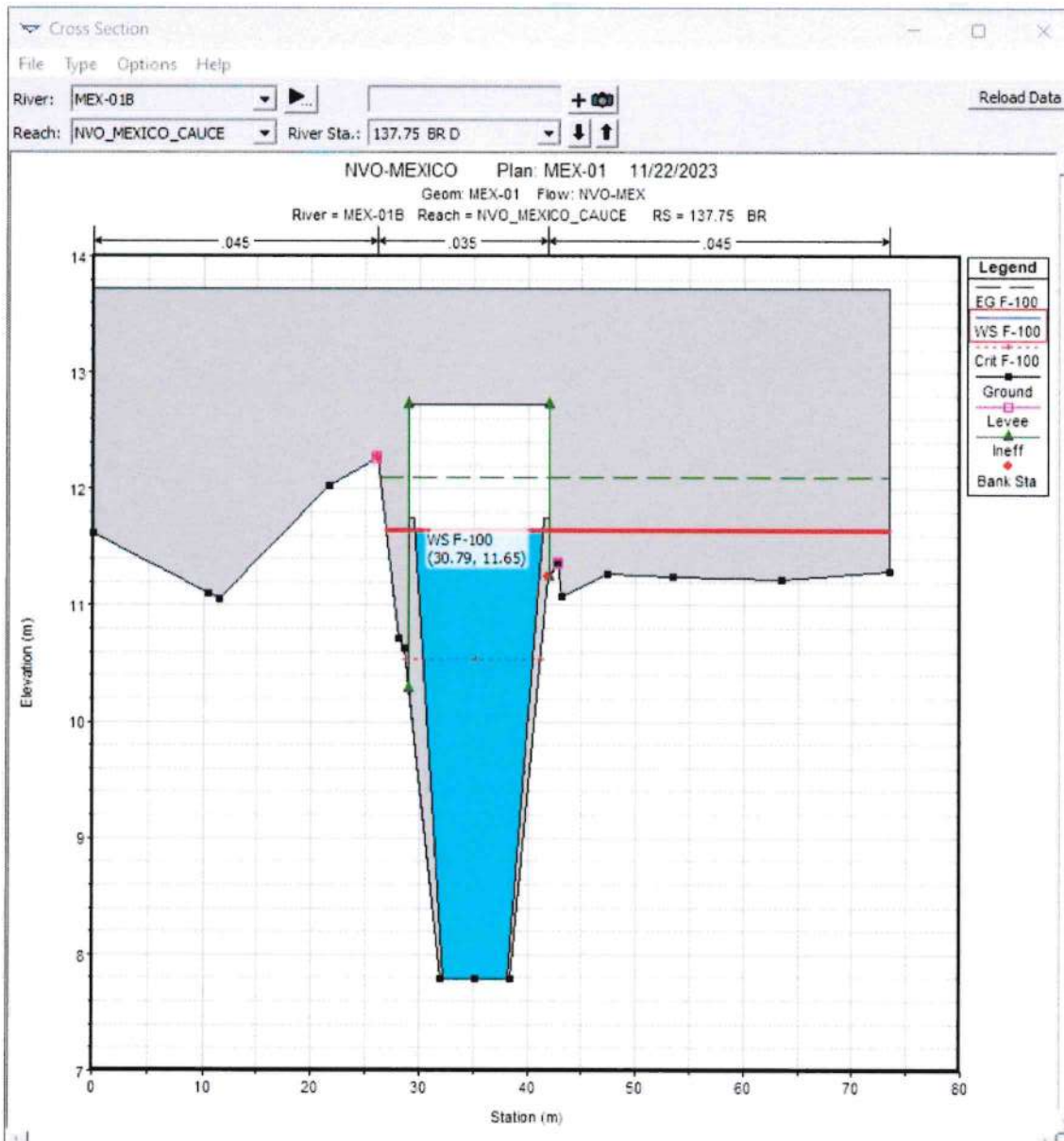


VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N° 99-006-123

[Signature]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 3 – Sección hidráulica de puente, ubicación aguas abajo



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 4 – Nivel de aguas máxima esperado (N.A.M.E.) del anteproyecto del puente sobre el cauce

Plan: MEX-01 MEX-01B NVO MEXICO CAUCE RS: 137.75 Profile: F-100				
E.G. US. (m)	12.19	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	11.90	E.G. Elev (m)	12.14	12.09
Q Total (m3/s)	101.62	W.S. Elev (m)	11.72	11.65
Q Bridge (m3/s)	101.62	Crit W.S. (m)	10.50	10.53
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	3.92	3.86
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.86	2.97
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	35.49	34.24
Weir Submerg		Froude # Chl	0.53	0.56
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	91.80	89.43
Min El Weir Flow (m)	13.72	Hydr Depth (m)	2.97	2.89
Min El Prs (m)	12.72	W.P. Total (m)	15.91	15.66
Delta EG (m)	0.18	Conv. Total (m3/s)	1731.2	1648.0
Delta WS (m)	0.21	Top Width (m)	11.95	11.84
BR Open Area (m2)	48.09	Frctn Loss (m)	0.03	0.02
BR Open Vel (m/s)	2.97	C & E Loss (m)	0.01	0.06
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	75.37	81.53
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	215.80	242.00

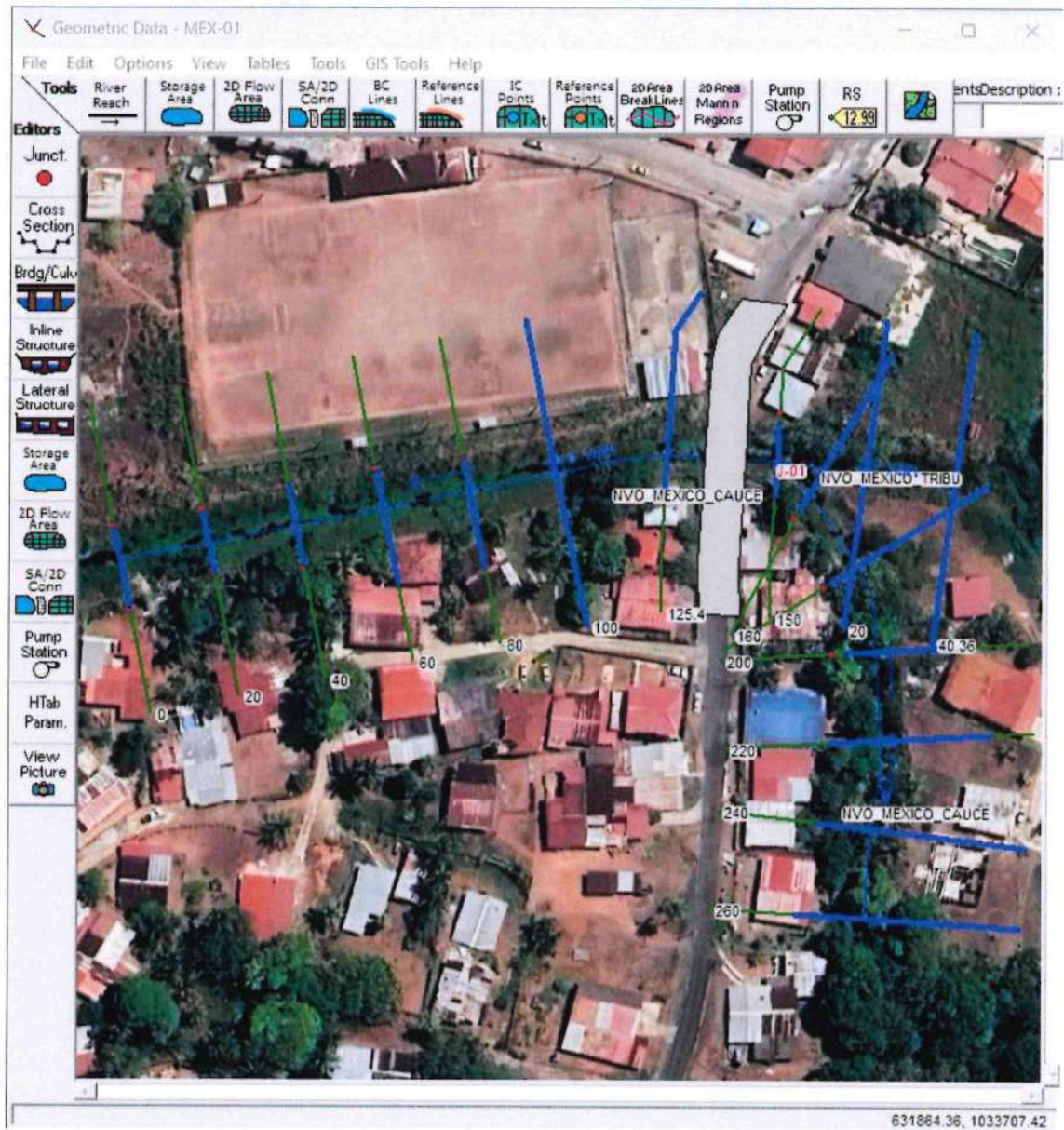
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123


Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2.5 – Huella hidráulica para período de retorno 100 años



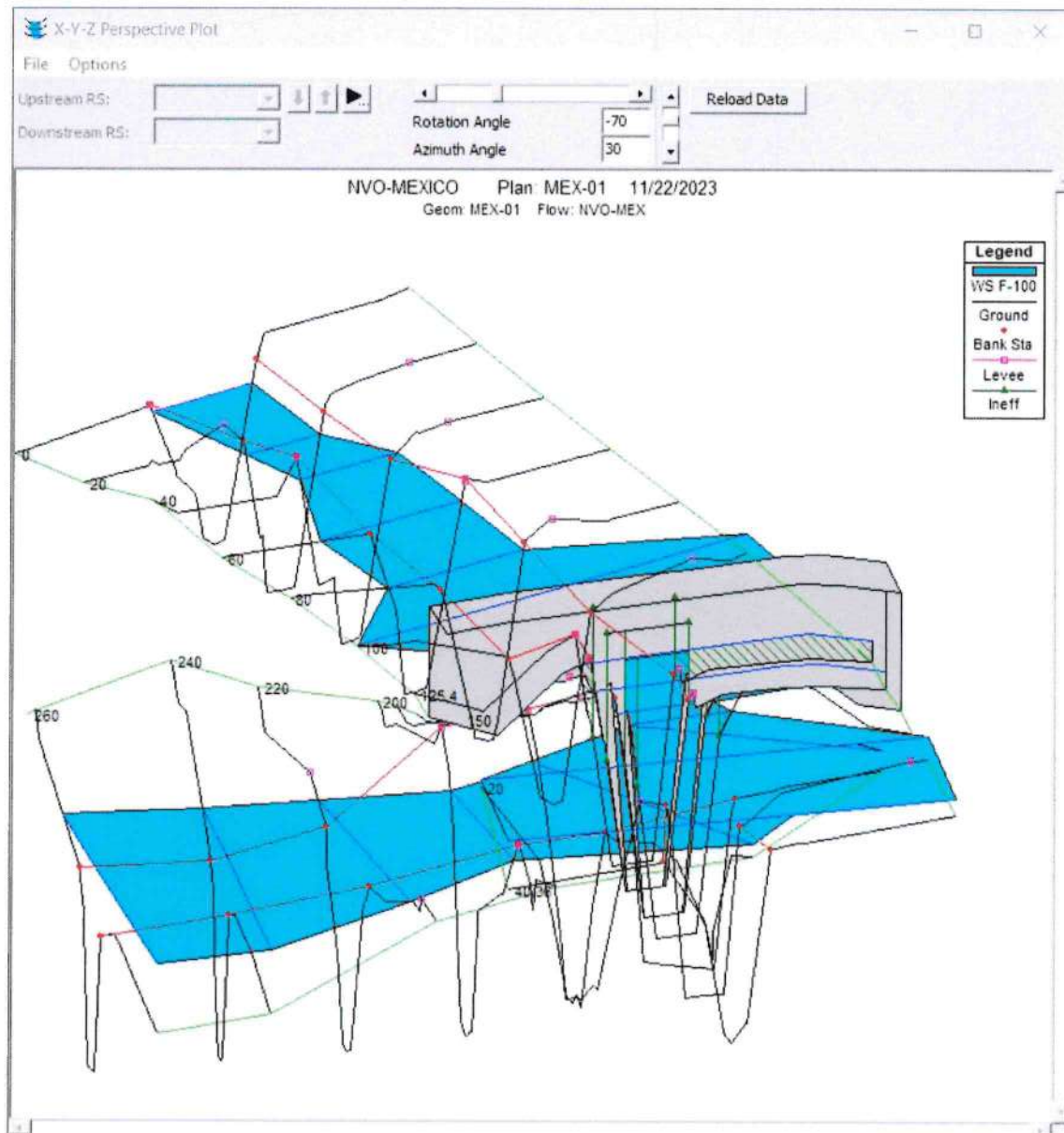
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

[Signature]
Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen 5.2. 6 – Modelo geométrico e hidráulico en perspectiva del cauce en HEC-RAS



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123

[Firma]
 Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 6.1. Las áreas de las cuencas del puente Nuevo México calle 1, determinada de los mosaicos cartográficos Tommy Guardia escala 1:25,000, fueron de 2.0314 Km² para la cuenca 1 (quebrada sin nombre) y de 1.6689 Km² para la cuenca 2 (río Ensenada).
- 6.2. Para el cálculo de caudales no fue posible utilizar directamente el método regional de crecidas máximas de ETESA, ya que el proyecto no está ubicado en una zona hidrológicamente homogénea, aún así, se calcularon los caudales por medio de las ecuaciones de las zonas hidrológicamente homogéneas más cercas al proyecto, pero se encontraron variaciones demasiado significativas en los resultados, por lo tanto, los resultados solo se utilizaron como referencia, para justificar y validar el uso del método racional y sus resultados respectivos.
- 6.3. Como las áreas de las cuencas de los cauces en la ubicación del puente, son menores que 2.50 Kms², se calcularon y dejaron como definitivos los caudales a flujo constante de las cuencas por medio del método racional, utilizando las ecuaciones IDF (curva de intensidad-duración-frecuencia) que se encuentran en la Gaceta Oficial Resolución 067-12 abril 2021 Manual Requisito revisión de Plano, específicamente la correspondiente al período de retorno de 100 años. También se utilizó un coeficiente "C" para el método racional de 0.85, tal como lo indican los términos de referencia del proyecto.
- 6.4. Con la información de área, coeficiente de escorrentía, tiempos de concentración e intensidades calculada para las cuencas, se obtuvo un caudal de 55.79 m³/s para la cuenca 1 (quebrada sin nombre) y de 45.83 m³/s para la cuenca 2 (río Ensenada). Ambos caudales calculados corresponden a un período de retorno de 100 años.
- 6.5. El análisis hidráulico realizado para el cauce del proyecto fue del tipo unidimensional (1D), ya que para el proyecto se realizó un levantamiento topográfico de detalle con equipo de estación total, levantando secciones transversales a cada 20.00m de separación, con un alcance de 100.00m aguas arriba y 100.00m aguas abajo.
- 6.6. Con el levantamiento topográfico realizado, se elaboraron curvas de nivel a cada 1.00m de elevación del relieve del terreno existente (sin proyecto), y se construyó el modelo geométrico en HEC-RAS 6.5 en una dimensión (1D), con sus respectivas obras hidráulicas proyectadas (puente y conformación de cauce). Por esta razón no fue necesario elaborar un modelo digital de elevación con proyecto ni curvas de nivel con proyecto, ya que no se ha realizado un análisis hidráulico en 2 dimensiones (2D) en este estudio, sino que únicamente en 1 dimensión (1D).
- 6.7. Posteriormente se revisó la posibilidad de incorporar dentro de HEC-RAS 6.5 un modelo digital de elevaciones auxiliándose de una herramienta GIS, para crear un archivo DEM, el cual se importó dentro de HEC-RAS 6.5 por

VLADIMIR E. FONG B.
INGENIERO CIVIL
LICENCIATURA 99-000-123
Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

medio de su herramienta nativa RAS-MAPPER creándose de esa manera un RAS TERRAIN LAYER en formato *.hdf, sin embargo, el uso del mismo fue descartado porque al superponer su geometría en las secciones transversales del modelo 1D (cross section data), se observó que el mismo no superaba la precisión ni la calidad de la información 1D modelada y en consecuencia tampoco de la topografía levantada.

- 6.8. Con el modelo HEC-RAS 6.5 elaborado, se configuraron los parámetros hidráulicos respectivos (condiciones de frontera, régimen de flujo, etc.) y se ejecutó la simulación hidráulica, calculándose un nivel de aguas máximas esperado (NAME) para el puente Nuevo México sobre el río Ensenada de, 11.72 m respecto al datum del proyecto.
- 6.9. El comportamiento del flujo de los cauces para el caudal de diseño utilizado fue mayoritariamente sub crítico, obteniéndose números de Froude en la mayoría de secciones transversales menores que 1.00.
- 6.10. Las velocidades de flujo calculadas en el cauce, en todas las secciones transversales resultaron menores de 3.04 m/s, la cual es una velocidad favorable que puede circular sin causar desgaste en los zampeados y elementos de concreto del puente de la subestructura del puente proyectado.
- 6.11. Luego de las modelaciones se concluye que no existe el riesgo de inundación para el puente proyectado, ya que el mismo se ha diseñado (según planos aprobados) respetando el NAME calculado con un galibo de 1.00 de altura.
- 6.12. Para la revisión y validación de los resultados de la simulación, se adjuntan los siguientes insumos y productos utilizados y generados por HEC RAS 6.5:
 - 6.12.1. Archivo DEM utilizado para elaborar el "terrain".
 - 6.12.2. Archivo proyecto generado por la simulación.
 - 6.12.3. Archivo de geometría generado por la simulación con proyecto (modelo 1D).
 - 6.12.4. Archivo plan generado por la simulación.
 - 6.12.5. Archivo de flujo constante o no constante generado por la simulación.
 - 6.12.6. Archivo ráster final de resultado de simulación sin proyecto



ANEXO – 01: RESULTADOS ADICIONALES



Imagen A. 1 – Resumen de resultados hidráulicos en secciones transversales del cauce. Estaciones 0+000 a 0+170

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: MEX-01 Profile: F-100

Reload Data

River	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
MEX-02	NVO_MEXICO_TRIBU	40.36	F-100	45.83	8.06	12.26	10.27	12.30	0.000361	0.90	72.45	70.00	0.19
MEX-02	NVO_MEXICO_TRIBU	20	F-100	45.83	7.79	12.28	9.47	12.29	0.000092	0.55	121.70	70.00	0.09
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	150	F-100	101.62	7.80	11.90	10.37	12.19	0.001914	2.41	42.17	16.18	0.43
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	137.75	Bridge										
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	125.4	F-100	101.62	7.79	11.69	10.32	12.01	0.002086	2.51	40.58	46.51	0.45
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	100	F-100	101.62	7.61	11.69	10.51	11.91	0.001737	2.20	62.53	70.00	0.42
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	80	F-100	101.62	7.81	11.25	10.73	11.77	0.005251	3.19	32.78	24.34	0.70
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	60	F-100	101.62	7.76	11.14	10.70	11.66	0.005854	3.17	32.54	25.34	0.73
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	40	F-100	101.62	7.73	11.06	10.51	11.53	0.005078	3.04	33.46	17.48	0.68
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	20	F-100	101.62	7.70	10.47	10.44	11.35	0.011127	4.16	24.43	13.28	0.98
MEX-01B	NVO_MEXICO_CAUCE	0	F-100	101.62	7.57	10.43	10.29	11.08	0.008915	3.55	28.61	17.69	0.89
MEX-01A	NVO_MEXICO_CAUCE	260	F-100	55.79	8.34	12.30	10.57	12.36	0.000648	1.26	63.06	50.82	0.24
MEX-01A	NVO_MEXICO_CAUCE	240	F-100	55.79	8.21	12.28		12.34	0.000567	1.23	63.24	47.42	0.23
MEX-01A	NVO_MEXICO_CAUCE	220	F-100	55.79	8.10	12.25	10.37	12.33	0.000691	1.27	48.75	35.94	0.26
MEX-01A	NVO_MEXICO_CAUCE	200	F-100	55.79	7.94	12.24	10.27	12.31	0.000843	1.18	47.08	24.73	0.27
MEX-01A	NVO_MEXICO_CAUCE	180	F-100	55.79	7.94	12.23	10.51	12.29	0.000654	1.22	61.26	41.83	0.24
MEX-01A	NVO_MEXICO_CAUCE	160	F-100	55.79	7.80	12.25	9.14	12.28	0.000180	0.80	81.60	40.26	0.13

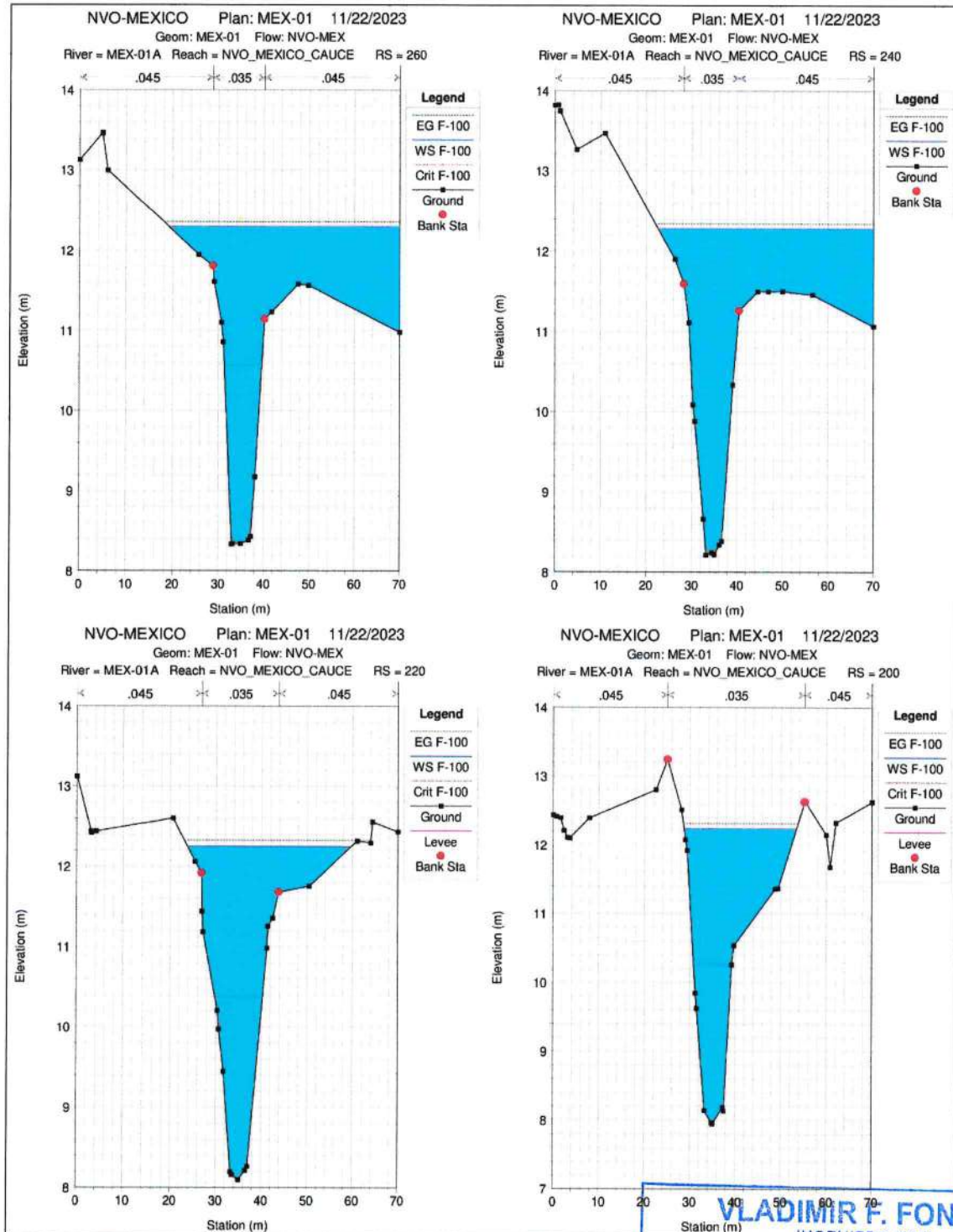
Total flow in cross section.

VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123


 Firma

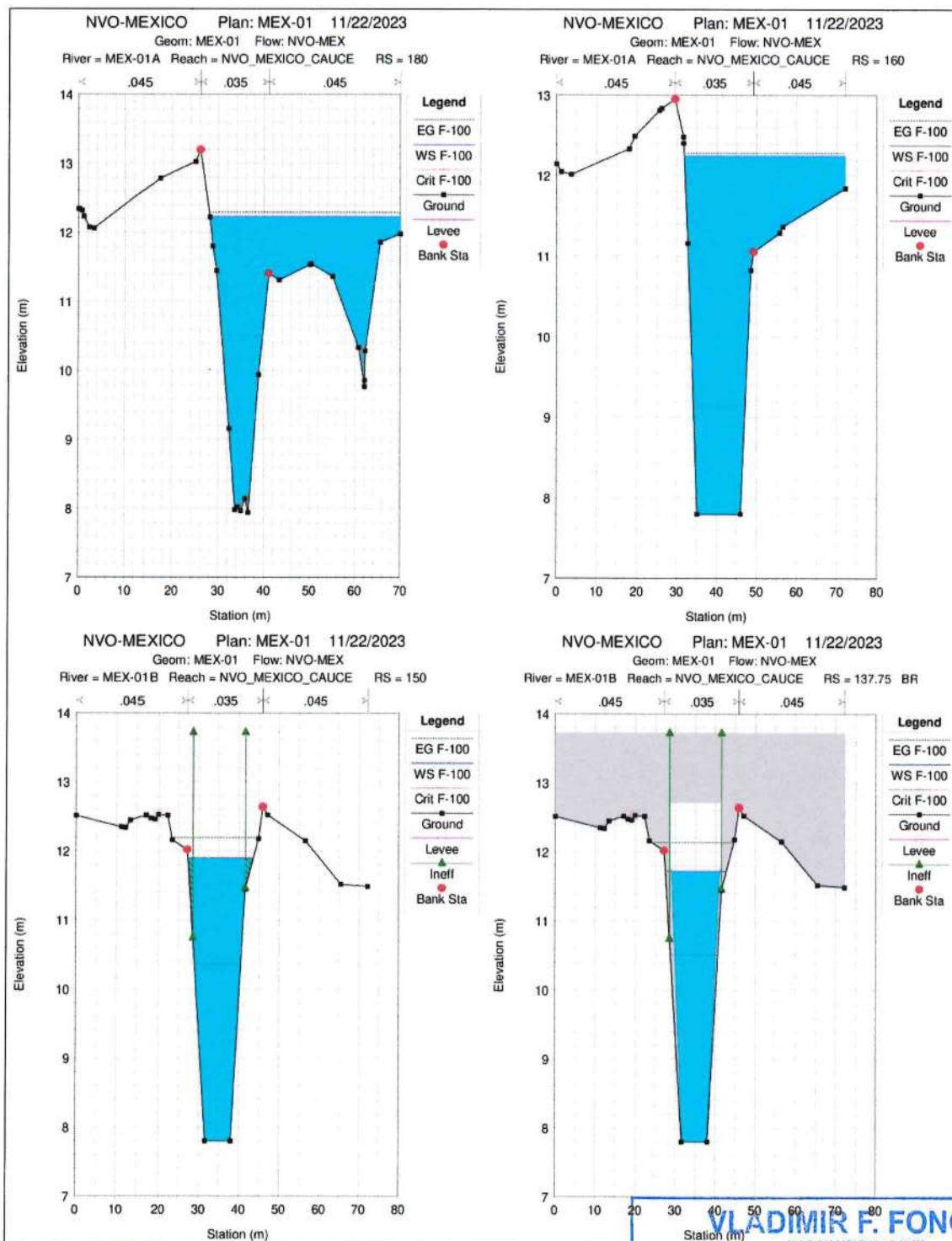
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 2 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+200.00 a 0+260.00



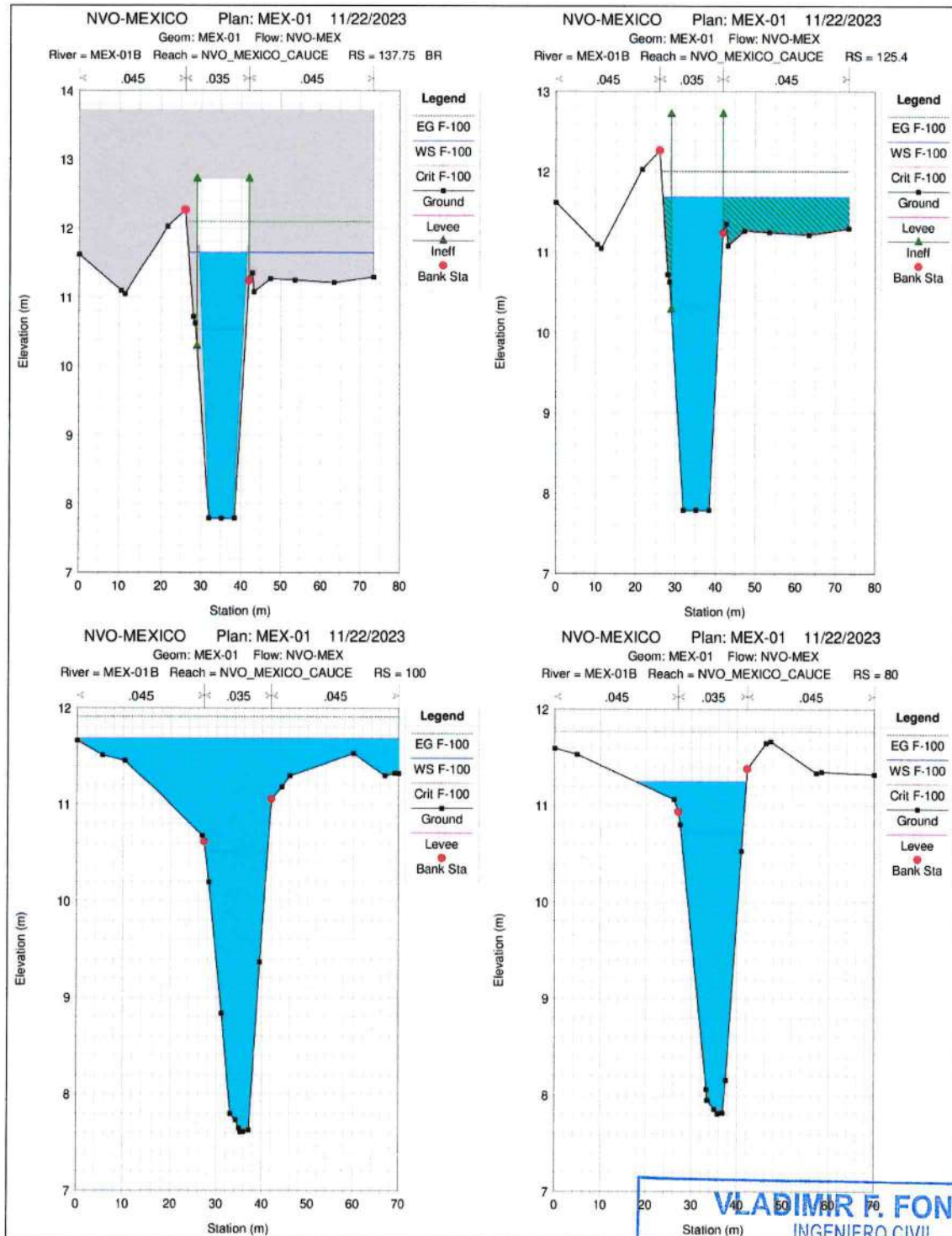
VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N°99-006-123
 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 3 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+137.75 a 0+180.00



VLADIMIR F. FONG B.
 INGENIERO CIVIL
 LICENCIA N° 99-006-123
 Firma
 Ley 15 del 26 de Enero de 1959
 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 4 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+080.00 a 0+137.75



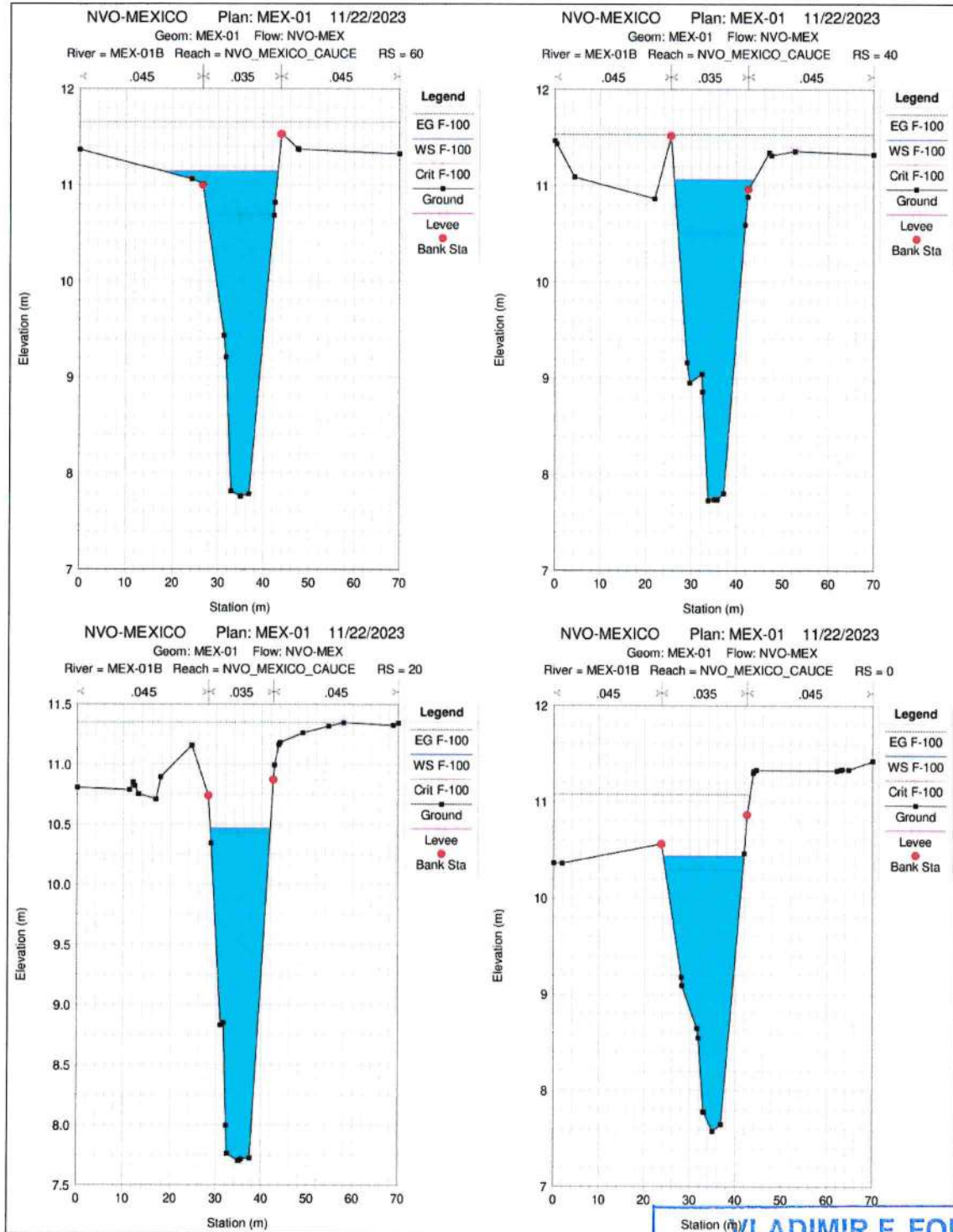
VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 5 – Secciones hidráulicas de cauce. Estaciones 0+000.00 a 0+060.00

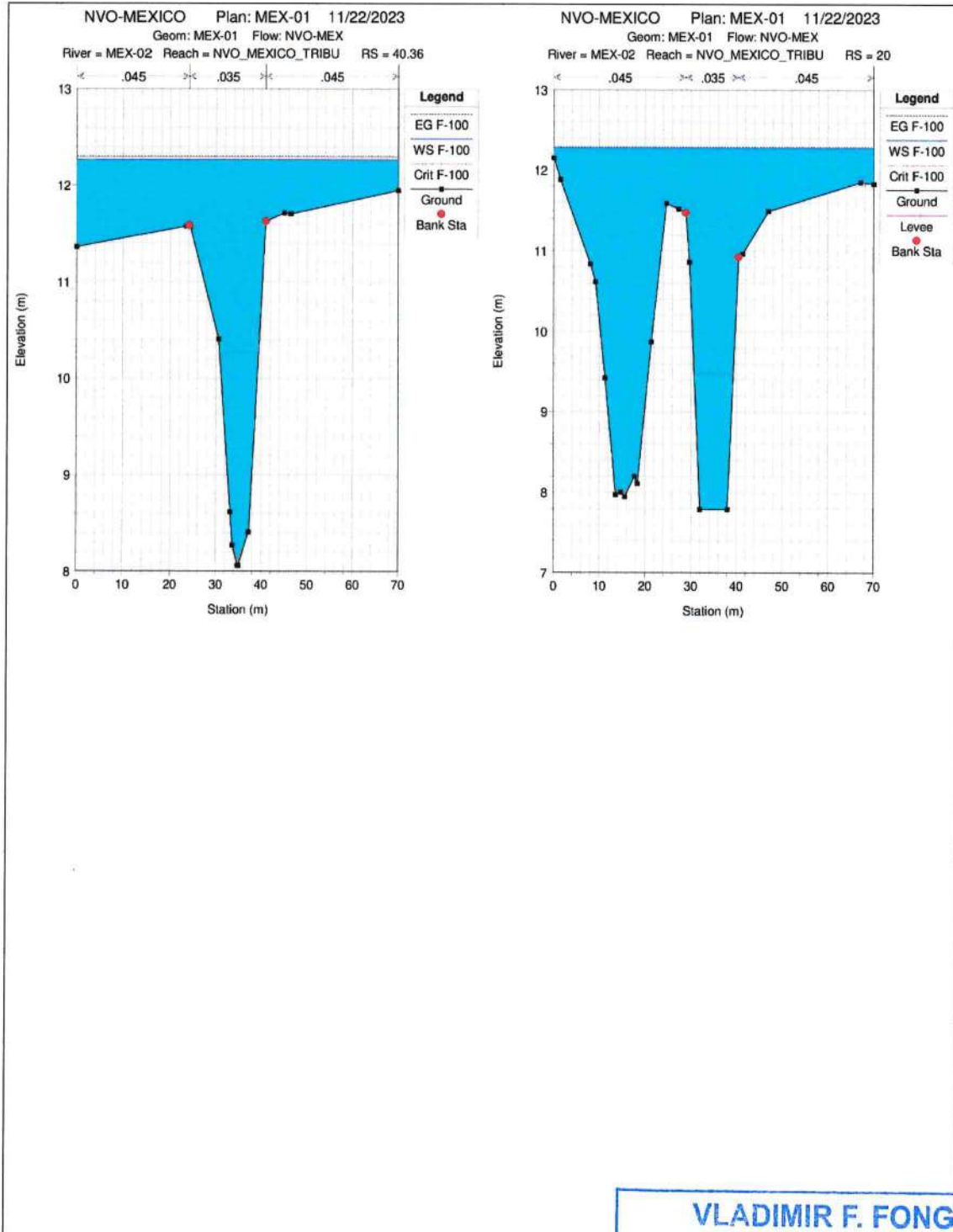


VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL
LICENCIA N°99-006-123

Firma
Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Imagen A. 6 – Secciones hidráulicas de cauce tributario. Estaciones 0+020.00 a 0+040.36



VLADIMIR F. FONG B.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA N°99-006-123

Firma

Ley 15 del 26 de Enero de 1959
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura