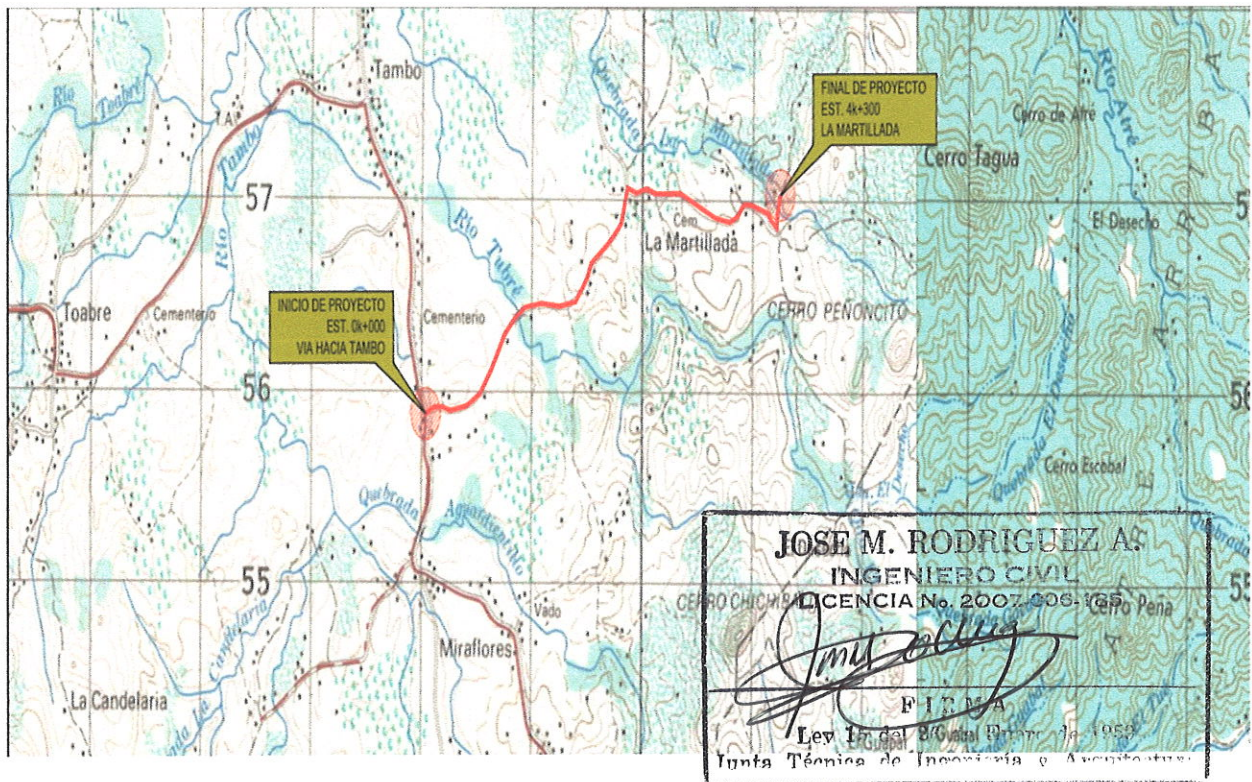


# ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL RÍO TUBRÉ

## REHABILITACIÓN DEL CAMINO VÍA LA MARTILLADA

### ANTEPROYECTO DE DISEÑO DEL PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO TUBRÉ.

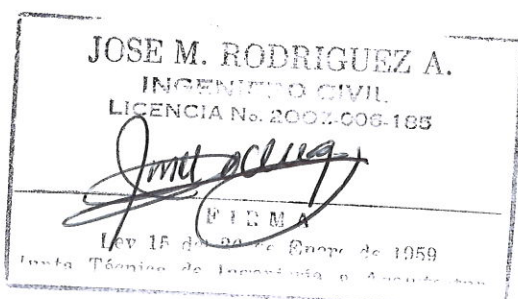
#### Proyecto Localizado en la Provincia de Coclé



Licitación por mejor valor  
N°2019-0-09-0-02-LV-006256

## Contenido

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción.....                                    | 3  |
| 2. Objetivos del proyecto.....                          | 3  |
| 3. Descripción del proyecto.....                        | 3  |
| 4. Metodología Cálculo Hidrológico e Hidráulico.....    | 4  |
| 4.1. Análisis Hidrológico de la zona .....              | 4  |
| 4.1.1. Método de Crecidas Máximas.....                  | 5  |
| 4.2. Simulación Hidráulica.....                         | 7  |
| 4.2.1. Geometría de Cauze natural.....                  | 8  |
| 4.2.2. Datos Hidráulicos Múltiples y Simulación.....    | 12 |
| 4.2.2.1. Caudales:.....                                 | 12 |
| 4.2.2.2. Condiciones de Contorno:.....                  | 12 |
| 4.2.2.3. Simulación Hidráulica:.....                    | 12 |
| 4.2.3. Inclusión de la Estructura:.....                 | 12 |
| 4.2.3.1. Esquema de ámbito:.....                        | 13 |
| 4.2.3.2. Longitudes de contracción y Expansión.....     | 14 |
| 4.2.3.3. Creación de la Geometría de las secciones..... | 16 |
| 4.2.3.4. Coeficientes de contracción y expansión.....   | 16 |
| 4.2.3.5. Criterio hidráulico de viaductos.....          | 17 |
| 4.2.3.6. Áreas Inefectivas de Flujos.....               | 19 |
| 4.2.4. Aplicación Matemática del Método de Energía..... | 19 |
| 4.2.4.1. Cauces Naturales .....                         | 19 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                  | 23 |
| 6. Recomendaciones .....                                | 24 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA.....                                    | 25 |
| Anexo A .....                                           | 26 |
| TABLAS DE MANNING .....                                 | 26 |
| Anexo B .....                                           | 27 |
| CÁLCULO DE LONGITUDES DE EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN .....  | 27 |
| Anexo C .....                                           | 28 |
| CÁLCULO HIDRÁULICO .....                                | 28 |



## 1. Introducción.

Con el propósito de llevar a cabo un desarrollo seguro en la Rehabilitación del Camino Vía la Martillada, ubicada en la Provincia de Coclé, se ha realizado un estudio hidrológico e hidráulico del Río Tubré, en la parte baja de la subcuenca (Perteneciente a la Cuenca **No.105 DEL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CRECIDAS MÁXIMAS DE PANAMÁ**), con el fin de determinar los caudales máximos que se van a utilizar en el análisis y diseño de la vía y el puente vehicular que se encuentran dentro del área de influencia del proyecto.

Los levantamientos topográficos de las secciones transversales del río fueron elaborados con puntos georreferenciados a los BM geodésicos referenciados al sistema WGS-84 zona 17 Norte.

Los resultados de este estudio se presentan a la consideración del Ministerio de Obras Públicas para su debida revisión y aprobación.

## 2. Objetivos del proyecto.

Determinar los caudales máximos para el análisis y diseño de la sección natural del Río Tubré y proponer las alturas de para el diseño del puente vehicular.

Determinar los caudales que transitarían por el Río Tubré y otros drenajes que aportan a la misma, para una lluvia de diseño con un período de retorno de 1 en 100 años.

Realizar una simulación hidráulica utilizando el modelo **HEC-RAS** para diferentes escenarios tomando en cuenta como referencia los caudales calculados.

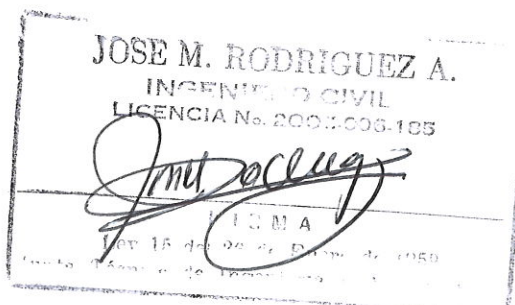
Presentar los perfiles y secciones transversales que fueron utilizados para la simulación, para indicar los niveles esperados para el caudal calculado con un período de retorno de 1 en 100 años.

Presentar la tabla de resultados de los parámetros hidráulicos de mayor importancia para indicar el comportamiento bajo las condiciones de frontera del modelo.

## 3. Descripción del proyecto.

El proyecto consiste en el diseño y construcción de la Rehabilitación del Camino hacia La Martillada, Provincia de Coclé el cual contempla la construcción de un puente vehicular sobre el Río Tubré, donde se adecuarán todos los sistemas de infraestructura y estructura necesarios para garantizar la seguridad de los usuarios.

Se dispondrá la construcción y rehabilitación del pavimento existente y la cuentas longitudinales. Este proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Coclé, e inicia en Camino Tambo y termina en Vía La Martillada.



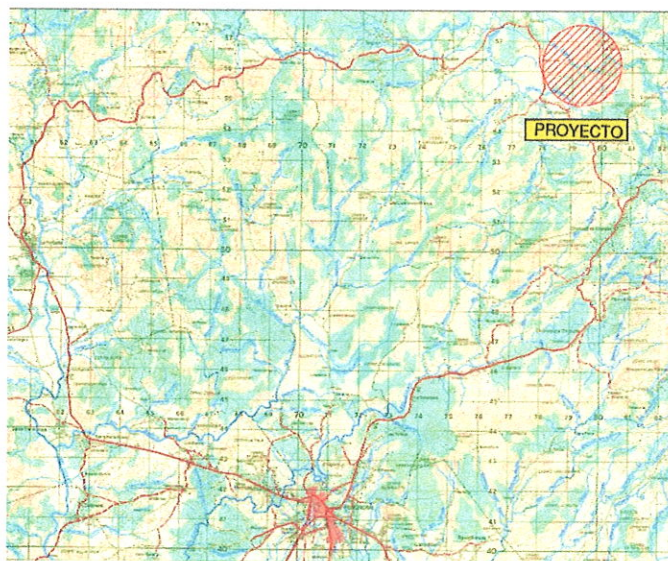
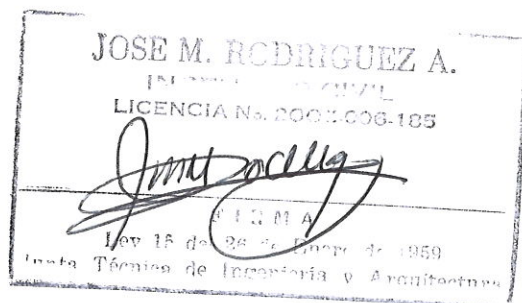


Figura 1. Ubicación del Proyecto E762 hoja 4141 IV

#### 4. Metodología Cálculo Hidrológico e Hidráulico.

##### 4.1. Análisis Hidrológico de la zona

Para determinar el método de cálculo a utilizar debemos identificar el tamaño de la cuenca, para esto se utilizan diversas herramientas tecnológicas de ayuda y la comparamos con las técnicas convencionales de cálculo.



## Cuenca Río Tubré

Hidrológico

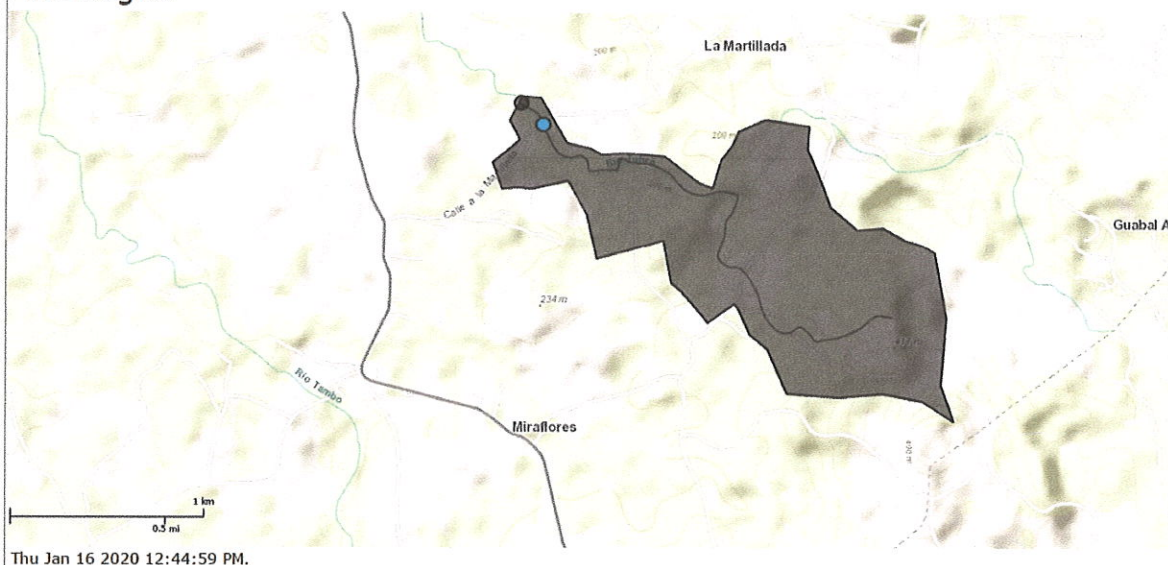


Figura 2. Delimitación de la Cuenca Base de datos Cathalac

Se utilizó el mosaico del Tommy Guardia de la edición 2-DMA IGNTG, serie E762 de la hoja 4141 IV, de la ciudad de Penonomé, además se dispuso de la utilización de la base de datos de Cathalac para delimitar la cuenca.

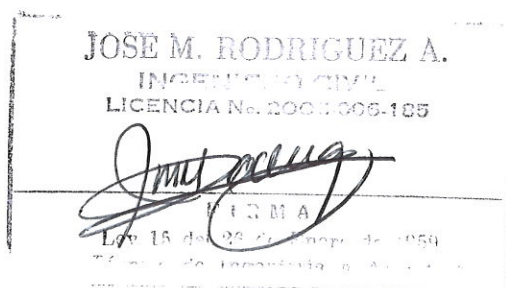
El resultado de la delimitación fue de un área aproximada de 172.33 Ha., o lo que representaría a 1.72 km<sup>2</sup>.

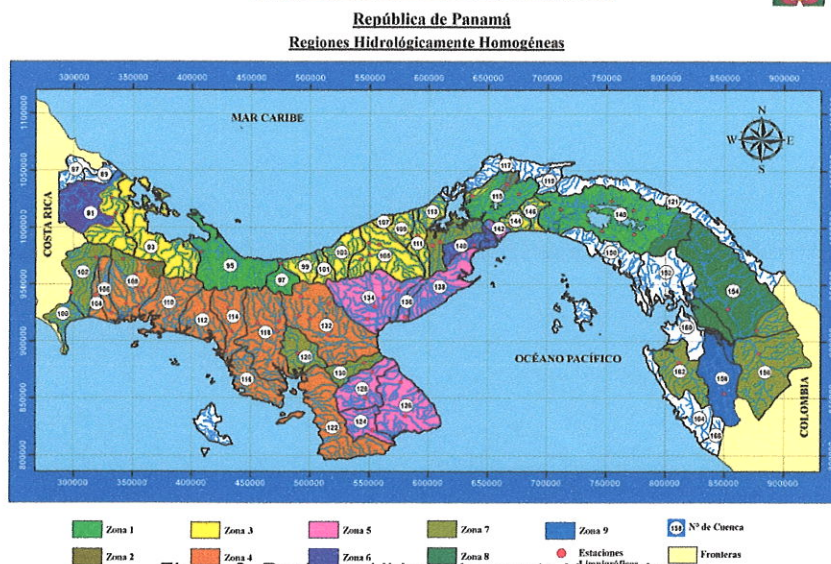
Con esto podemos seleccionar el método de cálculo que se usara para la determinación del caudal máximo de diseño, según los manuales de diseños del Ministerio de Obras Públicas se debe utilizar el método racional por el tamaño de la cuenca pero las ecuaciones de intensidad duración y frecuencia suministradas por el estudio del Ministerio de Obras Públicas para la vertiente Atlántica solo consideras periodo de retornos hasta 1:50 años, esto nos deja la herramienta suministrada por ETESA con el método de crecidas máximas que nos brinda información de recurrencia de hasta 1 en 100 años, que son los periodos de recurrencia para este tipo de estructura.

### 4.1.1. Método de Crecidas Máximas

Se utilizan las ecuaciones presentes en el estudio "Análisis Regional de Crecidas Máximas" desarrollado por Lavalin International en 1986 para el IRHE y actualizado por ETESA en el año 2008.

De acuerdo a la zona de estudio de la figura 3, Río Tubré y sus drenajes pertenecen a la Cuenca No. 105 (Cuenca del río Coclé del Norte), por lo que según el mapa regional de crecidas máximas pertenece a la Zona 3 (Figura 3).



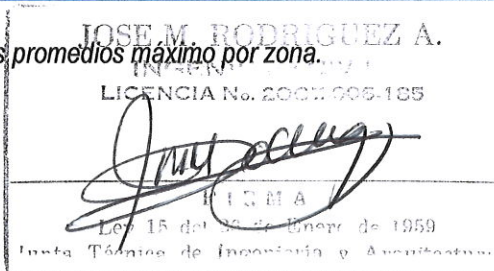


En la figura 2 podemos identificar claramente la microcuenca que interactúan en la zona del proyecto. Se realizará un análisis de la cuenca con un área de 1.72 km<sup>2</sup>, siendo esta la cuenca que aporta directamente al Río Tubré que cruza el proyecto.

- Para determinar el Q<sub>máx</sub> se deben seguir los siguientes pasos:
- Identificación de la zona, en el mapa de regiones hidrológicamente homogéneas. (figura 3)
- Selección de la Ecuación para los caudales promedio y distribución de Frecuencia. (figura 4)
- Amplificación caudal promedio según el periodo de retorno y la tabla de frecuencia (figura 5)

| Zona | Número de ecuación | Ecuación                | Distribución de frecuencia |
|------|--------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1    | 1                  | $Q_{máx} = 34A^{0.59}$  | Tabla # 1                  |
| 2    | 1                  | $Q_{máx} = 34A^{0.59}$  | Tabla # 3                  |
| 3    | 2                  | $Q_{máx} = 25A^{0.59}$  | Tabla # 1                  |
| 4    | 2                  | $Q_{máx} = 25A^{0.59}$  | Tabla # 4                  |
| 5    | 3                  | $Q_{máx} = 14A^{0.59}$  | Tabla # 1                  |
| 6    | 3                  | $Q_{máx} = 14A^{0.59}$  | Tabla # 2                  |
| 7    | 4                  | $Q_{máx} = 9A^{0.59}$   | Tabla # 3                  |
| 8    | 5                  | $Q_{máx} = 4.5A^{0.59}$ | Tabla # 3                  |
| 9    | 2                  | $Q_{máx} = 25A^{0.59}$  | Tabla # 3                  |

Figura 4 Caudales promedios máximo por zona.



| Factores $Q_{m\acute{a}x}/Q_{prom.m\acute{a}x}$ para distintos Tr. |           |           |           |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tr, años                                                           | Tabla # 1 | Tabla # 2 | Tabla # 3 | Tabla # 4 |
| 1.005                                                              | 0.28      | 0.29      | 0.3       | 0.34      |
| 1.05                                                               | 0.43      | 0.44      | 0.45      | 0.49      |
| 1.25                                                               | 0.62      | 0.63      | 0.64      | 0.67      |
| 2                                                                  | 0.92      | 0.93      | 0.92      | 0.93      |
| 5                                                                  | 1.36      | 1.35      | 1.32      | 1.30      |
| 10                                                                 | 1.66      | 1.64      | 1.6       | 1.55      |
| 20                                                                 | 1.96      | 1.94      | 1.88      | 1.78      |
| 50                                                                 | 2.37      | 2.32      | 2.24      | 2.10      |
| 100                                                                | 2.68      | 2.64      | 2.53      | 2.33      |
| 1,000                                                              | 3.81      | 3.71      | 3.53      | 3.14      |
| 10,000                                                             | 5.05      | 5.48      | 4.6       | 4.00      |

Figura 5. Factores para diferentes periodos de retornos.

Reemplazando las áreas de las microcuencas en las ecuaciones de la tabla 4 y tabla 5:

| CUENCA    |             |      |                      |
|-----------|-------------|------|----------------------|
| RIO TUBRÉ |             |      |                      |
| A=        | 1.7233319   | Km2  |                      |
| Qmax      | 34.46653903 | m3/s | Ecuación 2 fig 4     |
| Q100 =    | 92.37032459 | m3/s | Factor tabla 1 fig 5 |

Figura 6 caudales microcuenca

Con este procedimiento presentado en la figura 6 se obtiene el Caudal de diseño esperado, el periodo de retorno para estructuras de 1 en 100 años y el Caudal es de 92.37 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.2. Simulación Hidráulica

Para la simulación hidráulica se utilizan varias herramientas de ayuda y de cálculo como son la obtención de la geometría con el Civil 3d, posteriormente se usa el Hec-Ras para los cálculos hidráulicos.

Se han contemplado dos escenarios de cálculo, el primero es la modelación del cauce natural sin la obra de drenaje y posteriormente el cálculo incluyendo el puente en las estaciones indicadas.

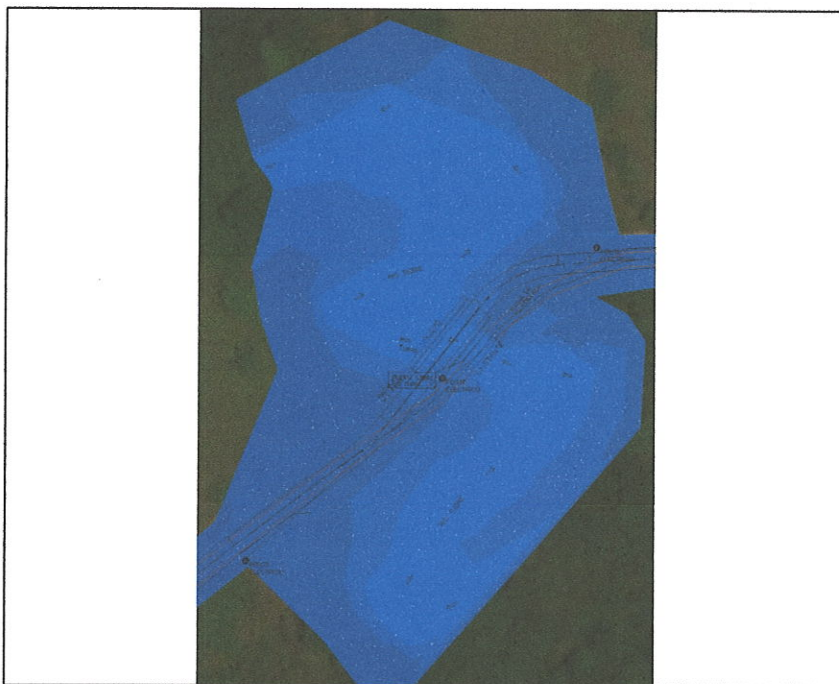
En esta sección se presentan los resultados obtenidos luego de la simulación hidráulica con HEC-RAS, en un tramo de aproximadamente 300 metros del Río Tubré, para estimar el tirante hidráulico en las secciones transversales utilizadas para la recurrencia de 1 en 100 años.

JOSE M. RODRIGUEZ A.  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2007-006-185  
*[Firma]*  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de Enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

#### 4.2.1. Geometría de Cauce natural.

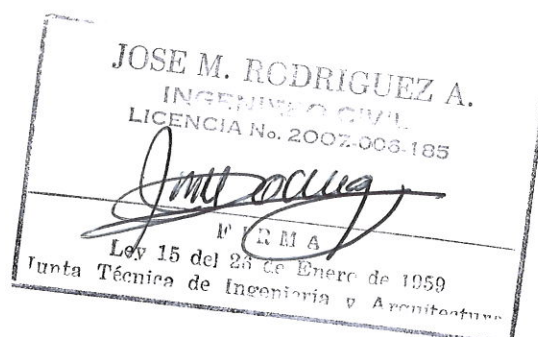
Para generar las secciones transversales parte del insumo en el modelo hidráulico Hec-RAS, se utilizó levantamientos topográficos con puntos de control asociados al datum WGS84, esta data permite generar un modelo de elevación en base a las curvas del nivel en el área de estudio, para el debido proceso se utilizó el civil 3d para la obtención de las superficies.

Posterior a esto se usan las diversas herramientas del Civil 3d para identificar el Cauce central y posteriormente las secciones transversales. Esta información se exporta al modelo HEC-RAS con la herramienta exportar a HEC-RAS, para obtener un archivo gis el cual se introduce como input inicial al modelo.



*Figura No. 7. Generación de Surface para construir Secciones Transversales.*

Una vez calibrada la posición de las secciones se puede proceder a introducir la data inicial donde podremos ver la geometría completa del cauce tanto en planta, perfil y secciones.



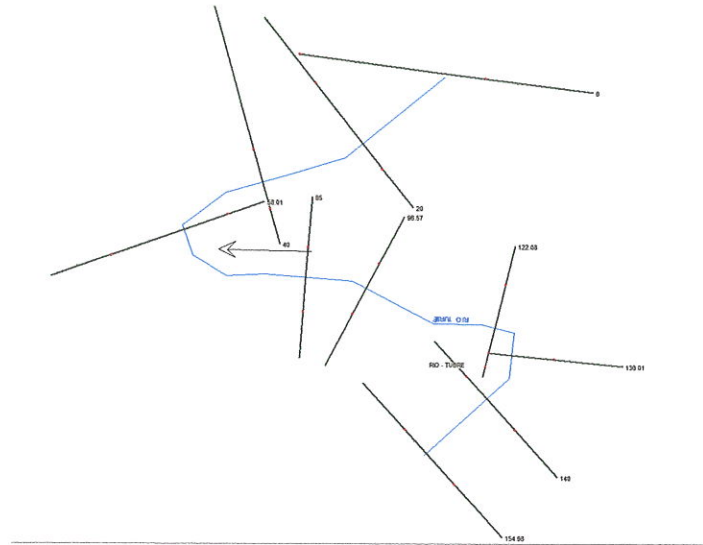


Figura No. 8. Planta Geométrica modelo hec ras

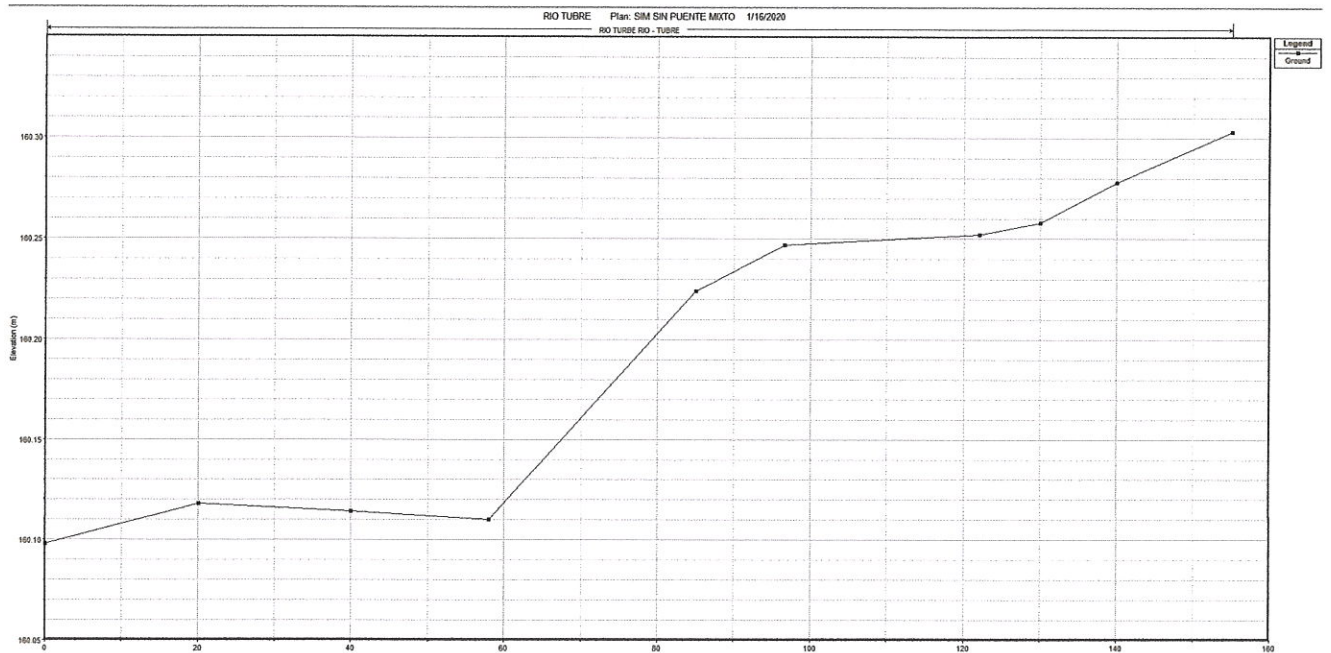
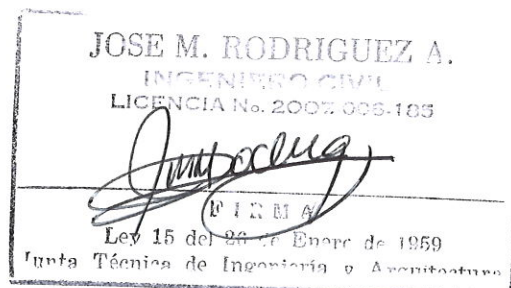


Figura No. 9. Perfil Geométrico modelo hec ras



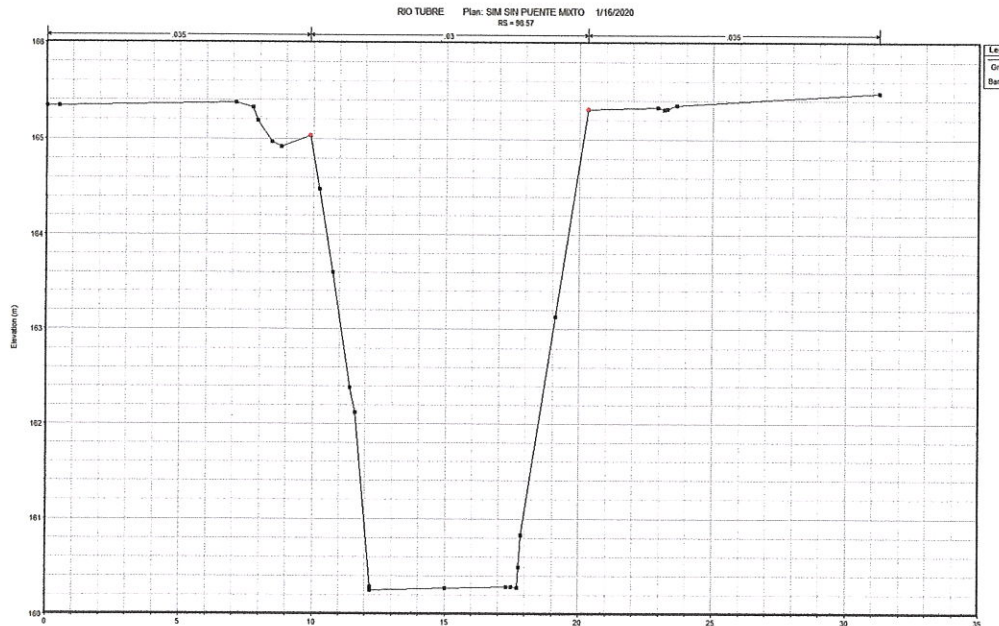
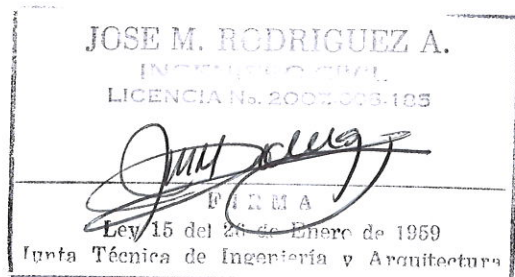


Figura No. 10. Sección Transversal modelo hec ras, (aguas arriba del puente)

Posterior a la importación de la Geometría del cauce se debe completar la información Geométrica como la ubicación de las riveras del río (Bank Station) y posteriormente la distribución de las rugosidades de Manning en la sección transversal.

Para la determinación de las rugosidades de Manning se utilizaron fotos aéreas tomadas con la base de datos de Autodesk, además de la inspección visual del área. La inclusión de estas imágenes actualizadas es de gran utilidad para determinar ciertos parámetros y son de ayuda para los criterios de selección.



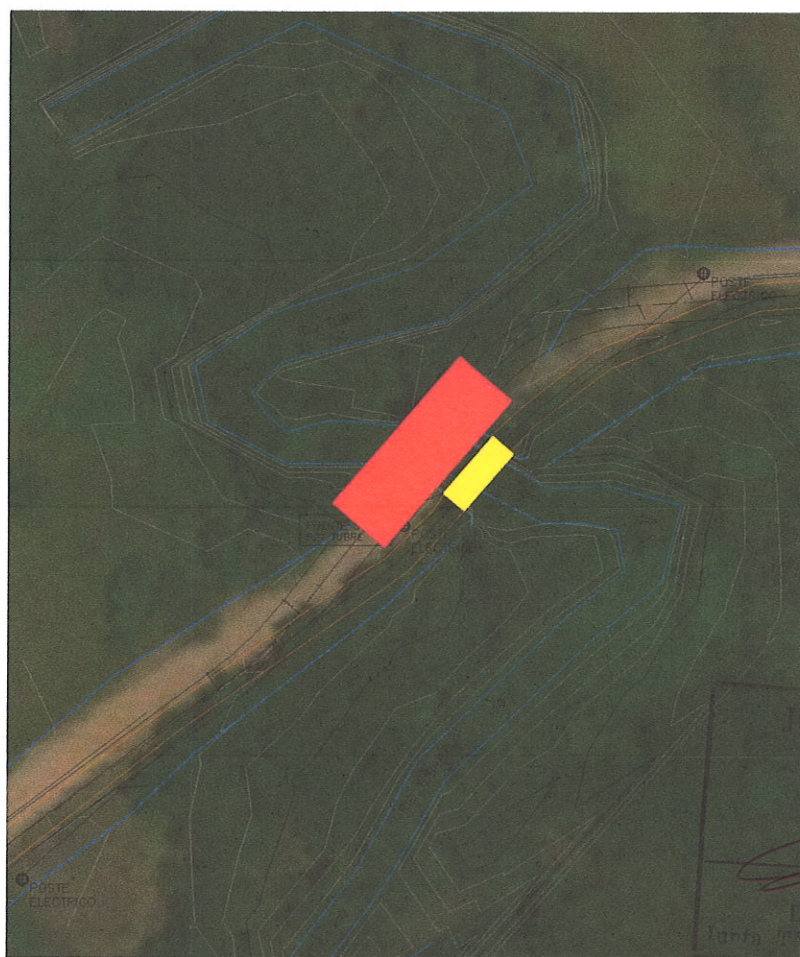


Figura No. 11. Imagen con Satelital de la zona de estudio.

Con la ayuda de esta imagen se pueden comprobar visualmente los puntos tomados con topografía para la definición de los bancos derechos e izquierdo además podemos revisar la distribución de las características del terreno a lo largo del tramo a estudiar.

Con lo que podemos visualizar varios tipos de características de suelo, en la figura 11 podemos ver un cauce limpio en toda la zona de estudio, además se puede ver una canalización aguas debajo de la zona de estudio.

Vemos que los márgenes son tipo Yermos o zonas descubiertas por las urbanizaciones aledañas. Podremos caracterizar las diferentes zonas de derrame además de los fondos del cauce.

En el anexo 1 Tablas de Manning podremos verificar las diferentes rugosidades utilizadas.

| Izquierdo |       | Canal principal |       | Derecho |       |
|-----------|-------|-----------------|-------|---------|-------|
| 0-350     | 0.035 | 0-350           | 0.030 | 0-350   | 0.035 |

Tabla 2. Distribución de Rugosidades.

#### 4.2.2. Datos Hidráulicos Múltiples y Simulación.

##### 4.2.2.1. Caudales:

La definición de datos hidráulicos en régimen permanente se realiza en el editor de flujo y se accede en el Steady Flow Data, donde se introduce el caudal calculado en la tabla 1.

##### 4.2.2.2. Condiciones de Contorno:

Para completar la definición hidráulica del modelo queda establecer sus condiciones de contorno, es decir aquellos parámetros que permitan resolver el modelo en sus extremos aguas arriba y aguas abajo. Para ello, se debe seleccionar el reach boundary condition.

La condición de contorno disponible para el régimen de flujo asumido es la pendiente de la sección aguas arriba para la condición de calado normal y la pendiente aguas abajo par la condición de calado normal, esto es asumiendo un flujo mixto.

La pendiente de aguas arriba es de  $S=0.0017$  m/m, pendientes aguas abajo es de  $S=0.0014$  m/m

##### 4.2.2.3. Simulación Hidráulica:

La simulación se realiza en Régimen permanente, con lo que debemos acceder al gestor de simulaciones e indicar el régimen de flujo según el número de Froude y la condición cambiante del cauce, se le debe indicar que calcule al yc.

##### 4.2.3. Inclusión de la Estructura:

En base a la Geometría y el análisis anterior para el cauce natural se procede a establecer los parámetros necesarios para definir la estructura del puente en el proyecto.

La definición de la Estructura se basa en el trazo del camino nuevo y los niveles de movimiento de tierra, este es un proceso iterativo el cual ahora dependerá del nivel de cota que arroje nuestro análisis corregido.

En primer lugar se proyecta una restante con los niveles seguros obtenidos con los cálculos del cauce natural de la sección anterior. El viaducto posee la siguiente Geometría

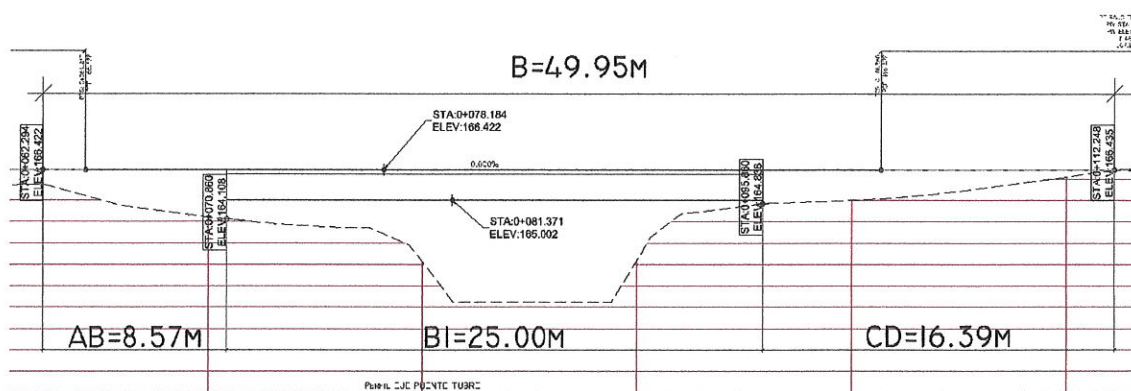
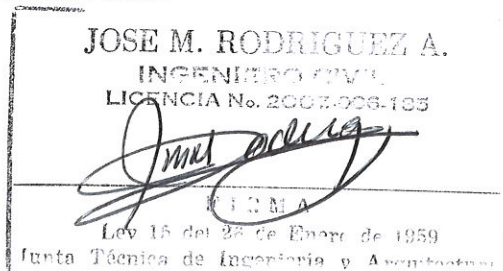
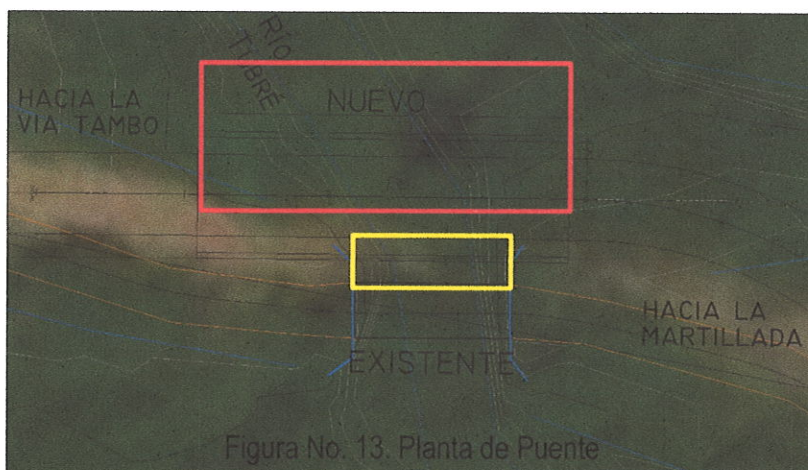


Figura No. 12. Perfil de Puente.



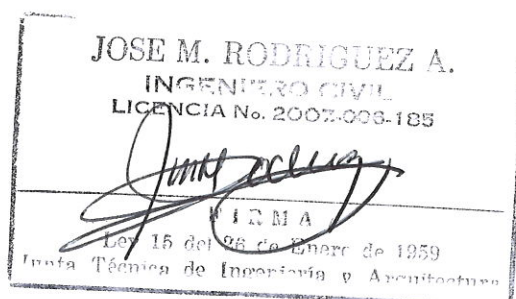


Se trata de un puente con una luz de 25.00 m. La orientación del puente es normal con respecto al curso de agua, pero para la simulación procedemos a colocar la sección transversal al eje del curso de agua con esto vamos del lado conservador del análisis.

Los procesos para la definición de la estructura los describimos a continuación

#### 4.2.3.1. Esquema de ámbito:

Cualquier viaducto u obra de drenaje conlleva la definición de un ámbito de influencia asociado al mismo, que comprende una cierta longitud del cauce a modelar, según el siguiente esquema:



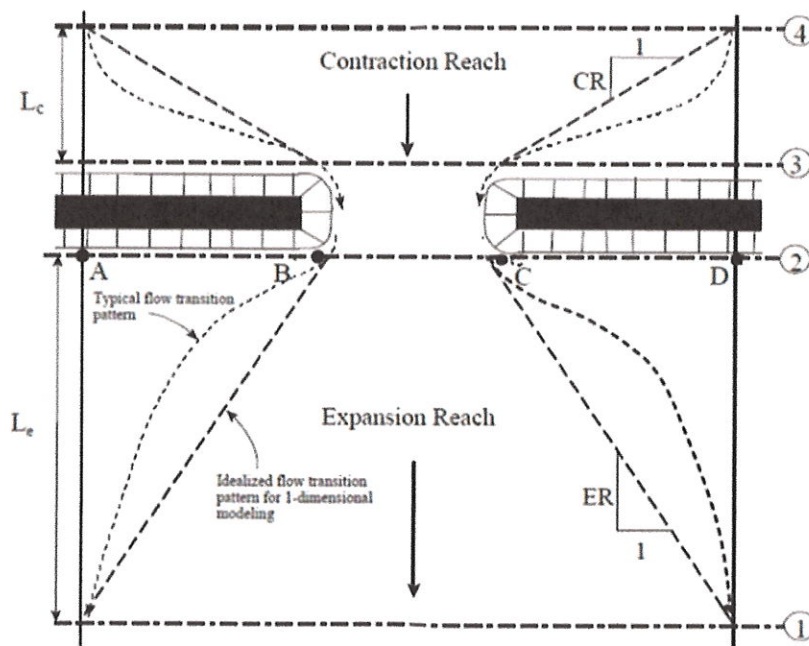


Figure 6-11 Cross Section Locations at a Bridge or Culvert

Figura No. 14. Esquema de Influencia

Así pues, son necesarias 4 secciones para definir correctamente un viaducto o una obra de drenaje. Estas secciones se identifican numéricamente de manera decreciente según el sentido del flujo. Como se observa en el esquema, el elemento en si se ubica entre las secciones 3 y 2, mientras que el límite del ámbito de influencia del elemento lo determinan las secciones 4 y 1.

Entre las secciones 4 y 3 se produce una contracción de flujo durante una longitud determinada, mientras que entre las secciones 2 y 1 el flujo se expande a lo largo de una longitud de expansión hasta alcanzar de nuevo el ancho efectivo de cauce.

#### 4.2.3.2. Longitudes de contracción y Expansión.

A continuación, las tablas de los rangos de contracción y expansión.

Table B-3 Ranges of Contraction Ratios (CR)

|               | nob / nc = 1 | nob / nc = 2 | nob / nc = 4 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| S = 1 ft/mile | 1.0 - 2.3    | 0.8 - 1.7    | 0.7 - 1.3    |
| 5 ft/mile     | 1.0 - 1.9    | 0.8 - 1.5    | 0.7 - 1.2    |
| 10 ft/mile    | 1.0 - 1.9    | 0.8 - 1.4    | 0.7 - 1.2    |

JOSE M. RODRIGUEZ A.

INGENIERO CIVIL

LICENCIA No. 2002-026-185

FIRMA

Lev 15 del 26 de Enero de 1959

Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Figura No. 15. Coeficiente de Contracción

Table 6-1 Ranges of Expansion Ratios

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

Figura No. 16. Coeficiente de Expansión

Las longitudes de contracción y expansión se obtienen a partir de las siguientes expresiones.

$$L_c = CR * L_{obs} \quad (4.1)$$

$$L_e = ER * L_{obs} \quad (4.1)$$

Donde:

Lobs= La obstrucción media del elemento (media entre AB y CD, fig. 14)

CR= Radio de contracción, fig. 15

ER= Radio de expansión, fig.16

nob= Manning en los overbanks sección de referencia S3

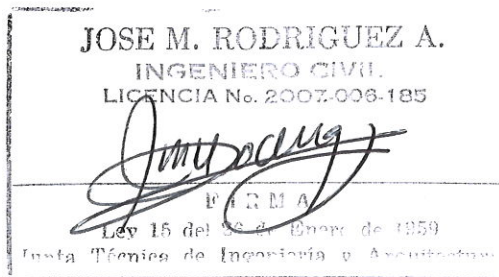
nc= Manning en el canal sección de referencia S3

S= So x 52880 pie/Milla

So= Pendiente de la sección de referencia S3, aguas arriba (contracción), Aguas abajo (Expansión)

b= ancho de la infraestructura

B=ancho total de la infraestructura



Aplicando la formulación en el anexo 2 se presentan los cálculos para obtener las secciones de control de la estructura

|                   | S4     | S3    | S2    | S1    |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|
| Viaducto hormigón | 122.80 | 96.57 | 106.7 | 72.84 |

Tabla 3. Secciones de control viaducto.

#### 4.2.3.3. Creación de la Geometría de las secciones.

Con la información anterior se puede generar de manera manual o con el Hec Ras las secciones S1,S2,S3,S4. Se deben usar las herramientas de interpolación de secciones para producir las secciones de control de la estructura. Al final tenemos la siguiente geometría del modelo.

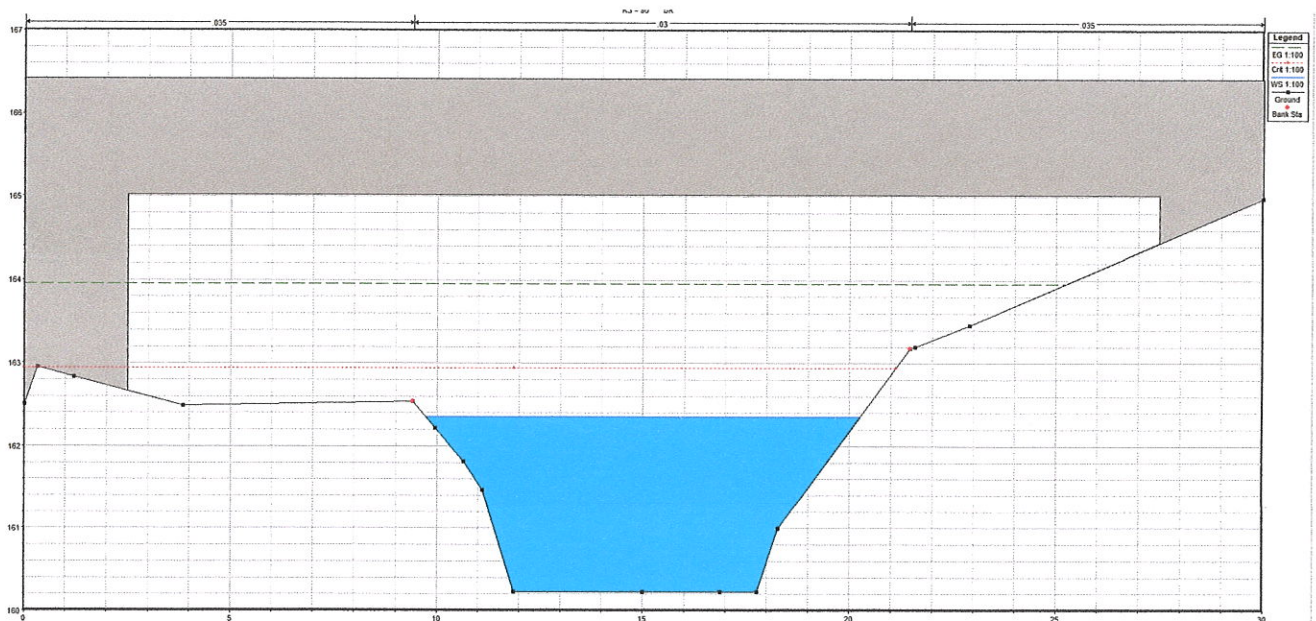


Figura No. 17. Geometría de la Estructura.

#### 4.2.3.4. Coeficientes de contracción y expansión

A lo largo de las etapas establecidas anteriormente y entre las secciones definidas se produce una contracción y una expansión del flujo antes y después de la infraestructura. Estos fenómenos

implican unas pérdidas de energía que el programa determina a partir de unos coeficientes, que se muestran en la siguiente tabla :

*Subcritical Flow Contraction and Expansion Coefficients*

|                             | Contraction | Expansion |
|-----------------------------|-------------|-----------|
| No transition loss computed | 0.0         | 0.0       |
| Gradual transitions         | 0.1         | 0.3       |
| Typical Bridge sections     | 0.3         | 0.5       |
| Abrupt transitions          | 0.6         | 0.8       |

*Figura No. 18. Coeficientes de Expansión o contracción*

Estos coeficientes se aplican en el cálculo de las variaciones de velocidad entre secciones, aplicándola a la sección aguas arriba de un tramo entre dos secciones. Así, los coeficientes relativos a la contracción y expansión de flujo se definirán en las secciones S4, S3, S2 de la infraestructura.

#### 4.2.3.5. Criterio hidráulico de viaductos

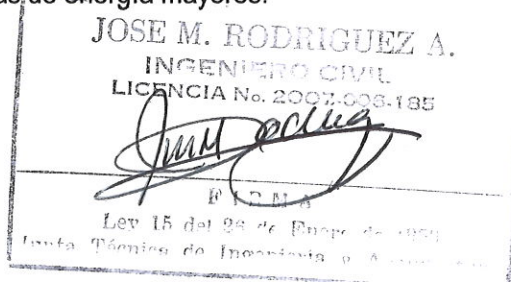
Con el Hec Ras se puede realizar el cálculo hidráulico de los viaductos bajo distintos criterios hidráulicos: Flujo bajo, flujo alto, o ambos.

Se considera flujo bajo cuando el mismo pasa por debajo del tablero, con lo que se considera que se desarrolla por canal en lámina libre. En función del régimen, este flujo bajo será de tipo A, B o C. El programa presenta cuatro métodos de cálculos para flujos bajos: Energía, Momentum, Yarnell y FHWA WSPRO.

El flujo alto se produce cuando la lámina de agua entra en contacto con el punto más elevado de la rasante inferior del tablero de la sección aguas arriba del viaducto. En este caso el programa calcula el flujo por el método de la energía o por el método de presión / vertedero.

Para este diseño se debe considerar un **flujo bajo** para cumplir con lo estipulado con la norma de la república de Panamá donde el fondo de viga debe estar a 1.80 por arriba del NAME.

Los métodos usados para esta modelación son el método de Energía y Momentum y se le indica al programa que escoja el que ofrezca las pérdidas de energía mayores.



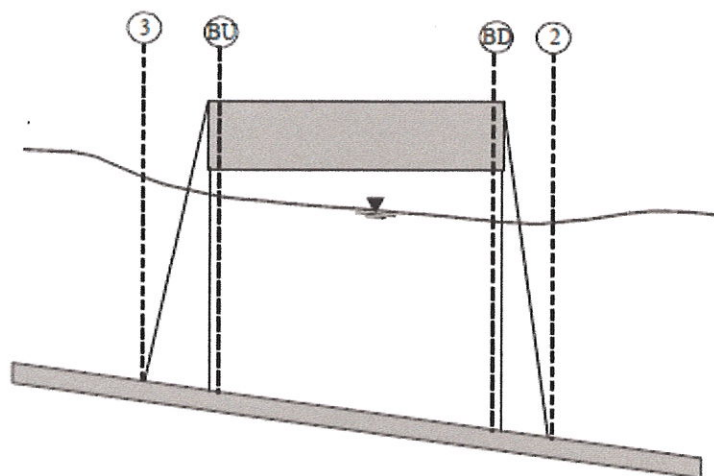


Figura No. 19. Modelo de flujo Bajo

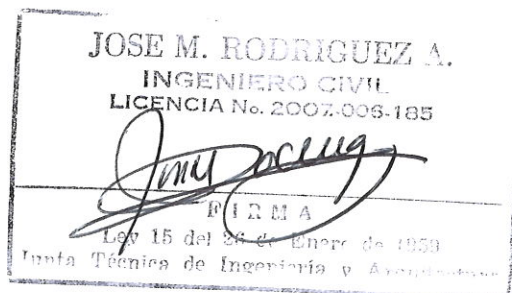
El método de energía es el que realiza el programa por defecto, y considera el paso por el viaducto como si de un canal simple se tratará entre dos secciones. Para ello usa los coeficientes de rugosidad de Manning y de contracción y expansión, calculados en secciones anteriores.

El método de momentum se basa en un balance de la cantidad de movimiento de la sección S2 a la S3 en tres etapas: de S2 a la sección aguas abajo del viaducto, de la sección aguas abajo a la sección aguas arriba, y de la seccionas aguas arriba del viaducto a las S3. Usa coeficientes de rugosidad y de dragado de pilares para determinar las fuerzas de fricción y de dragado de los pilares.

**Typical drag coefficients for various pier shapes**

| Pier Shape                                | Drag Coefficient $C_D$ |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Circular pier                             | 1.20                   |
| Elongated piers with semi-circular ends   | 1.33                   |
| Elliptical piers with 2:1 length to width | 0.60                   |
| Elliptical piers with 4:1 length to width | 0.32                   |
| Elliptical piers with 8:1 length to width | 0.29                   |
| Square nose piers                         | 2.00                   |
| Triangular nose with 30 degree angle      | 1.00                   |
| Triangular nose with 60 degree angle      | 1.39                   |
| Triangular nose with 90 degree angle      | 1.60                   |
| Triangular nose with 120 degree angle     | 1.72                   |

Figura No. 19. Coeficientes de Dragado.



#### 4.2.3.6. Áreas Infectivas de Flujos.

La definición geométrica de un viaducto o de obra de drenaje precisa para completarse la determinación de las áreas infectivas de flujo asociado, que son aquellas que están relacionadas por la ocupación de sección que producen los estribos o el terraplén de esos elementos.

#### 4.2.4. Aplicación Matemática del Método de Energía

El régimen de flujo se caracteriza por la variabilidad de circulación del flujo ya sea en función de la pendiente o de la geometría de las secciones. Es habitual que se produzcan cambios de régimen de subcrítico a supercrítico y viceversa.

Esta variación en la circulación del flujo se conoce como Flujo Gradualmente Variado, en el que el calado varía de forma gradual. De este modo el perfil de la lámina de agua adopta, a lo largo del paso por un canal abierto, unas Curvas de Remanso.

Cuando la transición se efectúa de régimen supercrítico a subcrítico, se produce una curva de remanso que acaba transformándose en un resalto hidráulico. Cuando la transición se realiza de régimen subcrítico a supercrítico se produce una doble curva de remanso para enlazar ambos perfiles.

##### 4.2.4.1. Cauces Naturales

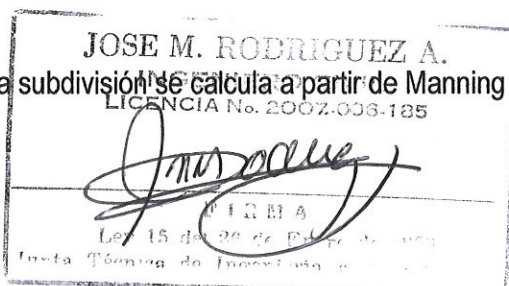
La situación más habitual que un técnico va a tener que modelizar se encuentra en un cauce natural. Éste se caracteriza no sólo por la heterogeneidad de sus pendientes que provocarán un régimen mixto.

Es en los cauces naturales donde entran en juego secciones variables, rugosidades cambiantes, y en los que de una correcta definición geométrica y de parámetros hidráulicos dependerá la obtención de unos resultados válidos.

Por ello, en esta Referencia hidráulica se exponen algunos aspectos relacionados directamente con la realización del cálculo computacional de cauces naturales.

Para obtener la capacidad de transporte total y los coeficientes de velocidad en una sección, HEC-Ras la subdivide en unidades con una distribución de velocidades uniforme en los márgenes de inundación (overbanks).

La capacidad de transporte en cada subdivisión se calcula a partir de Manning como:



$$Q = KS_f^{1/2}$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

con,

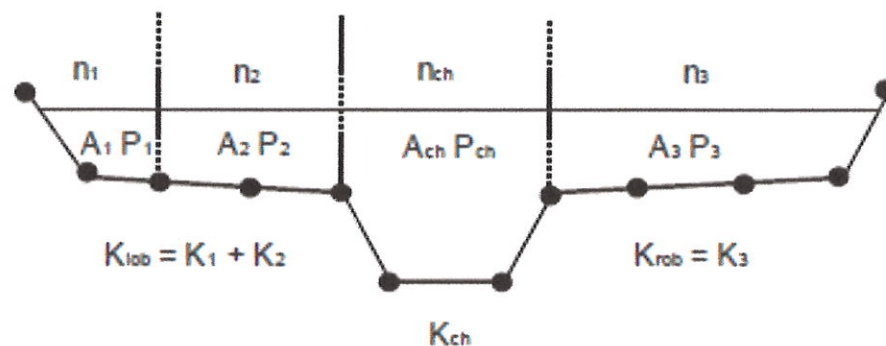
K = capacidad de transporte de la subdivisión

n = coeficiente de rugosidad de Manning de la zona

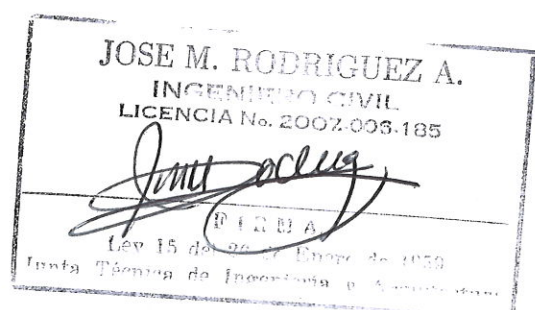
A = Área mojada de la zona

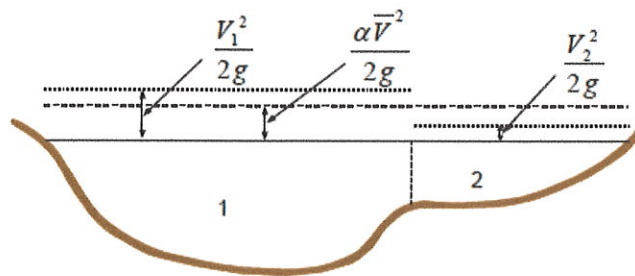
R = radio hidráulico de la zona (división de área mojada entre perímetro mojado)

La capacidad de transporte de los márgenes se obtiene sumando todos los incrementos de las mismas, mientras que la de la sección se obtiene de la suma de las tres partes de la misma: margen izquierdo, canal y margen derecho.



Al tratarse de un programa de modelización unidimensional cuyo resultado es una única lámina de agua, HEC-Ras sólo ofrece como resultado un valor de energía relacionada directamente con el caudal de circulación de flujo por la sección. Así, la energía en una sección cualquiera será obtenida según se muestra en el siguiente esquema (en el que no se ha producido inundación en margen izquierdo).





Para obtener el término cinético se necesita conocer el coeficiente alfa, el cual se calcula igualando el término cinético de la sección con la media ponderada de velocidades según los caudales:

$$a \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

Esta ecuación expresada en forma general queda como:

$$a = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2}$$

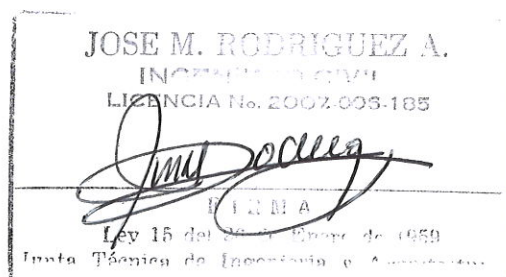
Cuando la lámina de agua pasa por el calado crítico, el programa opta por computar mediante la ecuación del momento al producirse un Flujo Rápidamente Variado. Esta situación se da en los cambios de régimen, lo cual es habitual en los modelos de cauces naturales.

La ecuación del Momento procede de la segunda ley de Newton:

$$\sum F_x = ma$$

Que aplicada al movimiento de una porción de agua entre dos secciones en un instante de tiempo queda como:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \rho \Delta V_x$$



donde,

$P$  = presión hidrostática en secciones 1 y 2 (kN)

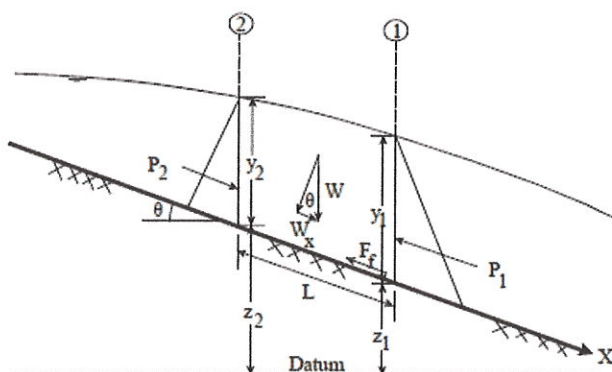
$W_x$  = fuerza debida al peso de la porción de agua en el sentido del flujo (kN)

$F_f$  = fuerza de fricción por flujo desde sección 2 a sección 1 (kN)

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$  = densidad del agua (t/m<sup>3</sup>)

$\Delta V_x$  = incremento de velocidad de secciones 2 a 1 en la dirección del flujo (m/s)



Teniendo en cuenta que:

$$P = \gamma A \bar{Y} \cos \theta$$

$$W_x = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0$$

$$F_f = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \bar{S}_f L$$

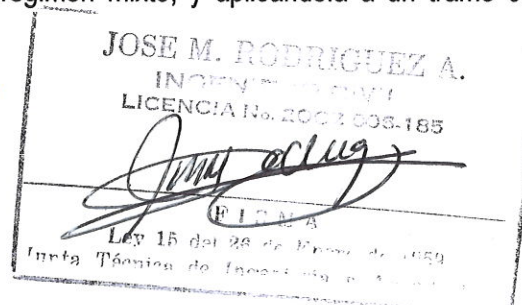
$$ma = \frac{Q \gamma}{g} (\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2)$$

La ecuación del Momento que HEC-Ras desarrolla en sus computaciones queda como:

$$\frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1$$

Para el caso concreto de cálculos de flujo en régimen mixto, y aplicándola a un tramo corto de cauce, la ecuación queda simplificada como:

$$\frac{Q_1^2 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1 = \frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2$$



con,

Q = caudal en cada sección (m<sup>3</sup>/s)

A = Área total de flujo (m<sup>2</sup>)

Y = calado o tirante desde la superficie hasta el centroide del área (m)

g = gravedad

Siendo ambos lados de la ecuación análogos, puede expresarse para cualquier sección de un canal como:

$$SF = \frac{Q^2 \beta}{g A} + A \bar{Y}$$

La primera parte de la ecuación corresponde al término dinámico (momento de flujo que pasa por el canal por unidad de tiempo), y la segunda corresponde al término estático (fuerza ejercida por la presión hidrostática). El resultado es lo que se conoce como Fuerza Específica, la cual aplicada a canales naturales se expresa como:

$$SF = \frac{Q^2 \beta}{g A_m} + A_t \bar{Y}$$

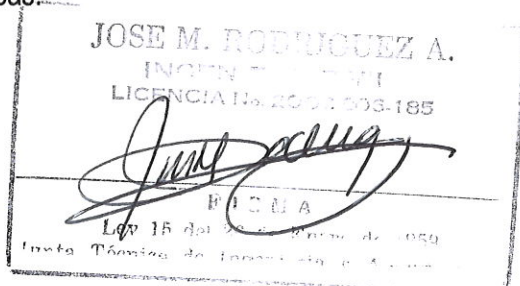
con,

A<sub>w</sub> = Área de flujo donde hay movimiento (m<sup>2</sup>)

A<sub>t</sub> = Área total de flujo incluidas las áreas infectivas. (m<sup>2</sup>)

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se pudieron generar las secciones transversales mediante la aplicación de la herramienta Civil 3d integrada al mosaico topográfico de Tommy Guardia (4242-I Arraiján), para exportar el levantamiento topográfico georreferenciado al modelo Hec-Ras, lo cual le da un aporte muy importante al estudio.
2. El modelo HEC-RAS simula adecuadamente el tránsito del caudal de diseño correspondiente al periodo de retorno de 100 años como lo indica el Ministerio de Obras Publica para obras principales.
3. Los resultados obtenidos en el tramo analizado de Río Tubré indican que las secciones transversales cuentan con la capacidad para un evento con un caudal de y **92.37 m<sup>3</sup>/s** recurrencia de 1 en 100 años.
4. Teniendo como base los resultados del análisis del Cauce natural y con la incorporación de la estructura la misma se desplanta a un nivel superior al nivel de crecidas máximas(NAME) de 163.14 m sobre el nivel del mar, con un nivel de rasante de 166.02 sobre el nivel del mar.
5. Se dimensiona una estructura para el puente de 1.42 m de alto por ende se garantiza los 1.80 entre el nivel inferior de viga y el NAME
6. Se verificaron los niveles de rasante del proyecto la misma están dentro de los parámetros permitidos por el Ministerio de Obras Públicas.



## 6. Recomendaciones

Tomar como referencia los niveles de superficie de agua en cada una de las secciones transversales del tramo simulado de Río Tubré para establecer los niveles seguros dentro de la terracería del proyecto.

Se recomienda implementar señalizaciones en zonas cercanas a la quebrada, para no ingresar a la misma en el momento de registros de lluvia, sobre todo por los registros de lluvia que oscilan entre 4 y 8 m/s.

Implementar los SIG (Sistemas de Información Geográfica), en este tipo de estudios, ya que permite tener una mejor perspectiva espacial de los eventos. Al igual se verificó con mosaicos del Instituto Geográfico Nacional la hoja 4242 III Serie E762.

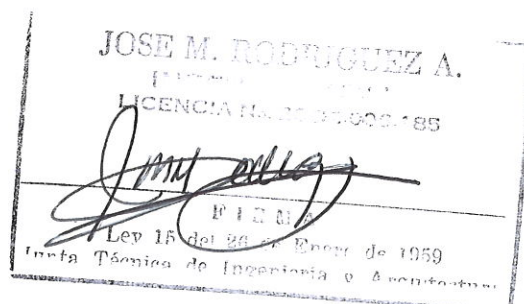
El modelo HEC-RAS simula adecuadamente el tránsito del caudal de diseño correspondiente al periodo de retorno de 100 años para la quebrada Prudente.

Se recomienda dar un mantenimiento continuo a los cursos de agua que bordean el proyecto, para así garantizar un buen funcionamiento de los mismos durante el periodo de vida de los mismos.

En caso de realizar cualquier adecuación al cauce en un futuro, realizar un análisis hidráulico que considere cualquier modificación en términos de aumento o disminución de la capacidad hidráulica del río Tubre

Se recomienda la protección de todos los taludes colindantes a las quebradas para garantizar la integridad de los taludes.

Se recomienda la remoción del vado existente para garantizar el flujo libre aguas debajo del puente proyectado.



JOSE M. RODRIGUEZ A.  
LICENCIA N.º 185  
Firma  
Ley 15 del 29 de Enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Chow, V. T., D. R. Maidment y L. W. Mays, 1988.  
Applied Hydrology. McGraw-Hill publishing co., New York.

Chow, V. T., 1994. Hidráulica de Canales Abiertos.  
McGraw-Hill Interamericana, S.A.

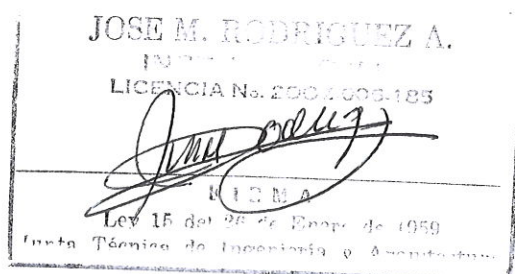
González, Diego A., 2008, Análisis de Crecidas Máximas en Panamá,  
ETESA, Panamá.

USACE, 2008, HEC-RAS 4.0 River analysis system user's manual.  
Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

USACE, 2008, HEC-RAS 4.0 River Analysis System Hydraulic Reference Manual.  
Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.

Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. Departamento de Hidrometeorología, Análisis  
Regional de Crecidas Máximas en Panamá, 2008.

Manual de Aprobación de Planos. Ministerio de Obras Públicas, 2002.



**ANEXO A**  
**TABLAS DE MANNING**

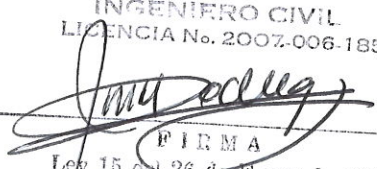
JOSE M. RODRIGUEZ A.  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2007-006-185  
  
FIRMA  
Ley 15 del 26 de Enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

Table 3-1 Manning's 'n' Values

| Type of Channel and Description                                                                                    | Minimum | Normal | Maximum |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|---------|
| <b>A. Natural Streams</b>                                                                                          |         |        |         |
| <b>1. Main Channels</b>                                                                                            |         |        |         |
| a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools                                                                   | 0.025   | 0.030  | 0.033   |
| b. Same as above, but more stones and weeds                                                                        | 0.030   | 0.035  | 0.040   |
| c. Clean, winding, some pools and shoals                                                                           | 0.033   | 0.040  | 0.045   |
| d. Same as above, but some weeds and stones                                                                        | 0.035   | 0.045  | 0.050   |
| e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections                                               | 0.040   | 0.048  | 0.055   |
| f. Same as "d" but more stones                                                                                     | 0.045   | 0.050  | 0.060   |
| g. Sluggish reaches, weedy, deep pools                                                                             | 0.050   | 0.070  | 0.080   |
| h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush                              | 0.070   | 0.100  | 0.150   |
| <b>2. Flood Plains</b>                                                                                             |         |        |         |
| a. Pasture no brush                                                                                                | 0.025   | 0.030  | 0.035   |
| 1. Short grass                                                                                                     | 0.030   | 0.035  | 0.050   |
| 2. High grass                                                                                                      |         |        |         |
| b. Cultivated areas                                                                                                | 0.020   | 0.030  | 0.040   |
| 1. No crop                                                                                                         | 0.025   | 0.035  | 0.045   |
| 2. Mature row crops                                                                                                | 0.030   | 0.040  | 0.050   |
| 3. Mature field crops                                                                                              |         |        |         |
| c. Brush                                                                                                           | 0.035   | 0.050  | 0.070   |
| 1. Scattered brush, heavy weeds                                                                                    | 0.035   | 0.050  | 0.060   |
| 2. Light brush and trees, in winter                                                                                | 0.040   | 0.060  | 0.080   |
| 3. Light brush and trees, in summer                                                                                | 0.045   | 0.070  | 0.110   |
| 4. Medium to dense brush, in winter                                                                                | 0.070   | 0.100  | 0.160   |
| 5. Medium to dense brush, in summer                                                                                |         |        |         |
| d. Trees                                                                                                           | 0.030   | 0.040  | 0.050   |
| 1. Cleared land with tree stumps, no sprouts                                                                       | 0.050   | 0.060  | 0.080   |
| 2. Same as above, but heavy sprouts                                                                                | 0.080   | 0.100  | 0.120   |
| 3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches                                  | 0.100   | 0.120  | 0.160   |
| 4. Same as above, but with flow into branches                                                                      |         |        |         |
| 5. Dense willows, summer, straight                                                                                 | 0.110   | 0.150  | 0.200   |
| <b>3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged</b> |         |        |         |
| a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders                                                                      | 0.030   | 0.040  | 0.050   |
| b. Bottom: cobbles with large boulders                                                                             | 0.040   | 0.050  | 0.070   |

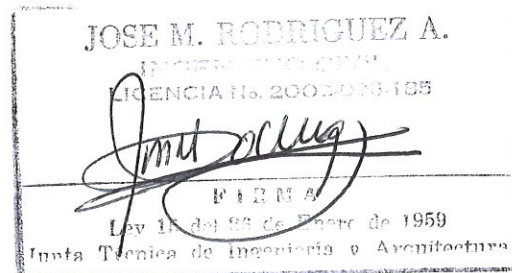


Table 3-1 (Continued) Manning's 'n' Values

| Type of Channel and Description                         | Minimum | Normal | Maximum |
|---------------------------------------------------------|---------|--------|---------|
| <b>B. Lined or Built-Up Channels</b>                    |         |        |         |
| <b>1. Concrete</b>                                      |         |        |         |
| a. Trowel finish                                        | 0.011   | 0.013  | 0.015   |
| b. Float Finish                                         | 0.013   | 0.015  | 0.016   |
| c. Finished, with gravel bottom                         | 0.015   | 0.017  | 0.020   |
| d. Unfinished                                           | 0.014   | 0.017  | 0.020   |
| e. Gunite, good section                                 | 0.016   | 0.019  | 0.023   |
| f. Gunite, wavy section                                 | 0.018   | 0.022  | 0.025   |
| g. On good excavated rock                               | 0.017   | 0.020  |         |
| h. On irregular excavated rock                          | 0.022   | 0.027  |         |
| <b>2. Concrete bottom float finished with sides of:</b> |         |        |         |
| a. Dressed stone in mortar                              | 0.015   | 0.017  | 0.020   |
| b. Random stone in mortar                               | 0.017   | 0.020  | 0.024   |
| c. Cement rubble masonry, plastered                     | 0.016   | 0.020  | 0.024   |
| d. Cement rubble masonry                                | 0.020   | 0.025  | 0.030   |
| e. Dry rubble on riprap                                 | 0.020   | 0.030  | 0.035   |
| <b>3. Gravel bottom with sides of:</b>                  |         |        |         |
| a. Formed concrete                                      | 0.017   | 0.020  | 0.025   |
| b. Random stone in mortar                               | 0.020   | 0.023  | 0.026   |
| c. Dry rubble or riprap                                 | 0.023   | 0.033  | 0.036   |
| <b>4. Brick</b>                                         |         |        |         |
| a. Glazed                                               | 0.011   | 0.013  | 0.015   |
| b. In cement mortar                                     | 0.012   | 0.015  | 0.018   |
| <b>5. Metal</b>                                         |         |        |         |
| a. Smooth steel surfaces                                | 0.011   | 0.012  | 0.014   |
| b. Corrugated metal                                     | 0.021   | 0.025  | 0.030   |
| <b>6. Asphalt</b>                                       |         |        |         |
| a. Smooth                                               | 0.013   | 0.013  |         |
| b. Rough                                                | 0.016   | 0.016  |         |
| <b>7. Vegetal lining</b>                                | 0.030   |        | 0.500   |

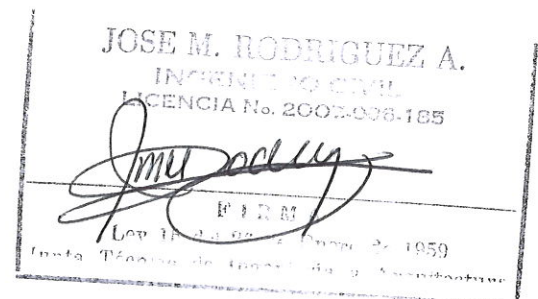
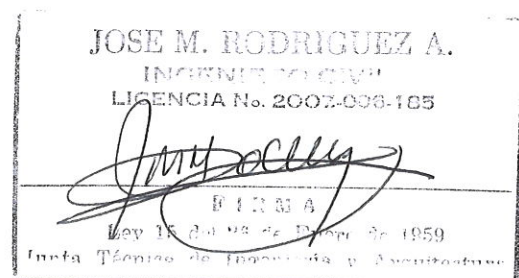


Table 3-1 (Continued) Manning's 'n' Values

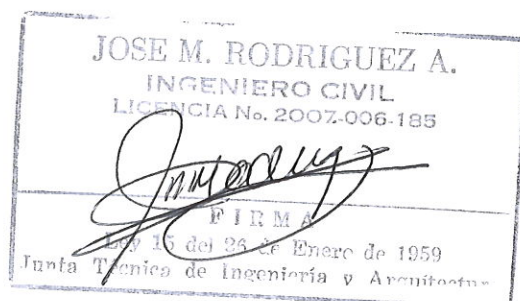
| Type of Channel and Description                    | Minimum | Normal | Maximum |
|----------------------------------------------------|---------|--------|---------|
| <i>C. Excavated or Dredged Channels</i>            |         |        |         |
| <b>1. Earth, straight and uniform</b>              |         |        |         |
| a. Clean, recently completed                       | 0.016   | 0.018  | 0.020   |
| b. Clean, after weathering                         | 0.018   | 0.022  | 0.025   |
| c. Gravel, uniform section, clean                  | 0.022   | 0.025  | 0.030   |
| d. With short grass, few weeds                     | 0.022   | 0.027  | 0.033   |
| <b>2. Earth, winding and sluggish</b>              |         |        |         |
| a. No vegetation                                   | 0.023   | 0.025  | 0.030   |
| b. Grass, some weeds                               | 0.025   | 0.030  | 0.033   |
| c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels  | 0.030   | 0.035  | 0.040   |
| d. Earth bottom and rubble side                    | 0.028   | 0.030  | 0.035   |
| e. Stony bottom and weedy banks                    | 0.025   | 0.035  | 0.040   |
| f. Cobble bottom and clean sides                   | 0.030   | 0.040  | 0.050   |
| <b>3. Dragline-excavated or dredged</b>            |         |        |         |
| a. No vegetation                                   | 0.025   | 0.028  | 0.033   |
| b. Light brush on banks                            | 0.035   | 0.050  | 0.060   |
| <b>4. Rock cuts</b>                                |         |        |         |
| a. Smooth and uniform                              | 0.025   | 0.035  | 0.040   |
| b. Jagged and irregular                            | 0.035   | 0.040  | 0.050   |
| <b>5. Channels not maintained, weeds and brush</b> |         |        |         |
| a. Clean bottom, brush on sides                    | 0.040   | 0.050  | 0.080   |
| b. Same as above, highest stage of flow            | 0.045   | 0.070  | 0.110   |
| c. Dense weeds, high as flow depth                 | 0.050   | 0.080  | 0.120   |
| d. Dense brush, high stage                         | 0.080   | 0.100  | 0.140   |

Other sources that include pictures of selected streams as a guide to *n* value determination are available (Fasken, 1963; Barnes, 1967; and Hicks and Mason, 1991). In general, these references provide color photos with tables of calibrated *n* values for a range of flows.

Although there are many factors that affect the selection of the *n* value for the channel, some of the most important factors are the type and size of materials that compose the bed and banks of a channel, and the shape of the channel. Cowan (1956) developed a procedure for estimating the effects of these factors to determine the value of Manning's *n* of a channel. In Cowan's procedure, the value of *n* is computed by the following equation:



**ANEXO B**  
**CÁLCULO DE LONGITUDES DE EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN**



| CUENCA                               |             |      |                  |
|--------------------------------------|-------------|------|------------------|
| RIO TUBRÉ                            |             |      |                  |
| A=                                   | 1.7233319   | Km2  |                  |
| Qmax                                 | 34.46653903 | m3/s | Ecuación 2 fig 4 |
| Q100 =                               | 92.37032459 | m3/s | Factor table 1   |
| CONDICIONES DE CONTORNO AGUAS ABAJO  |             |      |                  |
| Y1                                   | 160.09      |      |                  |
| Y2                                   | 160.118     |      |                  |
| EST 1                                | 0           |      |                  |
| EST 2                                | 20          |      |                  |
| PENDIENTE AGUAS ABAJO                | 0.0014      | m/m  |                  |
| CONDICIONES DE CONTORNO AGUAS ARRIBA |             |      |                  |
| Y1                                   | 160.278     |      |                  |
| Y2                                   | 160.303     |      |                  |
| EST 1                                | 140         |      |                  |
| EST 2                                | 154.98      |      |                  |
| PENDIENTE AGUAS ABAJO                | 0.0017      | m/m  |                  |
| AMBITO DE LA ESTRUCTURA              |             |      |                  |

JOSE M. RODRIGUEZ A.  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2007-006-185

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

|          | S3-tablero | ancho Tablero | Est-S2 | Dist total |
|----------|------------|---------------|--------|------------|
| Viaducto | 1          | 9.8           | 1      | 11.8       |

#### LONGITUDES DE OBSTRUCCION LOBS

|          | AB   | CD    | LOBS   |
|----------|------|-------|--------|
| Viaducto | 8.57 | 16.39 | 16.765 |

#### REALCIONES DE RUGOSIDADES

|        | nlob  | nrob  | nc   | nob/nc |
|--------|-------|-------|------|--------|
| s3=S95 | 0.035 | 0.035 | 0.03 | 1      |

#### PENDIENTES DE LOS TRAMOS DE CONTRACCION Y EXPACION DEL FLUJO EN BASE A LA S3

|                   | S0     | S      |
|-------------------|--------|--------|
| S3-S AGUAS ARRIBA | 0.0009 | 4.752  |
| S3-AGAUAS ABAJO   | 0.0038 | 20.064 |

#### RADIO DE OBSTRUCCION DE PASO DEL FLUJO

|          | B1 | B     | B1/B |
|----------|----|-------|------|
| VIADUCTO | 25 | 49.95 | 0.50 |

#### RADIOS DE CONTRACCION CR

|          | CR  | LC      |
|----------|-----|---------|
| VIADUCTO | 1.9 | 31.8535 |

#### RADIOS DE EXPANCION CR

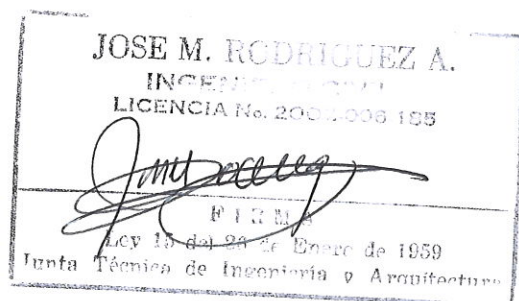
|          |    |       |
|----------|----|-------|
|          | ER | LE    |
| VIADUCTO | 2  | 33.53 |

**ESTACIONES DE LAS LONGITUDES DE EXPACION Y CONTRACCION**

| VIADUCTO | S4       | S3    | S2     | S1    |
|----------|----------|-------|--------|-------|
| ESTACION | 128.4235 | 96.57 | 106.37 | 72.84 |

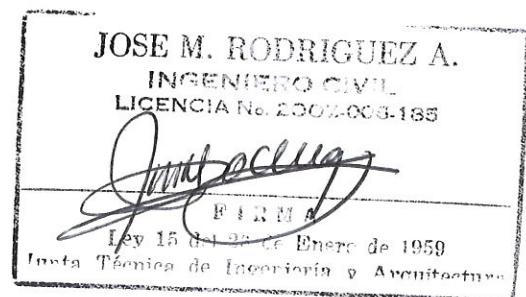


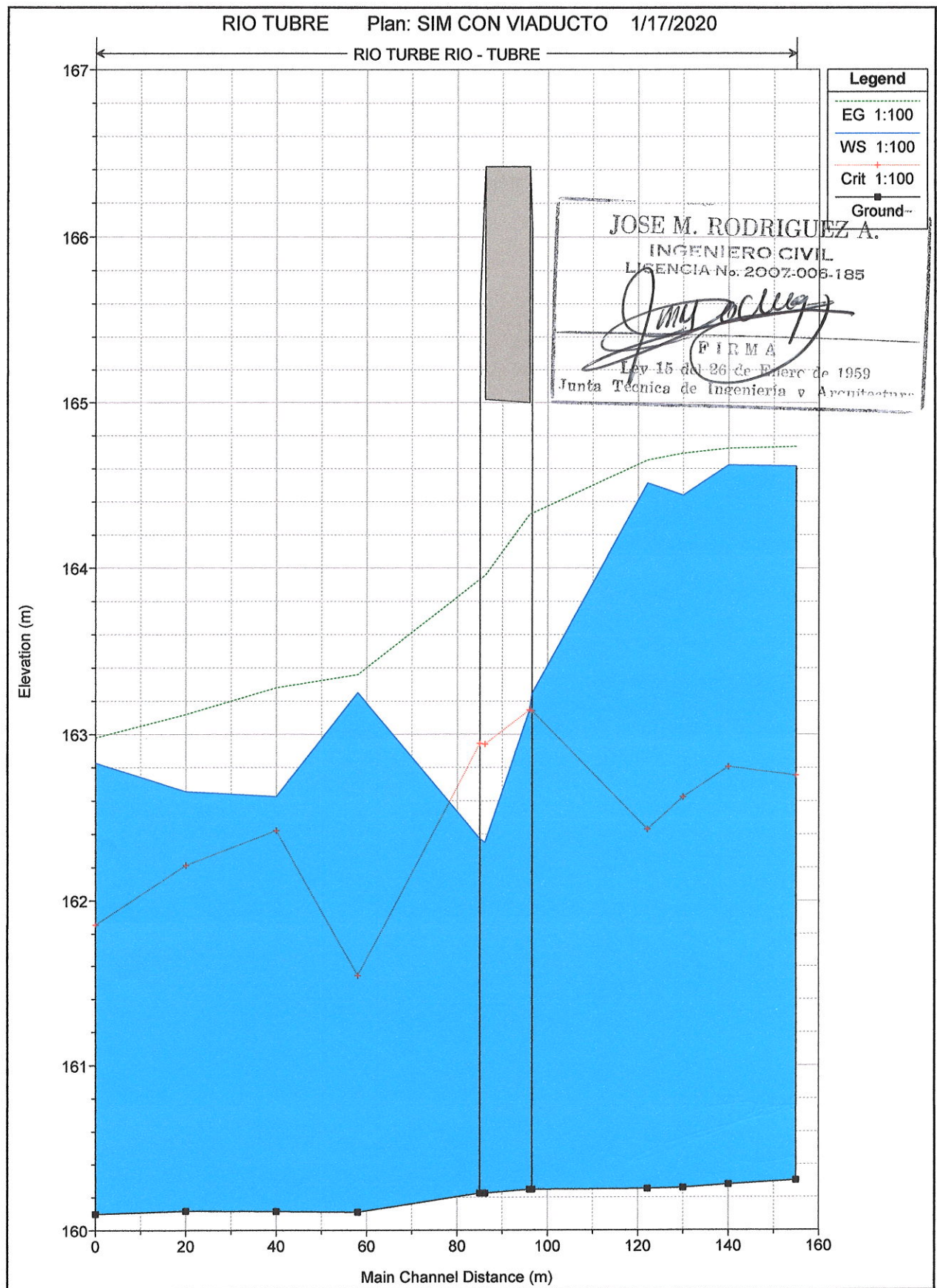
**ANEXO C**  
**CÁLCULO HIDRÁULICO**



HEC-RAS Plan: SIM VIA River: RIO TURBE Reach: RIO - TUBRE Profile: 1:100

| Reach       | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
|-------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| RIO - TUBRE | 154.98    | 1:100   | 92.37             | 160.30           | 164.62           | 162.75           | 164.73           | 0.000497            | 1.63              | 71.04             | 38.53            | 0.28         |
| RIO - TUBRE | 140       | 1:100   | 92.37             | 160.28           | 164.62           | 162.81           | 164.72           | 0.000439            | 1.53              | 71.40             | 26.54            | 0.26         |
| RIO - TUBRE | 130.01    | 1:100   | 92.37             | 160.26           | 164.44           | 162.63           | 164.69           | 0.001442            | 2.24              | 41.71             | 14.43            | 0.39         |
| RIO - TUBRE | 122.08    | 1:100   | 92.37             | 160.25           | 164.51           | 162.43           | 164.65           | 0.000596            | 1.69              | 57.61             | 17.54            | 0.30         |
| RIO - TUBRE | 96.57     | 1:100   | 92.37             | 160.25           | 163.25           | 163.14           | 164.33           | 0.009807            | 4.61              | 20.02             | 8.22             | 0.94         |
| RIO - TUBRE | 96        | Bridge  |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| RIO - TUBRE | 85        | 1:100   | 92.37             | 160.22           | 162.37           | 162.95           | 163.93           | 0.018535            | 5.54              | 16.68             | 10.58            | 1.41         |
| RIO - TUBRE | 58.01     | 1:100   | 92.37             | 160.11           | 163.25           | 161.54           | 163.36           | 0.000635            | 1.56              | 64.81             | 23.29            | 0.30         |
| RIO - TUBRE | 40        | 1:100   | 92.37             | 160.11           | 162.63           | 162.42           | 163.28           | 0.005701            | 3.64              | 27.39             | 17.80            | 0.79         |
| RIO - TUBRE | 20        | 1:100   | 92.37             | 160.12           | 162.66           | 162.21           | 163.12           | 0.004575            | 3.02              | 30.63             | 17.81            | 0.73         |
| RIO - TUBRE | 0         | 1:100   | 92.37             | 160.10           | 162.83           | 161.85           | 162.98           | 0.001402            | 1.72              | 53.59             | 31.33            | 0.42         |





Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 40 Profile: 1:100

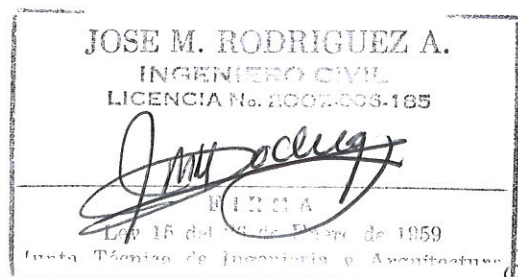
| E.G. Elev (m)      | 163.28   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.65     | Wt. n-Val.           | 0.035   | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 162.63   | Reach Len. (m)       | 21.73   | 20.00   | 18.27    |
| Crit W.S. (m)      | 162.42   | Flow Area (m2)       | 3.05    | 24.34   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.005701 | Area (m2)            | 3.05    | 24.34   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          | 3.64    | 88.73   |          |
| Top Width (m)      | 17.80    | Top Width (m)        | 6.67    | 11.13   |          |
| Vel Total (m/s)    | 3.37     | Avg. Vel. (m/s)      | 1.19    | 3.64    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 2.51     | Hydr. Depth (m)      | 0.46    | 2.19    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 1223.3   | Conv. (m3/s)         | 48.1    | 1175.2  |          |
| Length Wtd. (m)    | 20.03    | Wetted Per. (m)      | 7.40    | 13.97   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.11   | Shear (N/m2)         | 23.01   | 97.44   |          |
| Alpha              | 1.13     | Stream Power (N/m s) | 2149.87 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.10     | Cum Volume (1000 m3) | 0.03    | 1.39    |          |
| C & E Loss (m)     | 0.06     | Cum SA (1000 m2)     | 0.07    | 0.78    |          |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 20 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 163.12   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.46     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 162.66   | Reach Len. (m)       | 22.89   | 20.00   | 17.15    |
| Crit W.S. (m)      | 162.21   | Flow Area (m2)       |         | 30.63   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.004575 | Area (m2)            |         | 30.63   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 92.37   |          |
| Top Width (m)      | 17.81    | Top Width (m)        |         | 17.81   |          |
| Vel Total (m/s)    | 3.02     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 3.02    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 2.54     | Hydr. Depth (m)      |         | 1.72    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 1365.6   | Conv. (m3/s)         |         | 1365.6  |          |
| Length Wtd. (m)    | 20.00    | Wetted Per. (m)      |         | 19.80   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.12   | Shear (N/m2)         |         | 69.40   |          |
| Alpha              | 1.00     | Stream Power (N/m s) | 2119.18 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.05     | Cum Volume (1000 m3) |         | 0.84    |          |
| C & E Loss (m)     | 0.09     | Cum SA (1000 m2)     |         | 0.49    |          |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 0 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 162.98   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.15     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 162.83   | Reach Len. (m)       |         |         |          |
| Crit W.S. (m)      | 161.85   | Flow Area (m2)       |         | 53.59   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.001402 | Area (m2)            |         | 53.59   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 92.37   |          |
| Top Width (m)      | 31.33    | Top Width (m)        |         | 31.33   |          |
| Vel Total (m/s)    | 1.72     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 1.72    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 2.73     | Hydr. Depth (m)      |         | 1.71    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 2467.2   | Conv. (m3/s)         |         | 2467.2  |          |
| Length Wtd. (m)    |          | Wetted Per. (m)      |         | 33.01   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.10   | Shear (N/m2)         |         | 22.31   |          |
| Alpha              | 1.00     | Stream Power (N/m s) | 2618.06 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     |          | Cum Volume (1000 m3) |         |         |          |
| C & E Loss (m)     |          | Cum SA (1000 m2)     |         |         |          |



Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 96 BR D Profile: 1:100

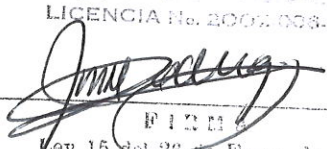
| E.G. Elev (m)      | 163.96   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 1.61     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 162.35   | Reach Len. (m)       | 1.20    | 1.20    | 1.20     |
| Crit W.S. (m)      | 162.94   | Flow Area (m2)       |         | 16.45   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.019256 | Area (m2)            |         | 16.45   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 92.37   |          |
| Top Width (m)      | 10.51    | Top Width (m)        |         | 10.51   |          |
| Vel Total (m/s)    | 5.62     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 5.62    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 2.13     | Hydr. Depth (m)      |         | 1.57    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 665.7    | Conv. (m3/s)         |         | 665.7   |          |
| Length Wtd. (m)    | 1.20     | Wetted Per. (m)      |         | 12.30   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.22   | Shear (N/m2)         |         | 252.56  |          |
| Alpha              | 1.00     | Stream Power (N/m s) | 1436.33 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     |          | Cum Volume (1000 m3) | 0.42    | 2.85    |          |
| C & E Loss (m)     |          | Cum SA (1000 m2)     | 0.27    | 1.40    |          |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 85 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 163.93   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 1.56     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 162.37   | Reach Len. (m)       | 12.99   | 26.99   | 35.77    |
| Crit W.S. (m)      | 162.95   | Flow Area (m2)       |         | 16.68   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.018535 | Area (m2)            |         | 16.68   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 92.37   |          |
| Top Width (m)      | 10.58    | Top Width (m)        |         | 10.58   |          |
| Vel Total (m/s)    | 5.54     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 5.54    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 2.15     | Hydr. Depth (m)      |         | 1.58    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 678.5    | Conv. (m3/s)         |         | 678.5   |          |
| Length Wtd. (m)    | 24.83    | Wetted Per. (m)      |         | 12.38   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.22   | Shear (N/m2)         |         | 244.91  |          |
| Alpha              | 1.00     | Stream Power (N/m s) | 1436.33 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     |          | Cum Volume (1000 m3) | 0.42    | 2.83    |          |
| C & E Loss (m)     |          | Cum SA (1000 m2)     | 0.27    | 1.39    |          |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 58.01 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 163.36   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.11     | Wt. n-Val.           | 0.035   | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 163.25   | Reach Len. (m)       | 21.49   | 18.01   | 24.19    |
| Crit W.S. (m)      | 161.54   | Flow Area (m2)       | 20.83   | 43.98   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.000635 | Area (m2)            | 20.83   | 43.98   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          | 23.96   | 68.41   |          |
| Top Width (m)      | 23.29    | Top Width (m)        | 7.13    | 16.16   |          |
| Vel Total (m/s)    | 1.43     | Avg. Vel. (m/s)      | 1.15    | 1.56    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 3.14     | Hydr. Depth (m)      | 2.92    | 2.72    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 3667.0   | Conv. (m3/s)         | 951.3   | 2715.7  |          |
| Length Wtd. (m)    | 18.53    | Wetted Per. (m)      | 10.31   | 17.44   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.11   | Shear (N/m2)         | 12.57   | 15.69   |          |
| Alpha              | 1.05     | Stream Power (N/m s) | 1999.91 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.03     | Cum Volume (1000 m3) | 0.29    | 2.01    |          |
| C & E Loss (m)     | 0.05     | Cum SA (1000 m2)     | 0.22    | 1.03    |          |

JOSE M. RODRIGUEZ A.  
INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2002-008-105  
  
FIRM  
Ley 15 del 23 de Enero de 1959  
Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura

240

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 122.08 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 164.65   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.14     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   | 0.035    |
| W.S. Elev (m)      | 164.51   | Reach Len. (m)       | 24.97   | 25.51   | 27.33    |
| Crit W.S. (m)      | 162.43   | Flow Area (m2)       |         | 52.22   | 5.39     |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.000596 | Area (m2)            |         | 52.22   | 5.39     |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 88.46   | 3.91     |
| Top Width (m)      | 17.54    | Top Width (m)        |         | 15.59   | 1.95     |
| Vel Total (m/s)    | 1.60     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 1.69    | 0.73     |
| Max Chl Dpth (m)   | 4.26     | Hydr. Depth (m)      |         | 3.35    | 2.76     |
| Conv. Total (m3/s) | 3783.9   | Conv. (m3/s)         |         | 3623.7  | 160.2    |
| Length Wtd. (m)    | 25.55    | Wetted Per. (m)      |         | 17.39   | 5.07     |
| Min Ch El (m)      | 160.25   | Shear (N/m2)         |         | 17.55   | 6.21     |
| Alpha              | 1.08     | Stream Power (N/m s) | 1197.47 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.04     | Cum Volume (1000 m3) | 0.42    | 3.95    | 0.07     |
| C & E Loss (m)     | 0.28     | Cum SA (1000 m2)     | 0.27    | 1.80    | 0.03     |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 96.57 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 164.33   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 1.08     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 163.25   | Reach Len. (m)       | 0.57    | 0.57    | 0.57     |
| Crit W.S. (m)      | 163.14   | Flow Area (m2)       |         | 20.02   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.009807 | Area (m2)            |         | 20.02   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 92.37   |          |
| Top Width (m)      | 8.22     | Top Width (m)        |         | 8.22    |          |
| Vel Total (m/s)    | 4.61     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 4.61    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 3.00     | Hydr. Depth (m)      |         | 2.44    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 932.8    | Conv. (m3/s)         |         | 932.8   |          |
| Length Wtd. (m)    | 0.57     | Wetted Per. (m)      |         | 12.12   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.25   | Shear (N/m2)         |         | 158.90  |          |
| Alpha              | 1.00     | Stream Power (N/m s) | 1495.51 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     |          | Cum Volume (1000 m3) | 0.42    | 3.03    |          |
| C & E Loss (m)     |          | Cum SA (1000 m2)     | 0.27    | 1.50    |          |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 96 BR U Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 164.32   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 1.18     | Wt. n-Val.           |         | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 163.15   | Reach Len. (m)       | 9.80    | 9.80    | 9.80     |
| Crit W.S. (m)      | 163.15   | Flow Area (m2)       |         | 19.21   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.010974 | Area (m2)            |         | 19.21   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          |         | 92.37   |          |
| Top Width (m)      | 8.11     | Top Width (m)        |         | 8.11    |          |
| Vel Total (m/s)    | 4.81     | Avg. Vel. (m/s)      |         | 4.81    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 2.90     | Hydr. Depth (m)      |         | 2.37    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 881.8    | Conv. (m3/s)         |         | 881.8   |          |
| Length Wtd. (m)    | 9.80     | Wetted Per. (m)      |         | 11.89   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.25   | Shear (N/m2)         |         | 173.86  |          |
| Alpha              | 1.00     | Stream Power (N/m s) | 1495.51 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     |          | Cum Volume (1000 m3) | 0.42    | 3.02    |          |
| C & E Loss (m)     |          | Cum SA (1000 m2)     | 0.27    | 1.49    |          |

JOSE M. RODRIGUEZ A.

INGENIERO CIVIL  
LICENCIA No. 2001-003-185

*Jose Rodriguez*

1959

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 154.98 Profile: 1:100

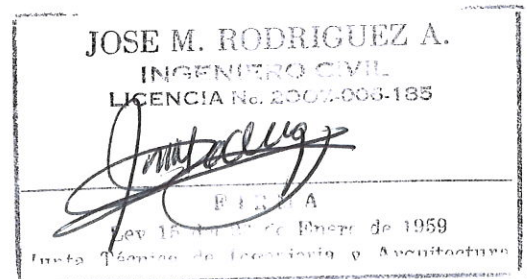
| E.G. Elev (m)      | 164.73   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.12     | Wt. n-Val.           | 0.035   | 0.030   | 0.035    |
| W.S. Elev (m)      | 164.62   | Reach Len. (m)       | 16.54   | 14.98   | 15.87    |
| Crit W.S. (m)      | 162.75   | Flow Area (m2)       | 9.11    | 48.25   | 13.68    |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.000497 | Area (m2)            | 9.11    | 48.25   | 13.68    |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          | 4.30    | 78.77   | 9.30     |
| Top Width (m)      | 38.53    | Top Width (m)        | 13.13   | 13.68   | 11.71    |
| Vel Total (m/s)    | 1.30     | Avg. Vel. (m/s)      | 0.47    | 1.63    | 0.68     |
| Max Chl Dpth (m)   | 4.31     | Hydr. Depth (m)      | 0.69    | 3.53    | 1.17     |
| Conv. Total (m3/s) | 4145.3   | Conv. (m3/s)         | 193.1   | 3534.8  | 417.4    |
| Length Wtd. (m)    | 15.16    | Wetted Per. (m)      | 14.24   | 14.81   | 12.41    |
| Min Ch El (m)      | 160.30   | Shear (N/m2)         | 3.11    | 15.86   | 5.37     |
| Alpha              | 1.38     | Stream Power (N/m s) | 1844.64 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.01     | Cum Volume (1000 m3) | 0.69    | 5.48    | 1.37     |
| C & E Loss (m)     | 0.01     | Cum SA (1000 m2)     | 0.73    | 2.24    | 0.62     |

Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 140 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 164.72   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.10     | Wt. n-Val.           | 0.035   | 0.030   | 0.035    |
| W.S. Elev (m)      | 164.62   | Reach Len. (m)       | 91.86   | 9.99    | 95.55    |
| Crit W.S. (m)      | 162.81   | Flow Area (m2)       | 2.80    | 47.27   | 21.34    |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.000439 | Area (m2)            | 2.80    | 47.27   | 21.34    |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          | 1.17    | 72.37   | 18.82    |
| Top Width (m)      | 26.54    | Top Width (m)        | 4.22    | 13.34   | 8.97     |
| Vel Total (m/s)    | 1.29     | Avg. Vel. (m/s)      | 0.42    | 1.53    | 0.88     |
| Max Chl Dpth (m)   | 4.34     | Hydr. Depth (m)      | 0.66    | 3.54    | 2.38     |
| Conv. Total (m3/s) | 4410.2   | Conv. (m3/s)         | 56.0    | 3455.4  | 898.8    |
| Length Wtd. (m)    | 19.36    | Wetted Per. (m)      | 4.77    | 14.55   | 11.92    |
| Min Ch El (m)      | 160.28   | Shear (N/m2)         | 2.52    | 13.97   | 7.70     |
| Alpha              | 1.19     | Stream Power (N/m s) | 1629.39 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.01     | Cum Volume (1000 m3) | 0.59    | 4.76    | 1.10     |
| C & E Loss (m)     | 0.02     | Cum SA (1000 m2)     | 0.58    | 2.04    | 0.46     |

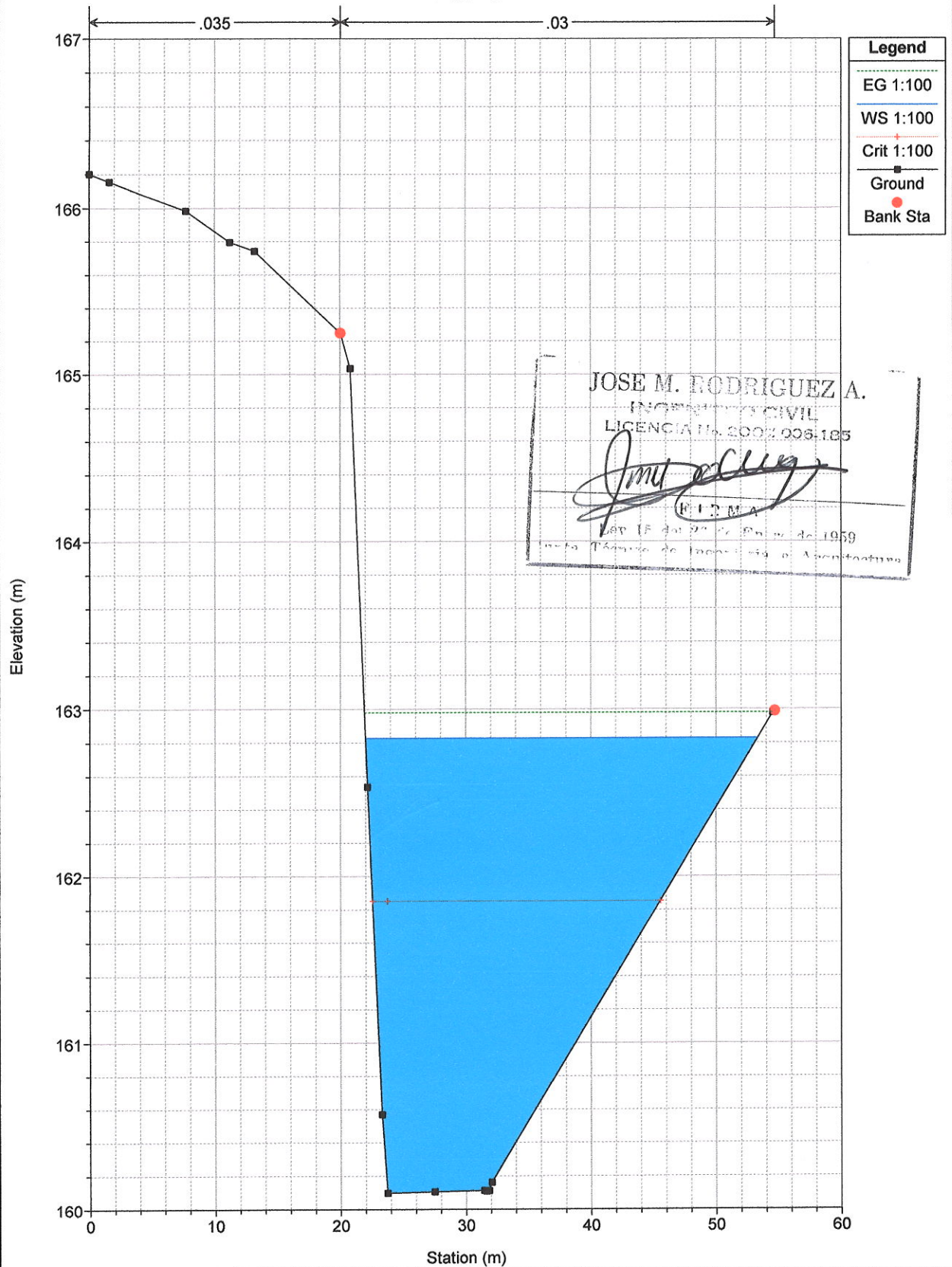
Plan: SIM VIA RIO TURBE RIO - TUBRE RS: 130.01 Profile: 1:100

| E.G. Elev (m)      | 164.69   | Element              | Left OB | Channel | Right OB |
|--------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------|
| Vel Head (m)       | 0.26     | Wt. n-Val.           | 0.035   | 0.030   |          |
| W.S. Elev (m)      | 164.44   | Reach Len. (m)       | 12.96   | 7.93    | 1.05     |
| Crit W.S. (m)      | 162.63   | Flow Area (m2)       | 0.65    | 41.06   |          |
| E.G. Slope (m/m)   | 0.001442 | Area (m2)            | 0.65    | 41.06   |          |
| Q Total (m3/s)     | 92.37    | Flow (m3/s)          | 0.30    | 92.07   |          |
| Top Width (m)      | 14.43    | Top Width (m)        | 2.32    | 12.11   |          |
| Vel Total (m/s)    | 2.21     | Avg. Vel. (m/s)      | 0.46    | 2.24    |          |
| Max Chl Dpth (m)   | 4.18     | Hydr. Depth (m)      | 0.28    | 3.39    |          |
| Conv. Total (m3/s) | 2432.3   | Conv. (m3/s)         | 7.8     | 2424.5  |          |
| Length Wtd. (m)    | 7.79     | Wetted Per. (m)      | 2.39    | 17.42   |          |
| Min Ch El (m)      | 160.26   | Shear (N/m2)         | 3.86    | 33.34   |          |
| Alpha              | 1.02     | Stream Power (N/m s) | 1188.86 | 0.00    | 0.00     |
| Frctn Loss (m)     | 0.01     | Cum Volume (1000 m3) | 0.43    | 4.32    | 0.08     |
| C & E Loss (m)     | 0.03     | Cum SA (1000 m2)     | 0.28    | 1.91    | 0.03     |



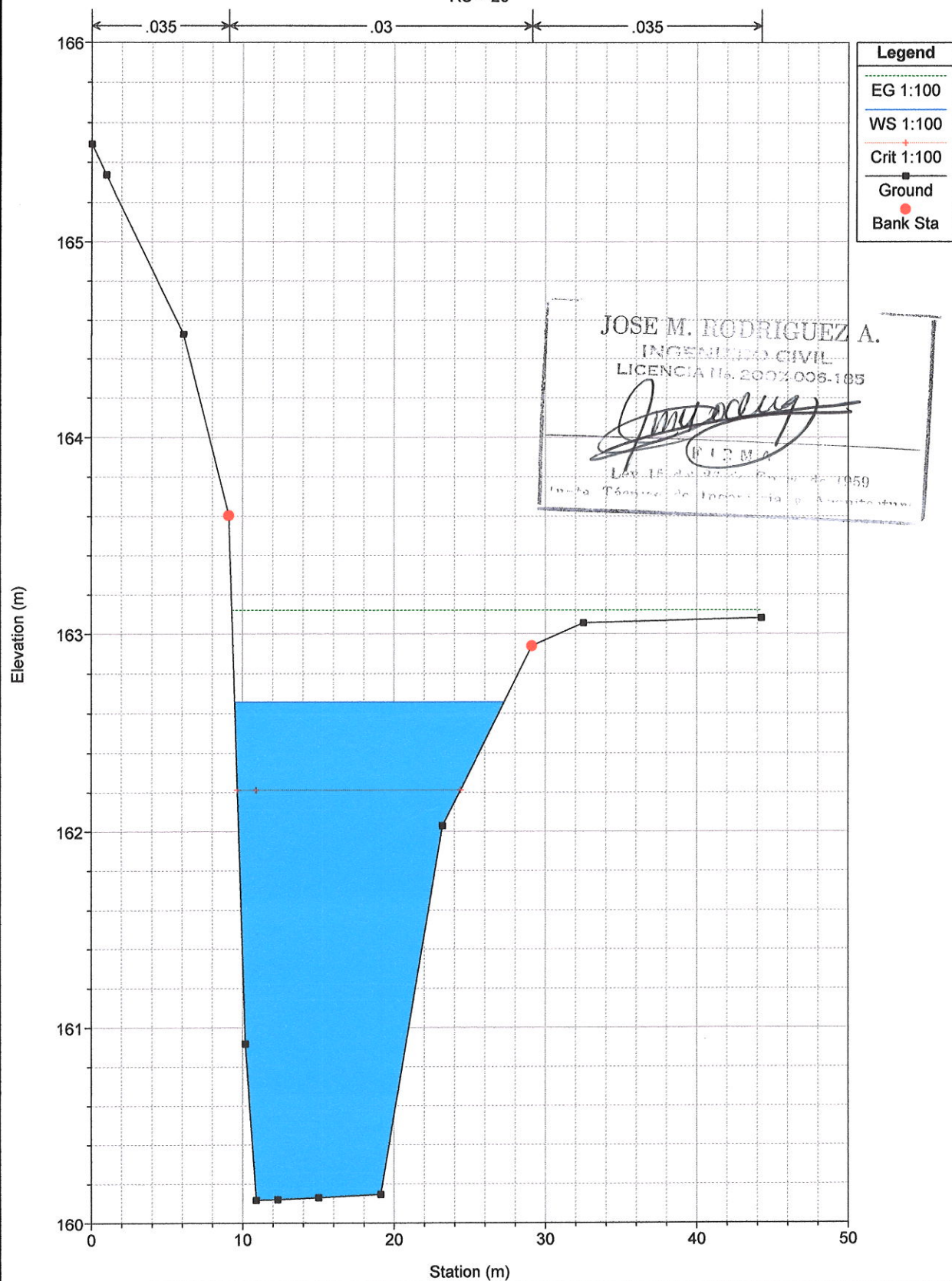
242

RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020  
RS = 0

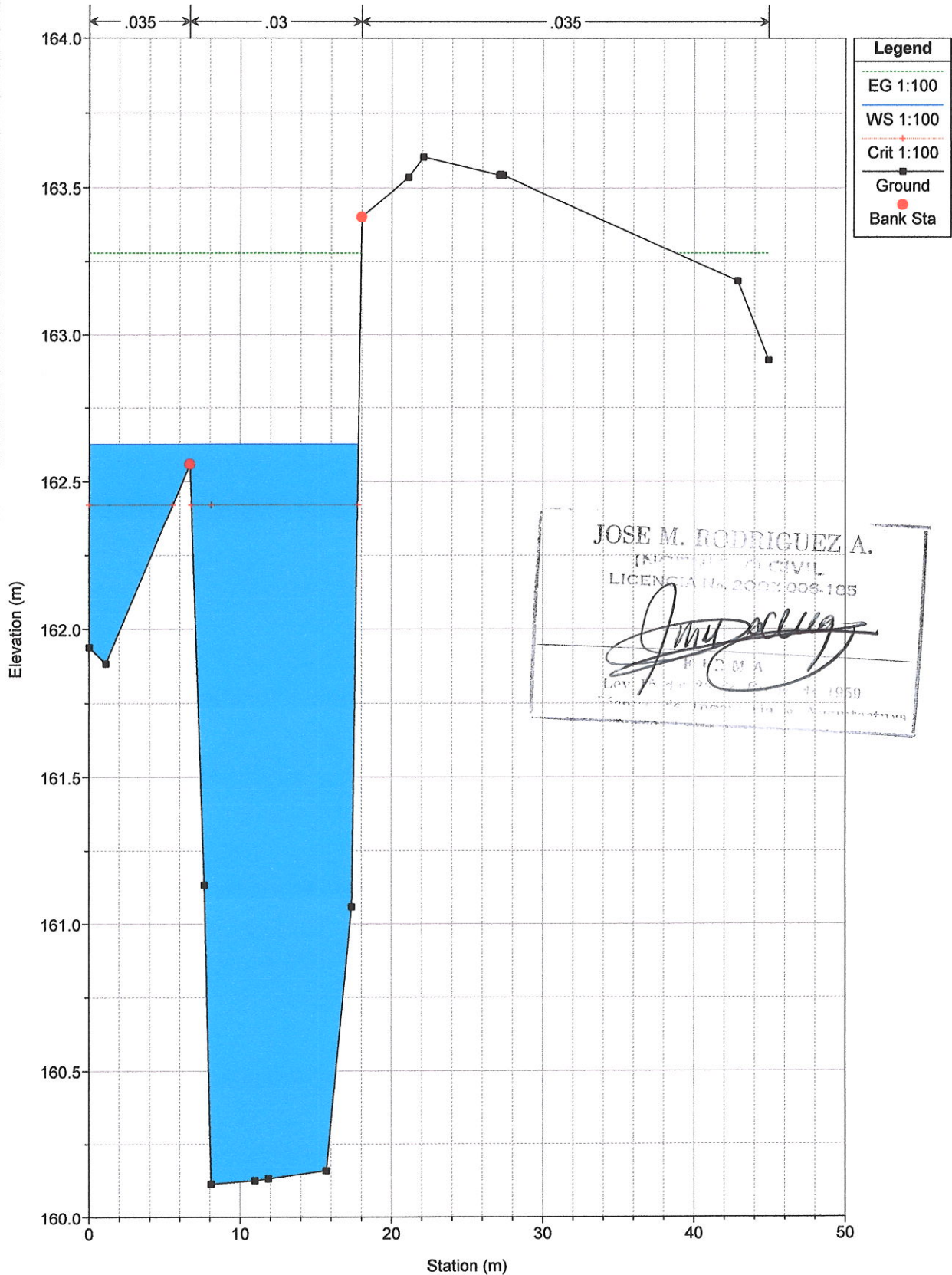


# RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020

RS = 20

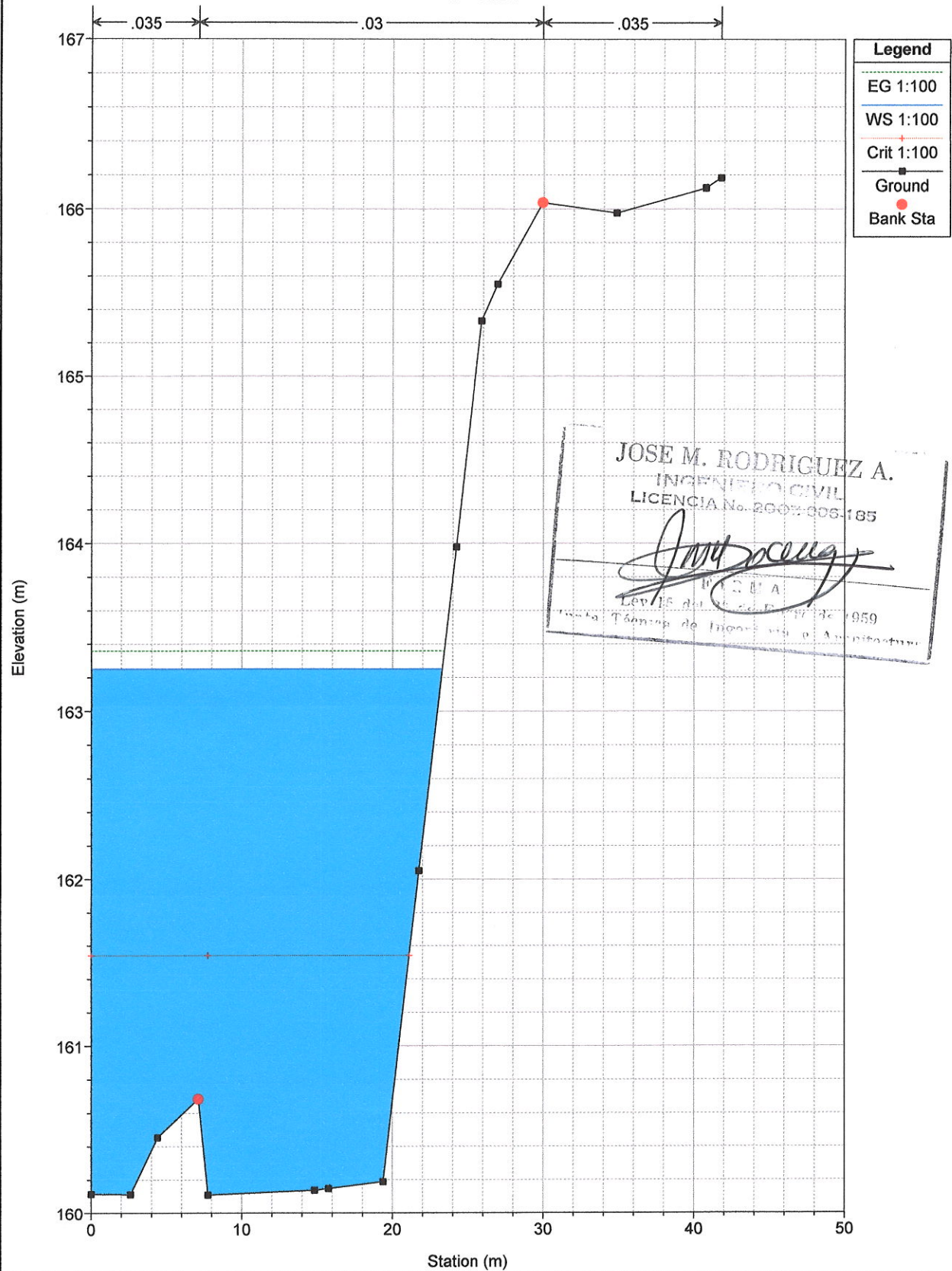


RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020  
RS = 40



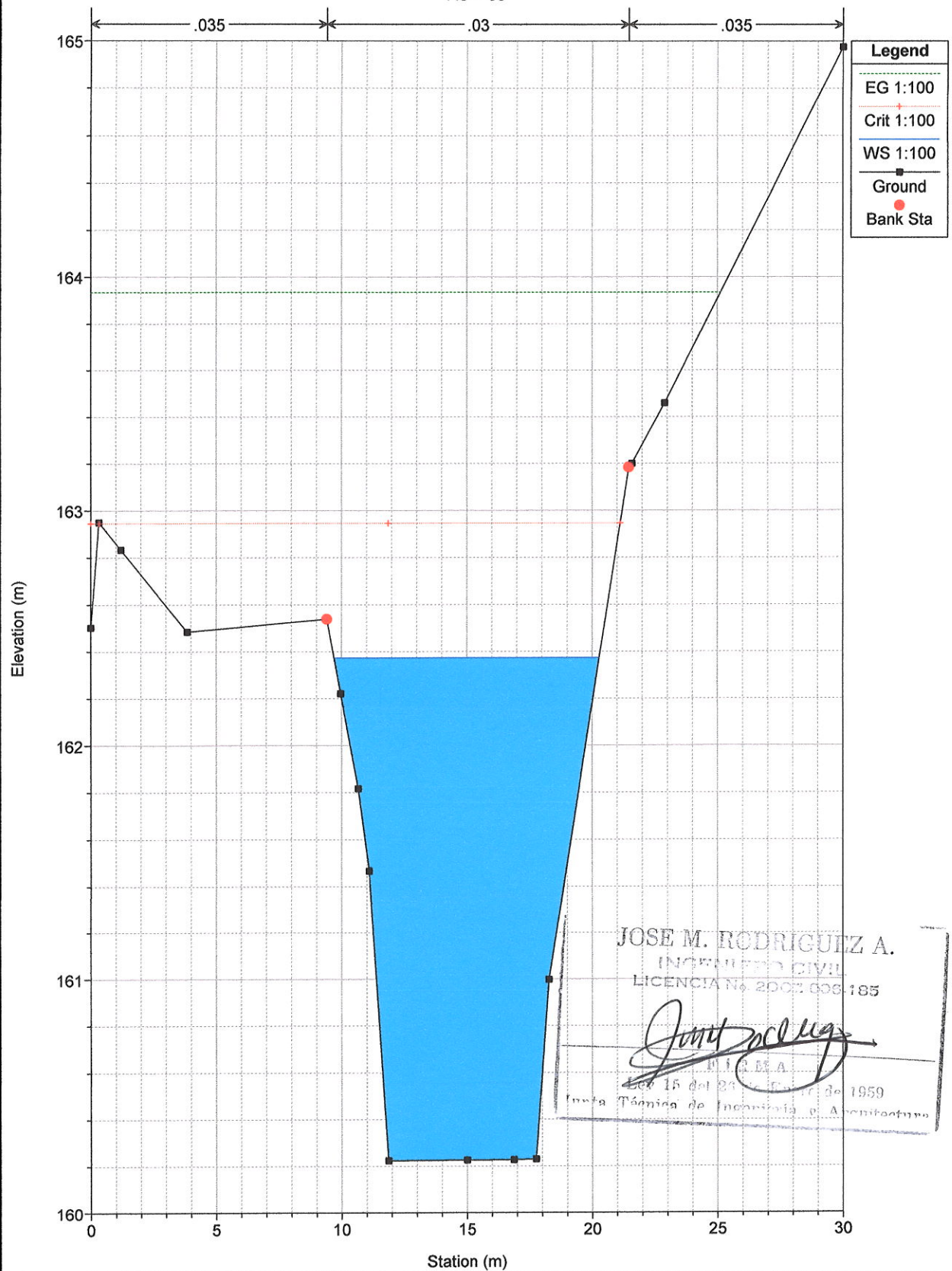
# RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020

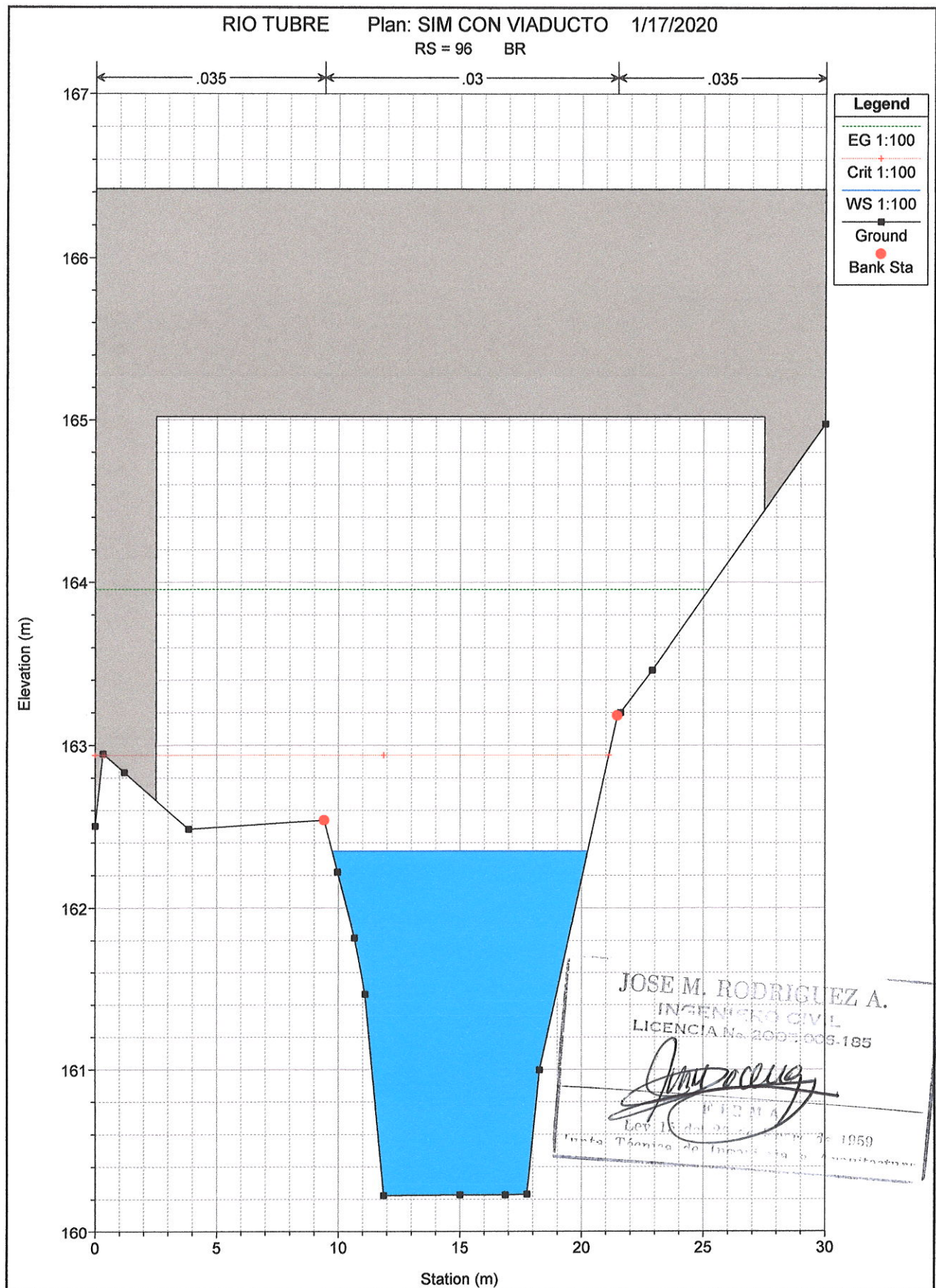
RS = 58.01

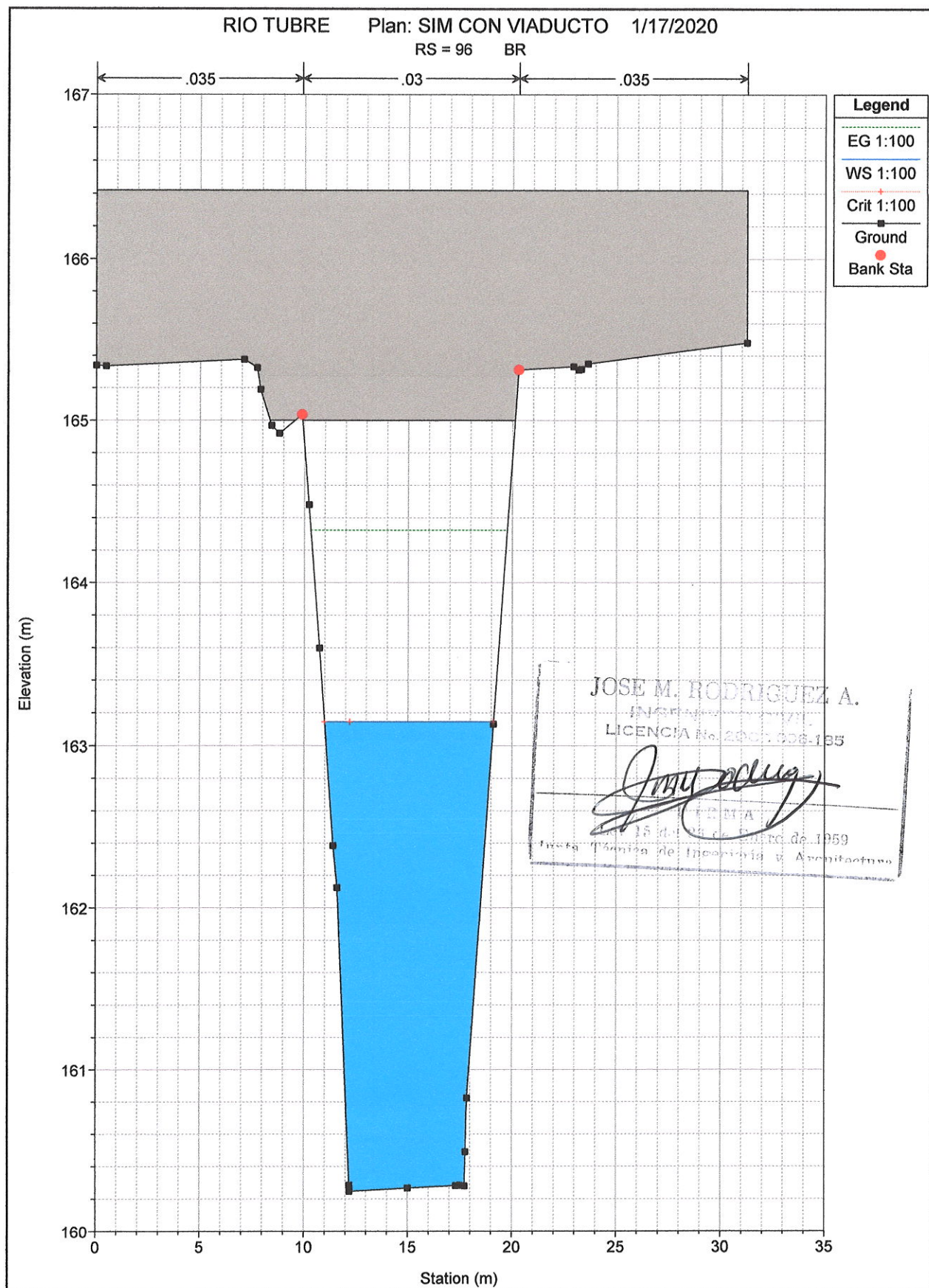


# RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020

RS = 85



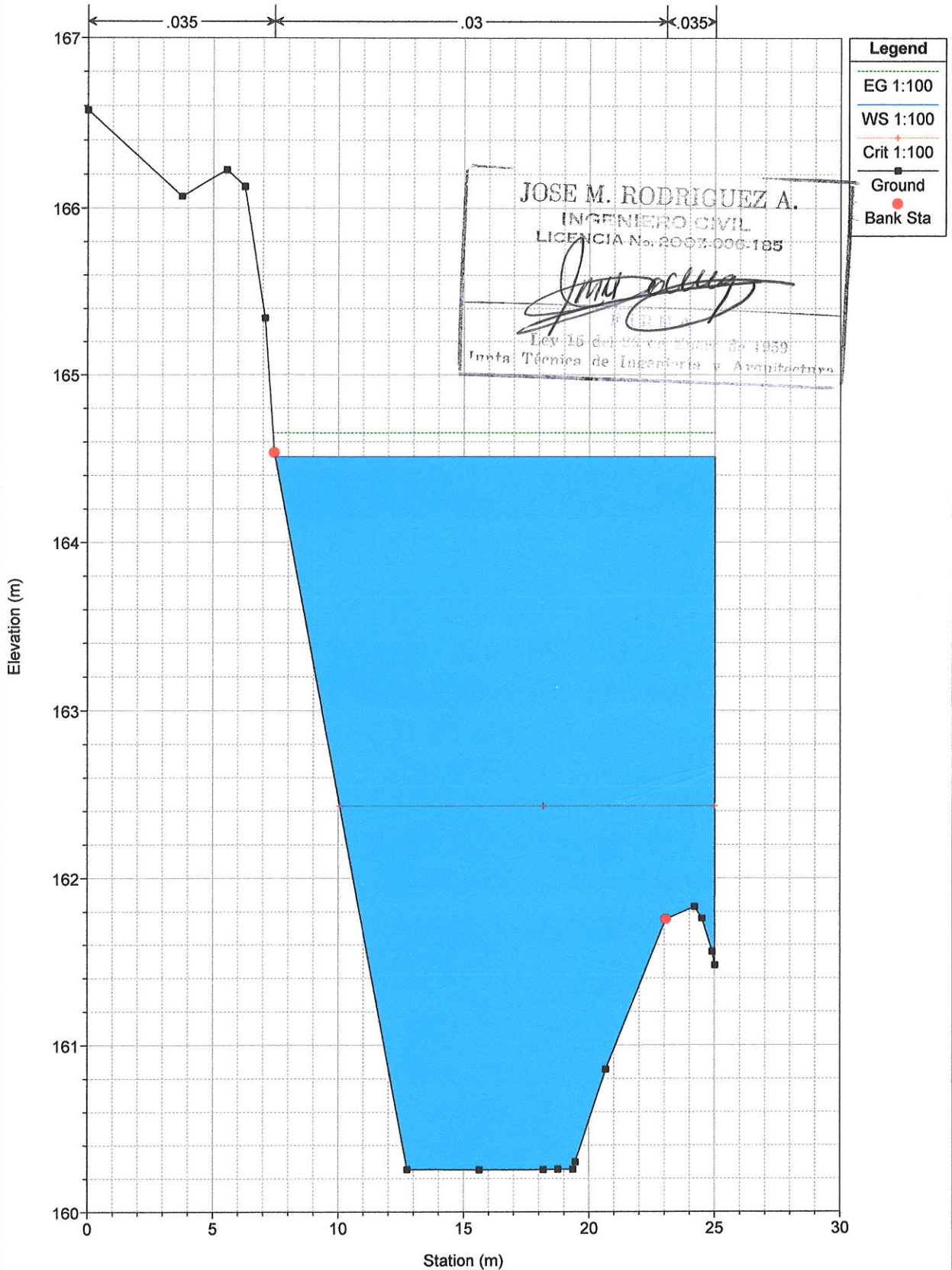






# RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020

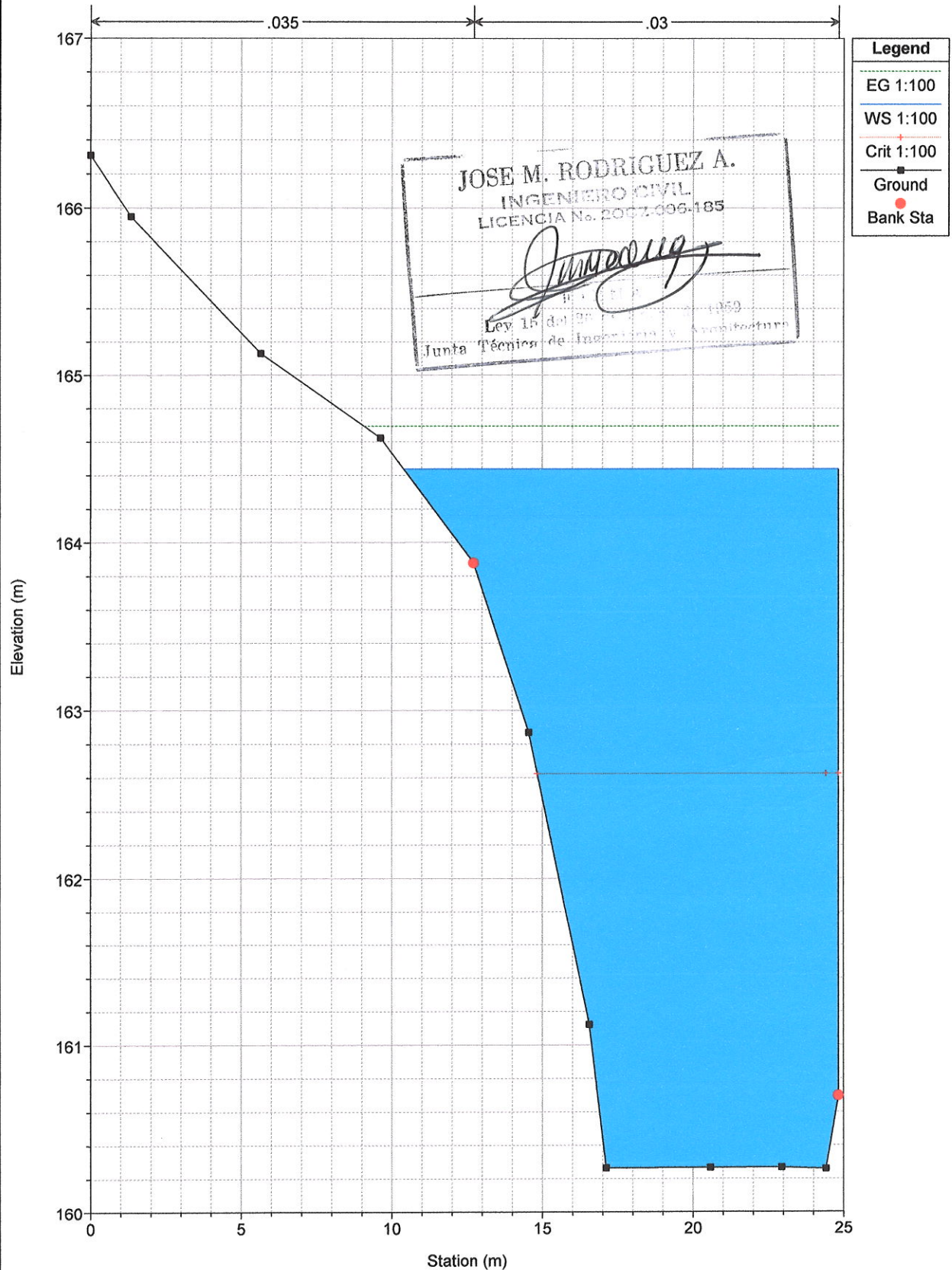
RS = 122.08



RIO TUBRE

Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020

RS = 130.01



# RIO TUBRE Plan: SIM CON VIADUCTO 1/17/2020

RS = 140

