

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.- REALIDAD PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>1</b>
<b>2.- ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>4.- HIPOTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>6</b>
<b>5.- OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO I: MARCO TEORICO.....</b>	<b>8</b>
<b>PUENTE.....</b>	<b>8</b>
<b>SOCAVACION .....</b>	<b>15</b>
<b>TIPOS DE SOCAVACION.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPITULO II- MATERIAL Y METODOS .....</b>	<b>30</b>
<b>Método:.....</b>	<b>30</b>
<b>CAPITULO III: ANALISIS Y DESARROLLO DEL ESQUEMA DE TESIS .....</b>	<b>31</b>
<b>A) CARACTERISTICAS DEL FLUJO EN HEC-RAS.....</b>	<b>31</b>
<b>1. Comenzar un Proyecto Nuevo .....</b>	<b>31</b>
<b>2. Introducir Datos Geometricos .....</b>	<b>32</b>
<b>3. Introducir Datos de Secciones Transversales.....</b>	<b>34</b>
<b>4. Introducir los Datos Hidráulicos .....</b>	<b>36</b>
<b>5. Crear un Plan y ejecutar una Simulación.....</b>	<b>37</b>
<b>B) MODELADO DE PUENTE.....</b>	<b>39</b>
<b>C) CALCULO DE SOCAVACION EN PUENTES.....</b>	<b>45</b>
<b>1.- Cálculo de socavación por contracción.....</b>	<b>46</b>
<b>2.- Cálculo de socavación local en pilares .....</b>	<b>46</b>
<b>3.- Cálculo de socavación local en estribos .....</b>	<b>47</b>
<b>TOPOGRAFÍA Y UBICACIÓN DEL PUENTE.....</b>	<b>50</b>
<b>1.- CURVAS DE NIVEL.....</b>	<b>52</b>
<b>2.- CREACIÓN DE SUPERFICIE.....</b>	<b>58</b>
<b>3.- EJE DE RIO .....</b>	<b>66</b>
<b>4.- SECCIONAMIENTO.....</b>	<b>70</b>
<b>Determinación del periodo de retorno de diseño (TR).....</b>	<b>75</b>
<b>5.- ANÁLISIS EN HEC-RAS CASO REAL .....</b>	<b>80</b>
<b>INGRESO DE DATOS DEL PUENTE.....</b>	<b>88</b>
<b>CALCULO DE SOCAVACION .....</b>	<b>94</b>

<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>98</b>
<b>SECCIONAMIENTO CASO IDEAL.....</b>	<b>98</b>
<b>RESUMEN DE RESULTADOS CASO IDEAL .....</b>	<b>102</b>
<b>SECCIONAMIENTO CASO REAL CUDAL DE DISEÑO: 900 M3/S .....</b>	<b>105</b>
<b>RESUMEN DE RESULTADOS, CAUDAL 900M3/S.....</b>	<b>109</b>
<b>SECCIONAMIENTO CAUDAL MAXIMO 1050 M3/S.....</b>	<b>112</b>
<b>RESUMEN DE RESULTADOS CAUDAL 1050 M3/S .....</b>	<b>116</b>
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>121</b>

## **RESUMEN**

La presente tesis se basa en el cálculo de la profundidad de socavación considerando diferentes distancias entre secciones transversales aplicando el software Hec – Ras.

En el diseño se tomó en cuenta un caso ideal de flujo de un canal, donde la sección y pendiente era constante, y un caso real donde se analizó el Puente Socsi ubicado en el distrito de Lunahuana – Cañete, Departamento de Lima

Para el desarrollo de la tesis se tuvo como primer paso realizar el caso ideal donde se utilizó directamente el programa Hec – Ras, para el caso real se utilizó el AutoCAD Civil 3D para su modelado en curvas de nivel, aplicación de los diferentes seccionamiento para su posterior exportado al Hec – Ras.

Como era de prever, el seccionamiento tuvo gran influencia para el cálculo de socavación, en el caso ideal varió de forma casi lineal donde tuvo los picos en el seccionamiento 200 m y reduciéndose en el seccionamiento 10m, la socavación en estribos fueron iguales ya que el canal es de sección constante.

El seccionamiento en el caso real tuvo algunas variaciones, donde algunos seccionamientos no eran los adecuados, así que por tal razón se descartaron algunos datos, y se concluyó que el mejor seccionamiento era el que se encontraba entre 50 y 25 metros.

## ABSTRAC

This thesis is based on the calculation of scour depth considering different distances between cross sections using the software Hec - Ras.

The design took into account the ideal case of a channel flow where the section and slope was constant, and a real case where Sosci Bridge located in the district of Lunahuana analyzed - Cañete, Lima

For the development of the thesis first step was to realize the ideal case where the program is directly used Hec - Ras, for the real case the AutoCAD Civil 3D was used for contour modeling, application of different sectioning for exported back to Hec - Ras.

As expected, the isolation was very influential for calculating scour, in the ideal case varied almost linearly where he peaks in the switching 200m decline in isolation 10m, the scour at abutments were the same as the channel is of constant section.

The switching in the real case had several variations, where some sectioning were not adequate, so for this reason some data were discarded, and concluded that isolation was the best that was between 50 and 25 meters.

# INTRODUCCIÓN

## 1.- REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el Perú, el daño causado en los apoyos de puentes, por las avenidas extremas del Fenómeno del Niño de estos últimos años que se está presentando cada vez más frecuentemente, causaron en algunos casos el colapso total de las estructuras, trayendo consigo grandes pérdidas económicas para el país, pues además del costo de la estructura ocasionó la interrupción del transporte terrestre.

Provias Nacional – Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha desarrollado el Programa Nacional de Puentes 2012-2020 en la cual indican el estado actual de los puentes (fig. 1)

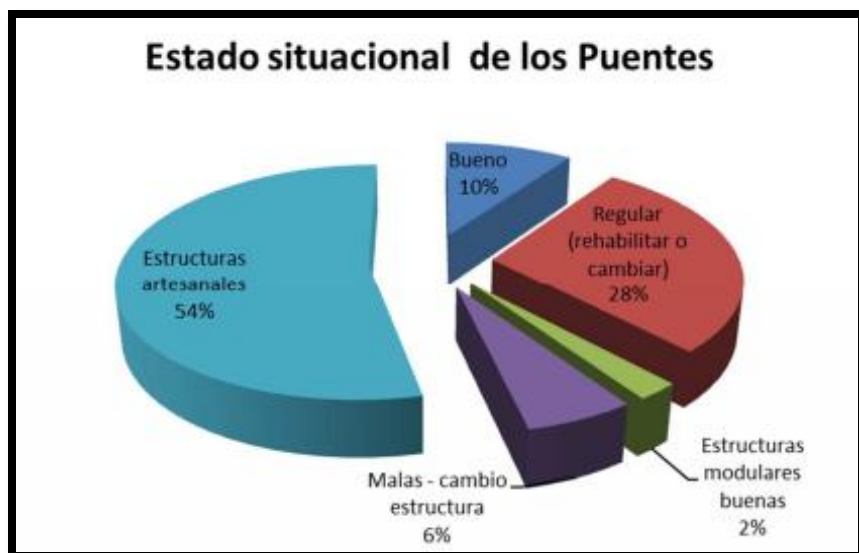


Fig1, Puentes en las carreteras no concesionadas

1674 puentes

El problema estructural principal en los puentes es la socavación producida por el deterioro de la estructura, creciente de los ríos o por mal cálculo de este.

La socavación local alrededor de pilares es una de las formas de socavación más estudiada que comúnmente es llevada a cabo

mediante estudios de laboratorio, y en menor proporción, a través de estudios de campo.

Hay mucha incertidumbre sobre el uso de las ecuaciones y sobre cuál representa mejor las condiciones reales del río y del puente. Esto hace difícil establecer una sola ecuación que sea lo suficientemente precisa y segura para estimar las profundidades de socavación debido al alto grado de incertidumbre existente y a las muchas variables involucradas en el problema como son: flujo no permanente, caudal de diseño, geometría de las estructuras, turbulencia, tamaño y distribución del sedimento, características hidráulicas durante crecientes, ángulo de ataque del flujo, presencia de basuras y tiempo de duración de la creciente.

El problema de determinar la socavación local en una pila está más o menos resuelto, pero, todavía no existe una solución confiable y concisa para el caso de los estribos. Los métodos para evaluarla, superponen los efectos de la socavación por contracción y la socavación local lo cual es otro factor que lleva a sobre-estimar las profundidades de socavación puesto que en la realidad, son acciones simultáneas. Las ecuaciones disponibles hasta la fecha para calcular socavaciones en las diferentes estructuras de un puente, tanto construido como por construir, dan solo un orden de magnitud para saber alrededor de qué valor va a estar la profundidad máxima de socavación real.

En un estudio muy detallado titulado “Bridge failures” que realizó D. W. Smith sobre el número de fallas, de acuerdo a su origen, ocurridas en 143 puentes de todo el mundo obtuvo los siguientes resultados:

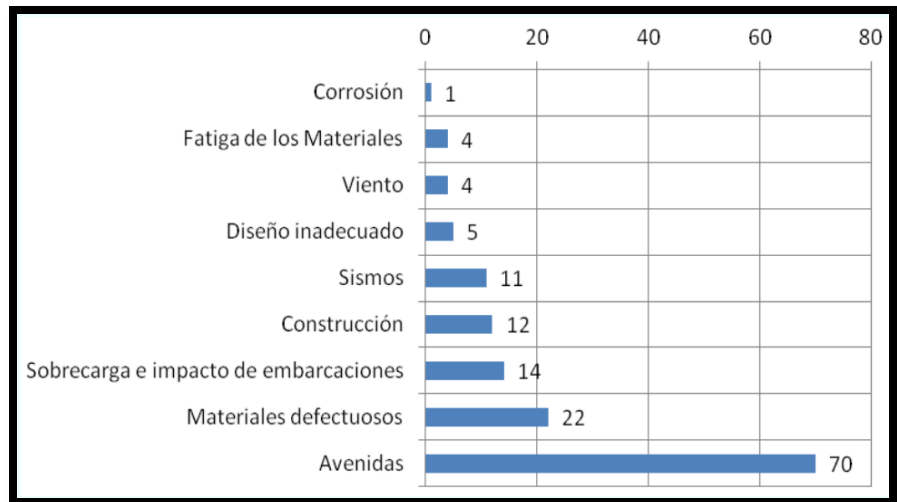


Figura 1.2 Fallas en puentes

Se observa que según la investigación de Smith prácticamente el 50% de las fallas (70) tuvo su origen en las grandes descargas presentadas. Cuando los fenómenos externos actuantes son lo suficientemente grandes como para afectar la estabilidad de un puente se les llama “eventos extremos”. A ellos se refiere el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) en su Reporte 489 en el que da importantes criterios para su consideración. Naturalmente, que la probabilidad de que ocurran dos o más eventos con su máxima intensidad y en forma simultánea es remota, aunque no imposible. Su probabilidad de ocurrencia, aislada o conjunta, debe examinarse cuidadosamente para no exagerar los costos de la estructura.

## 2.- ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los criterios técnicos para la determinación de la Influencia de distancia entre secciones transversales al modelar un cauce natural para calcular la socavación en puentes aplicando HEC-RAS?

### **3.-ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.- Socavación alrededor de pilares de puentes en lechos granulares no cohesivos**

**Tesista:** Luis Ángel Gómez Cunya

**Institución:** UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**Año:** 2010

#### **Conclusiones:**

El análisis realizado en la presente investigación experimental permitió observar y describir el proceso de socavación en tres tipos de secciones de pilares de puentes y mostrar el rango de influencia de algunos parámetros. Es necesario que en la empresa que desea implementar el LPS, tenga la disponibilidad y la apertura a cambios y/o mejoras a nivel organizativo y de procesos. Ya que es beneficioso que se tenga identificado y mapeado los procesos del proyecto. Es decir estandarizar procesos y ubicarlos en un diagrama de flujo para que cualquier miembro de la empresa entienda y vea de forma rápida en qué consiste el proyecto y la forma de trabajo utilizados en las fórmulas para el cálculo de la profundidad de socavación en pilares de puentes, los cuales pueden ser tomados en cuenta para el diseño, teniendo presente las condiciones descritas para las cuales fueron desarrolladas.

Para Un Pilar Circular Aislado, en las pruebas en régimen subcrítico se observó que la profundidad máxima de socavación se producía en la parte frontal del pilar, a medida que se incrementaba el Número de Froude hasta lograr condiciones de flujo supercrítico, la ubicación de la profundidad máxima de socavación se desplazaba hacia los lados.



### 3.2.- “SOCAVACION EN PILAS Y ESTRIBOS DEL PUENTE CUATE II NUEVA ITALIA – ARTEAGA KM I60.312”

**Tesista:** Edgar Osornio Alegre

**Institución:** UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE  
HIDALGO

**Año:** 2008

#### **Conclusiones:**

1.- Las estructuras en que se apoyan las pilas con de mayor ancho efectivo que éstas por lo que si quedan expuestas al flujo, la profundidad de socavación será mayor que la considerada para las pilas.

2.- Si se atorán en las pilas cuerpos que arrastra la corriente, tañes como troncos, ramas, animales, etc., en ancho efectivo de las mismas se verá incrementado la profundidad de socavación.

3.- Las dunas pueden hacer cambiar el ángulo de ataque de la corriente y aumenta la profundidad de socavación en las pilas. Shen (1969), propuso que hay que agregar un 50% de altura esperada de las dunas a la profundidad de socavación calculada.

4.- En caso de tenerse una capa superior de material cohesivo la profundidad de socavación puede ser muy grande, ya que si abajo se tiene material fino y la socavación es mayor que el espesor del estrato superior, la erosión continuará en la arena fina sin depositar las sedimentaciones que provienen aguas abajo.

El mayor daño en la infraestructura de los puentes de la Red Vial Nacional que cruzan los ríos ocurre durante las crecientes, producido por la socavación de la fundación de los estribos y/o pilas. Este daño puede variar desde erosiones en las bancas y los terraplenes de acceso hasta la falla completa de la estructura del puente o su terraplén de acceso. En una investigación reciente

sobre la evaluación de las causas de colapso de algunos puentes en el Perú, basada en el estudio de sesenta y tres (63) casos de fallas totales y parciales (Muñoz, Edgar, 2000), se encontró que el 70% se producen por fenómenos hidráulicos, tales como socavación y avalanchas (ver Figura 1).

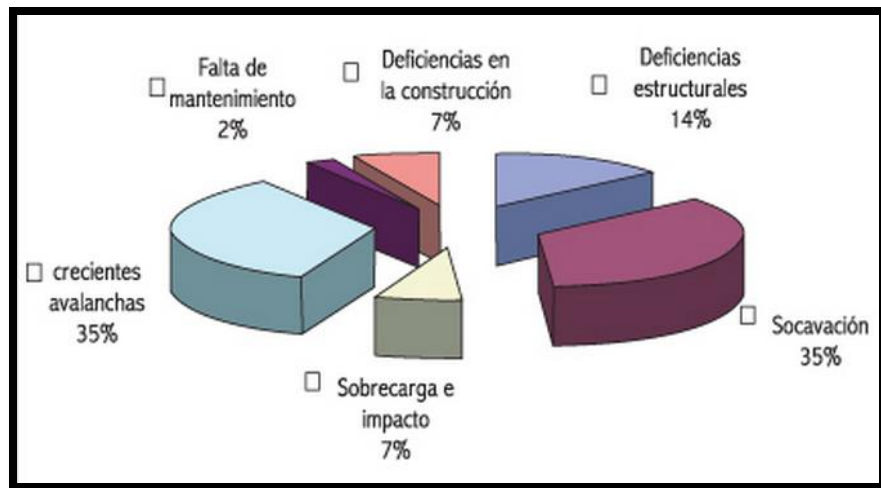


Fig. 2 Estadística de la causa de colapso de algunos puentes en el Perú

#### 4.- HIPOTESIS Y VARIABLES

##### 4.1.- GENERAL:

Al variar el la distancia de seccionamiento, variará la profundidad de socavación.

##### 4.2.- VARIABLES:

Variable Independiente (V1) : Variación de distancia de seccionamiento

Variable Dependiente (V2) : Profundidad de socavación

#### 5.- OBJETIVOS

##### 5.1.- GENERAL

Calcular la profundidad de socavación considerando diferentes distancia entre secciones transversales aplicando el software Hec-ras

## 5.2.- ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia de distancia entre secciones transversales en el cálculo de la profundidad de socavación de puentes, considerando un cauce de río ideal y real.
- Modelar el cauce del río Cañete y Simular la socavación del Puente Sosci para un periodo de retorno de 100 y 500 años

# CAPITULO I: MARCO TEORICO

## PUENTE

### DEFINICIÓN

La AASHTO define a un puente como cualquier estructura que tiene una abertura no menor a 6100 mm y que forma parte de una carretera o está ubicada sobre o debajo de una carretera.

### PARTES DE LA ESTRUCTURA

Los componentes principales de una estructura de puente son:

- Superestructura
- Subestructura

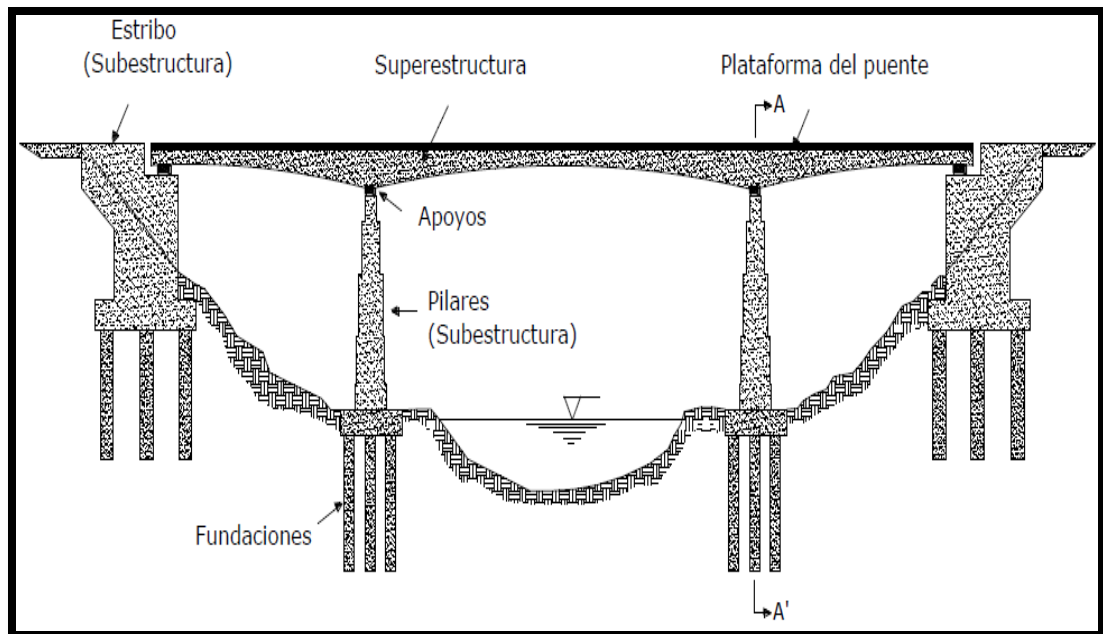


Fig. 3 Componente de un puente, vista longitudinal

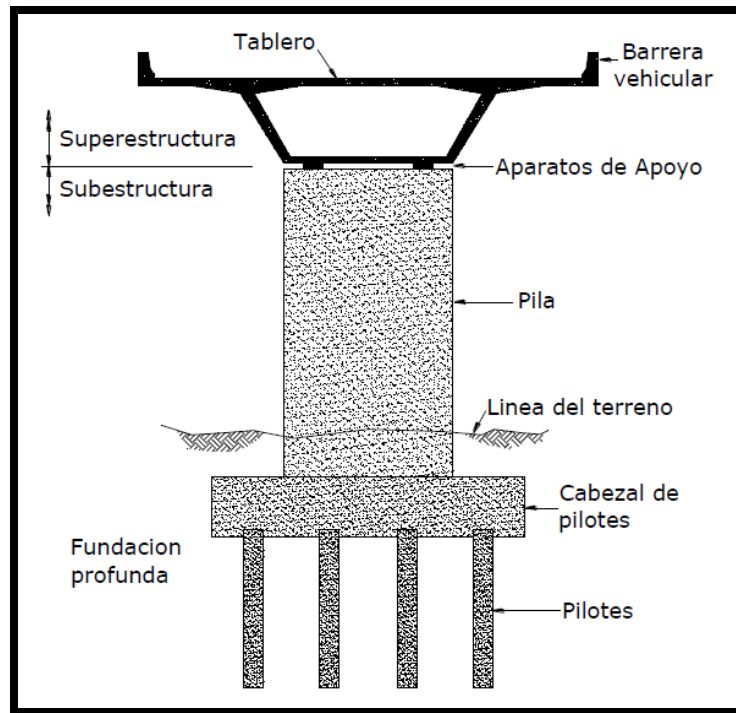


Fig. 4 Componente de un puente, corte transversal A – A

### SUPERESTRUCTURA

Son los componentes estructurales del puente que constituyen el tramo horizontal, en la siguiente sección se ampliará con mayor detalle las superestructuras que se encuentran en los diferentes tipos de puentes.

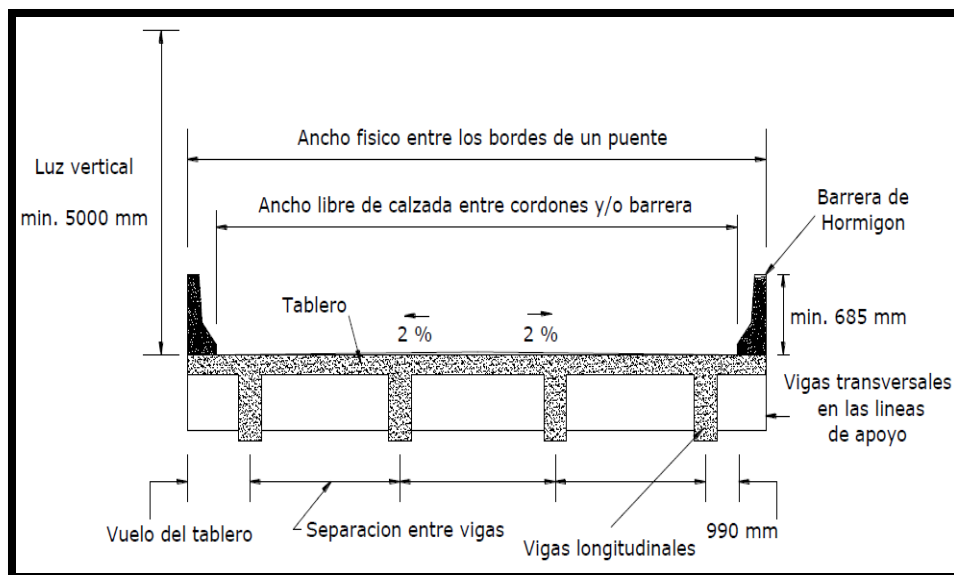


Fig. 5 Tablero y estructura portante, puente Viga-Losa

**Tablero.-** Es el componente, con o sin superficie de rodamiento, que soporta las cargas de rueda en forma directa y es soportado por otros componentes.

**Estructura Portante.-** Es el componente estructural que soporta al tablero y se apoya en sus extremos con la subestructura, es decir transmite las cargas procedentes del tablero a los estribos y/o pilas, ver Figura 4

**Accesorios del tablero.-** Son elementos que sirven para dar funcionalidad al puente y seguridad tanto a los vehículos como a los peatones: cordón barrera, barandas, barreras,

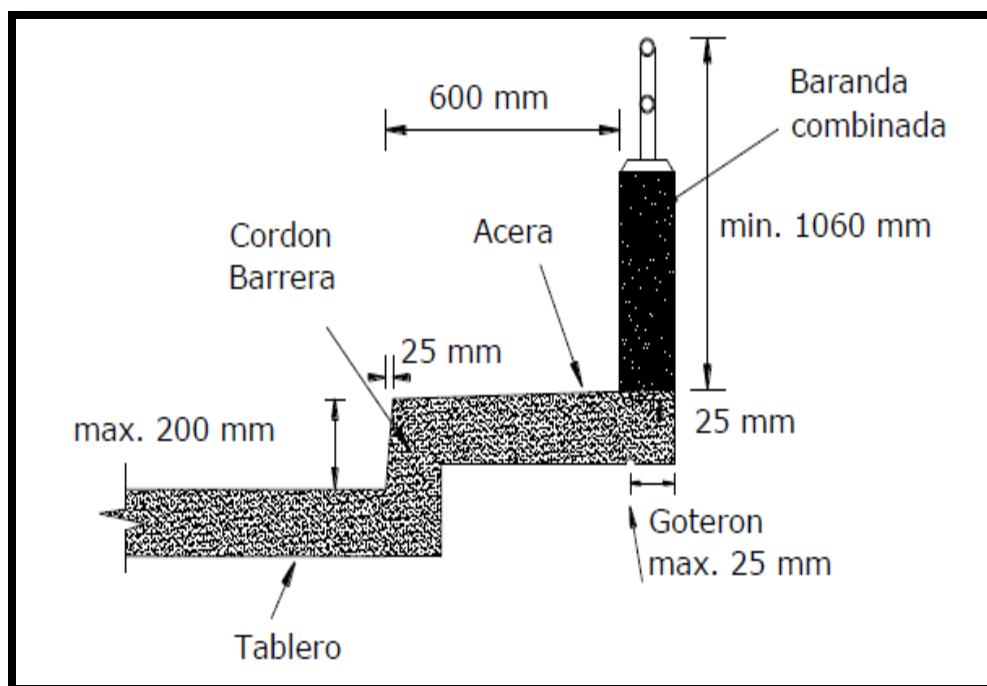


Fig. 6 Accesorios de un tablero

## SUBESTRUCTURA

Son los componentes estructurales del puente que soportan el tramo horizontal, los componentes más importantes son:

- Pilares
- Estribos
- Fundaciones

## PILARES

Son elementos de apoyo intermedios los cuales conducen los esfuerzos de la superestructura hacia las fundaciones están diseñados para resistir presiones hidráulicas, cargas de viento, cargas de impacto, etc., son más susceptibles a los

efectos de la socavación por lo que las fundaciones deberán estar por debajo de la altura máxima de socavación.

Pueden ser de concreto o acero, aun en puentes de acero los pilares de concreto son a menudo adoptados, en algunos casos los pilares muy altos son elaborados en segmentos de concreto prefabricado.

Los pilares pueden ser de una sección transversal constante o variable eso dependerá de la altura del pilar, también pueden tener una sección llena o una sección hueca la elección de los pilares depende de la constructibilidad y la estética.

Podemos clasificar a los pilares en dos tipos:

- Pilares-pared
- Pilares-columna.

**Pilares-pared**, en general abarcan el ancho total de las vigas principales. Según sea la conformación deseada se puede terminar en los bordes de las vigas principales, o pueden sobresalir respecto de ellos, o aún se pueden retirar con respecto a dichos bordes.

Los Pilares-pared son muy aconsejables por razones hidráulicas. Para ríos navegables, en general llegan a ser muy gruesos para su seguridad en casos de colisión de barcos. En cuanto a su configuración, se debe prevenir contra la adopción de pilares-pared demasiado delgados. En la Figura 7 se presenta diferentes posibilidades de forma para la sección transversal.

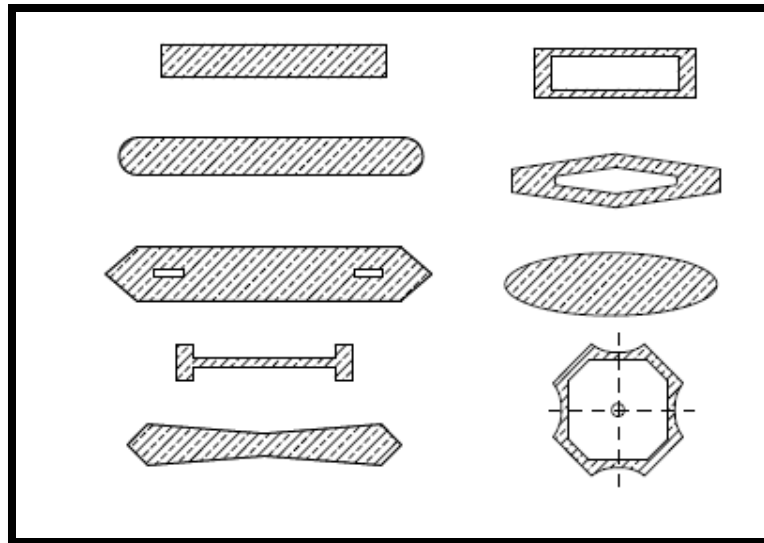


Fig. 7 Formas de secciones transversales de pilares-pared

**Pilares-columna**, las columnas ofrecen muchas ventajas frente a los pilares-pared debido a su módica necesidad de materiales, visión casi libre debajo del puente, mejor posibilidad de cruces oblicuos, aspecto más liviano. Se utiliza generalmente para carreteras elevadas y puentes en rampa. Las posibilidades de sustentación y forma son numerosas, ver Figura 8

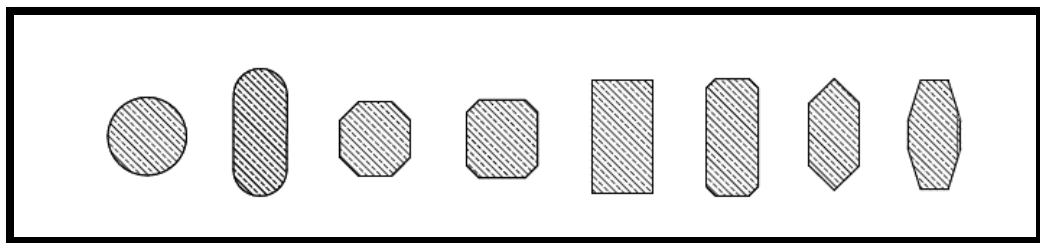


Fig. 8 Algunos tipos de sección transversal de columnas en puentes

## ESTRIBOS

Son los que proveen soporte a la superestructura, establecen la conexión entre la superestructura y el terraplén, son diseñados para soportar la carga de la superestructura la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo, el peso de la losa de transición y las presiones del suelo (empuje de tierras).

Los estribos están conformados por una losa de fundación que transmite el peso de los estribos directamente al suelo, la losa sirve de cubierta para un sistema de pilotes que soportan la carga, el muro frontal, asiento del puente, muro de retención encima



del asiento del puente, losa de aproximación, los estribos también poseen juntas de dilatación o expansión que ajustan los desplazamientos de la superestructura.

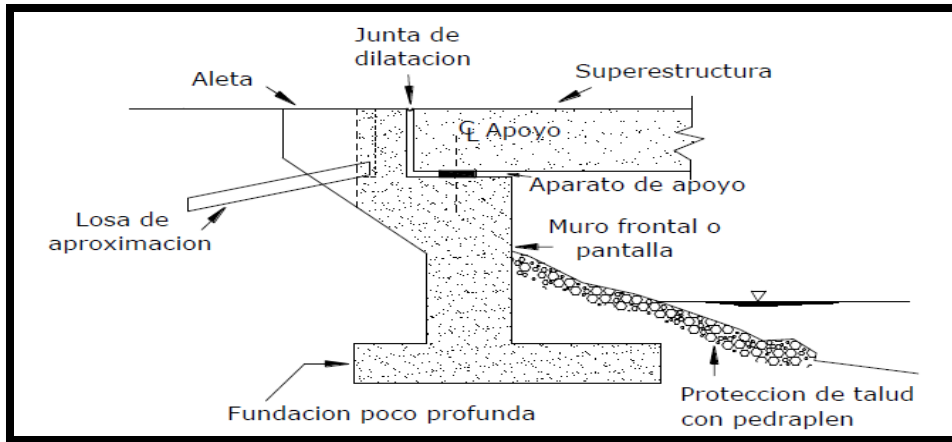


Fig. 9 Componentes de un estribo

### FUNDACIONES

Se encuentran bajo el terreno de la superficie son encargados de transmitir toda la carga al suelo, al absorber dicha carga el suelo se contracción dando origen a los asentamientos.

En todo diseño de fundaciones dos condiciones se deben satisfacer: “que el asentamiento total de la estructura este limitado a una cantidad tolerablemente pequeña y que en lo posible el asentamiento diferencial de las distintas partes de la estructura se elimine”. (Arthur Nilson,2000,499)

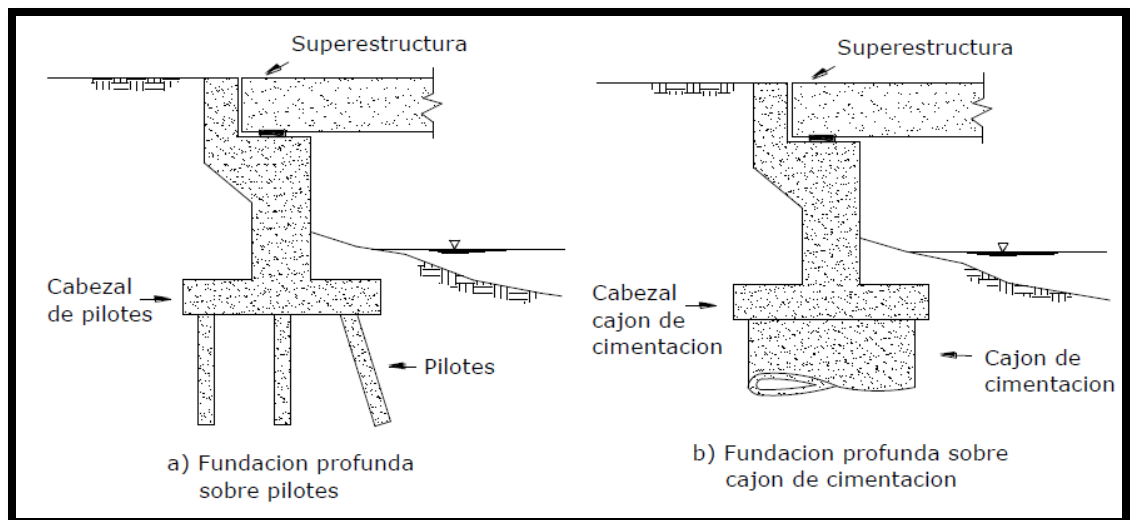


Fig. 10 Fundación profunda sobre a) pilotes, b) cajón de cimentación

Las fundaciones se pueden dividir en dos tipos:

- Fundación superficial
- Fundación profunda

**Fundación superficial.-** Está conformada por losas que transmiten las cargas directamente al terreno. Este tipo de fundación se debe a que el estrato portante se encuentra a pequeñas profundidades y es posible llegar mediante excavaciones

**Fundación profunda.-** Se realiza este tipo de cimentación cuando el estrato portante se encuentra a una profundidad que no es posible llegar mediante excavaciones, pueden ser pilotes o cajones de cimentación,

### **EL CAUCE NATURAL**

Los ríos aluviales, están sujetos a cambios de recorrido y de sección transversal. Por lo general los cambios que experimenta un río empiezan en un tramo determinado y se propagan hacia aguas arriba y/o hacia aguas abajo. Por esto el ingeniero debe tener cuidado al diseñar y ubicar una obra, tal como un puente.

Los arroyos y ríos siguen caminos tortuosos en su recorrido aguas abajo. Los helados riachuelos serpentean por el hielo glacial. Casi nunca vemos un tramo recto de río más largo que diez veces su anchura. Incluso donde la alineación de los bancos es recta, la parte más profunda de un río va de lado a lado. Todo esto hace pensar que la formación de meandros es una propiedad intrínseca de las corrientes. V.T. Chow (1982).

Normalmente los meandros aparecen dondequiera que un río recorre una pendiente suave, moviéndose alrededor de obstrucciones, a través de tierra de grano fino que son erosionables fácilmente.

Un río discurre ajustándose a las perturbaciones, así, variaciones en las descargas y obstáculos desvían su corriente, luego la corriente desviada sigue un nuevo camino, los choques en un banco encuentran la resistencia de este pero lo erosiona, formando una curva en el futuro. Al salir de la curva, el flujo se va en una tangente por el río, choca contra el banco opuesto, y sale formando la otra curva como se muestra en la Figura 2.2. Este modelo se repite río abajo, creando un balance en el

río casi tan regular como el péndulo de un reloj cuando las condiciones en el recorrido del cauce son las mismas.

Las curvas agrandan e influyen en la forma que toman las secciones del cauce.

Al exterior de la curva, las velocidades son mayores y existen movimientos hacia el centro, de esta forma el cauce se profundiza en esta parte. Los movimientos de agua por el cauce hacia el interior de la curva son más lentos, esto hace que exista sedimentación formando barras, una ilustración de la sección en curva vista hacia aguas arriba se muestra en la Figura 2.3.

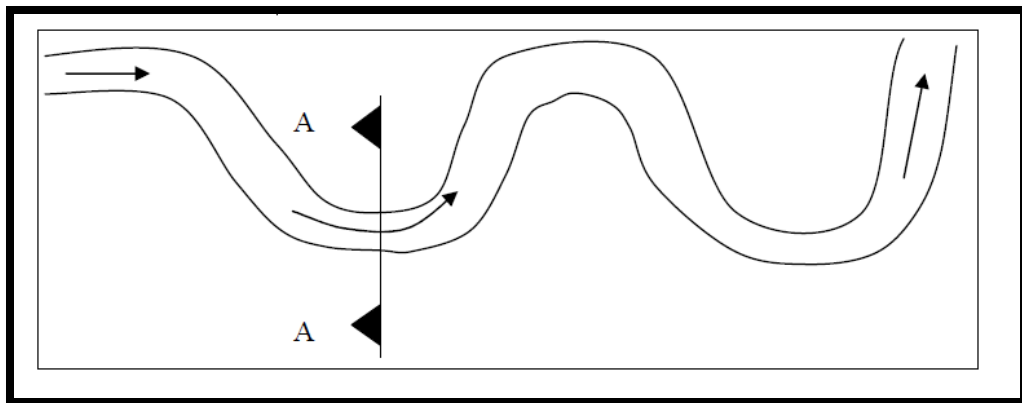


Fig. 11 Naturaleza meándrica del flujo

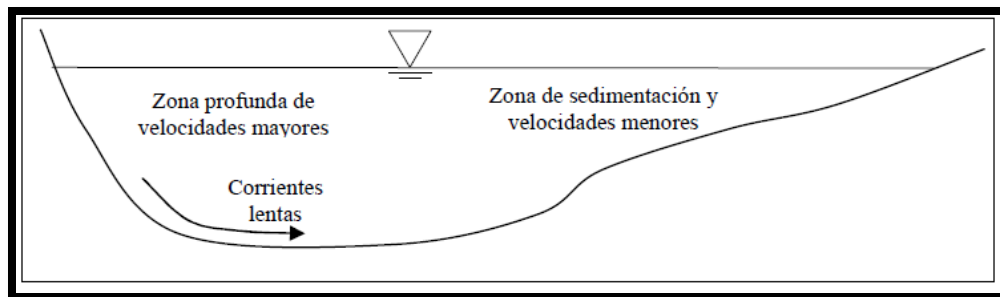


Fig. 12 Sección A-A en la zona curva del cauce

## SOCAVACION

La socavación es la remoción de materiales del lecho de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica. La socavación del fondo de un cauce definido es el producto del desequilibrio

entre el aporte sólido que trae el agua a una cierta sección y la mayor cantidad de material que es removido por el agua en esa sección.

Los materiales se socavan en diferentes formas: suelos granulares sueltos se erosionan rápidamente mientras que los suelos arcillosos son más resistentes a la erosión. La profundidad máxima de socavación se alcanza en horas para suelos arenosos, en tanto que puede tardar días en suelos cohesivos, meses en piedras areniscas, años en piedras calizas, y siglos en rocas tipo granito. Es posible que varias crecientes se requieran para que se produzca máxima profundidad de socavación dependiendo del tipo de material.

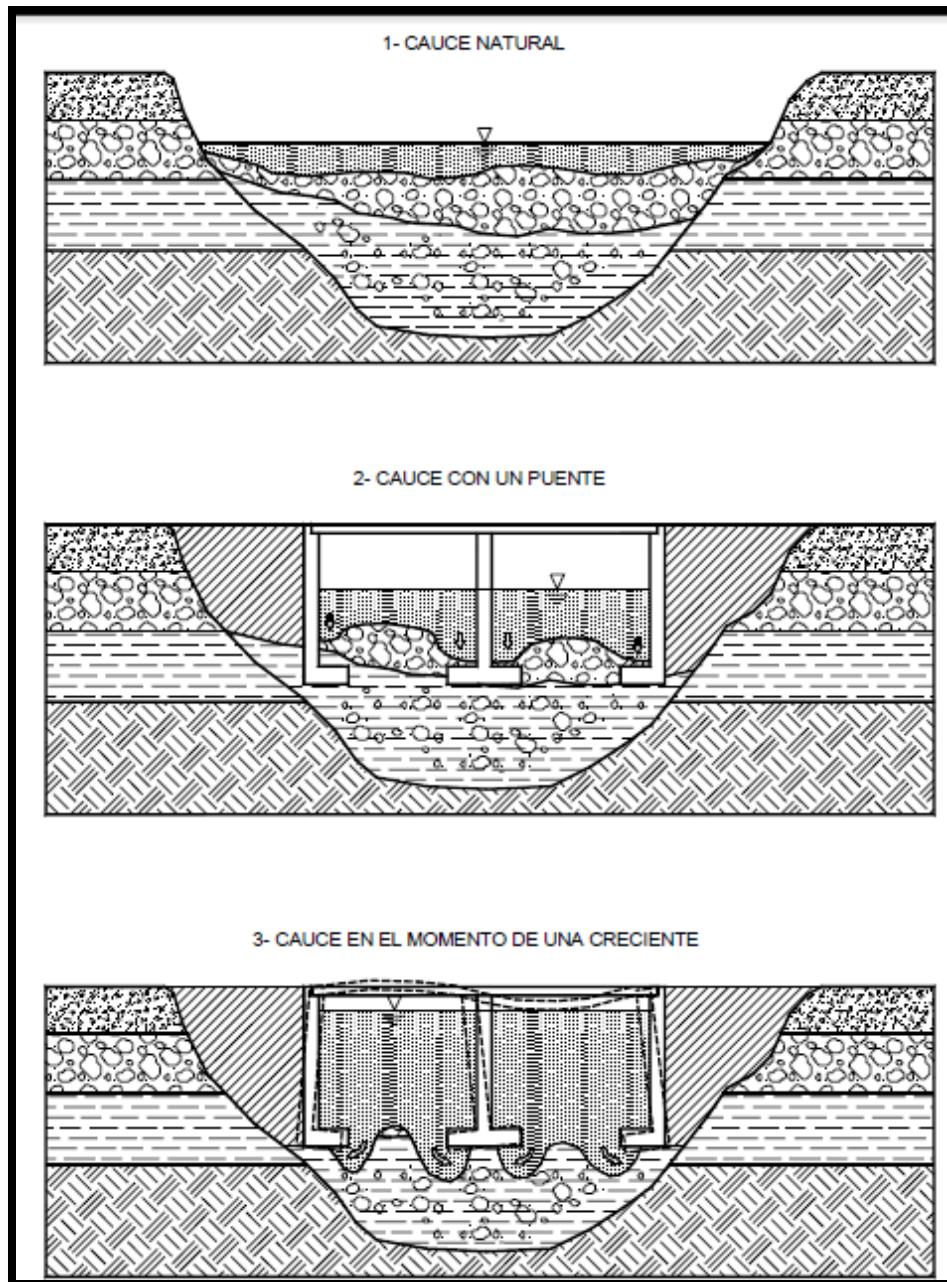


Fig. 13 Esquema general de un proceso de socavación ocasionado por la construcción de un puente.

### **TIPOS DE SOCAVACION**

Se supone que los diferentes tipos de socavación se presentan independientemente el uno del otro por lo que al estimarse la socavación total deben sumarse los efectos de: la socavación a largo plazo, la local y la general por contracción u otros factores, evaluándose además el efecto del

posible movimiento lateral de la corriente. El interés por determinar los diferentes tipos de socavación radica en saber si la estructura corre algún riesgo y en establecer formas de protección

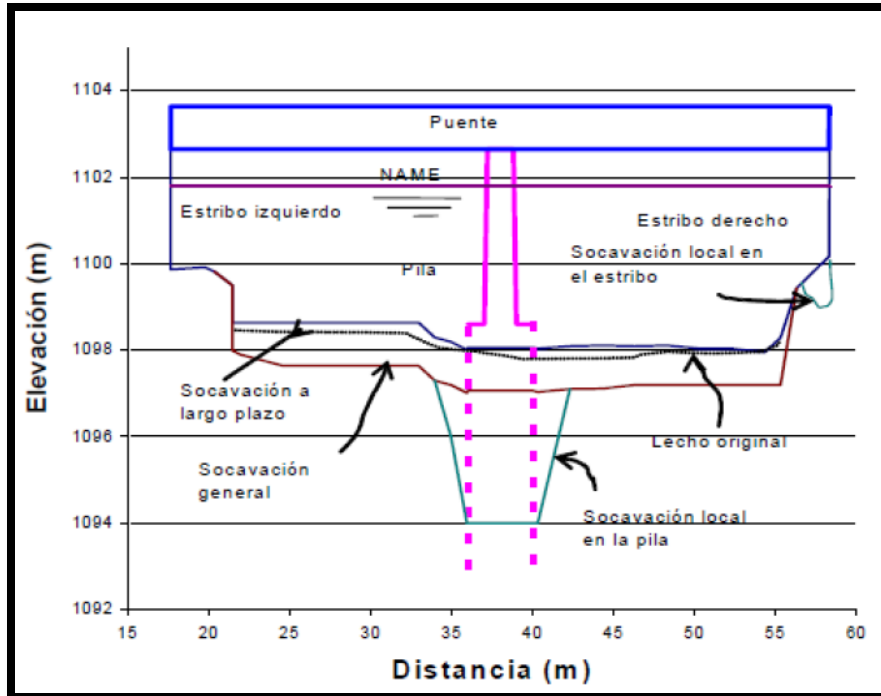


Fig. 14 socavaciones en pilares

#### 1.- Socavación a Largo Plazo

Se refiere a la tendencia a la degradación que el lecho presenta a lo largo del tiempo debido a causas externas, ya sean naturales o inducidas por el hombre, pero sin tenerse en cuenta eventos extremos o crecientes. Por no ser de naturaleza transitoria, o sea que no se presenta durante crecientes, la socavación a largo plazo se considera de tipo permanente. Se manifiesta en grandes extensiones a lo largo del cauce.

El lecho puede estar en proceso de degradación afectando la estabilidad del puente, en proceso de agradación lo que sería benéfico para la estabilidad del puente desde el punto de vista de la socavación o en situación de equilibrio. Degradación se refiere al descenso o socavación del lecho del cauce debido al déficit en el suministro de sedimentos desde aguas arriba. El fenómeno opuesto es la agradación, la cual se refiere a la sedimentación

de materiales erodados del cauce o de la cuenca en sectores aguas arriba de un cruce.

## 2.- Socavación por Migración Lateral de la Corriente

La migración lateral del cauce principal de la corriente ocurre dentro de las zonas bajas inundables y puede afectar la estabilidad de pilas, estribos y las zonas de aproximación, o alterar la socavación total al cambiar el ángulo de ataque del flujo sobre las estructuras.

En ríos meándricos, el cauce se mueve tanto lateral como longitudinalmente hacia aguas abajo, debe ser tenido en cuenta en la construcción de puentes en curvas del río y en el diseño de sistemas de protección.

Es difícil anticipar cuándo y cómo un cambio en el cauce va a ocurrir ya que puede ser gradual en el tiempo o ser el resultado de una creciente. Tampoco es fácil de predecir la dirección y la magnitud del movimiento. Las fotografías aéreas son muy útiles para evaluar estos cambios a través del tiempo. Es importante, al menos, considerar cambios potenciales en el cauce a la hora de diseñar nuevos puentes o proyectar medidas de control para puentes existentes.

## 3.- Socavación General

Es el descenso generalizado del fondo del río como consecuencia de una mayor capacidad de la corriente para arrastrar y transportar sedimentos del lecho en suspensión durante crecientes. Ocurre a todo lo largo del río y no necesariamente se debe a factores humanos como la construcción de un puente o de otra estructura.

La más común es debida a la contracción del flujo que ocasiona la remoción de material a través de todo o casi todo el ancho del cauce por lo que si los métodos de cálculo de la socavación general se aplican para la sección de un puente, se está considerando incluido el efecto de la contracción del flujo y no deben duplicarse los efectos.

Para Suelos Granulares

$$y_s = \left[ \frac{\alpha \cdot y_o^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{\frac{1}{1+Z}}$$

Para suelos Cohesivos

$$y_s = \left[ \frac{\alpha \cdot y_o^{5/3}}{0.60 \gamma^{1.18} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{\frac{1}{1+X}}$$

Donde:

$y_s$  = Desnivel entre la superficie del agua, al pasarla avenida y el fondo erosionado.

$H_o$  = Desnivel entre la superficie del agua, al pasarla avenida, y el nivel del fondo original (medido antes de la avenida).

$y_s, y_o$  = Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo.

$y_m$  = Tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original. Se obtiene de dividir el área hidráulica entre el ancho de la superficie libre  $B_e$ .

$W_e$  = Ancho libre de la superficie al presentarse la avenida

$Q_d$  = Gasto del diseño

$D_m$  = Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.

$\gamma_s$  = Peso volumétrico seco; si el material es cohesivo.

$x, y$  = Exponentes en función de  $D_m$  o  $\gamma_s$  según el tipo de material del fondo

$\psi$  = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión

$\beta$  = Coeficiente, depende del período de retorno del gasto de diseño

$\mu$  = Coeficiente que depende de la contracción del cauce

La socavación general difiere de la socavación a largo plazo (permanente) puesto que al ocurrir durante crecientes se considera de carácter transitorio o cíclico.



a) Socavación por Contracción

La socavación por contracción es causada principalmente por la disminución del ancho del flujo ya sea por causas naturales o artificiales o por el cambio en el control aguas abajo de la elevación de la superficie del agua. La causa más común de socavación por contracción es la reducción de la sección del flujo por los terraplenes de acceso al puente y en menor grado por las pilas que bloquean parte de la sección recta.

Una disminución en la sección mojada implica aumento de la velocidad media del agua y del esfuerzo cortante. Por lo tanto, se presenta aumento en las fuerzas erosivas en la contracción ocasionando que la cantidad de material del lecho que es removido supere al que es transportado hacia el sitio.

El aumento en velocidad produce el incremento en el transporte de material haciendo que el nivel del lecho descienda, que la sección mojada aumente, por lo que la velocidad y el esfuerzo cortante nuevamente disminuyen, haciendo que el equilibrio del río se vaya restableciendo con el tiempo. Esta situación de equilibrio se da cuando el material que es removido es igual al material que es transportado hasta el sitio en consideración.

$$y_t = y_o \left[ \frac{W_o}{W_t} \right]^{0.642}$$

Donde:

$y$  = Tirante medio en las secciones inalteradas (o) y reducidas (t)  
 $W$  = Anchos de la superficie libre.

Otros factores que causan socavación por contracción son:

- Contracciones naturales de la corriente.
- Zonas de aproximación al puente que obstruyen las planicies de inundación.
- Islas o barras de sedimentos en el puente, aguas arriba o aguas abajo.
- Acumulación de basuras o hielo.
- Crecimiento de vegetación en el cauce, en las bancas, o en la zona de inundación.
- Flujo a presión en el puente.

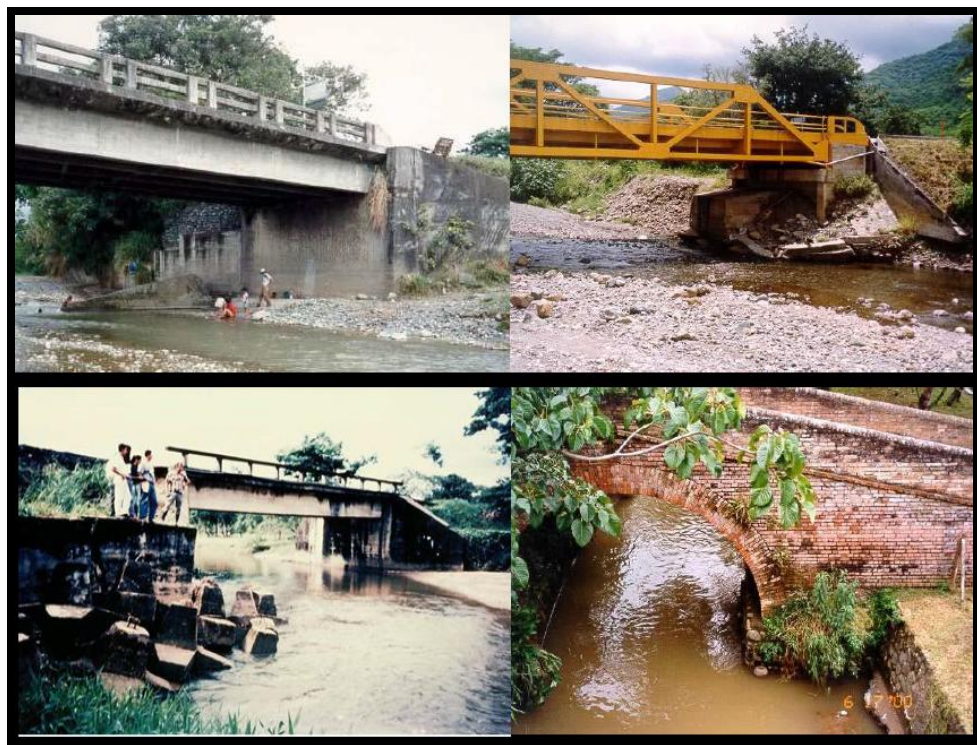


Fig. 15 Socavacion por Contracción

b) Otras causas de Socavación General

Otras condiciones de socavación general resultan de las características relacionadas con la corriente (recta, meándrica o entrenzada), controles variables del flujo aguas abajo, flujo en codos, confluencias y otros cambios que causen degradación del cauce.

Algunas condiciones que producen socavación general están asociadas con particularidades de la morfología del cauce como cauces entrenzados que tendrán huecos de socavación más profundos cuando dos cauces se unen aguas debajo de una isla. También, un puente situado

aguas arriba o aguas debajo de una confluencia puede experimentar socavación general debido a condiciones cambiantes del flujo en el río principal o en los tributarios. El caso más crítico es cuando se presenta el nivel más bajo del agua hacia aguas abajo del puente.

#### 4.- Socavación Local

Se refiere a la remoción del material que circunda pilas, estribos, diques o terraplenes de acceso a un puente. Está causada por el cambio de dirección de las líneas de corriente, la turbulencia, la aceleración del flujo y los vórtices resultantes inducidos por la obstrucción al flujo.

##### a) Socavación Local en Pilas

El mecanismo que produce la socavación está asociado a la separación tri-dimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice periódico al pie de ella, (Dargahi, B. 1990). La acumulación de agua hacia aguas arriba de la obstrucción produce una especie de onda en la superficie y un flujo vertical hacia abajo que crea un fuerte gradiente de presiones lo que ocasiona separación del flujo, como consecuencia de lo cual se origina un sistema de vórtices al pie de la pila llamados vórtices de herraduras que son los principales causantes de la socavación.

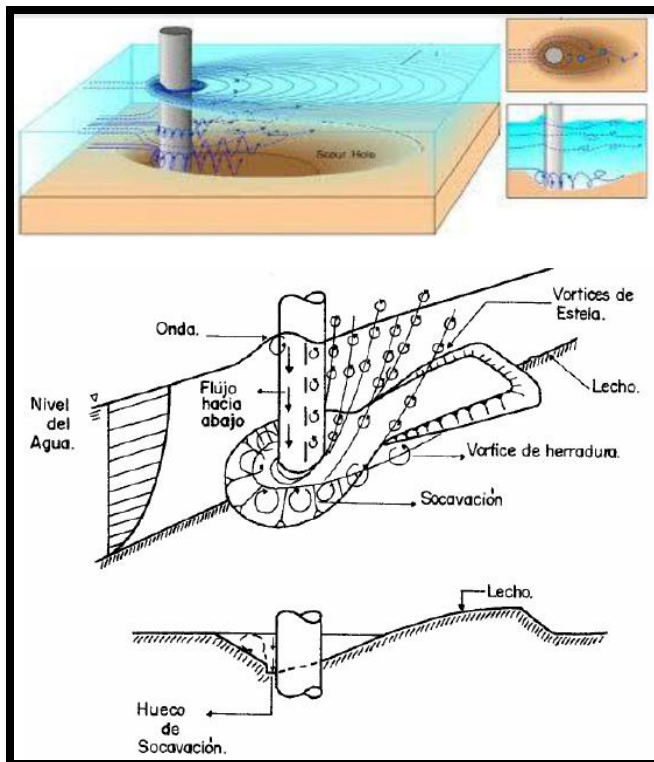


Fig. 16 Socavacion local

El flujo hacia arriba combinado con los vórtices de herradura que se forman en la base de la pila remueve el material del lecho y si la tasa de transporte de sedimento desde la zona de obstrucción es mayor que el aporte de sedimentos proveniente de aguas arriba, se crea el hueco de socavación.

El vórtice de herradura se extiende hacia aguas abajo de la pila hasta que pierde su identidad al confundirse con la turbulencia general del flujo. B. W. Melville (1975) describió los vórtices con su centro de bajas presiones como si fueran máquinas aspiradoras.

#### b) Socavación Local en Estribos

Se piensa que está afectada por los mismos fenómenos que causan la socavación local en pilas como son separación del flujo y vórtices de herradura que remueven partículas localmente. La socavación local se produce en los estribos que obstruyen el paso del agua. Esta

obstrucción forma un vórtice de eje horizontal que empieza en la parte aguas arriba y corre a lo largo del pie de la estructura y un vórtice de eje vertical al final de la misma. El vórtice al pie del estribo es muy similar al vórtice de herradura de las pilas y el vórtice al final es similar a los vórtices de estela más débiles que se forman aguas abajo.

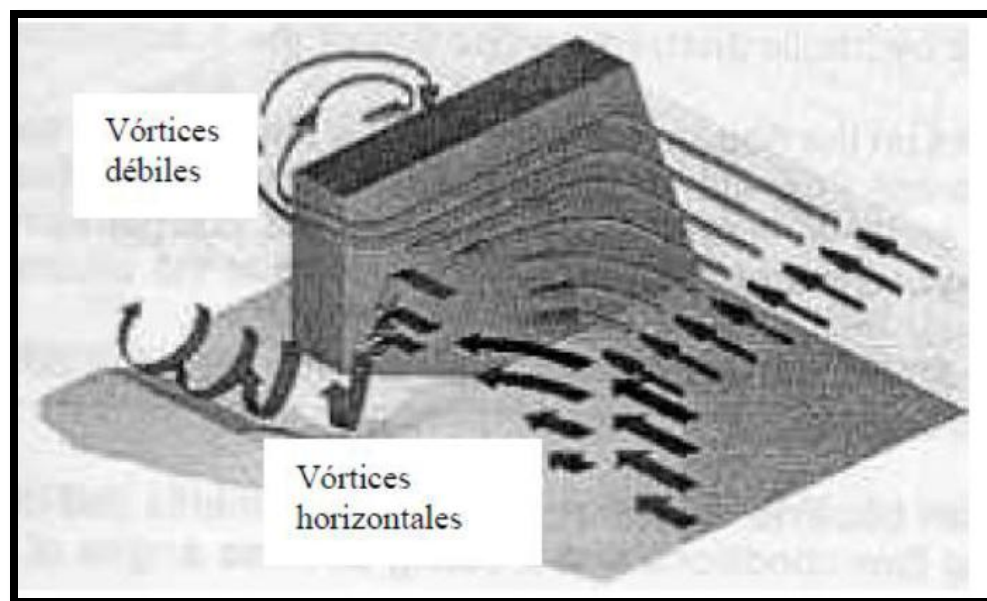


Fig. 17 Socavación local en Estribos

### **Cálculo de la profundidad de socavación**

La erosión local, o socavación, es la remoción que realiza el agua del material sólido constituyente del lecho fluvial en los alrededores de ciertas estructuras como los pilares y estribos. En los estudios de un puente es importante efectuar un cálculo, lo más preciso posible, acerca de la profundidad de la erosión local producida por pilares y estribos, pues ella determinará la de la cimentación, la que debe estar debajo de la máxima profundidad de socavación. En algunas publicaciones, como las mexicanas, a la profundidad de socavación se le llama “profundidad de desplante”. Desplante significa arrancar de raíz. Una subestimación de la máxima profundidad de socavación podría conducir a la falla de la estructura y, en cambio, una sobrestimación llevaría a costos innecesariamente altos. En los ríos que tienen áreas de inundación

no se debe descartar la posibilidad de que el río, mediante un desplazamiento lateral, altere su curso y ataque los pilares ubicados en ellas por lo que su profundidad de cimentación debe prever este caso.

La socavación, o erosión local, que se produce en el lecho fluvial como consecuencia de los pilares y estribos se debe a que aparecen velocidades locales muchos mayores que la velocidad media de la corriente y a la generación de vórtices en diferentes direcciones del escurrimiento. Los vórtices desplazan el material constituyente del lecho, aun cuando la velocidad media de la corriente, o la fuerza tractiva, no fuesen suficientemente grandes para hacerlo. Naturalmente que la socavación tiene características particulares según se trate de lechos cohesivos o no cohesivos. En los lechos de arena o grava la socavación puede producirse muy rápidamente, a veces en solo unas horas. En cambio, en los lechos cohesivos la erosión es más lenta, pero puede alcanzar finalmente valores tan altos como aquellos de los lechos no cohesivos. A continuación se examina el desarrollo de la erosión local en los lechos no cohesivos (granulares).

Puede ser que para un caudal determinado no se produzca desplazamiento de las partículas del fondo, pero al colocar un pilar (es decir, un obstáculo) aparezcan corrientes vorticosas que muevan las partículas del lecho y se presente la socavación. La erosión local se desarrolla en el tiempo, muy rápidamente, y avanza hasta llegar a una situación de equilibrio sedimentológico. Como se dijo antes, la socavación no es indefinida. Richardson y otros autores han señalado que a pesar de que se tenga un flujo permanente (sin variaciones en el tiempo), la profundidad de la erosión local fluctúa con el tiempo en los lechos arenosos en los que el fondo se encuentre en la fase de dunas, especialmente si éstas son grandes. Cuando la cresta de una duna llega al pilar se detiene o disminuye la socavación. Pero cuando la cresta de

la duna pasa y está aguas abajo del pilar, el aporte sólido local disminuye y se profundiza la socavación.

Richardson y otros autores llaman “profundidad de equilibrio” (equilibrium scour depth) al promedio de las dos profundidades de socavación antes mencionadas y señalan que según experiencias de laboratorio la profundidad máxima de socavación es 30% mayor que la profundidad de equilibrio. La máxima socavación es difícil de observar en la naturaleza; su valor puede ser instantáneo, pero suficiente para causar la falla de una estructura. Se habla también de profundidad de erosión en agua con sedimentos y sin ellos. De acá que la erosión deba estudiarse conjuntamente con el transporte sólido y que haya tantos resultados diferentes como fórmulas existen.

La erosión local se origina en los vórtices, los que son de eje horizontal y vertical, tal como puede verse en las Figuras N° 10.7 y 10.8.

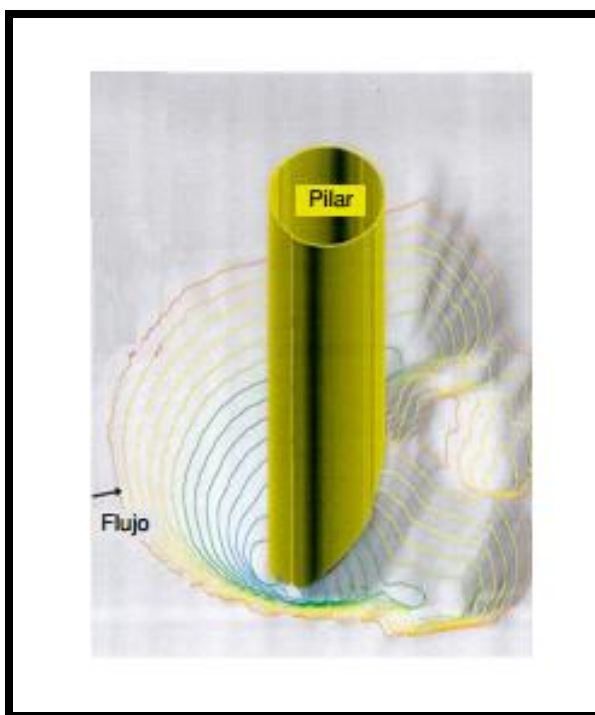


Fig. 18 Simulación de la socavación al pie de un pilar de puente

Los vórtices de eje horizontal (torbellinos), llamados de herradura (horseshoe vortex), están muy asociados a la forma de la sección transversal del pilar.

Jensen, citando a Shen, ha expresado que este torbellino de núcleo proviene de la vorticidad de la capa límite del escurrimiento en el fondo del canal y que a él se debe la máxima socavación, en la mayoría de los casos. Estos vórtices de herradura tienen una naturaleza tridimensional muy complicada de analizarse y no se ha podido establecer una relación matemática entre su desarrollo y el de la socavación.

En cambio, los vórtices de eje vertical (wake-vortex) se generan por separación de la capa límite del contorno del pilar y son muy importantes cuando el pilar es

muy ancho. Como la socavación se origina en los vórtices podría pensarse que es necesario partir de su estudio para determinar la socavación. Pero, esto no ha sido posible hasta ahora por lo que la socavación se estudia del modo que se señala a continuación.

La profundidad  $y_s$  de la socavación originada por un pilar se calcula a partir de varios factores que se deben principalmente a las características de la corriente, del material sólido transportado, de la geometría del pilar, de la dirección de la corriente con respecto al pilar y de la configuración del fondo.

Dentro de las características de la corriente se encuentran el tirante, la velocidad media y el Número de Froude (F), inmediatamente aguas arriba del pilar. Las características de la erosión son diferentes, según que se trate de flujos subcríticos o supercríticos. La determinación de la profundidad de la socavación originada por los pilares y estribos de puentes es una labor esencialmente multidisciplinaria.

El transporte sólido está formado por las partículas en suspensión y por la de fondo. En lo que respecta a este último modo de transporte, y para



efectos de la erosión local, es muy importante la curva de distribución granulométrica de las partículas que lo constituyen. Es así como una distribución granulométrica extendida protege de la erosión. Por el contrario, la granulometría casi uniforme, como la de una arena fina, aumenta el peligro de erosión. En general, en el cálculo de la profundidad de socavación en lechos arenosos, no influye el tamaño de los granos. Cuando hay partículas mayores puede producirse, para un cierto caudal, el acorazamiento del lecho, lo que implicaría la disminución de la socavación. Esto fue considerado por Richardson en la fórmula de Colorado State University (CSU) mediante un coeficiente, que se examina más adelante.

El ancho  $D$  del pilar es sumamente importante en el cálculo de la socavación.

Se sabe que mientras mayor sea el ancho  $D$  del pilar (entendiendo como tal su dimensión en el sentido normal al de la corriente), mayores serán las posibilidades de una socavación más intensa. De acá que haya que preferir pilares delgados. La dirección de la corriente con respecto al pilar tiene una importancia decisiva en la profundidad de socavación, como se ve más adelante.

El estudio de la erosión local se ha hecho fundamentalmente en ensayos de laboratorio, para determinadas condiciones. Existen numerosas fórmulas para el cálculo de la socavación originada por pilares y estribos, cuyos resultados difieren notablemente. Muchas de ellas tienen refinamientos excesivos, incompatibles con la realidad fluvial a la que se enfrenta el ingeniero. Martín- Vide y otros autores realizaron una investigación bibliográfica sobre fórmulas para el cálculo de la socavación en pilares y encontraron unas 70 fórmulas, que se referían sólo a lechos granulares con Números de Froude menores que 1, cuyos resultados diferían tanto como 1:8.

## CAPITULO II.- MATERIAL Y METODOS

### MÉTODO:

Se tomara tres casos ideales, diferenciándose estos en el ancho de su cauce principal en forma proporcional. Para los tres casos mencionados se considerara un caudal similar de flujo.

Para las secciones de menor y mayor ancho se afectará el caudal en forma proporcional a la variación de su ancho con respecto a la sección de ancho intermedia

Casos (*)	C1	C2	C3	C4
Distancia entre secciones transversales	100m	50m	25m	10m

(\*) Total 7 casos

Por cada caso descrito anteriormente se elaborara cuadros, tablas y gráficos donde se visualice los parámetros hidráulicos calculados, para permitirnos detectar las posibles variaciones.

Por cada caso descrito anteriormente se calculara la profundidad de socavación y se compararan las mismas, a través de tablas y gráficos para su mejor visualización.

Se tratará de estimar un coeficiente que permita para los casos reales tener una primera aproximación de la distancia de seccionamiento.

Para el caso real además se seccionará considerando las distancias del caso ideal para poder verificar el espaciamiento obtenido a partir del coeficiente estimado (en el párrafo anterior mencionado) caiga en la zona de convergencia de la profundidad de socavación. Finalmente discutiremos la influencia que tiene la distancia entre secciones transversales en el cálculo de socavación.

## CAPITULO III: ANALISIS Y DESARROLLO DEL ESQUEMA DE TESIS

### A) CARACTERISTICAS DEL FLUJO EN HEC-RAS

#### 1. Comenzar un Proyecto Nuevo

- ✓ Para comenzar a trabajar es necesario crear un proyecto nuevo, seleccionando File/ New Project.

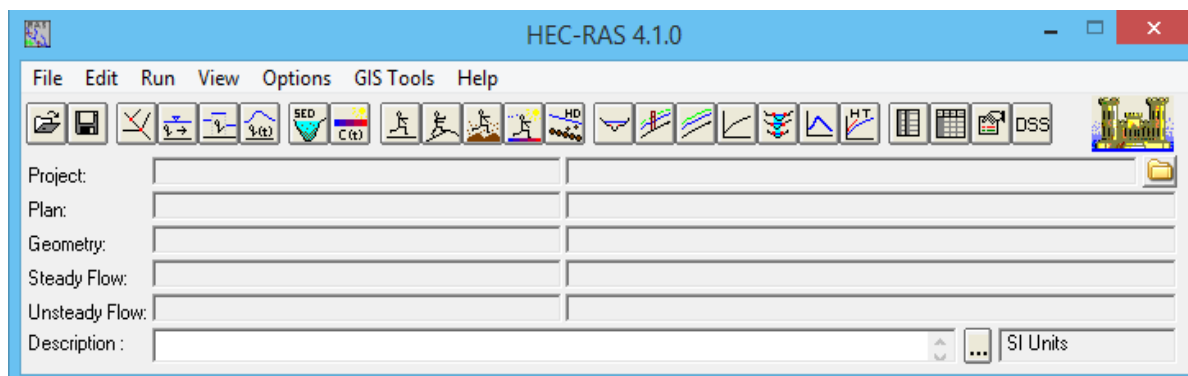


Fig. 18 Ventana principal Hec-Ras

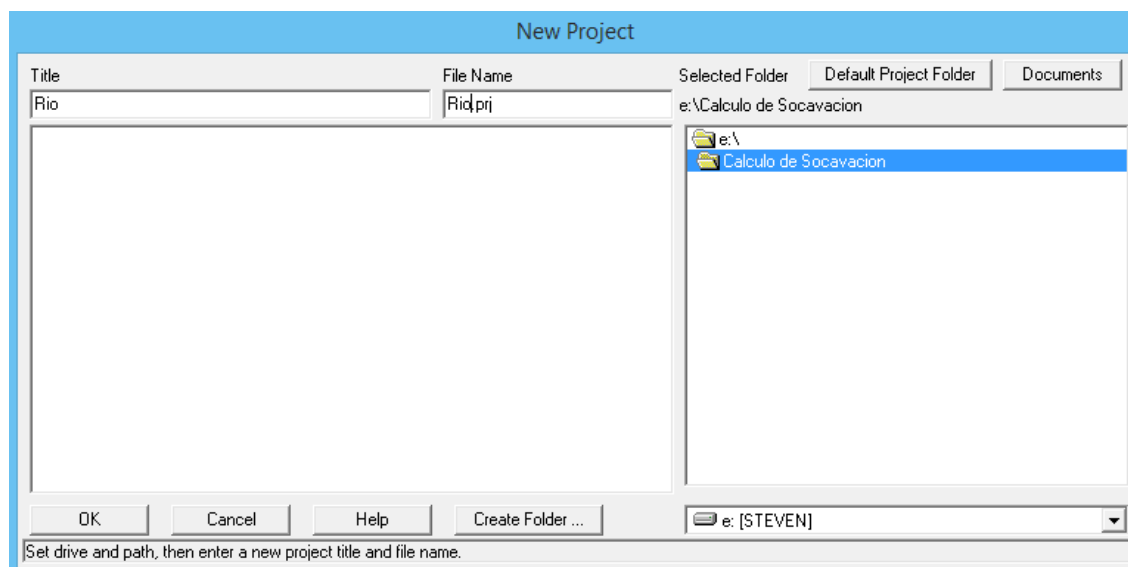


Fig. 19 Creación Nuevo proyecto

## 2. Introducir Datos Geometricos

- ✓ Seleccionar Edit/Geometric Data o bien el icono 

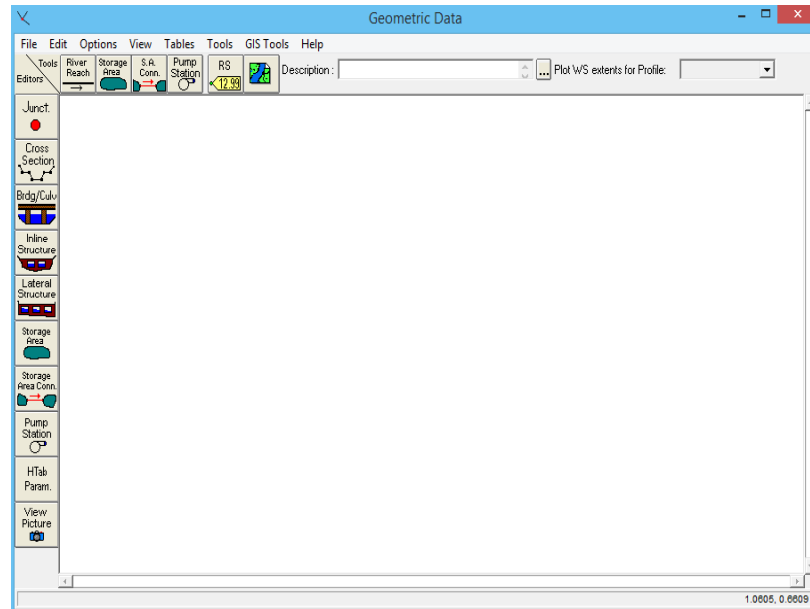


Fig. 20 Ventana Geometric Data

- ✓ Para crear en esta ventana el esquema del Rio o Cauce tramo a tramo, para ello activar el icono “River Reach” dentro de la ventana “Geometric Data”.
- ✓ Dibujar un tramo de cauce, haciendo clic en un punto para definir el extremo de aguas arriba y dos clics en el otro punto para definir el extremo de aguas abajo del tramo.
- ✓ Cuando definimos el extremo de aguas abajo aparece una ventana donde debemos introducir el nombre del rio y el nombre del tramo.

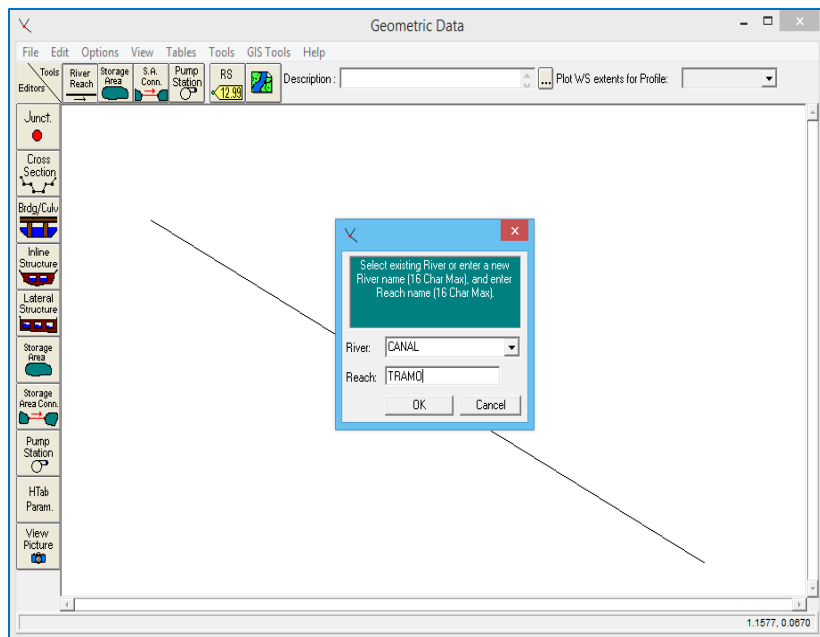


Fig. 21.a Creación Canal

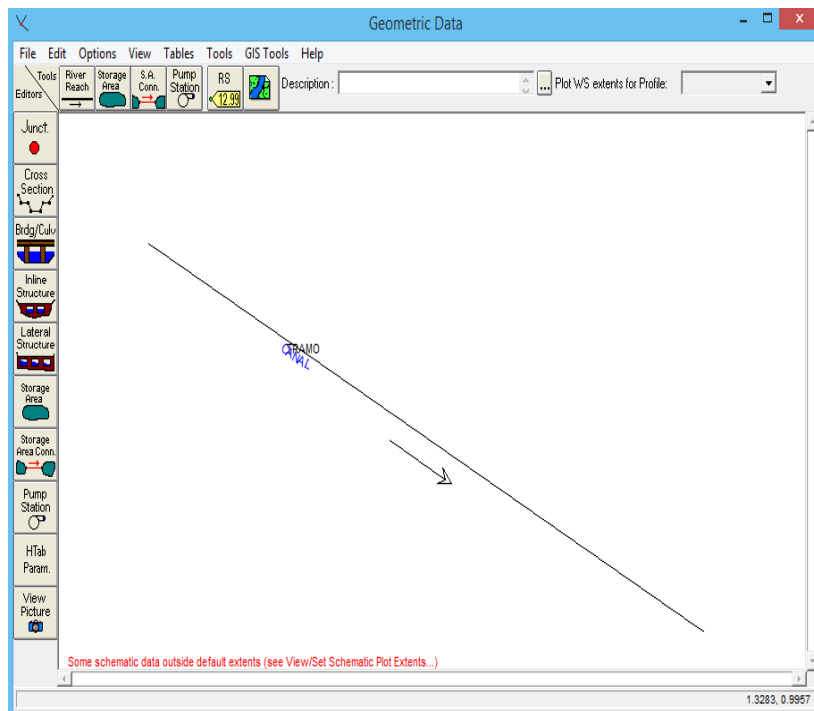


Fig. 21.b Creación Canal

### 3. Introducir Datos de Secciones Transversales

- ✓ Ventana “Geometric Data” seleccionar el icono “Cross Section”.
- ✓ Para introducir la primera sección transversal, seleccionar Options/Add a new Cross Section.
- ✓ Introducimos un número que representará su posición relativa con respecto a las demás secciones. El orden como se ordenan las secciones es aguas arriba, las que tienen número mayor y aguas abajo las que tienen número menor.
- ✓ Cada vez que cliqueamos sobre “Apply Data” los datos serán introducidos y representados en el espacio de la derecha.

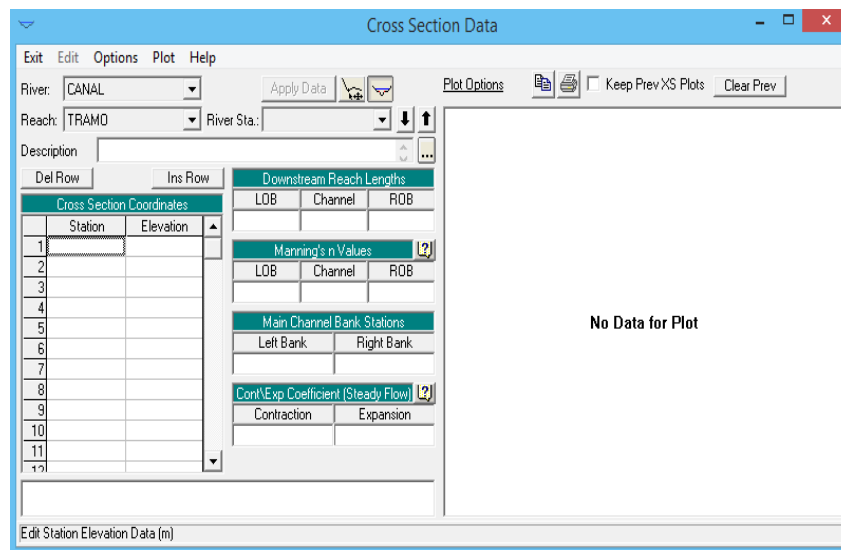


Fig. 22.a Edición puntos del canal

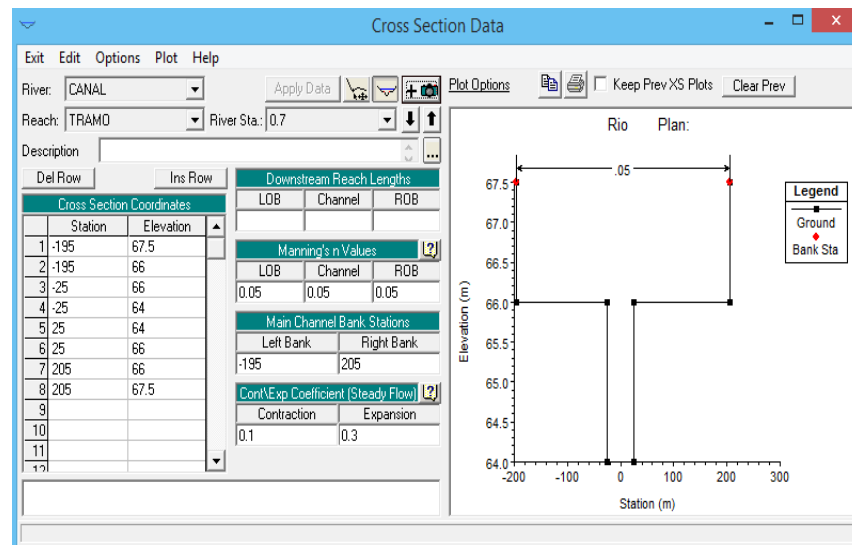


Fig. 22.b Edición puntos del canal

- ✓ Seleccionamos Options/Copy Current Cross Section.
- ✓ Introducimos el número identificador de la posición relativa de la sección (River Station).
- ✓ En “Downstream Reach Lengths” introducimos la distancia hasta la sección de aguas arriba ( En este caso, 600)
- ✓ Así hacemos para las demás secciones ( 1 , 4 , 4.3 )

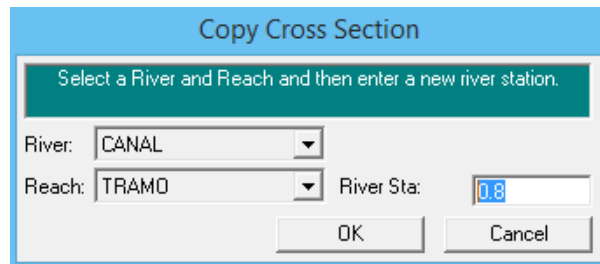


Fig. 23 Copia de las secciones

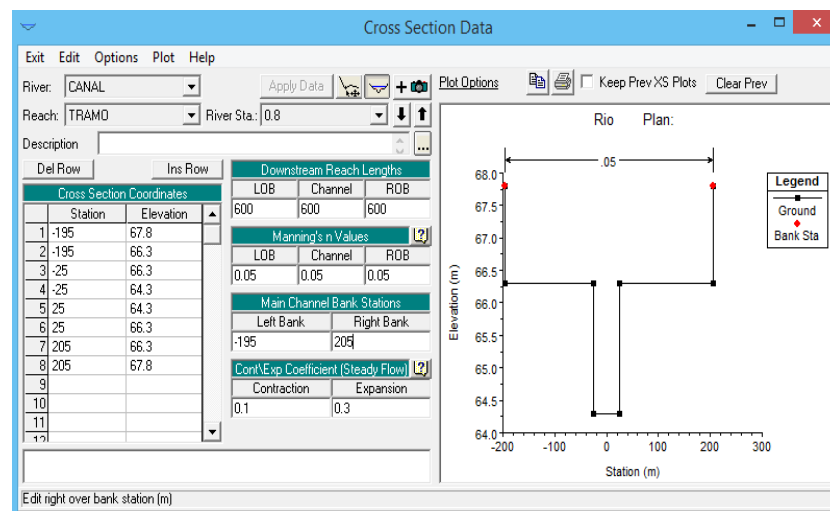


Fig. 24 introducción de puntos del canal

- ✓ Una vez introducido las secciones transversales, aparecerán en la ventana “Geometric Data”.

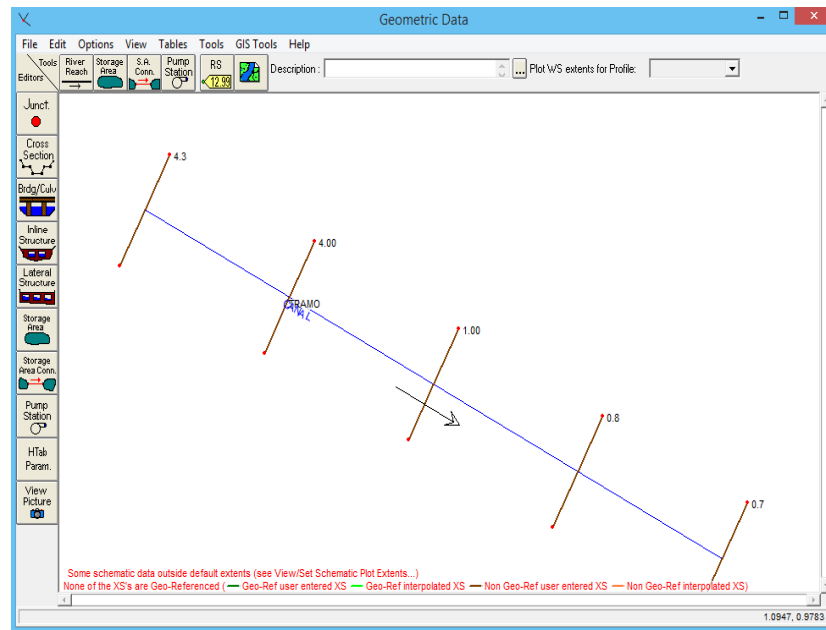



Fig. 25 Dirección del lecho del canal

#### 4. Introducir los Datos Hidráulicos

- ✓ Seleccionar Edit/Steady Flow Data o el icono 
- ✓ Definir el número de perfiles, cada uno de ellos corresponde a un caudal diferente
- ✓ Definir las condiciones de contorno (Reach Boundary Conditions)
- ✓ Por ejemplo, en nuestro canal deseamos la lámina de agua para caudal de 200 m<sup>3</sup>/s. Las condiciones de contorno son :
  - a) Nivel de Agua conocido (Known W.S.): Adecuada si se conoce un nivel en alguna sección transversa. Es importante destacar que el programa exige NIVEL, por lo que hay que introducir el calado más la cota más baja de la sección.
  - b) Calado crítico (Critical Depth): Adecuada si existe alguna sección de control. En esta opción no se exige ningún dato adicional.
  - c) Calado normal (Normal Depth): Adecuada para situaciones donde el flujo se aproxime l uniforme. Exige introducir la pendiente del tramo de influencia.
  - d) Curva de Gasto (Rating Curve): Adecuada si existe alguna sección de control con una relación entre calado y caudal fija.
- ✓ Seleccionamos el icono “Reach Boundary Conditions”, aparece la venta para introducir las condiciones de contorno.



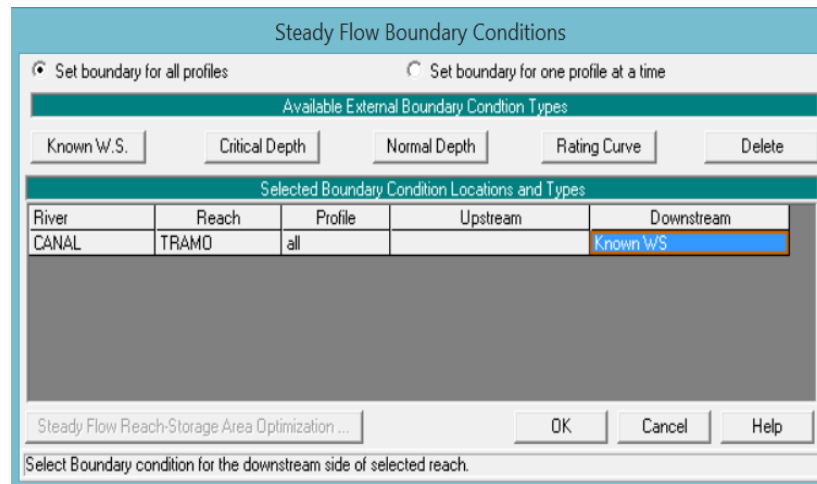


Fig. 26.a Condiciones del Canal

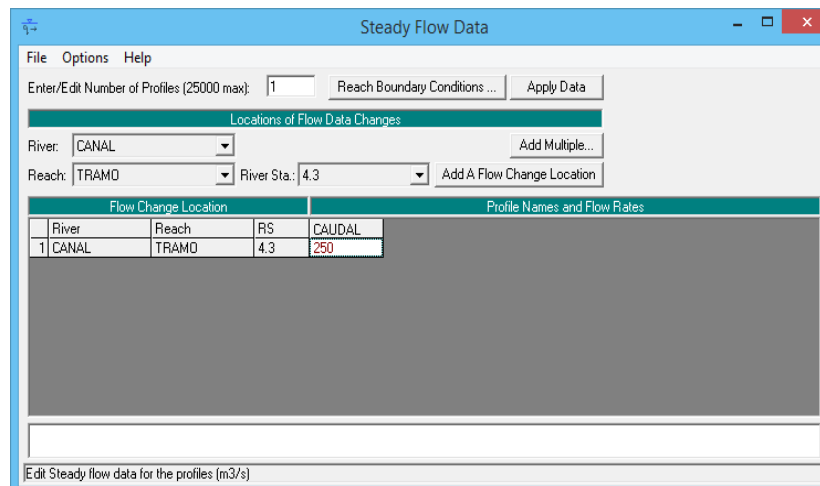



Fig. 26.b Condiciones del Canal

## 5. Crear un Plan y ejecutar una Simulación

Para realizar una simulación hidráulica del cauce es necesario crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

- ✓ Para ello, seleccionamos Run/Steady Flow Analysis o bien el icono 
- ✓ Aparecerá una ventana donde podemos introducir un identificador
- ✓ Seleccionamos un fichero de datos geométricos y uno de datos hidráulicos de entre los existentes
- ✓ Seleccionamos el régimen del flujo que se espera encontrar (Suscrítico, Supercrítico o Mixto). Si no estamos seguros se recomienda usar la opción

“Mixed”, pero debemos tener en cuenta que esta opción exige condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo.

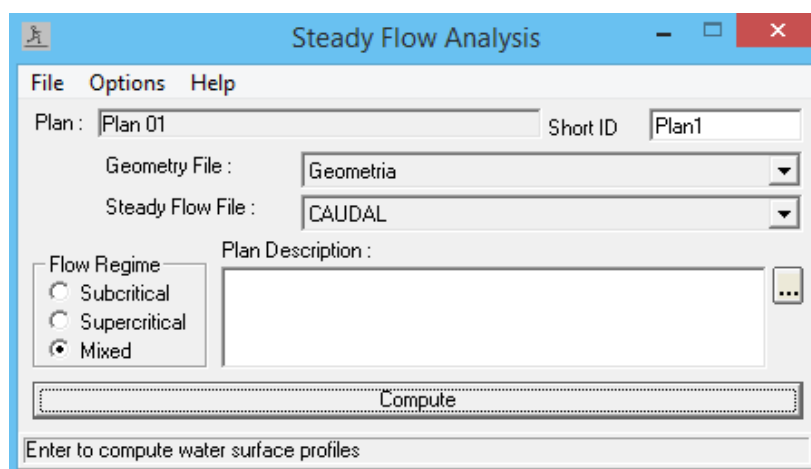


Fig. 27.a Análisis del programa

Una vez ejecutada la simulación correctamente, se mostrara la siguiente ventana.

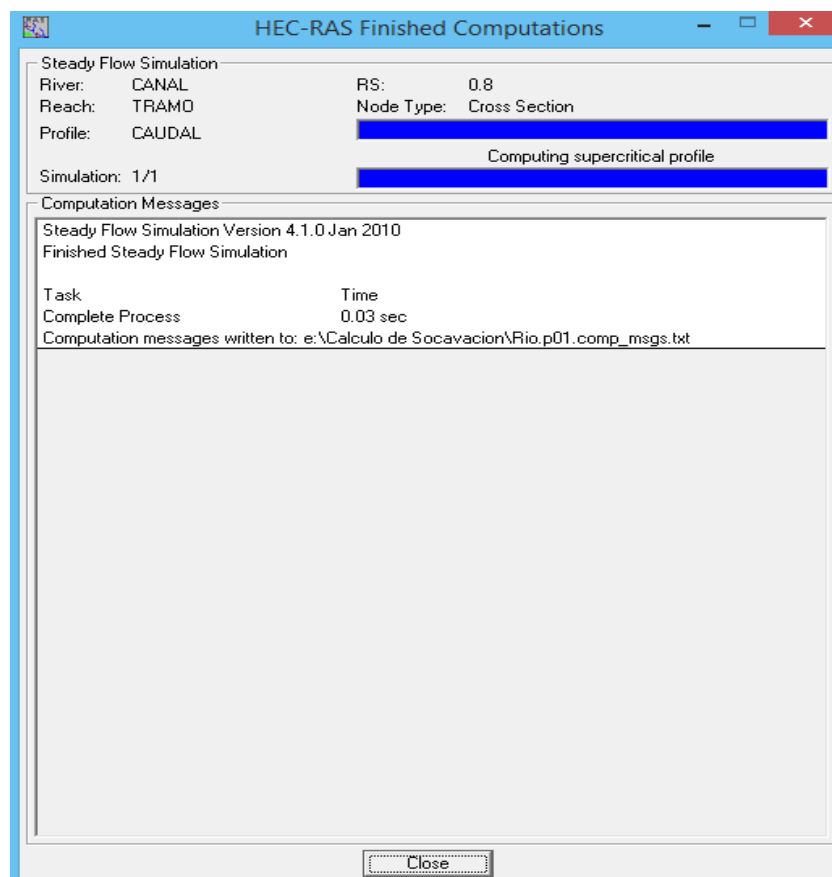


Fig. 27.b Análisis del programa

## B) MODELADO DE PUENTE

Para introducir un puente, en la ventana “Geometric Data”, seleccionamos el icono “Brdg/Culv”, nos pedirá el número que indica la posición de la sección donde se encuentra el puente. Por ejemplo, en nuestro caso estará entre la sección (1 y 4) y será “River Station: 1.5”

Los elementos que conforman el puente son: El Tablero (Deck/Roadway), Las Pilas (Pier) y Los Estribos(Sloping Abutment).

### 1.- Ir a Options/Add a Bridge and/or Culvert....

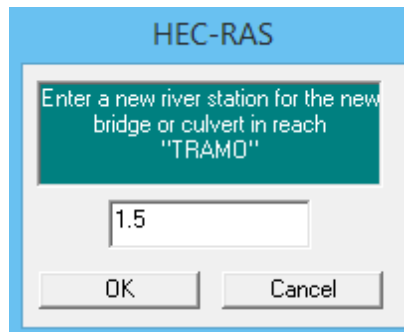


Fig. 28 Tramo donde ubicará el puente

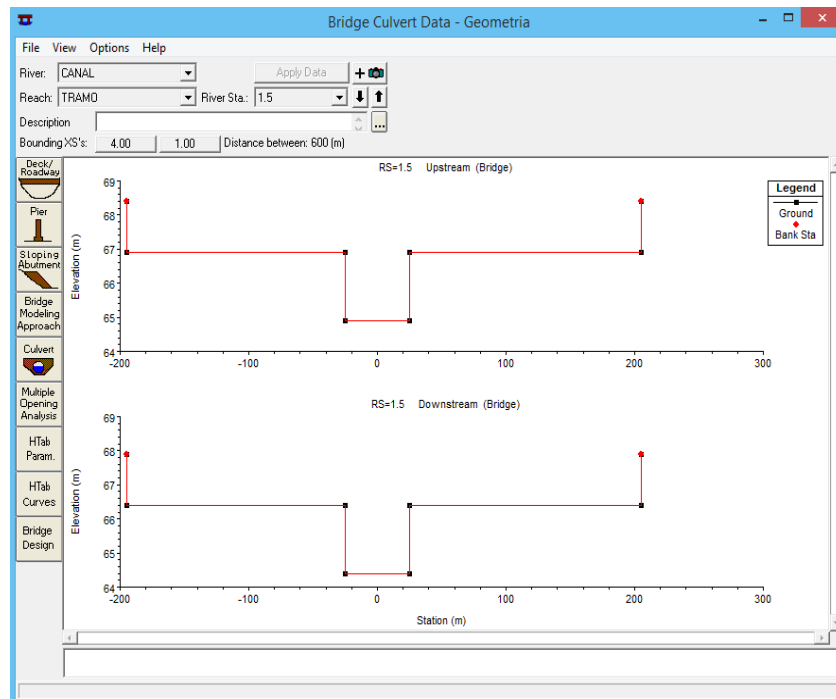


Fig. 29 Sección del canal donde estar el puente

- a) **Tablero:** Las características del tablero se introducen en la ventana “Bridge Culvert Data”, icono “Deck/Roadway”, debemos introducir:

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
β	14	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	-195.	68.28		-195.	68.26	
2	-30.	68.5		-30.	68.48	
3	-30.	68.5	67.51	-30.	68.48	67.49
4	30.	68.5	67.51	30.	68.48	67.49
5	30.	68.5		30.	68.48	
6	205.	68.28		205.	68.26	
7						
8						

U.S Embankment SS: 0 D.S Embankment SS: 0

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)

Fig. 30 Datos del tablero

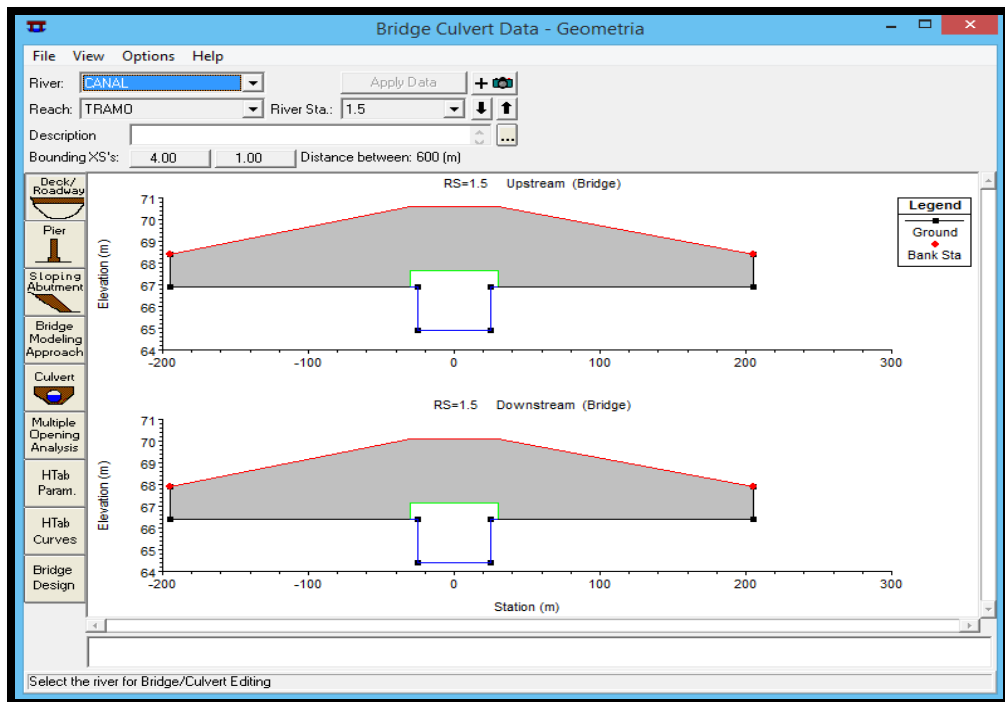


Fig. 31 Sección del tablero

- b) Pilares: Las características de los pilares se introducen en el icono edit the piers for this brigde

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream -12.5

Ins Row Centerline Station Downstream -12.5

Floating Pier Debris

All On ... All Off ...  Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

	Upstream		Downstream	
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	1.	64.78	1.	64.76
2	1.	67.51	1.	67.49
3				
4				
5				
6				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

Fig. 32 Datos pilar 1

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 2

Del Row Centerline Station Upstream 0

Ins Row Centerline Station Downstream 0

Floating Pier Debris

All On ... All Off ...  Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

	Upstream		Downstream	
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	1.	64.78	1.	64.76
2	1.	67.51	1.	67.49
3				
4				
5				
6				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Edit pier widths and elevations (m)

Fig. 33 Datos pilar 2

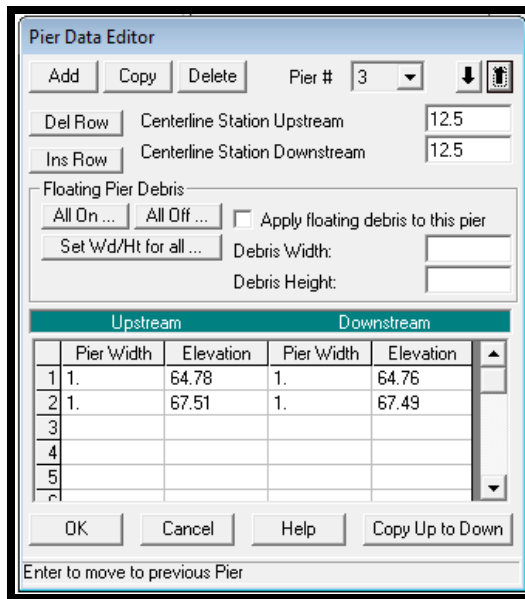


Fig. 34 Datos pilar 3

- c) Estribos: Las características de los estribos se introducen en el icono edit the sloping abutment for this bridge

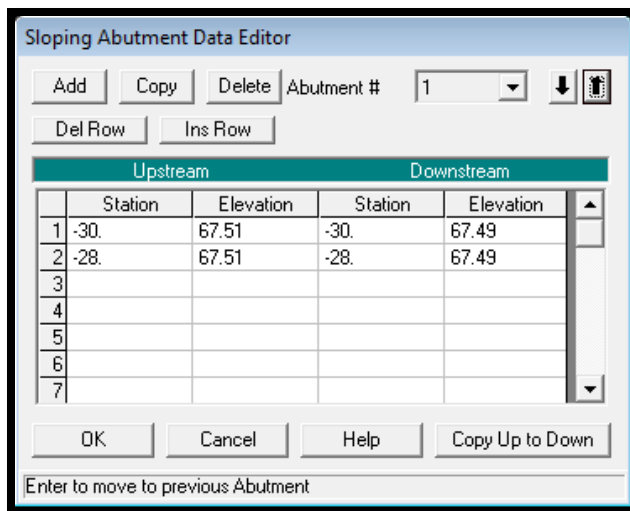


Fig. 35 Datos Estribo 1

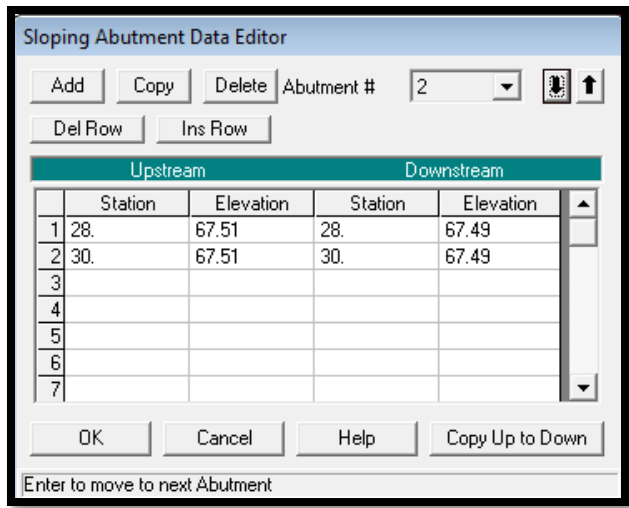


Fig. 36 Datos Estribo 2

El puente quedara de la siguiente manera

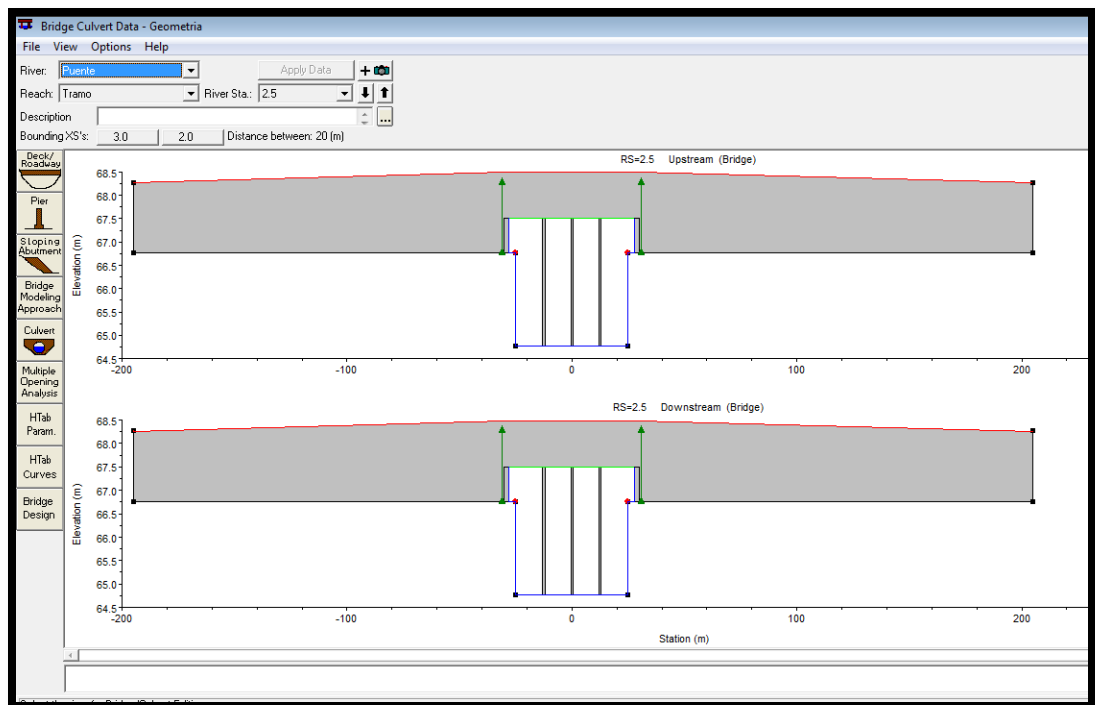



Fig. 37 Sección final del puente

## 2.- Definir áreas de flujo inefectivo



Click en el icono , ubicar sección transversal 1530, de la barra de menú clic en Option/ineffective Flow Areas

**Ineffective Flow Areas**

Select Ineffective Mode

Normal  Multiple Blocks

Left Right

Station

Elevation

Permanent  Permanent

OK Cancel Defaults Clear

Fig. 38 Áreas de flujo inefectivo

## 3.- Corrección de coeficientes de contracción y expansión

En el menú de Geometric Data, click en tables/Contraction/Expansion coefficients (Steady Flow)... Corregir coeficientes 0.1 por 0.3 y expansión 0.3 por 0.5 para secciones 1800, 1550 y 1530, regresamos a Geometric data.

**Edit Contraction/Expansion Coefficients (Steady Flow)**

River: CANAL     Edit Interpolated XS's

Reach: TRAMO

Selected Area Edit Options

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

	River Station	Contraction	Expansion
1	4.3	0.1	0.3
2	4.00	0.3	0.5
3	3.0	0.3	0.5
4	2.5	Bridge	
5	2.0	0.3	0.5
6	1.00	0.1	0.3
7	0.8	0.1	0.3
8	0.7	0.1	0.3

OK Cancel Help

Fig. 39 Corrección coeficientes de expansión



El puente quedara de la siguiente manera

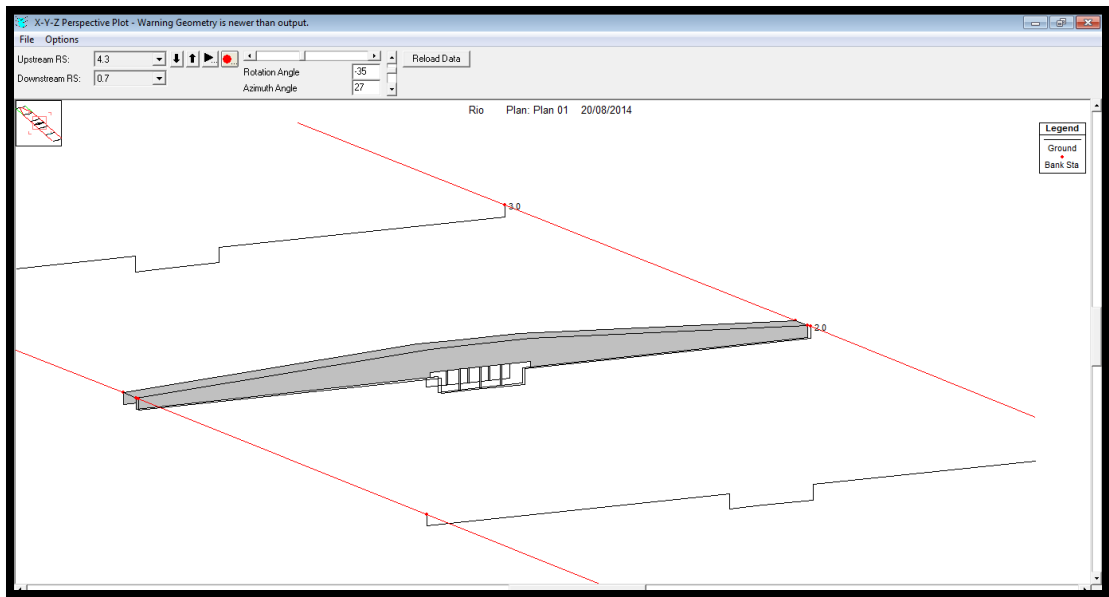


Fig. 40 Puente tridimensional en Hec-Ras

### C) CALCULO DE SOCAVACION EN PUENTES

Del menú ventana principal del HEC-RAS seleccionamos Run/Hydraulic Desing Funtions

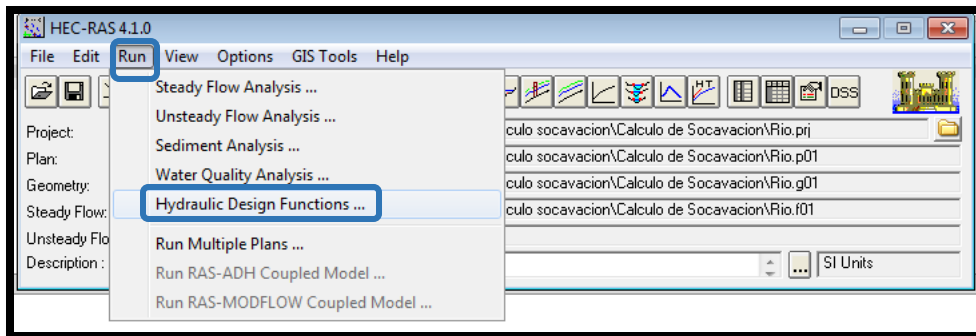


Fig. 41 Hydraulic Design Functions

## 1.- Cálculo de socavación por contracción

Aparece la ventana, Hydraulic Desing –Bridge Scour

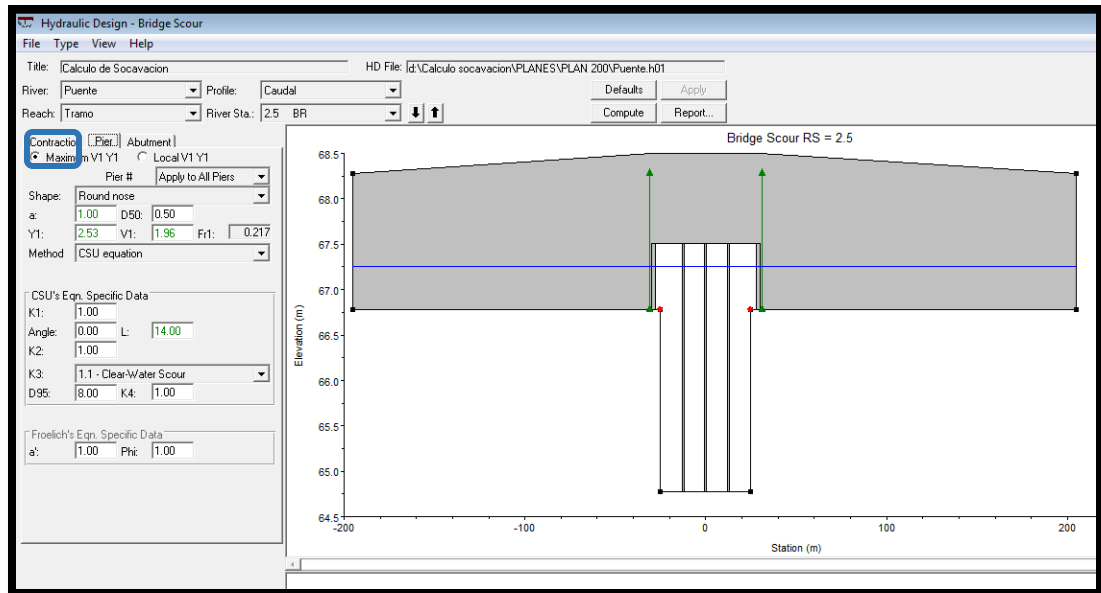


Fig. 42 Socavación por contracción

En la etiqueta contracción, es dividida en 3 columnas, LOB (left oberbank), main chanel y ROB (right Overbank). Esto permite al programa calcular la socavación por contracción para cada una de las tres áreas de la sección transversal

Hec-Ras llena los valores con color verde (el usuario puede modificar) de las variables para el cálculo de socavación por contracción.

## 2.- Cálculo de socavación local en pilares

En el Pier # puede seleccionar ingresar datos pilar, velocidad aguas arriba de los pilares. En Shape seleccionar la forma del pilar, Hec-Ras define el valor de K1. Hec ras por defecto toma el valor de D50 ingresado anteriormente. El usuario debe ingresar el ángulo de ataque, Hec-Ras define el valor de K2. Próximo paso el usuario define el factor de corrección K3 por condición del lecho. Finalmente ingresamos el D95 a efectos del factor de corrección K4

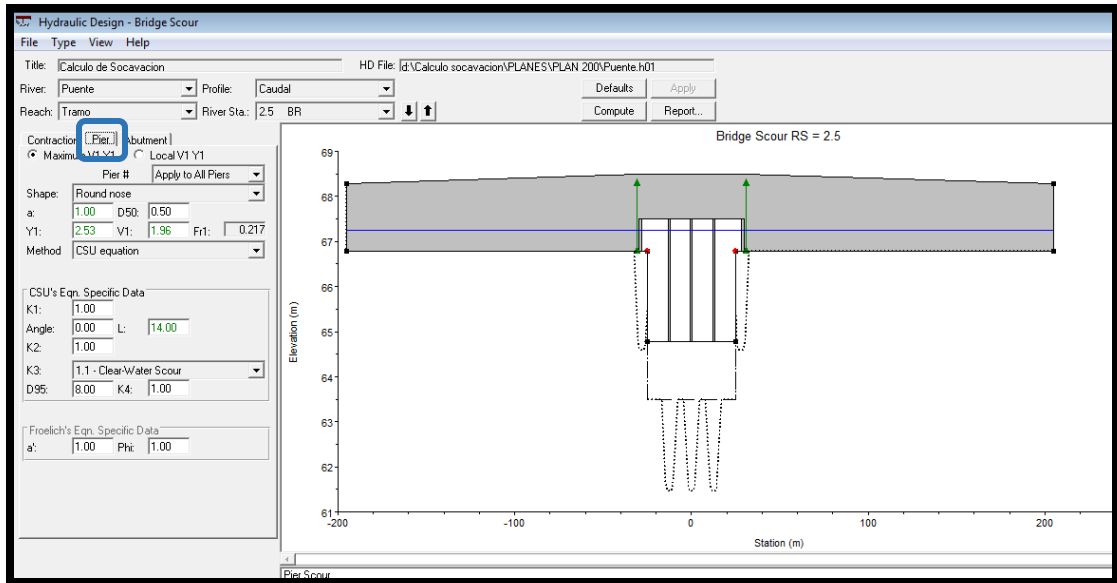


Fig. 43 Socavación Local en Pilares

### 3.- Cálculo de socavación local en estribos

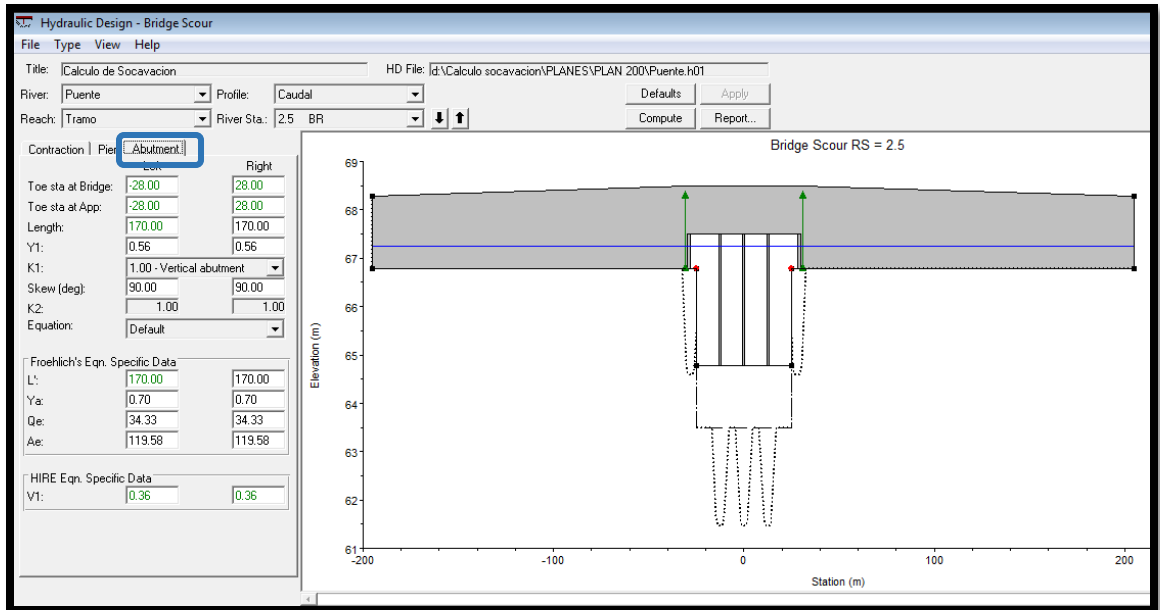


Fig. 44 Socavación Local en estribos

Finalmente hacemos clic en los botones Compute y Report y Hec-Ras nos proporcionara un informe detallado del cálculo de la socavación del puente en estudio.

Hydraulic Design Data			
Contraction Scour			
	Left	Channel	Right
<b>Input Data</b>			
Average Depth (m):	0.75	2.75	0.75
Approach Velocity (m/s):	0.28	1.28	0.28
Br Average Depth (m):	0.48	2.48	0.48
BR Opening Flow (m <sup>3</sup> /s):	0.58	248.84	0.58
BR Top WD (m):	3.00	47.00	3.00
Grain Size D50 (mm):	0.50	0.50	0.50
Approach Flow (m <sup>3</sup> /s):	34.33	181.35	34.33
Approach Top WD (m):	170.00	50.00	170.00
K1 Coefficient:	0.640	0.690	0.640
<b>Results</b>			
Scour Depth Ys (m):	0.00	1.28	0.00
Critical Velocity (m/s):	0.47	0.58	0.47
Equation:	Clear	Live	Clear
<b>Pier Scour</b>			
All piers have the same scour depth			
<b>Input Data</b>			
Pier Shape:	Round nose		
Pier Width (m):	1.00		
Grain Size D50 (mm):	0.50000		
Depth Upstream (m):	2.53		
Velocity Upstream (m/s):	1.96		
K1 Nose Shape:	1.00		
Pier Angle:	0.00		
Pier Length (m):	14.00		
K2 Angle Coef:	1.00		
K3 Bed Cond Coef:	1.10		
Grain Size D90 (mm):	8.00000		
K4 Armouring Coef:	1.00		
<b>Results</b>			
Scour Depth Ys (m):	2.04		
Froude #:	0.39		
Equation:	CSU equation		

Abutment Scour		
	Left	Right
<b>Input Data</b>		
Station at Toe (m):	-28.00	28.00
Toe Sta at appr (m):	-28.00	28.00
Abutment Length (m):	170.00	170.00
Depth at Toe (m):	0.56	0.56
K1 Shape Coef:	1.00 - Vertical abutment	
Degree of Skew (degrees):	90.00	90.00
K2 Skew Coef:	1.00	1.00
Projected Length L' (m):	170.00	170.00
Avg Depth Obstructed Ya (m):	0.70	0.70
Flow Obstructed Qe (m <sup>3</sup> /s):	34.33	34.33
Area Obstructed Ae (m <sup>2</sup> ):	119.58	119.58
<b>Results</b>		
Scour Depth Ys (m):	2.19	2.19
Froude #:	0.15	0.15
Equation:	HIRE	HIRE
<b>Combined Scour Depths</b>		
Pier Scour + Contraction Scour (m):	Channel: 3.32	
Left abutment scour + contraction scour (m):	2.19	
Right abutment scour + contraction scour (m):	2.19	

Fig. 45 Resultados dados por el Programa

Este procedimiento se repetirá para el cálculo de socavación para los seccionamientos 200m, 150m, 100m, 75m, 50m, 25m, 10m

El seccionamiento se realizará de la siguiente manera

En la ventana Geometric Data, clic en Tools, XS Interpolation, Between 2 XS's

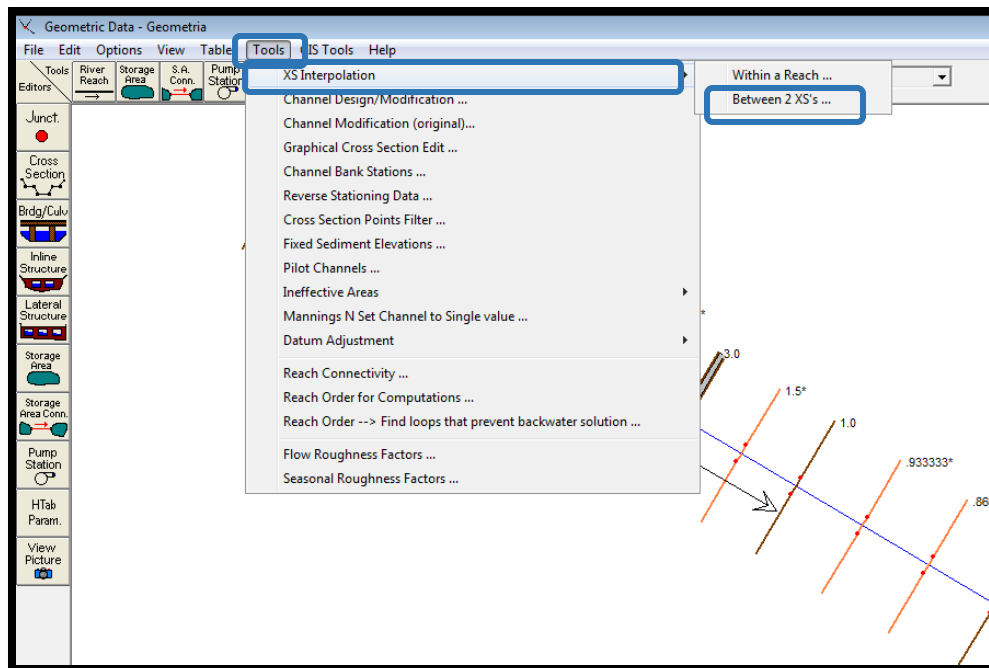


Fig. 46 Seccionamiento

En esta ventana escribiremos en cuantos metros queremos seccionar el eje del rio

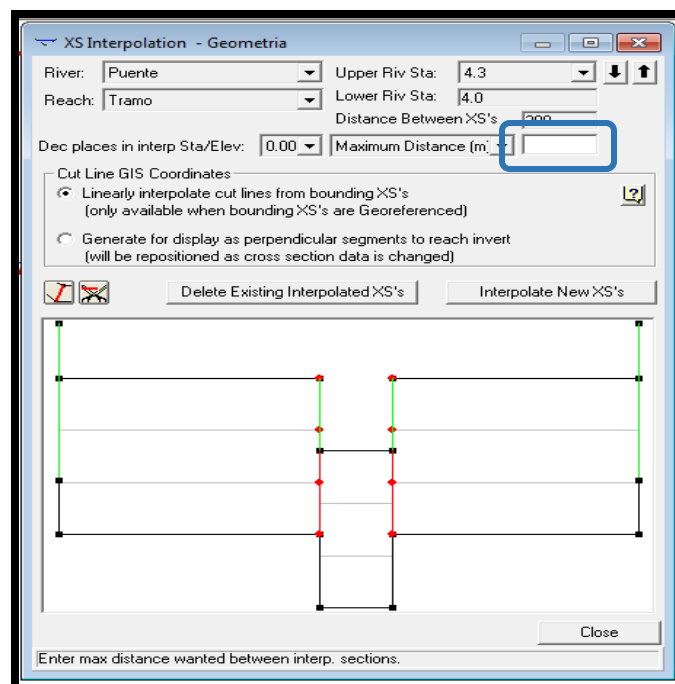


Fig. 47 Interpolación

## TOPOGRAFÍA Y UBICACIÓN DEL PUENTE

El puente a analizar se encuentra en el departamento de Lima, Provincia de Cañete, Distrito de Lunahuaná, Anexo de Socsi.



Fig. 48 Ubicación Distrito de Lunahuaná



Fig. 49 Ubicación Anexo de Socsi

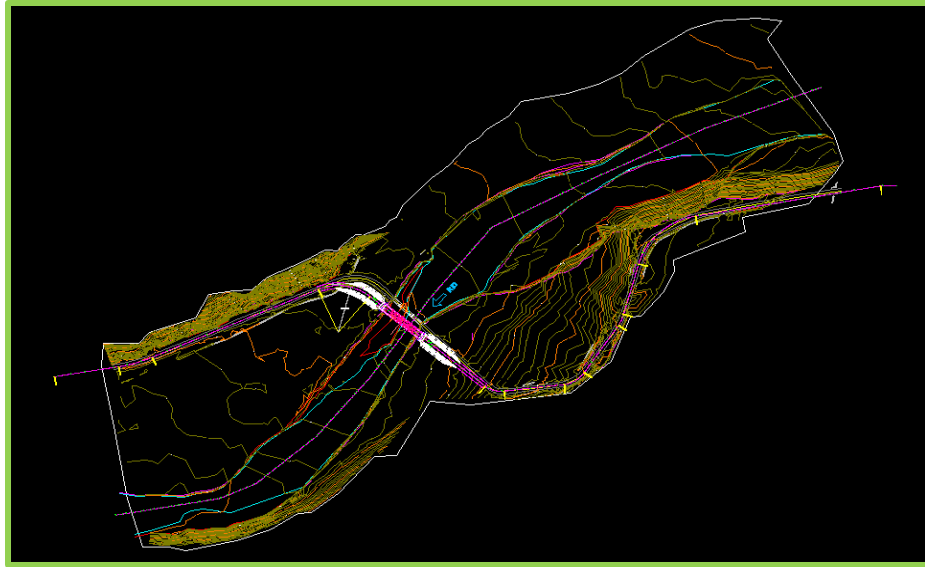


Fig. 50 Vistas aéreas del puente



Para el análisis del puente se desarrollaron las curvas de nivel en el programa AutoCAD Civil 3D, donde a continuación se hará el modelado para un seccionamiento de 20 m, este proceso se repetirá para las secciones de 200m, 150m, 100m, 75m, 50m, 25 y 10m.

## 1.- CURVAS DE NIVEL

a) Utilizaremos las curvas de nivel para generar la superficie.

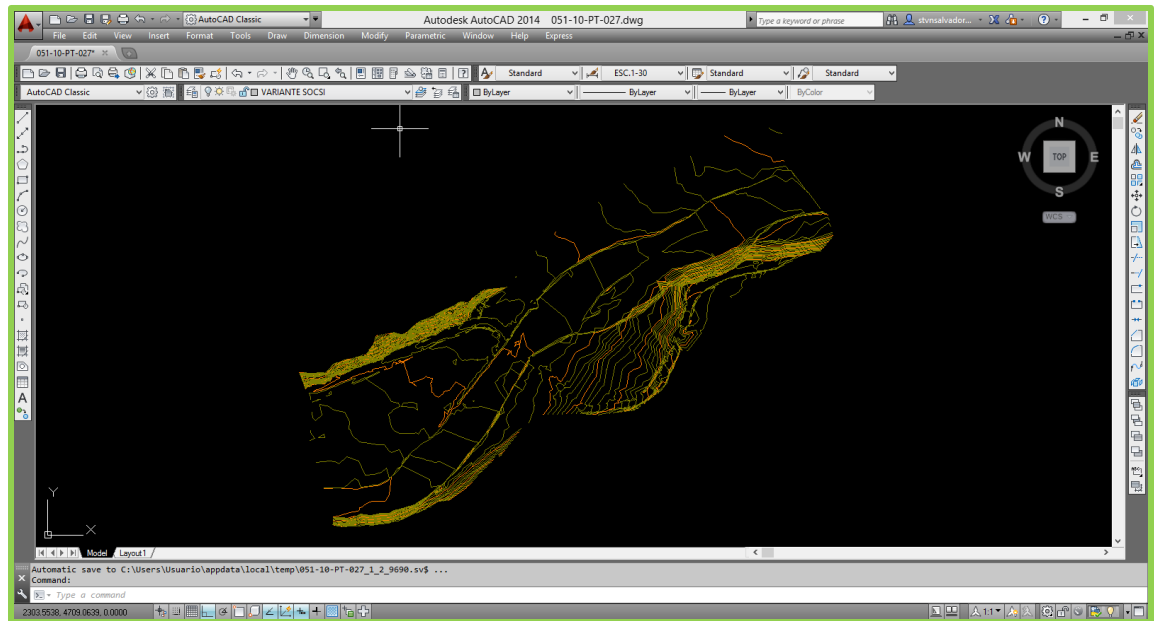


Fig. 51 Vista del terreno en Hec-Ras



b) Abrir AutoCAD Civil 3D y una Nueva Plantilla (\_AutoCAD Civil 3D (Metric) NCS).

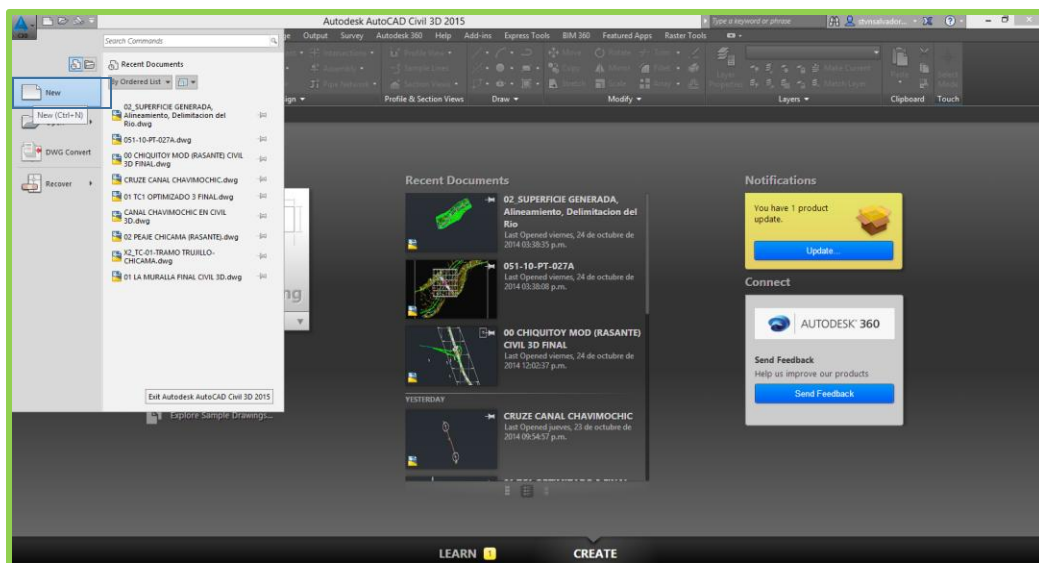
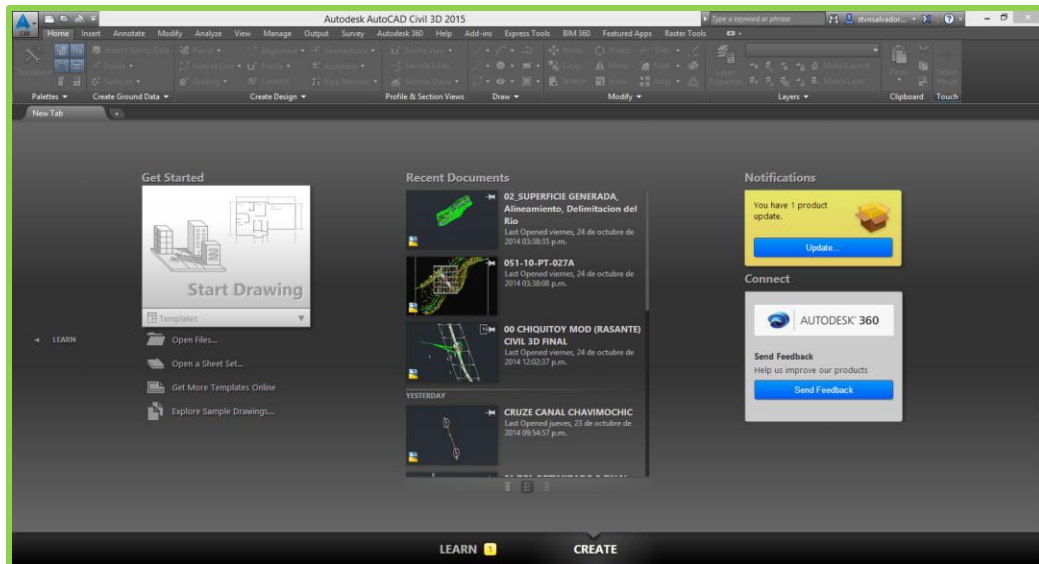


Fig. 53 Ventanas de inicio de Autocad Civil 3D

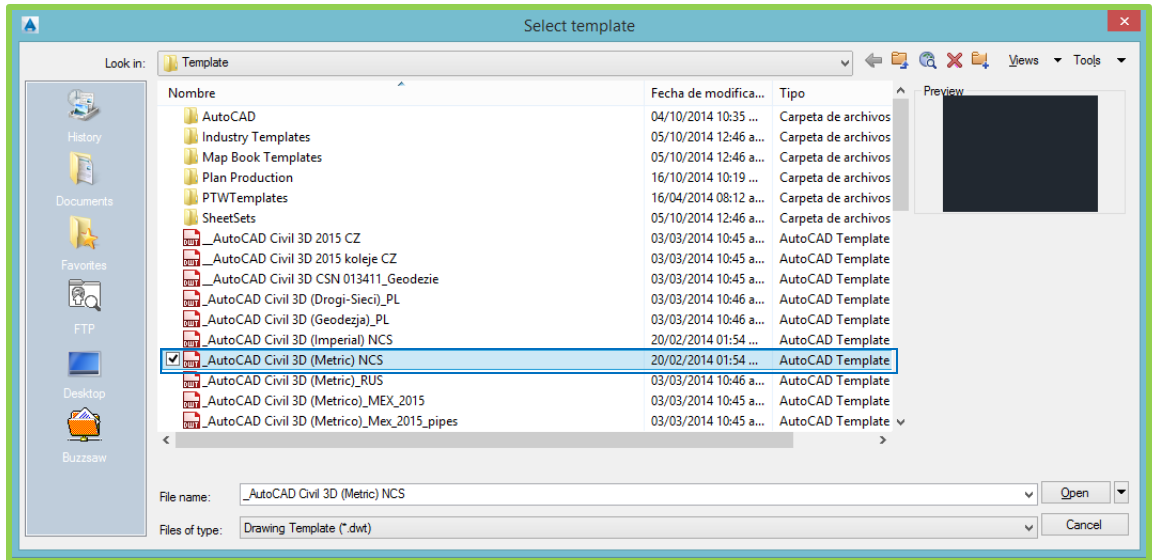


Fig. 54 Plantilla Metric: Autocad Civil 3D

c) Guardar el archivo como nombre **(01\_CURVAS DE NIVEL)**.

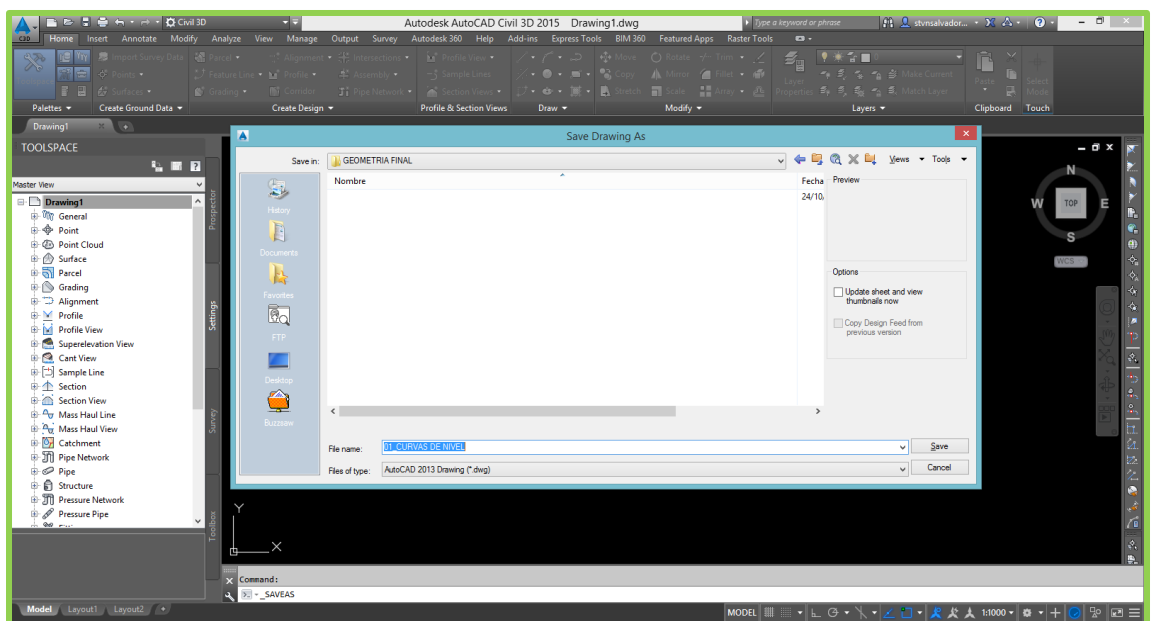


Fig. 55 Guardado de archivo

d) Configuramos la ZONA UTM (UTM84-17S), dependiendo donde se está desarrollando el proyecto.

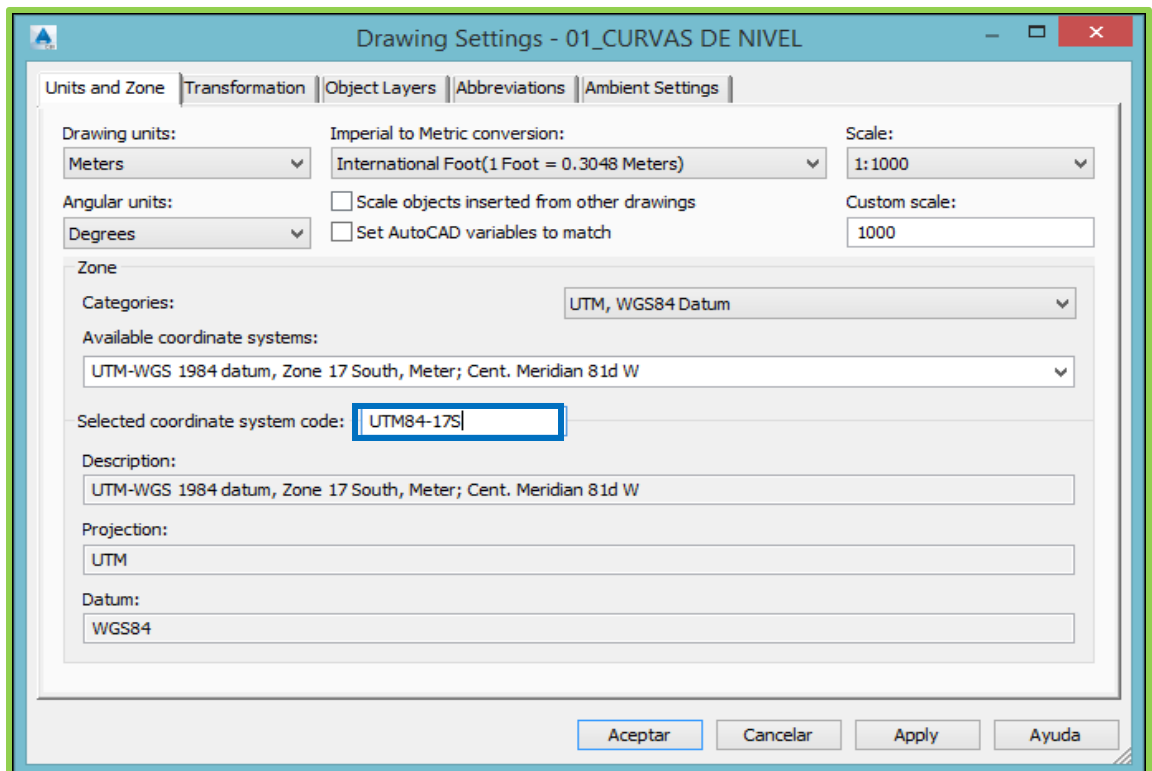
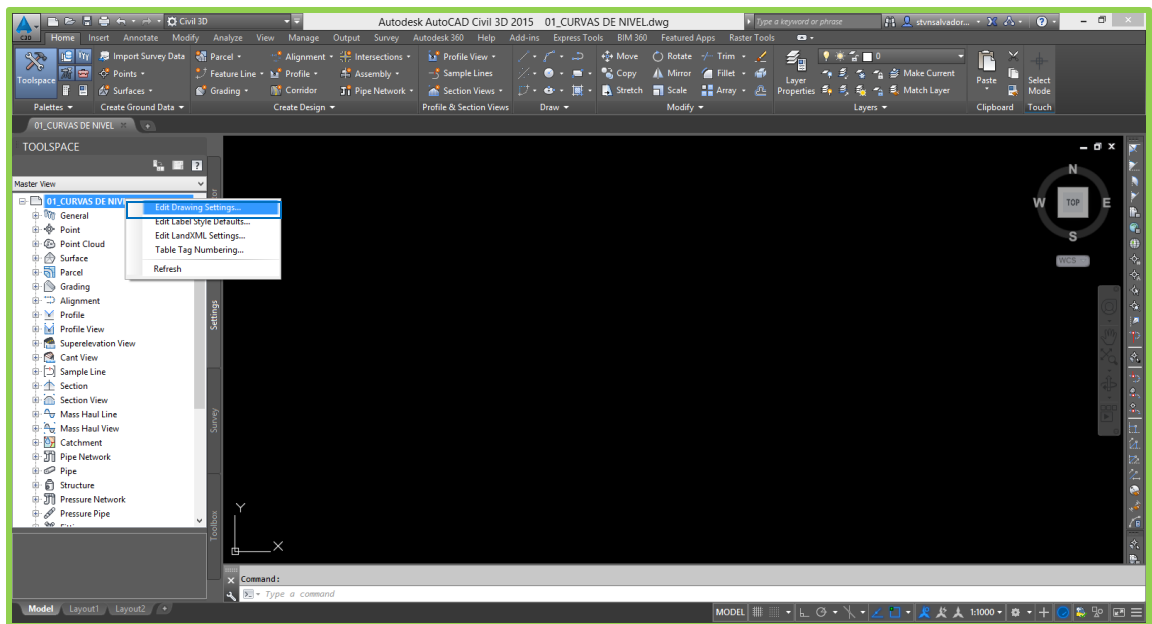


Fig. 55 Zonificación: UTM84-17S

e) Copiamos las curvas de nivel que están en AutoCad y las pegamos por coordenadas en AutoCad Civil 3D.

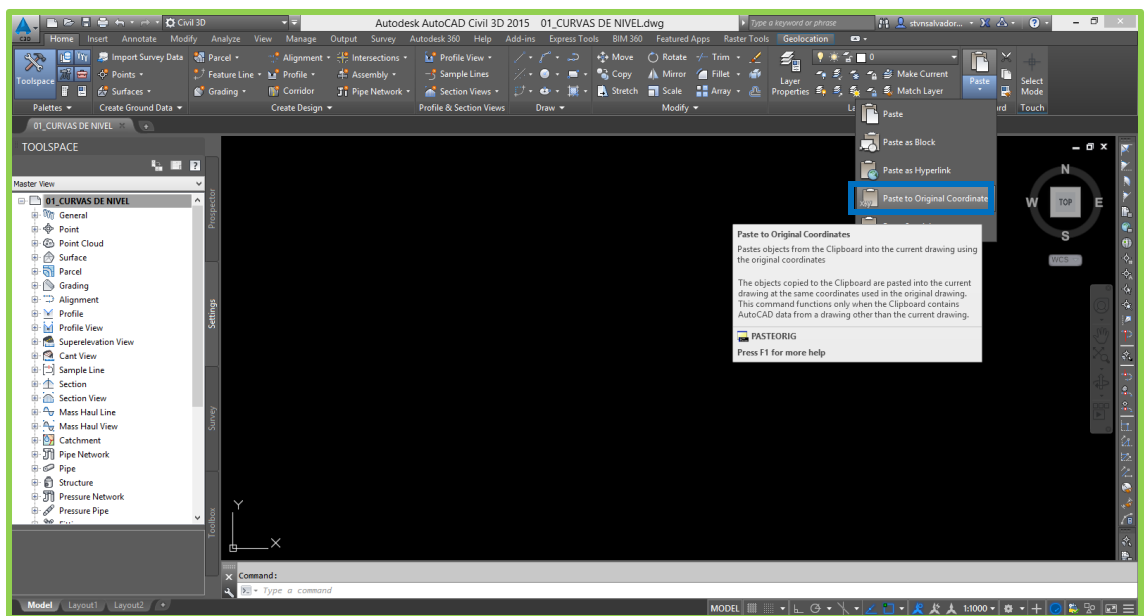
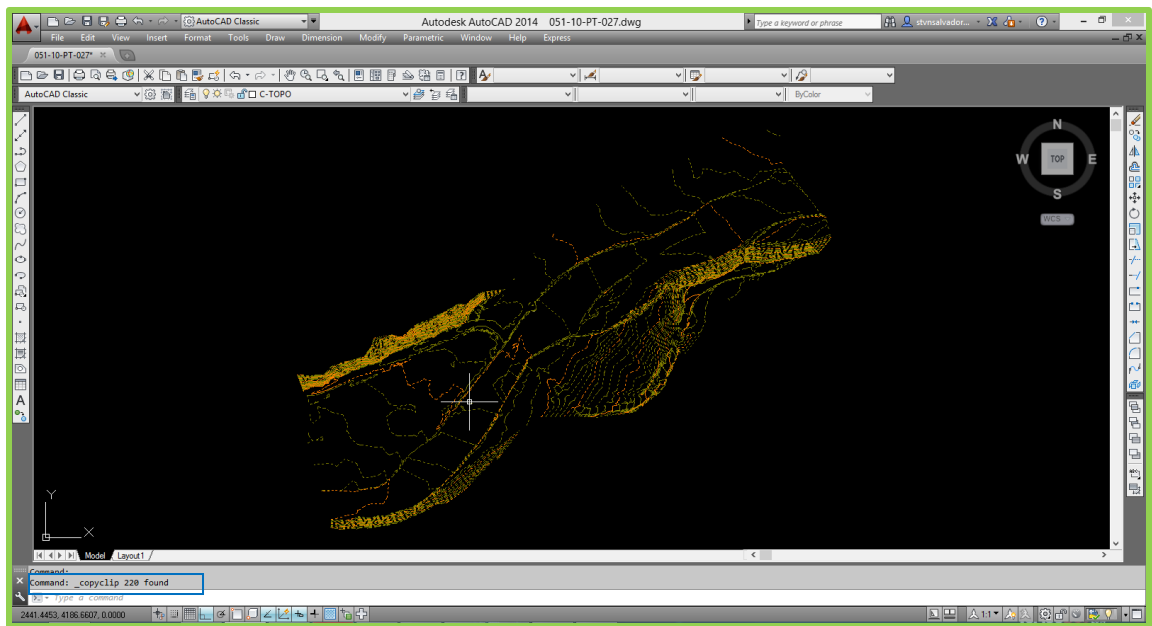
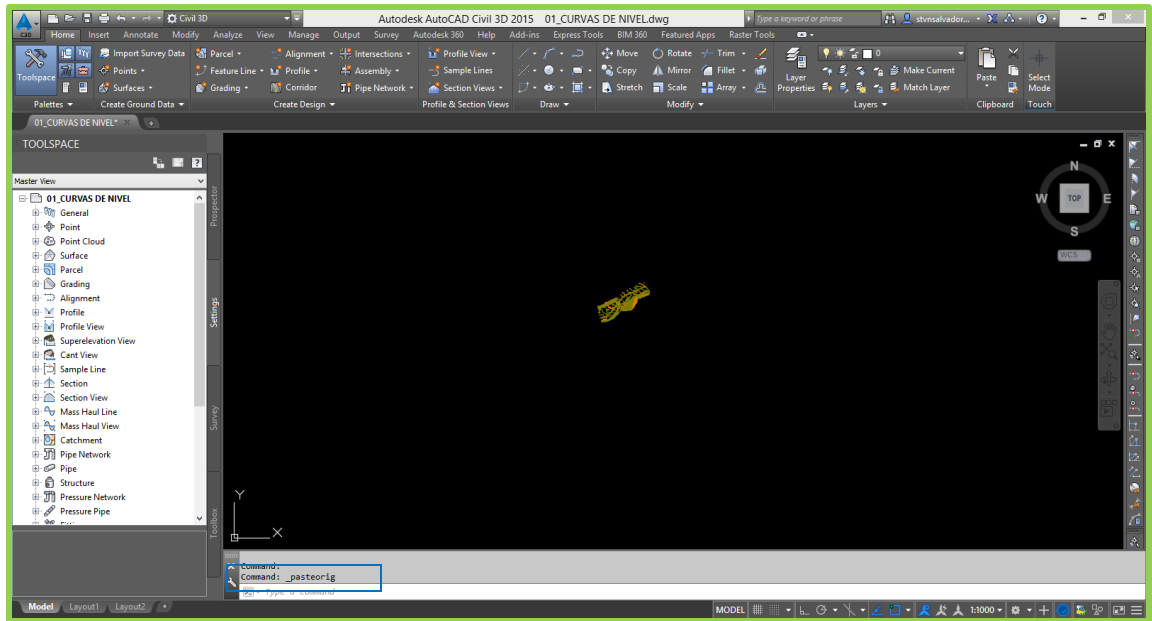


Fig. 56 Copiado especial para la creación de curvas



❖ **Digitamos comando Zoom Extends (ZE) y Enter.**

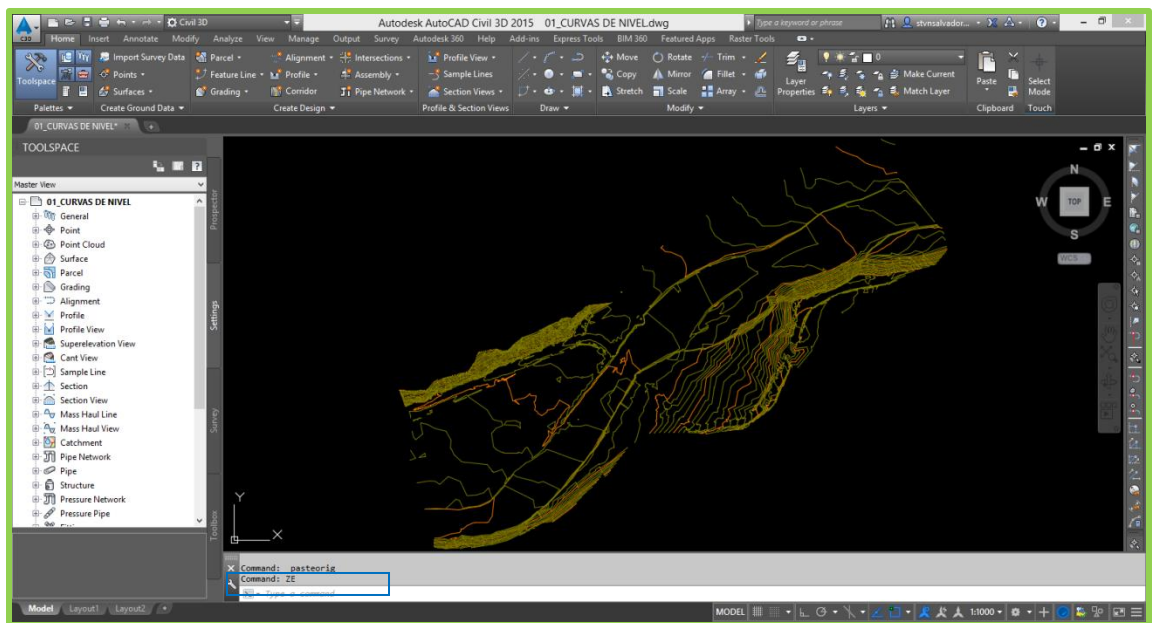


Fig. 57 Curvas con elevación listas para trabajar

## 2.- CREACIÓN DE SUPERFICIE

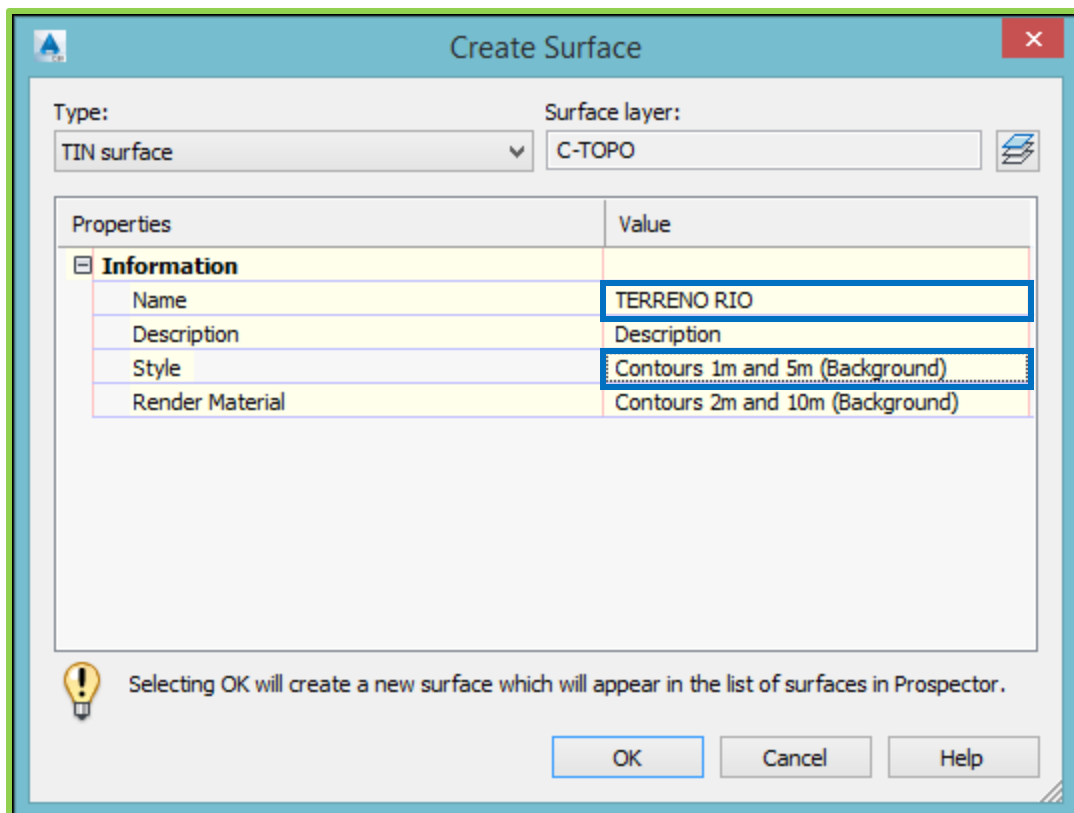
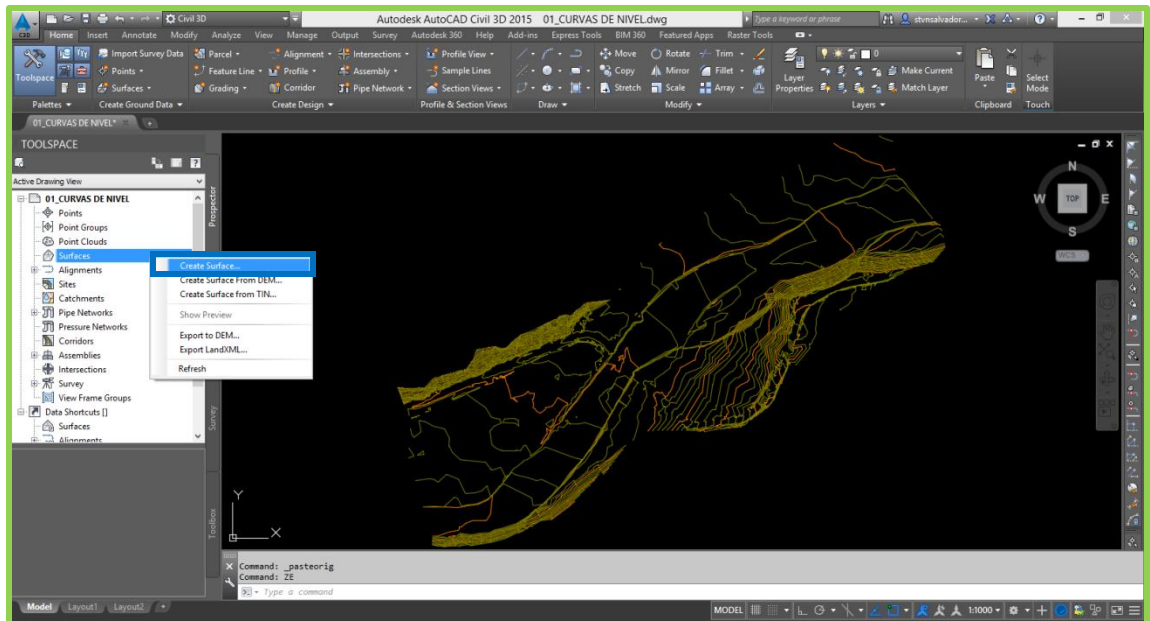


Fig. 58 Creación de Superficie

a) Definimos la superficie por **Contours** (Curvas).

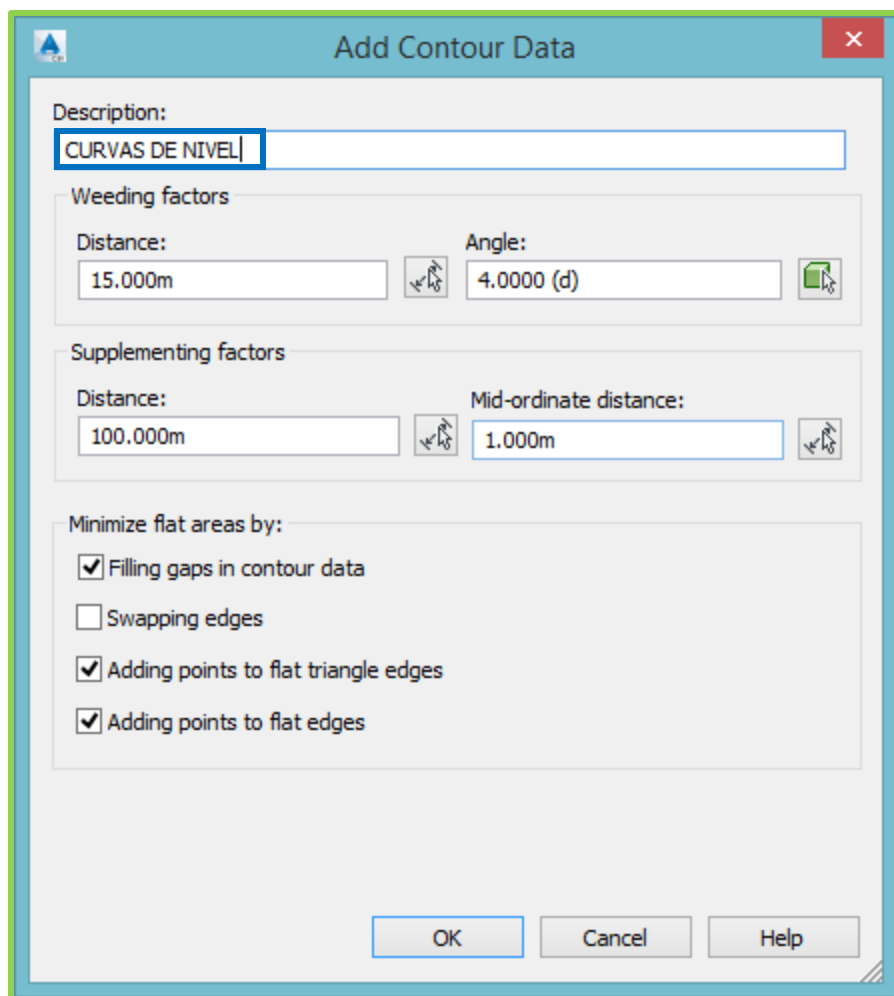
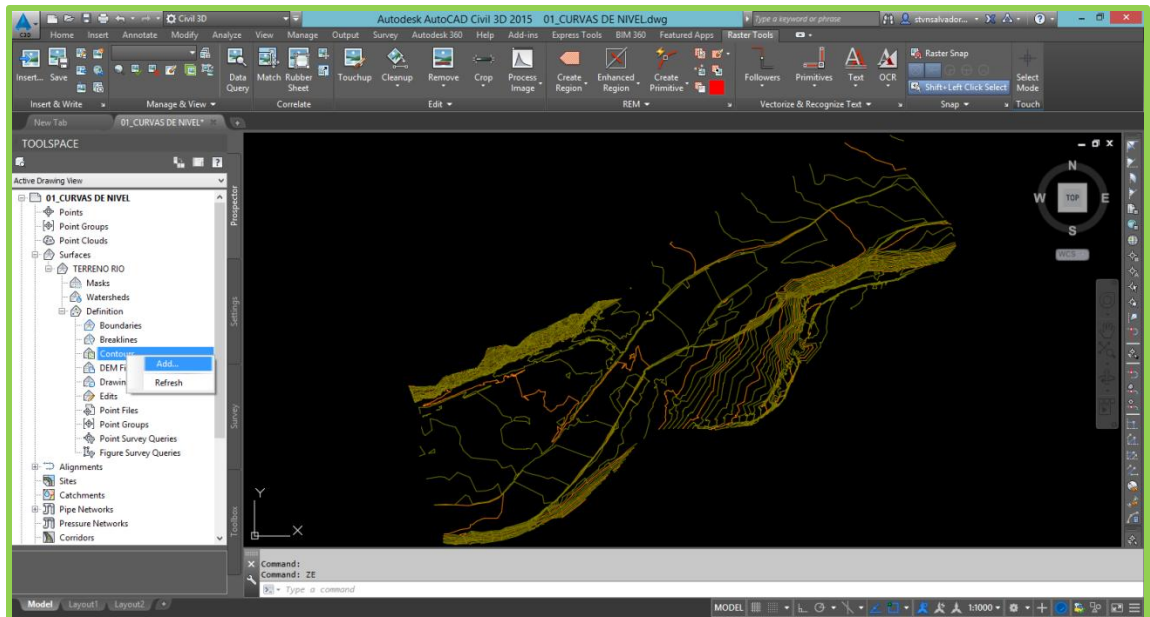


Fig. 59 Definición de Superficie



b) Seleccionamos las Curvas de Nivel y presionamos Enter.

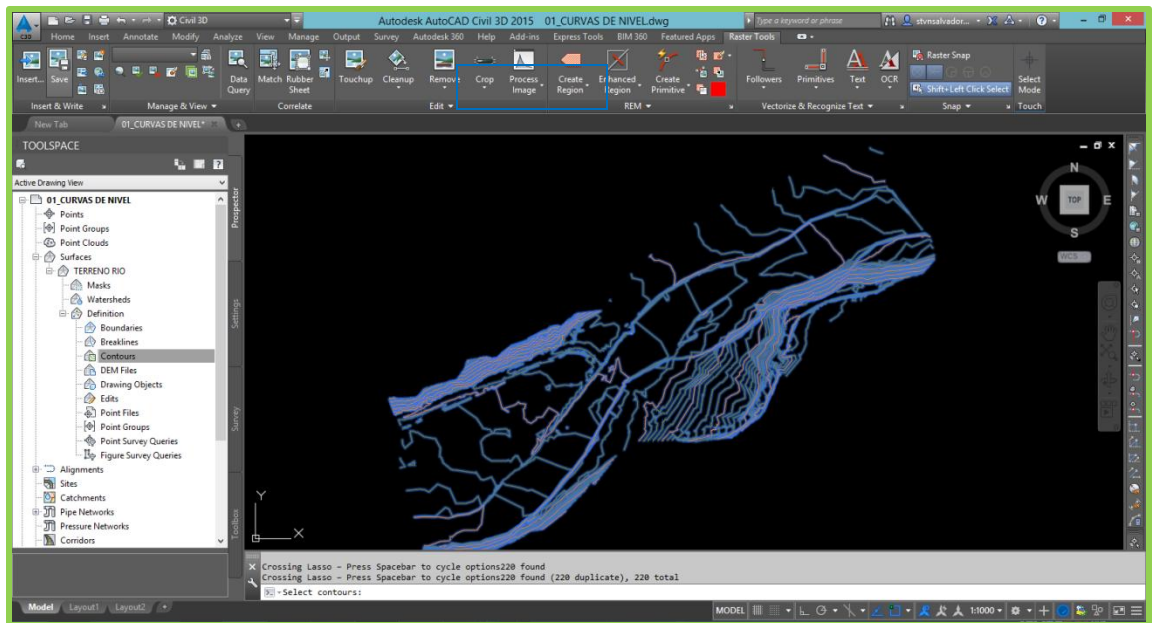
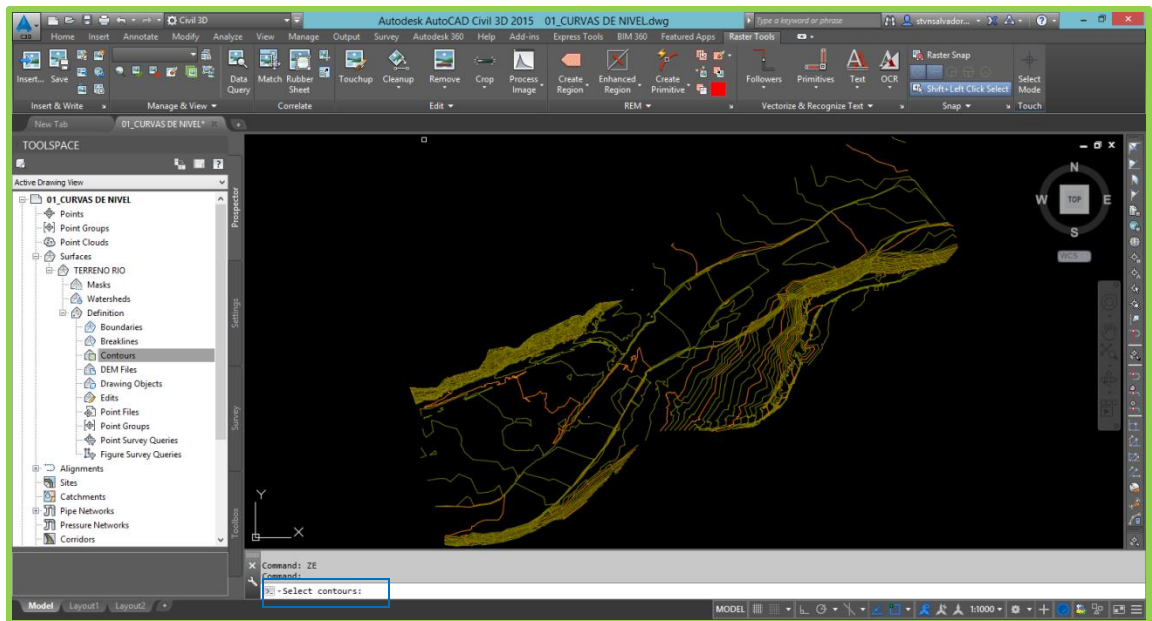


Fig. 60 Creación de las Curvas



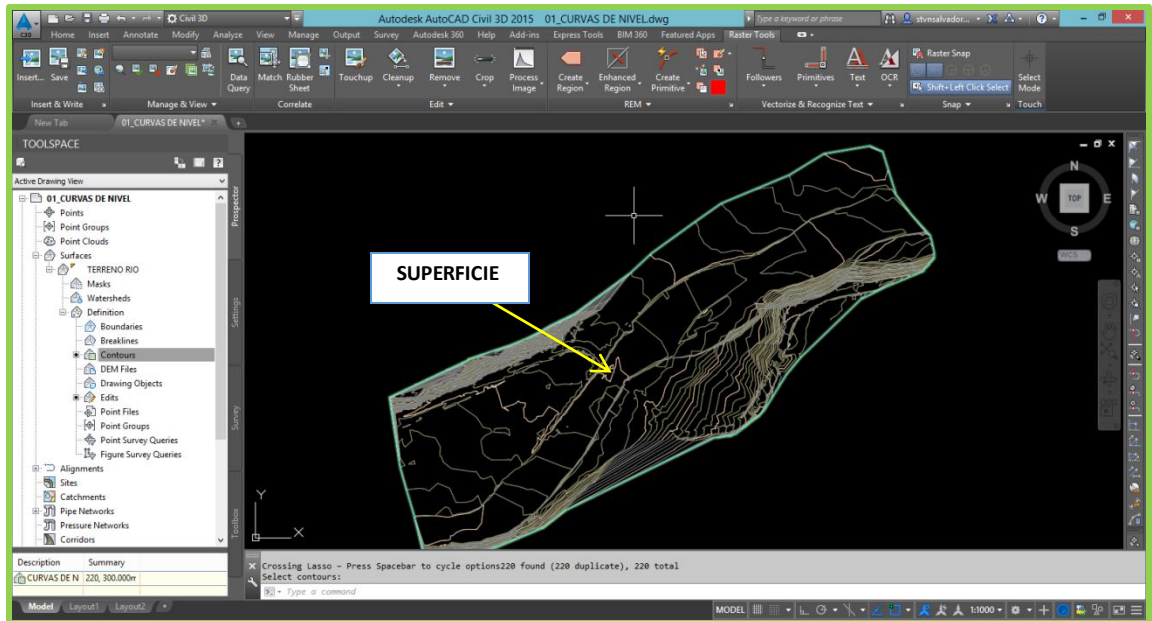


Fig. 61 Creación de Superficie generada

- ❖ Al generarse la superficie, esta se genera sobre las curvas de nivel originales, si deseamos las apagamos para una mejor visualización de la superficie. (PARA ESTO AL CREAR LA SUPERFICIE TENEMOS QUE CREAR UNA NUEVA LAYER)

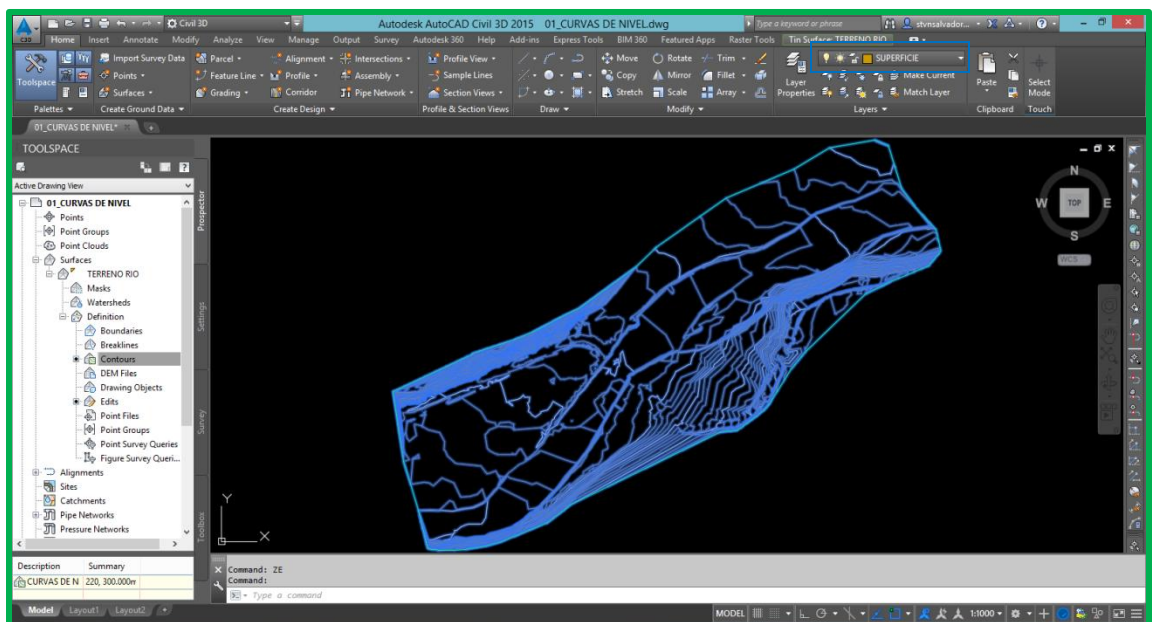


Fig. 62 Creación de Layer

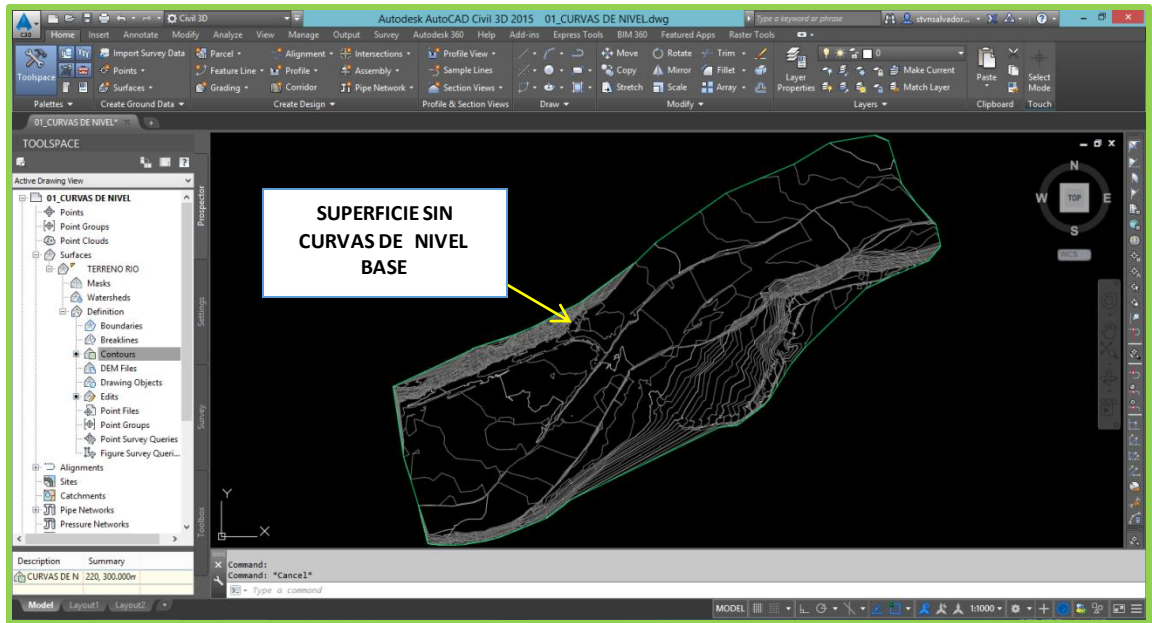


Fig. 63 Superficie sin curvas de nivel base

c) Cambiamos el color de las curvas mayores y menores para poder diferenciarlas

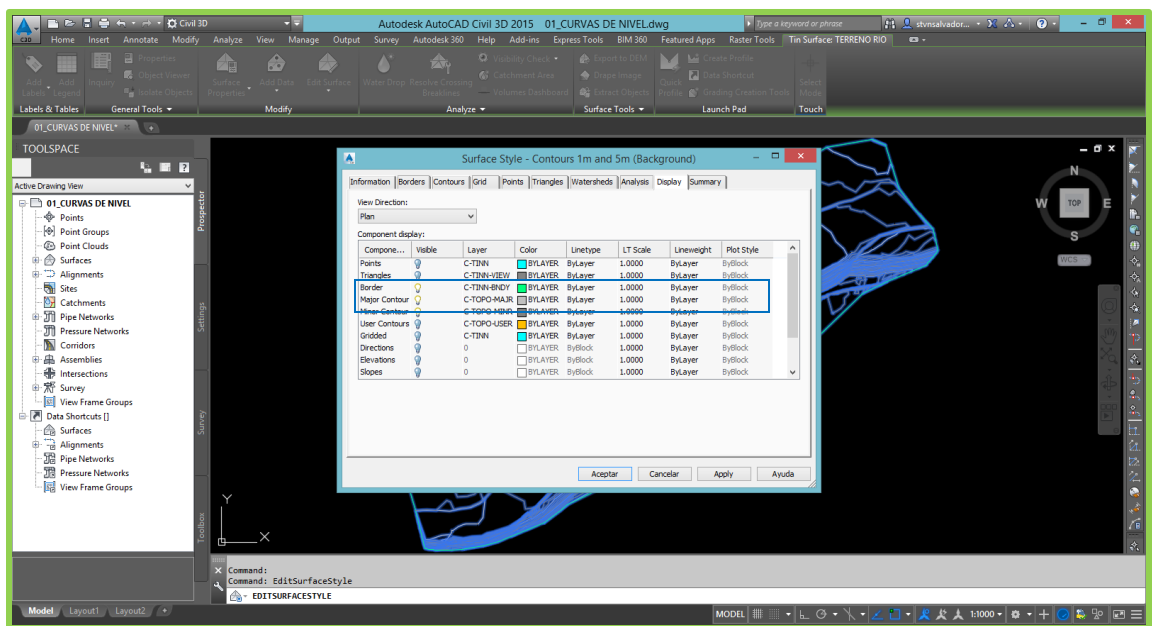


Fig. 64 Curvas Mayores y Menores

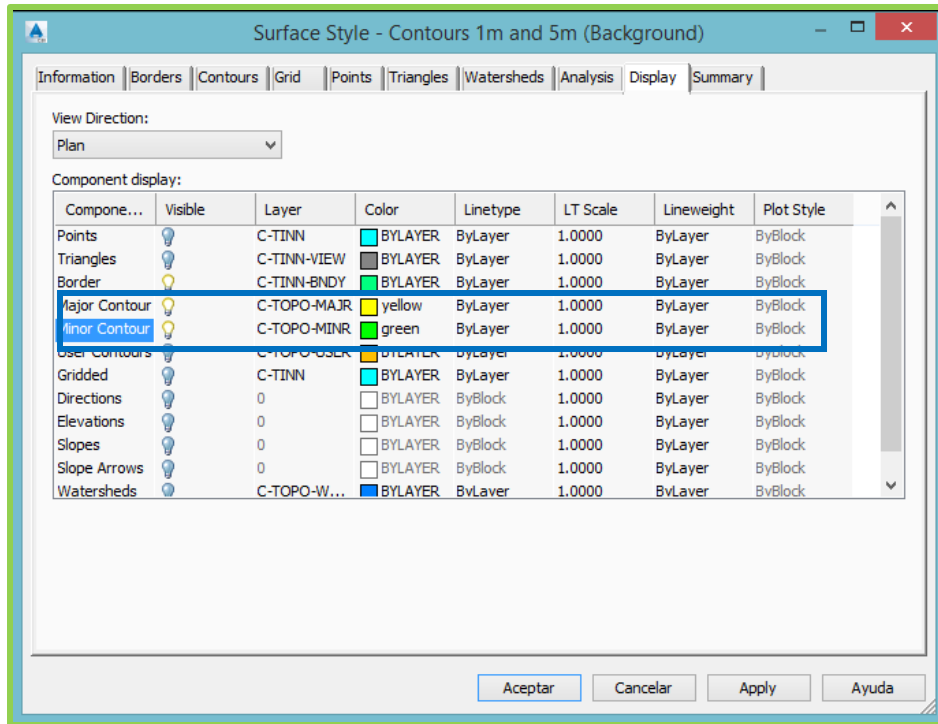


Fig. 65 Capas de las curvas



Fig. 66 Curvas finales

d) Cambiamos el Intervalo de Curvas de Nivel y Suavizamos las Curvas

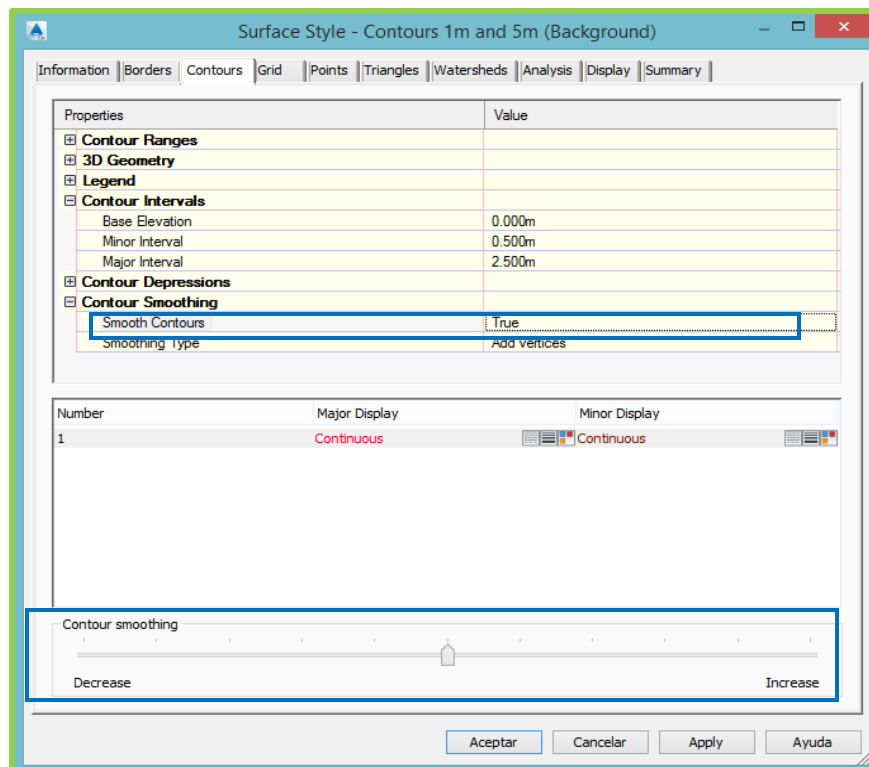
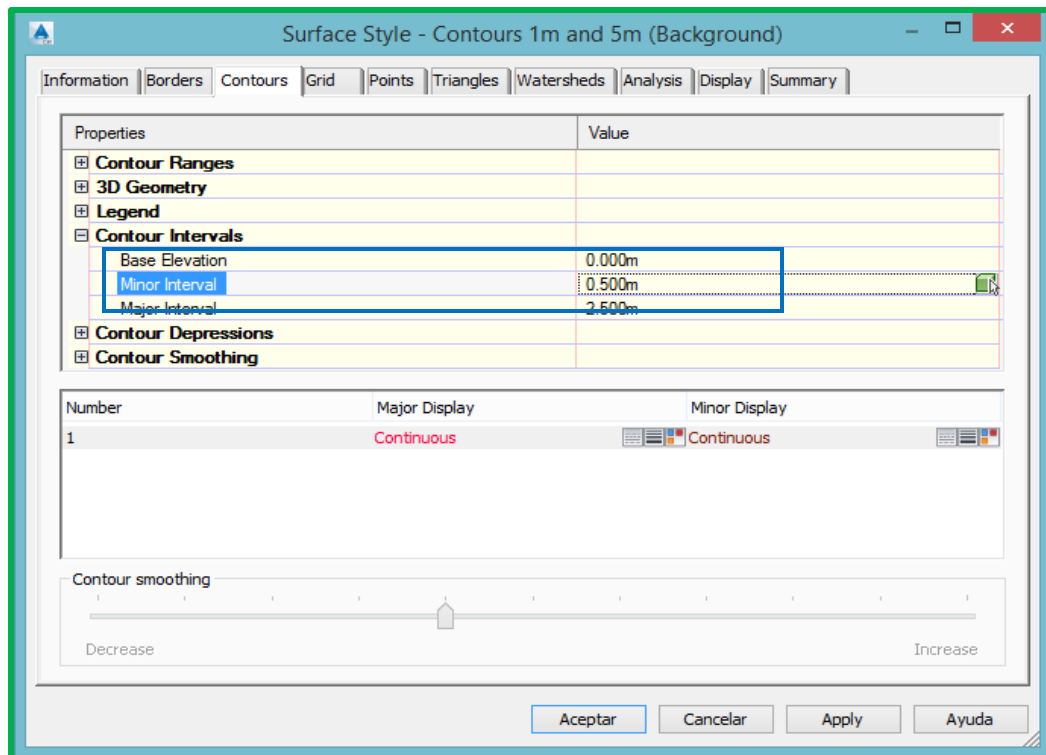


Fig. 67 Edición de curvas

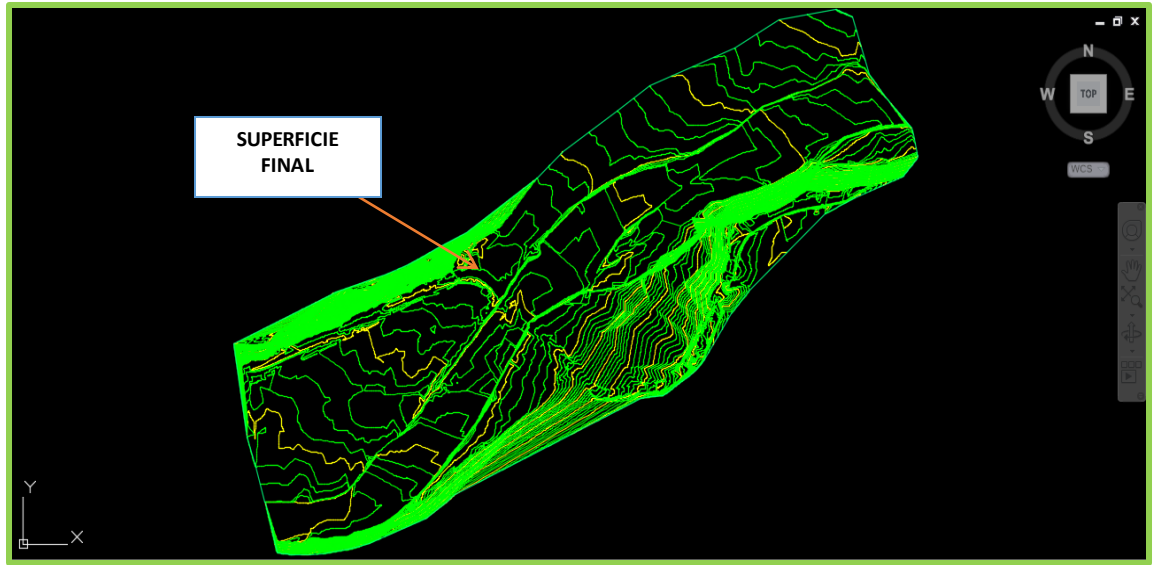


Fig. 68 Curvas de nivel Final

### 3.- EJE DE RIO

- a) Como el rio es aguas abajo, en AutoCad Civil 3D procedemos a dibujar una polilínea en sentido contrario al flujo del Rio.

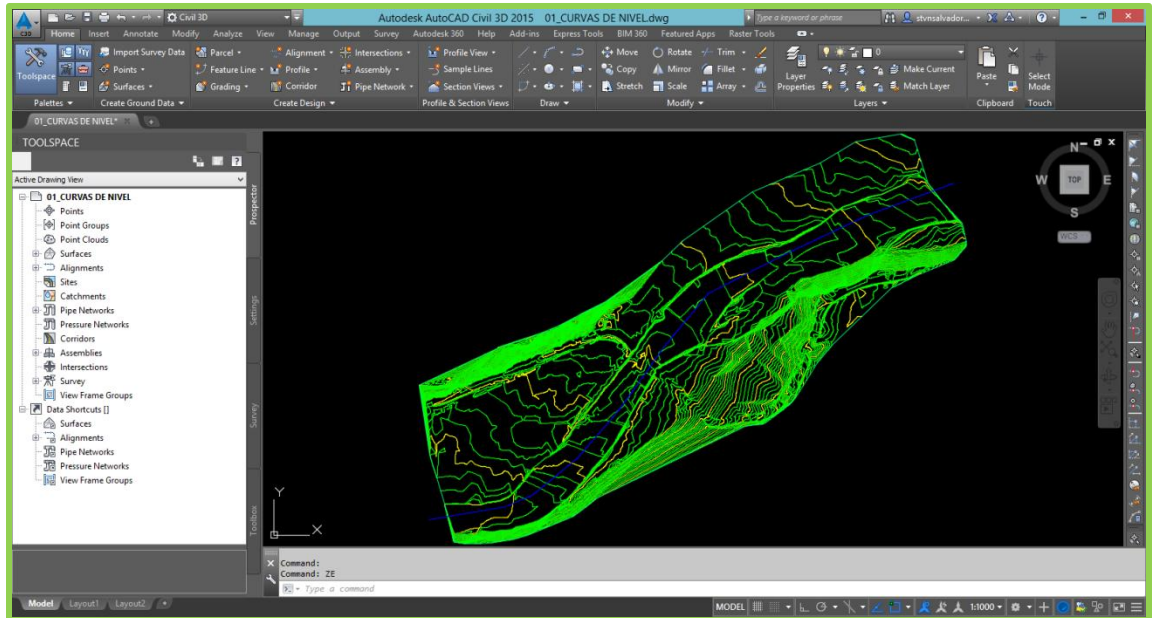


Fig. 69 Dibujo de polilínea desacuerdo al eje del río

- b) Creamos un Alineamiento por Objetos y seleccionamos la polilínea.

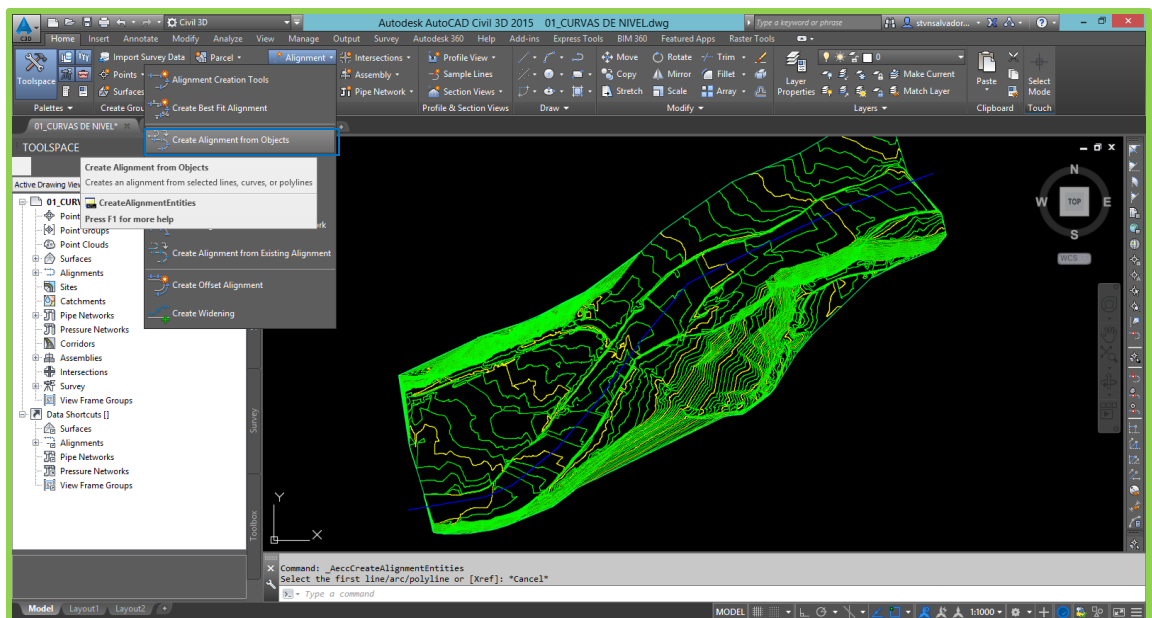


Fig. 70.a Alineamiento



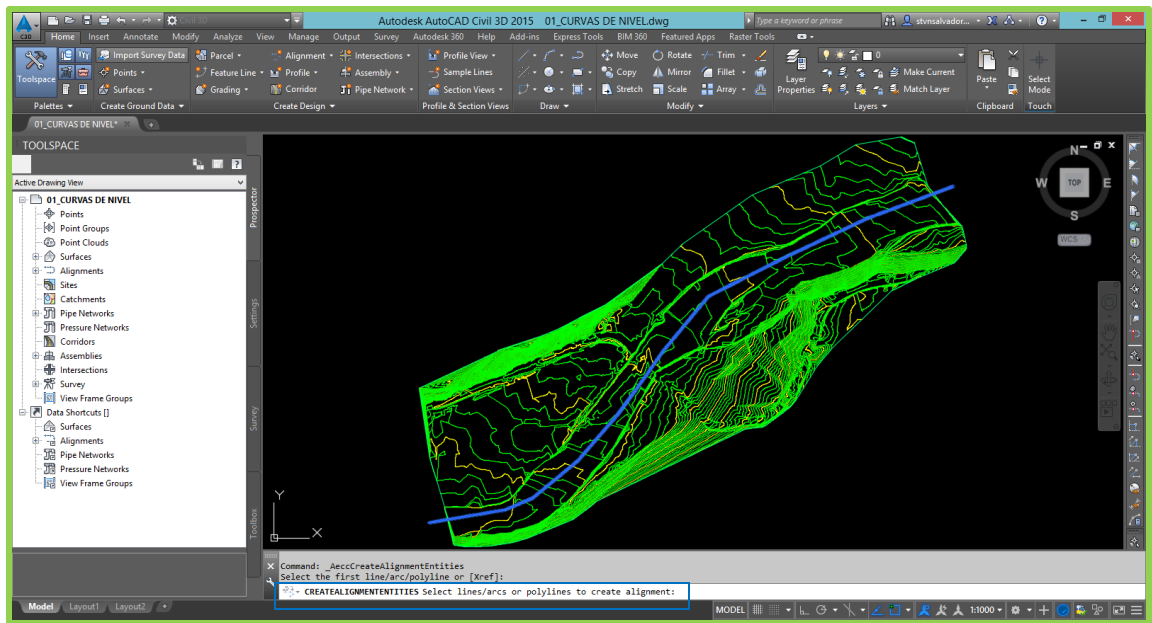


Fig. 70.b Alineamiento

c) Presionamos enter, si es el sentido de alineamiento que deseamos.

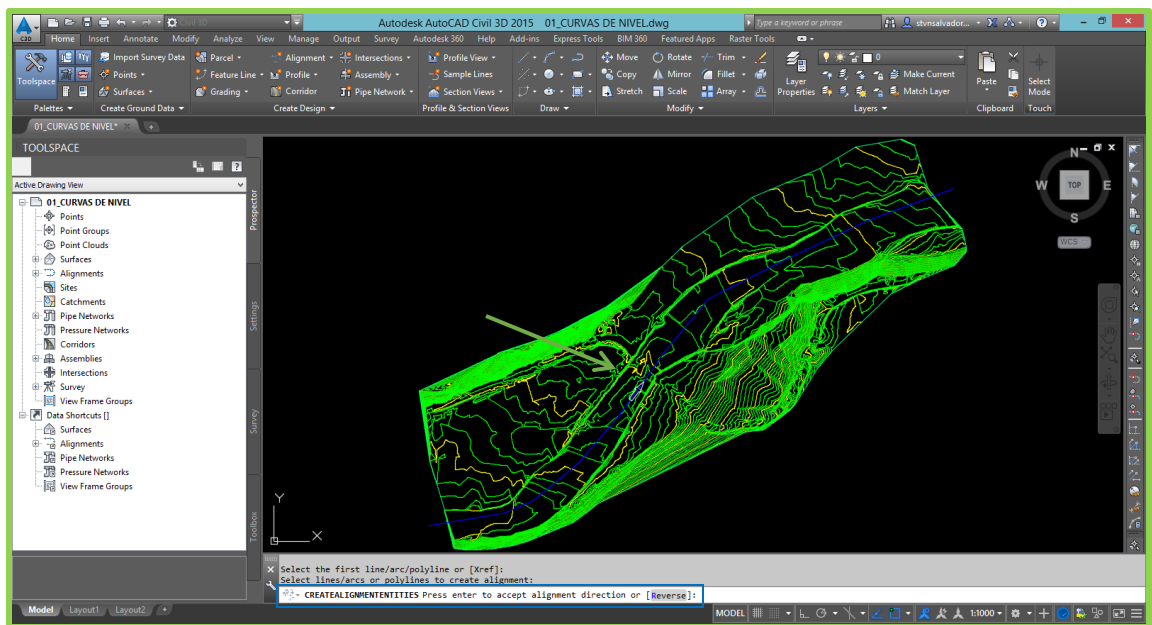


Fig. 71 Alineamiento nos indica el sentido que tomara el alineamiento

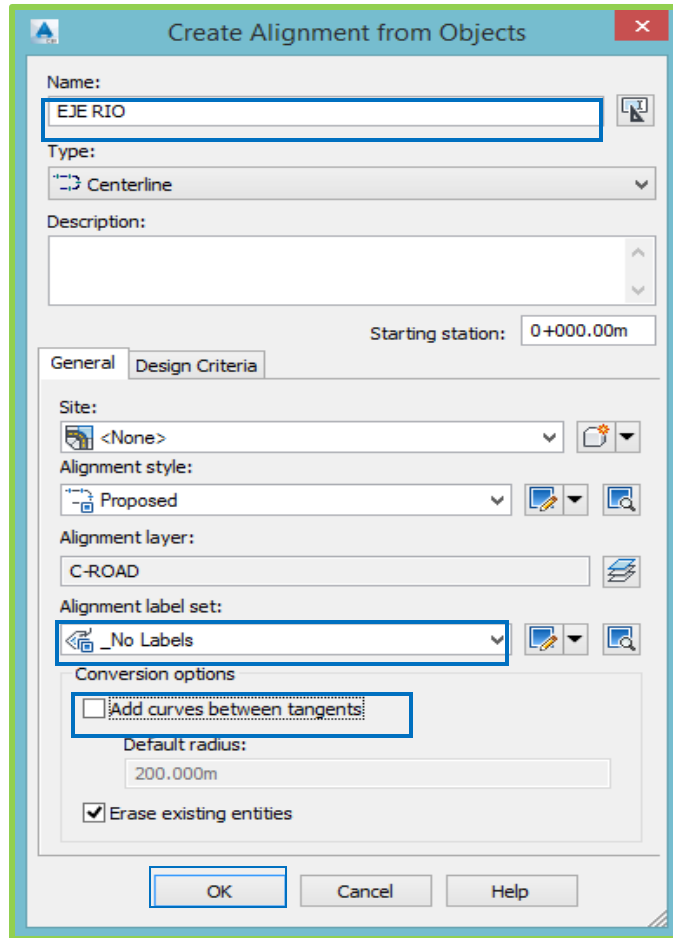


Fig. 72 Create Alignment from Object

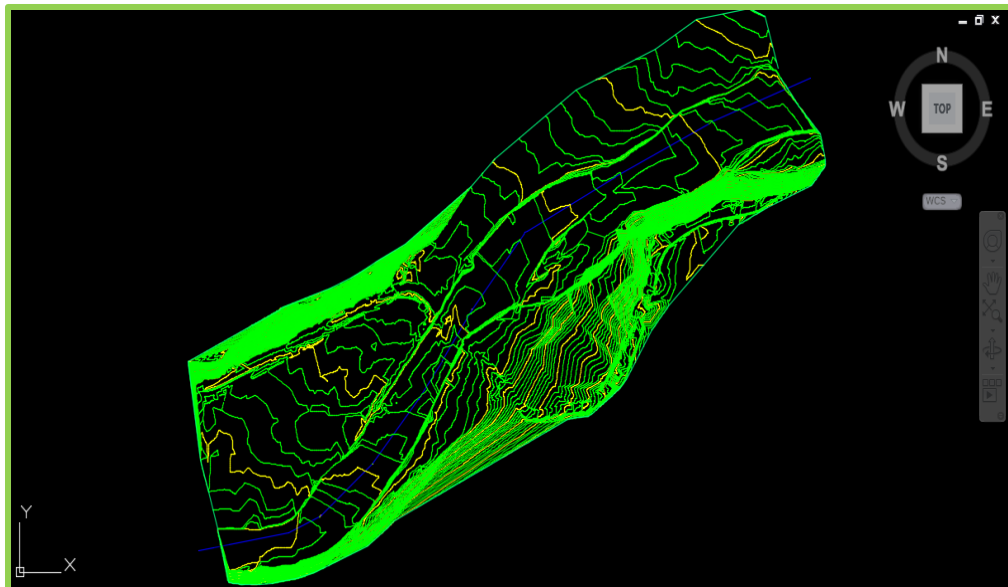


Fig. 73 creación del alineamiento



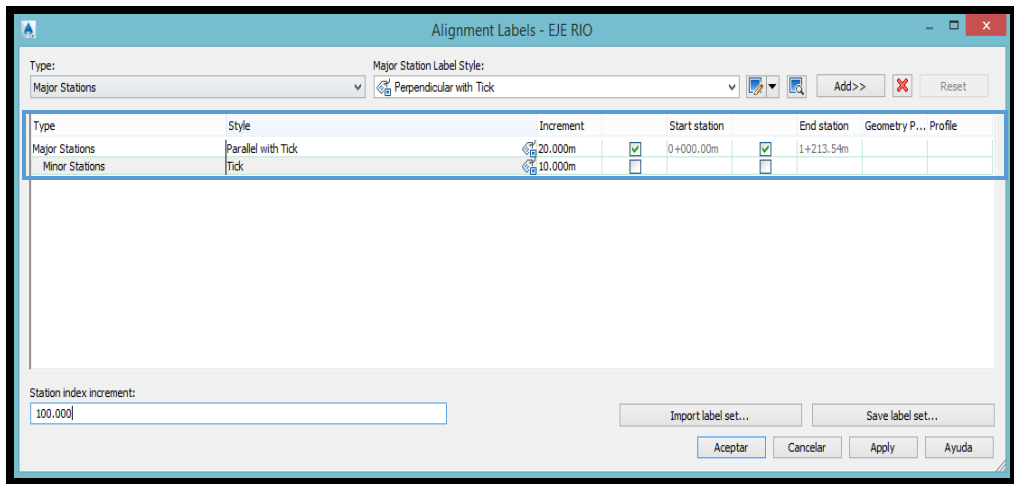


Fig. 74 seccionamiento (cada 20 metros)

d) Finalmente podemos ver el alineamiento

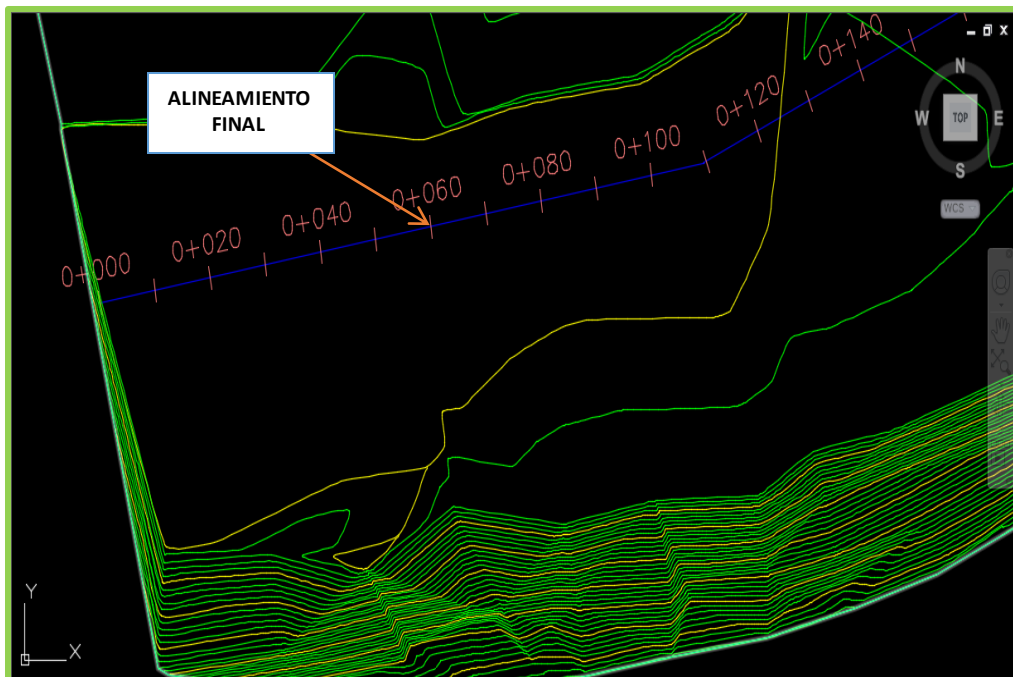
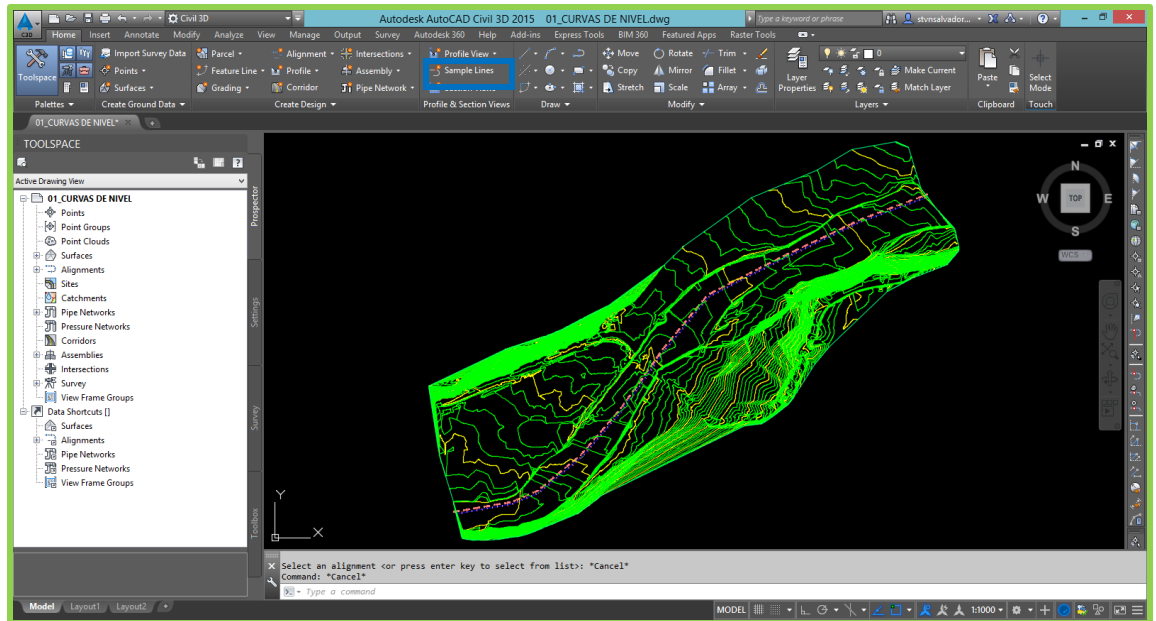


Fig. 75 Alineamiento final

## 4.- SECCIONAMIENTO



a) Seleccionamos el Alineamiento.

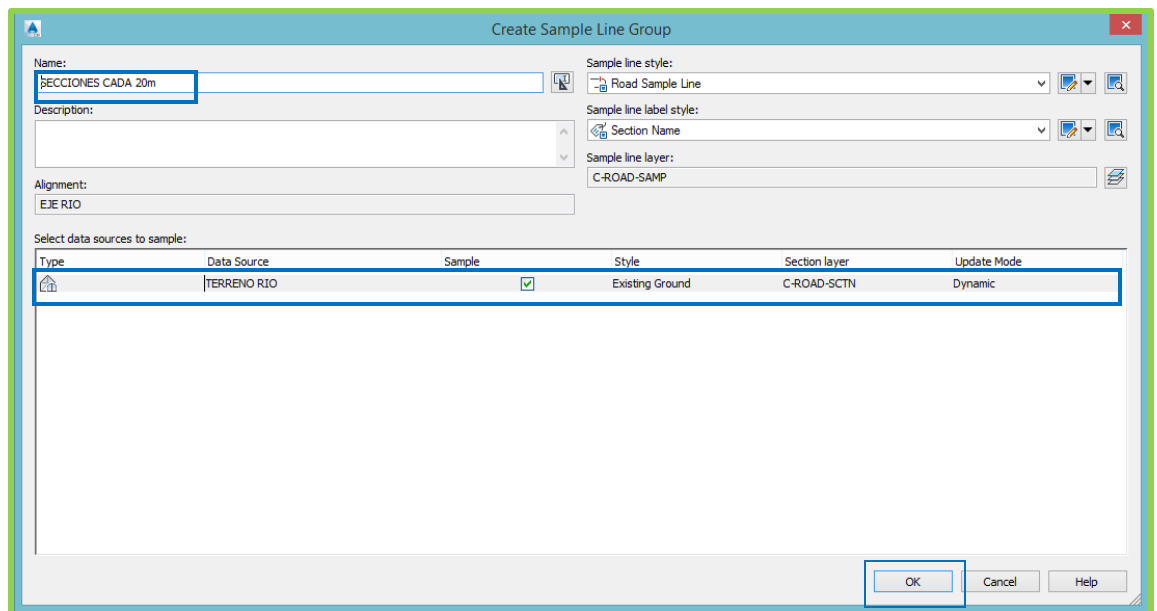


Fig. 76 Alineamiento

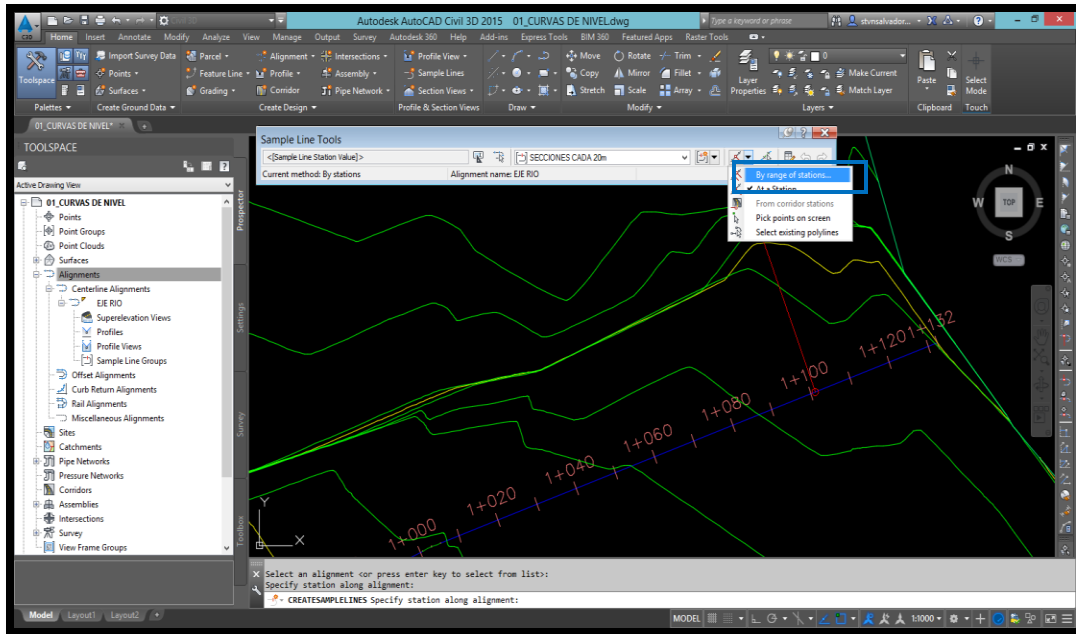
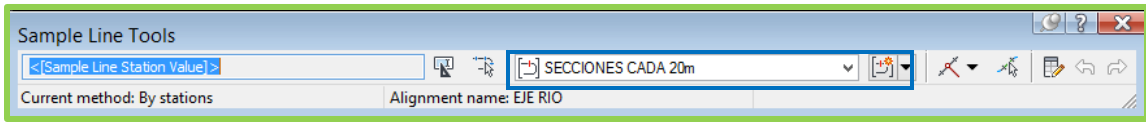


Fig. 77 seccionamiento (cada 20 metros)

b) Seleccionamos la opción por rango de estaciones.

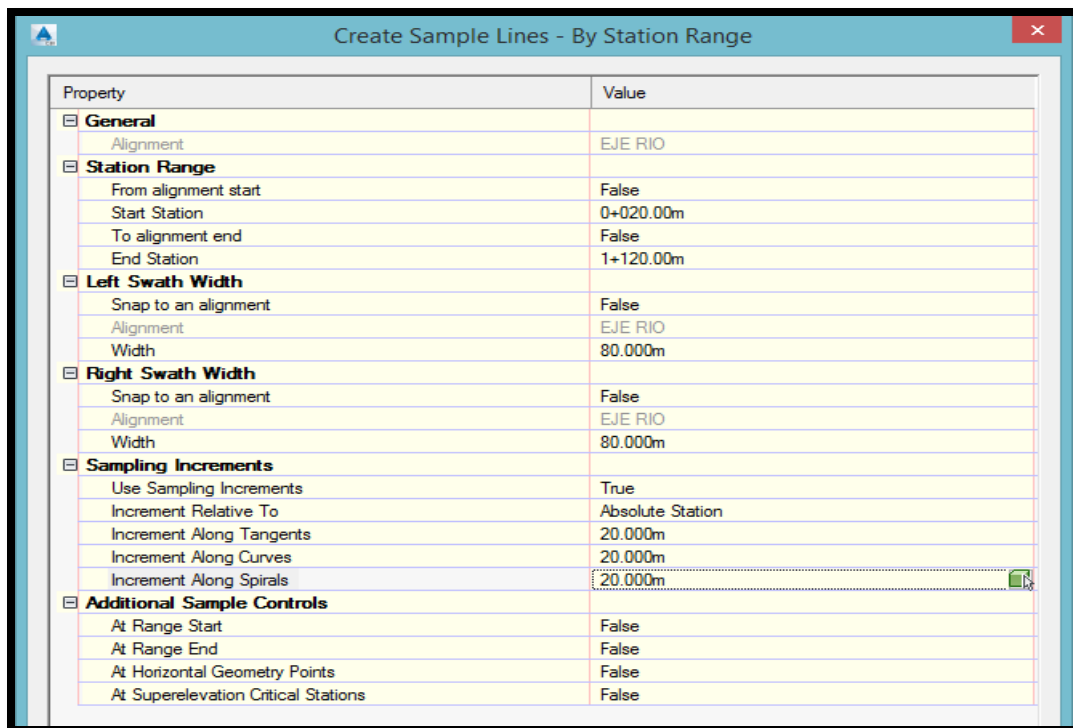
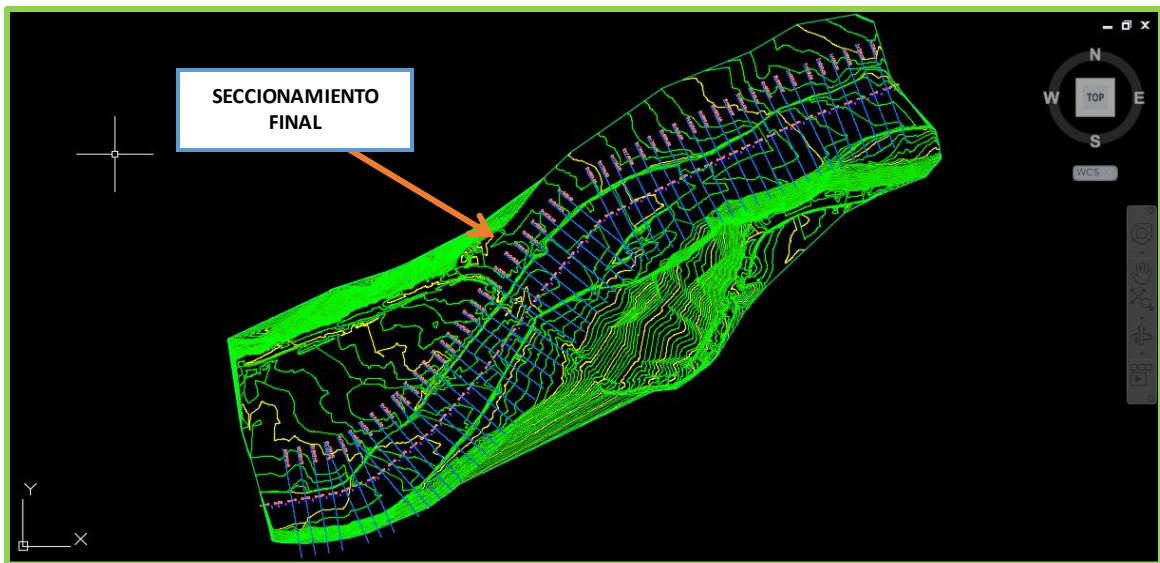
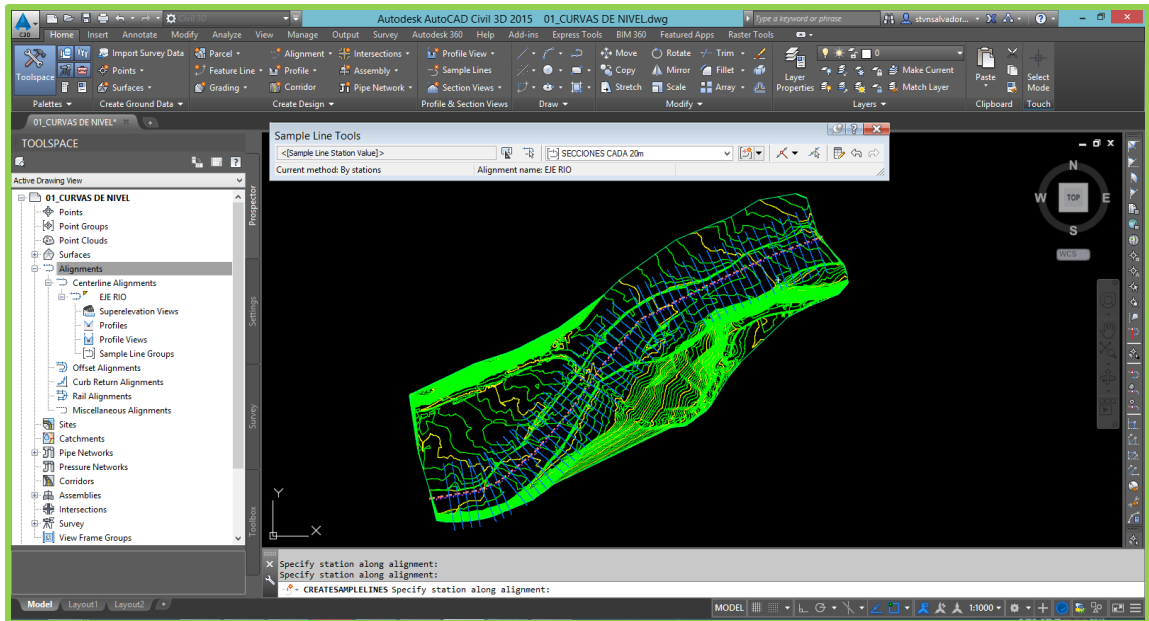


Fig. 78 muestreo (ancho de la sección)

**Presionamos Aceptar para salir del comando Sampleado**



**Fig. 79 Seccionamiento Final**

Si vemos que hay secciones que se están cruzando tratar de modificarlas manualmente

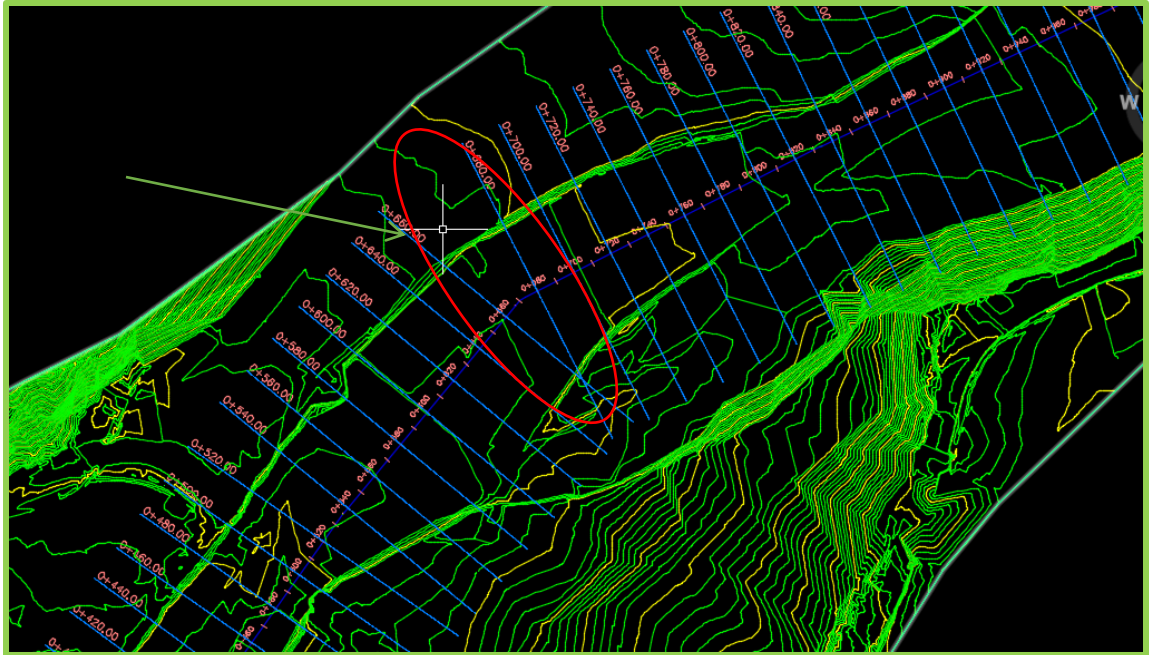


Fig. 80 cruce de secciones

- ❖ Al modificarlas manualmente estamos alterando el ancho de seccionamiento (esto lo corregimos en propiedades de Muestreo)

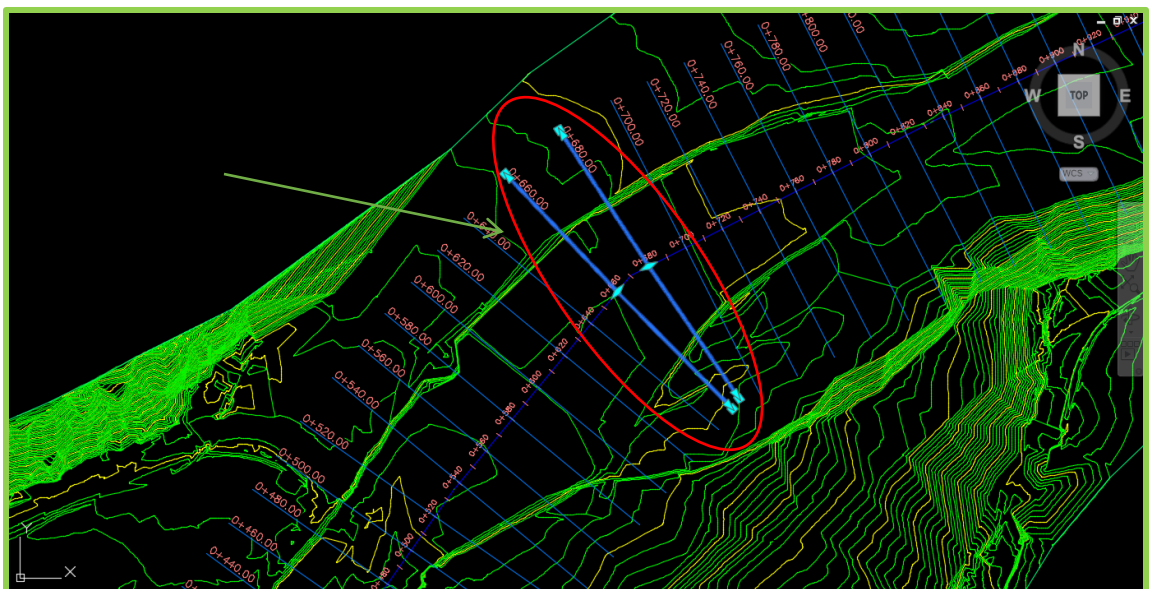


Fig. 81 Modificación manual de las secciones

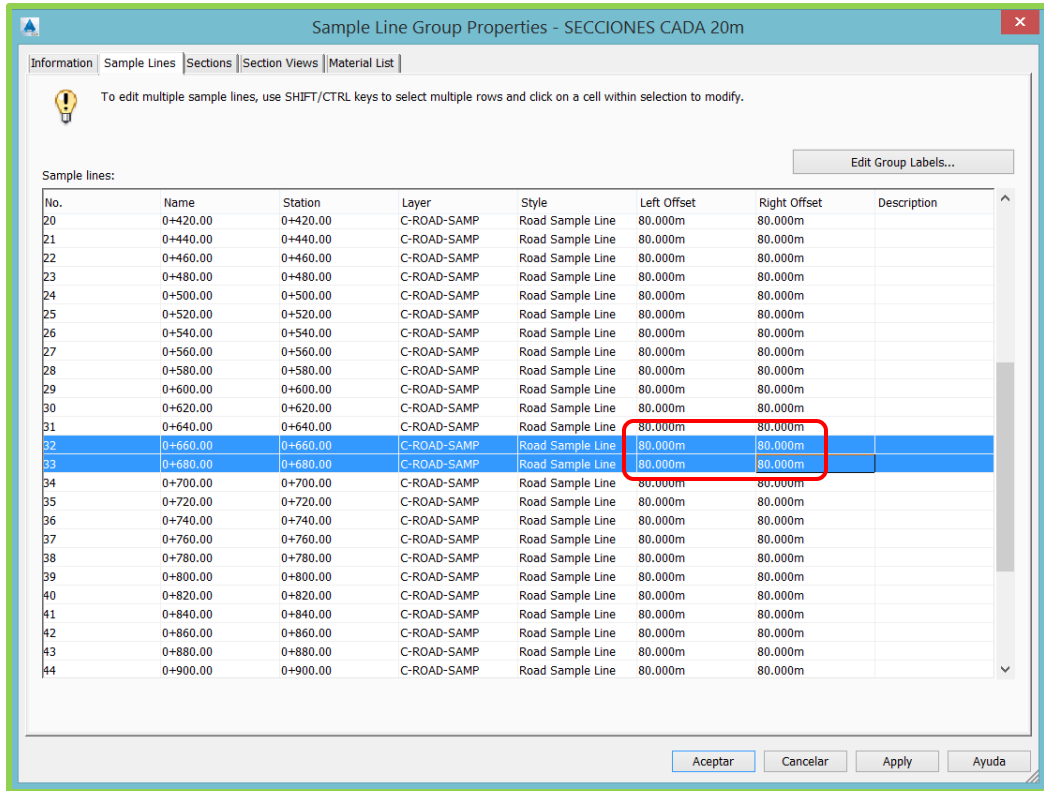
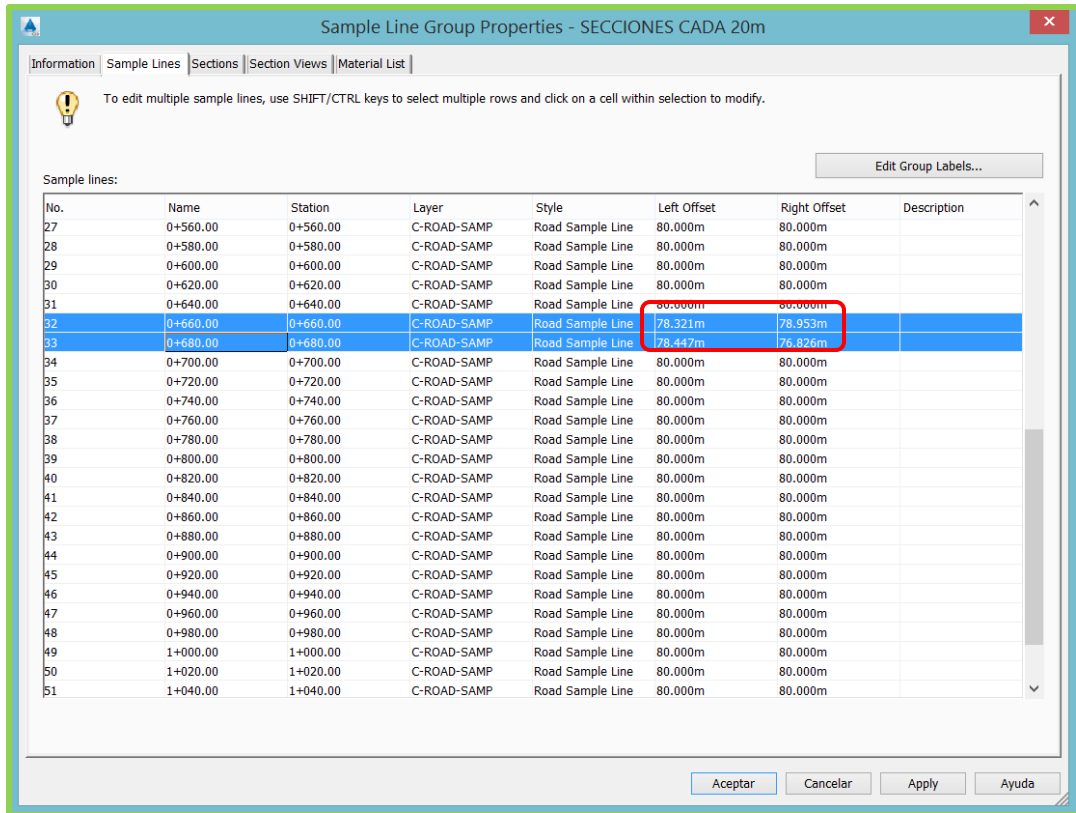


Fig. 82 Cambio en el sampeado

**Para el análisis del puente se tomó en cuenta los siguientes estudios realizados para el diseño**

**Determinación del periodo de retorno de diseño (TR)**

Para determinar el periodo de retorno de diseño, fue analizado el riesgo que se asumirá para el caso que la estructura falle dentro de su tiempo de vida útil.

Además, se consideraron las consecuencias de la falla para los habitantes aguas abajo, el uso de la tierra aguas abajo o el daño ambiental potencial.

Tomando en cuenta lo señalado, se analiza el riesgo presente en diferentes tiempos de retorno para una vida útil de 50 años.

La probabilidad de riesgo y falla o riesgo “J” se determina mediante la siguiente expresión:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^n$$

Donde: n = vida útil

T<sub>R</sub> = tiempo de retorno

Vente Chow, D.R. Maidment y L. W. Mays (1988) indican como criterio general de diseño que se usen periodos de retorno entre 50 y 100 años para puentes que se encuentren dentro del sistema principal de carreteras. En la práctica para determinar la altura del tirante de agua se suele considerar la descarga correspondiente a un tiempo de retorno de 100 años; y para determinar la profundidad de socavación, la descarga correspondiente a un tiempo de retorno de 500 años.

Se determinó la probabilidad de falla asociada a periodos de retorno a partir de 50 años y vida útil de 50 años; para evaluar el riesgo de falla existente con cada uno de ellos, estos riesgos se muestran en el cuadro siguiente:

T <sub>R</sub>	J
50 años	63.58%
100 años	39.50%
140 años	30.12%
145 años	29.25%
174 años	25.04%
200 años	22.17%
500 años	9.53%



Para el caso de los puentes, considerando una vida útil de 50 años y un tiempo de retorno de 100 años, se obtiene un riesgo o probabilidad de falla de 39.50%. Evaluando con tiempos de retorno superiores se advierte que la probabilidad de falla se reduce en un leve porcentaje mientras mayores son los periodos de retorno. Por lo tanto, adoptaremos el criterio de Ven te Chow, el cual recomienda emplear un caudal de diseño que corresponda a un Tiempo de Retorno de 100 años.

El Manual de Diseño de Puentes del MTC indica literalmente “...*La determinación del periodo de retorno y la descarga máxima de diseño; el periodo de retorno dependerá de la importancia de la estructura y consecuencias de falla, debiéndose garantizar un estándar hidráulico mayor para el diseño de la cimentación del puente usualmente requerido para el dimensionamiento del área de flujo a ser confinada por el puente...*”.

Por lo tanto, para el modelo de simulación hidráulica para determinar las características geométricas del nuevo Puente Socsí, se indica que para el dimensionamiento del puente (la luz y el máximo nivel de las aguas extraordinarias), se hará uso de la avenida de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.

Luego de la evaluación de los riesgos de falla presentes para diferentes tiempos de retorno, se concluye que bastaría con una avenida de diseño de 174 años para determinar la cota de fondo de los estribos del nuevo puente (determinación de la profundidad de socavación).

El Cuadro 1, indica que el riesgo probable de falla para un tiempo de retorno de 500 años es del orden de 9.53%, magnitud muy conservadora para el caso del Puente SOCSI. Se observa además que para 140 años el riesgo de falla ya está en el orden del 30%, y para 174 años encontramos un riesgo de falla del 25%, es decir, que exista una de cuatro avenidas que supere el caudal 1165 m<sup>3</sup>/seg, correspondiente a esos 174 años del tiempo de retorno (Tr).

La Estación SOCSI registra caudales máximos desde el año 1965 al año 2007 (42 años), entre los cuales se tiene registrado que por el río Cañete ha transitado 900 m<sup>3</sup>/seg, es decir, casi una caudal correspondiente a 50 años de tiempo de retorno (912.52 m<sup>3</sup>/seg), si se toma esta magnitud como caudal instantáneo, lo que es correspondiente con la estadística hidrológica, representativa del río y que, por los resultados, es muy aceptable.

El puente de 53 m de luz con 2 pilares centrales se ha comportado adecuadamente ante sus avenidas en estos 50 años (caudal instantáneo): No ha colapsado y sólo han ocurrido desbordamientos del río en su acceso



derecho. Asumir 500 años para determinar la socavación es considerar que el caudal se incremente un 53% y que prácticamente ocupe sus llanuras de inundación y cauce principal en toda su extensión, llegando a erosionar la carretera existente hasta 500m aguas abajo del cruce con el puente (Gráfico en pseudo-3D), situación que también se reproduce para caudales de 140 años de Tr en adelante.

En conclusión no consideramos, para este caso, que una avenida de 500 años sea una avenida de diseño para determinar la socavación de la estructura nueva, porque magnifica una dimensión muy relacionada al caudal de diseño y que hasta el momento se ha comportado estadísticamente muy aceptable. En tal sentido, bastaría una avenida de 174 años que determina un caudal instantáneo de 1165 m<sup>3</sup>/seg y sólo un riesgo de falla del orden del 25%, para proporcionar la cota de fondo de los estribos del nuevo puente.

Es necesario que se entienda que esta propuesta aumenta el riesgo de falla que se relaciona estadísticamente con la estabilidad de la estructura de un 9.53% a un 25.04%, pero que determina una ocurrencia probable que una avenida de magnitud mayor a 1165 m<sup>3</sup>/seg, ocurra cada 174 años, magnitud 26% mayor a la mayor magnitud ya ocurrida.

El caudal de diseño ( $Q_{inst}$ ) empleado para el dimensionamiento del puente Socsi es el correspondiente a un tiempo de retorno de 100 años, es decir, 1,050.29 m<sup>3</sup>/s.

El caudal de 900 m<sup>3</sup>/s nos sirve para el ajuste del modelo.

### **Cálculos de los coeficientes de rugosidad**

El coeficiente de rugosidad de Manning es uno de los más importantes factores hidráulicos en el cálculo de los perfiles del flujo en ríos y quebradas. En este estudio emplearemos el método Cowan porque se ajusta muy bien al tipo de datos disponibles producto de la visita de campo realizada.

### **Calculo de “n” por Cowan Arcement Schneider (1956)**

Se ha desarrollado un método para evaluar el coeficiente de rugosidad en canales naturales.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (2)$$

Donde:

- $n_0$  = Coeficiente n básico de Limerinos  
 $n_1$  = Coeficiente añadido por irregularidades del cauce.  
 $n_2$  = Coeficiente añadido por variaciones en la forma y tamaño del cauce.  
 $n_3$  = Coeficiente añadido por obstrucciones.  
 $n_4$  = Coeficiente añadido por vegetación y condiciones de flujo.  
 $m$  = Corrección por la cantidad de meandros en el cauce.

Los valores se obtienen de la siguiente tabla obtenida del libro de Chow “Hidráulica de Canales Abiertos”

**Tabla N° 1 Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning por el método de Cowan**

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA LOS CAUCES Y RIBERAS DE LOS RÍOS**

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

Condiciones del canal		Valores		Cauce	Riberas
n Básico	(Limerinos)	$n_0$	Variable	0.029	0.029
Grado de irregularidad	Suave	$n_1$	0	0	0.005
	Menor		0.005		
	Moderado		0.01		
	Severo		0.02		
Variaciones de la sección transversal	Gradual	$n_2$	0	0	0
	Ocasionalmente alternante		0.005		
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015		
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	$n_3$	0	0	0
	Menor		0.010-0.015		
	Apreciable		0.020-0.030		
	Severo		0.040-0.060		
Vegetación	Baja	$n_4$	0.005-0.010	0.005	0.005
	Media		0.010-0.025		
	Alta		0.025-0.050		
	Muy alta		0.050-0.100		
				<b>0.034</b>	<b>0.039</b>

El efecto de los meandros representado por el valor “ $m$ ” se toma constante e igual a 1 por no formar parte de la morfología de los ríos estudiados.

**Tabla N°2 : Coeficiente de rugosidad de Manning iniciales**

Corrientes Naturales	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200 <sup>1</sup>
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200 <sup>1</sup>

Tabla tomada de S.M. Woodward and C. J Posey

"Hydraulics of steady flow in open channels".

## 5.- ANÁLISIS EN HEC-RAS CASO REAL

A continuación se realizó el modelado en Hec Ras para cada tipo de seccionamiento teniendo en cuenta los siguientes pasos:

Se realizó el exportado desde el Civil 3D hacia HEC-RAS

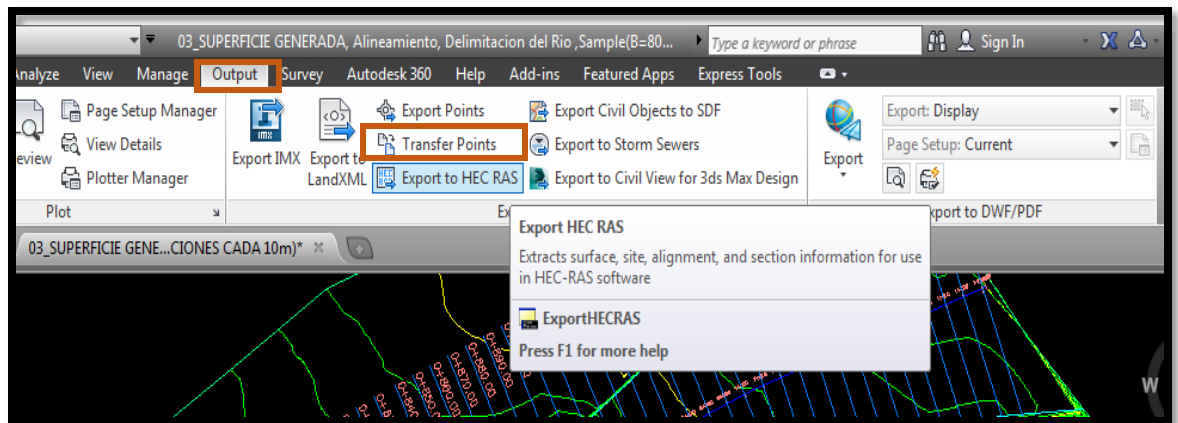


Fig. 83 Exportar a Hec-Ras

Aparecerá la ventana donde se colocará el nombre del río, en este caso será e rio Cañete

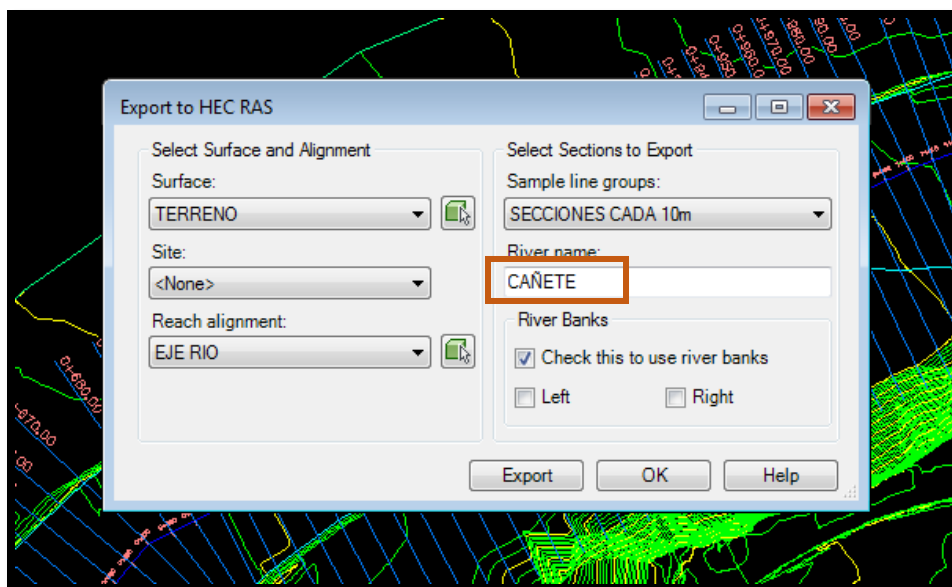


Fig. 84 Nombre del Río

Se seleccionará el margen izquierdo del río al pulsar la opción LEFT, y el margen derecho al pulsar RIGHT, teniendo en cuenta el curso del río

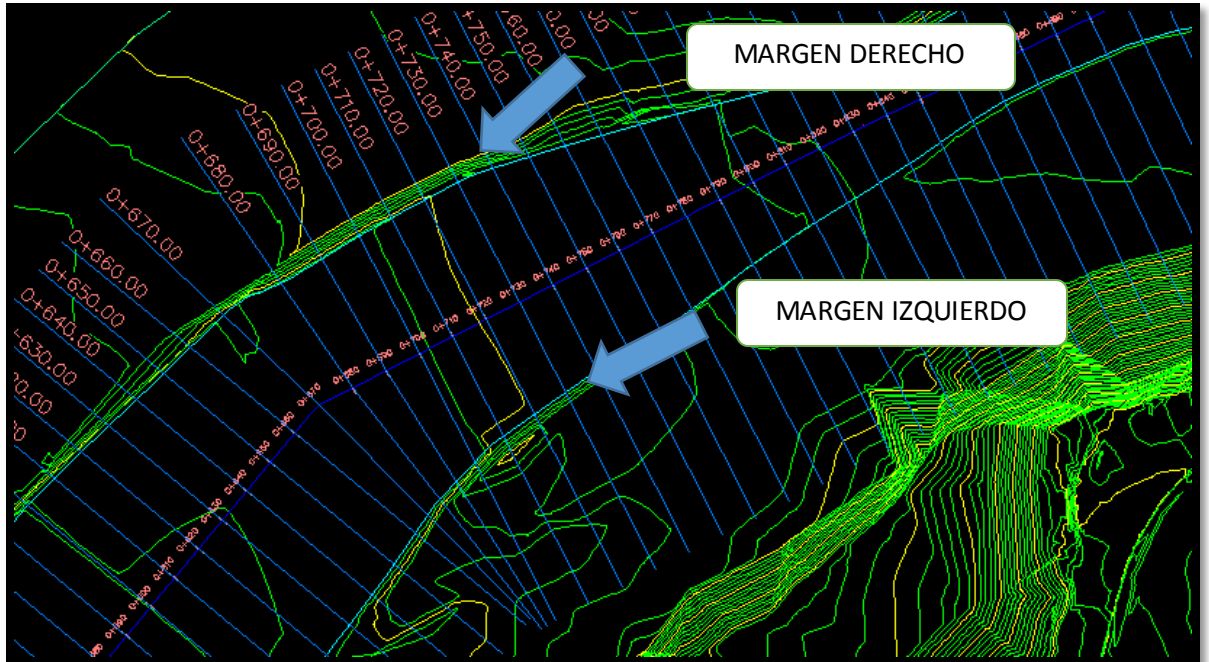


Fig. 85 Nombre del Río

Exportar y guardar

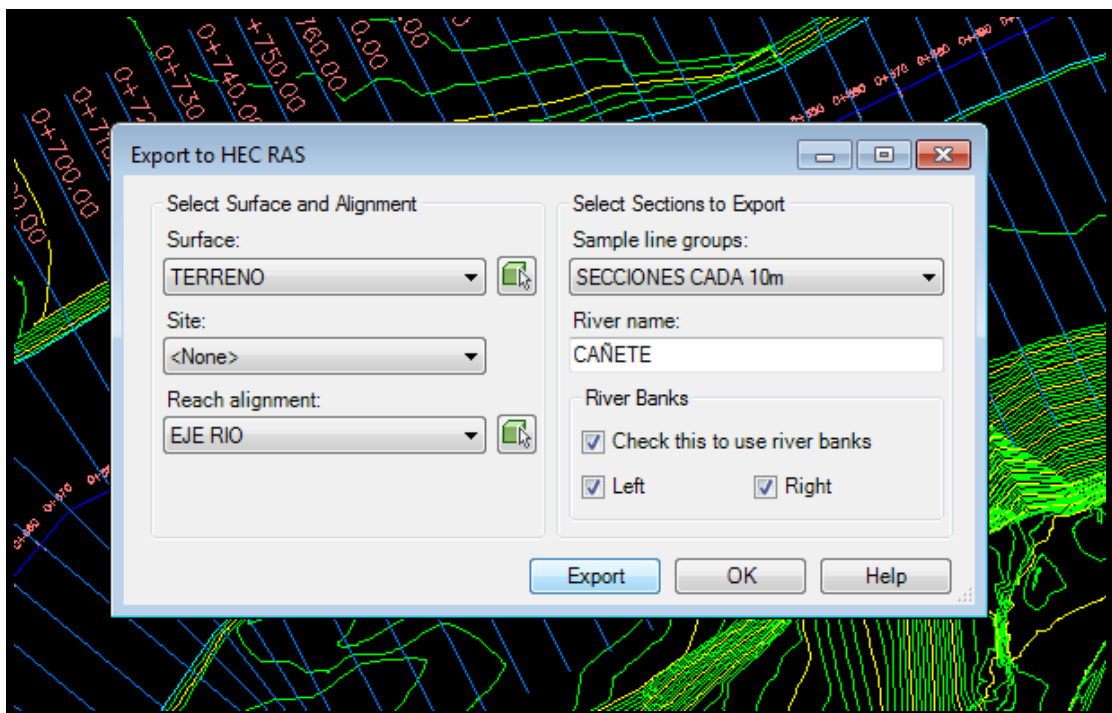


Fig. 86 márgenes del río  
Se creará un nuevo proyecto, para este caso será para el seccionamiento cada 10 m

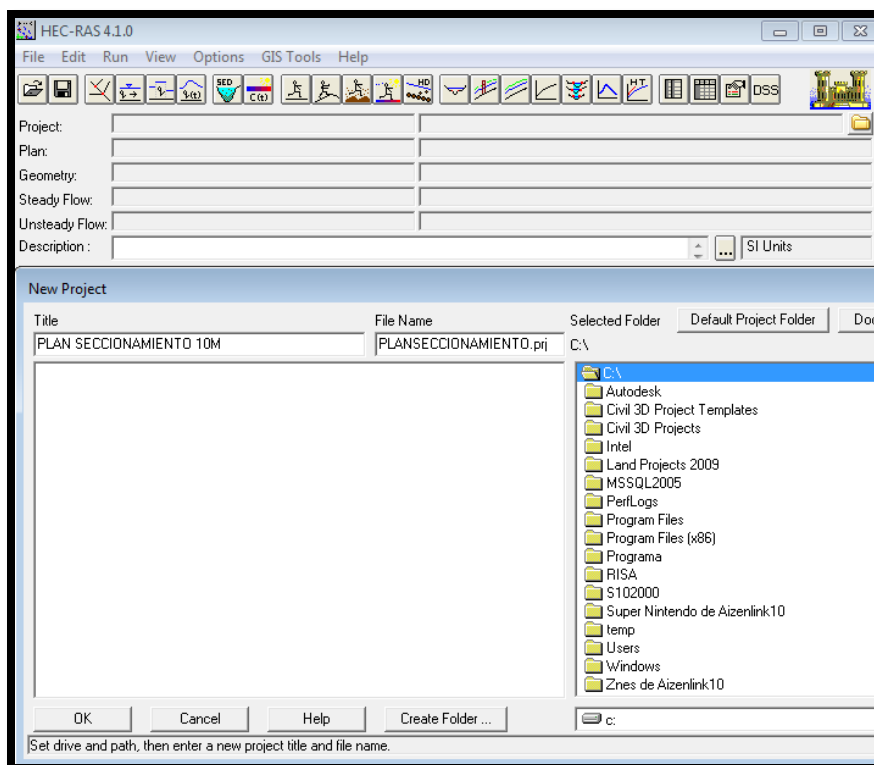


Fig. 86 Creación del Proyecto

Se entrará a la ventana Edit/Enter Geometry Data

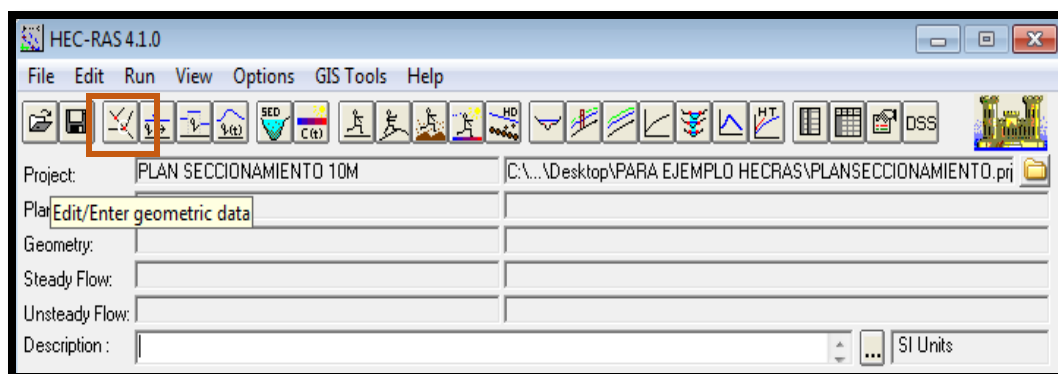


Fig. 87 Ventana geometry

Entrar a la ventana Gif format, donde de ahí se importara el archivo ya guardado del Autocad Civil 3D

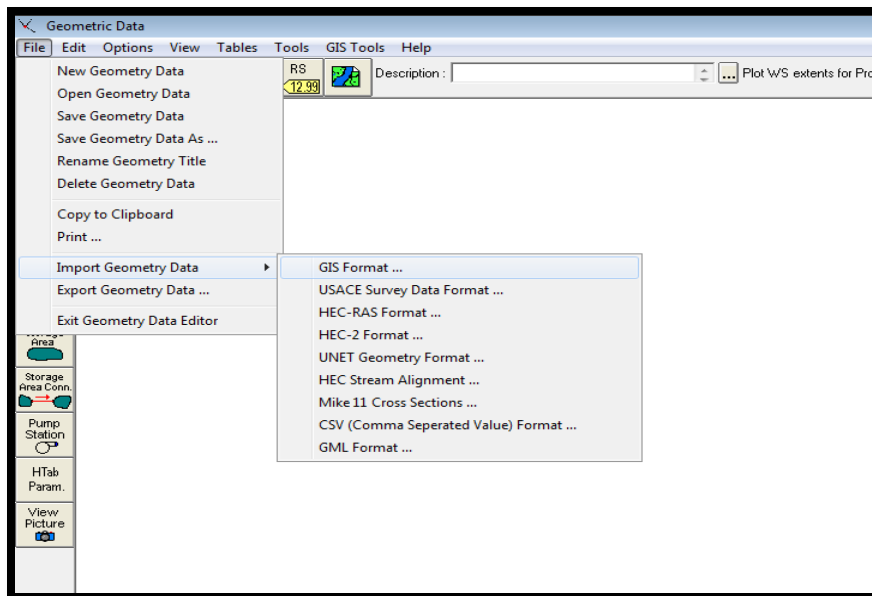


Fig. 88 importar del Autocad Civil 3D

Se importaran todas las secciones hechas del muestreo del Autocad Civil 3D

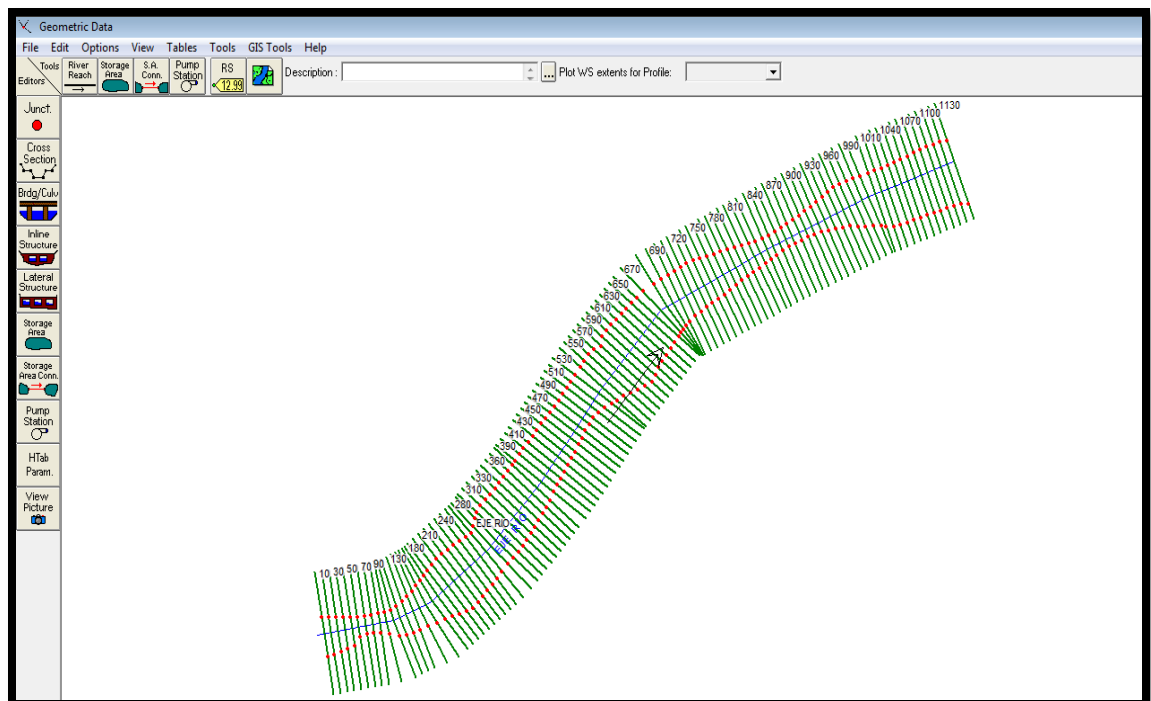


Fig. 89 Importado de secciones

Una vez tomada la geometría, se introducen los Manning de las secciones

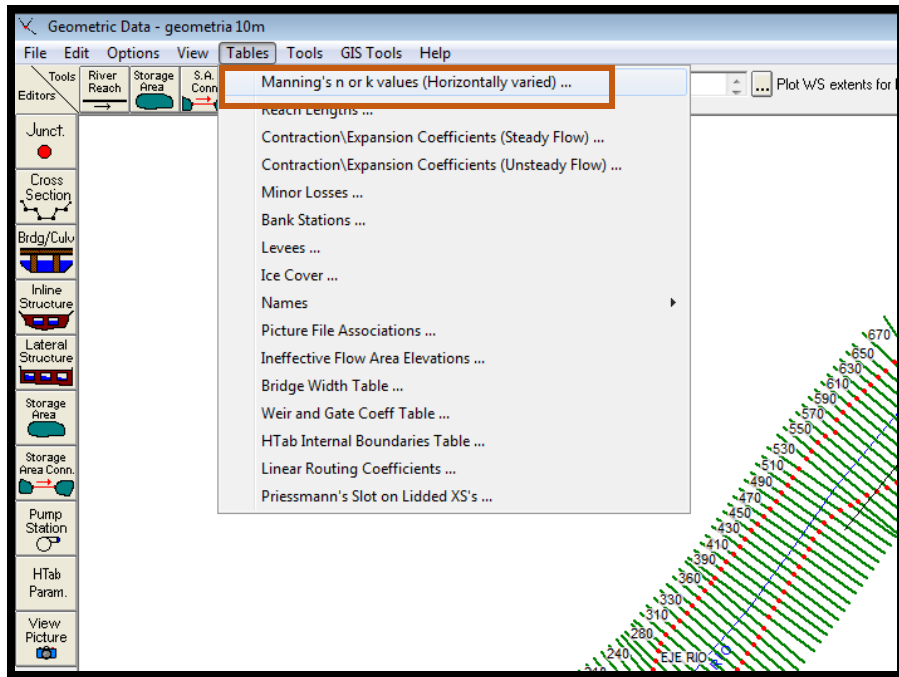


Fig. 90 Colocacion del N° de Manning

Se colocara 0.025 en los márgenes derecho e izquierdo, y 0.05 en el canal principal

Edit Manning's n or k Values

River: EJE RIO  Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: EJE RIO All Regions

Selected Area Edit Options:

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	1130	n	0.025	0.05	0.025
2	1120	n	0.025	0.05	0.025
3	1110	n	0.025	0.05	0.025
4	1100	n	0.025	0.05	0.025
5	1090	n	0.025	0.05	0.025
6	1080	n	0.025	0.05	0.025
7	1070	n	0.025	0.05	0.025
8	1060	n	0.025	0.05	0.025
9	1050	n	0.025	0.05	0.025
10	1040	n	0.025	0.05	0.025
11	1030	n	0.025	0.05	0.025
12	1020	n	0.025	0.05	0.025
13	1010	n	0.025	0.05	0.025
14	1000	n	0.025	0.05	0.025
15	990	n	0.025	0.05	0.025
16	980	n	0.025	0.05	0.025
17	970	n	0.025	0.05	0.025
18	960	n	0.025	0.05	0.025

OK Cancel Help

Fig. 81 N° de Manning



Guardar la geometría realizada

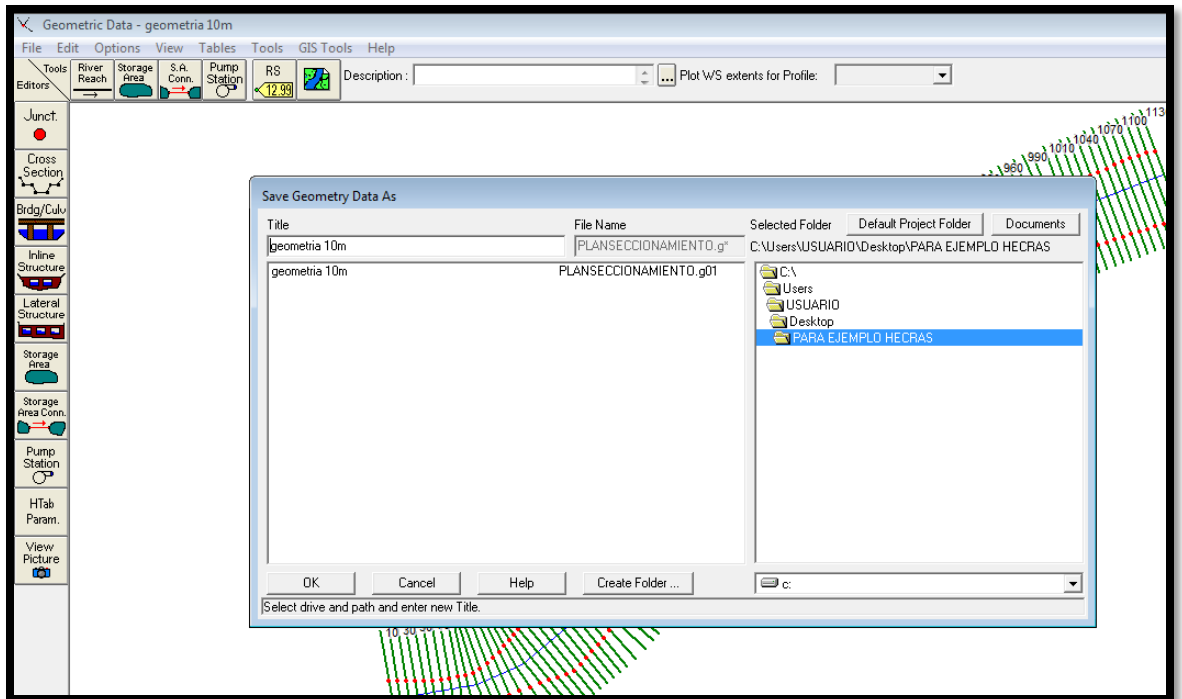


Fig. 92 Guardado de geometria

A continuación se detallarán los pasos de las características del flujo en HEC-RAS

Entrar a Edit/Enter steady flow data

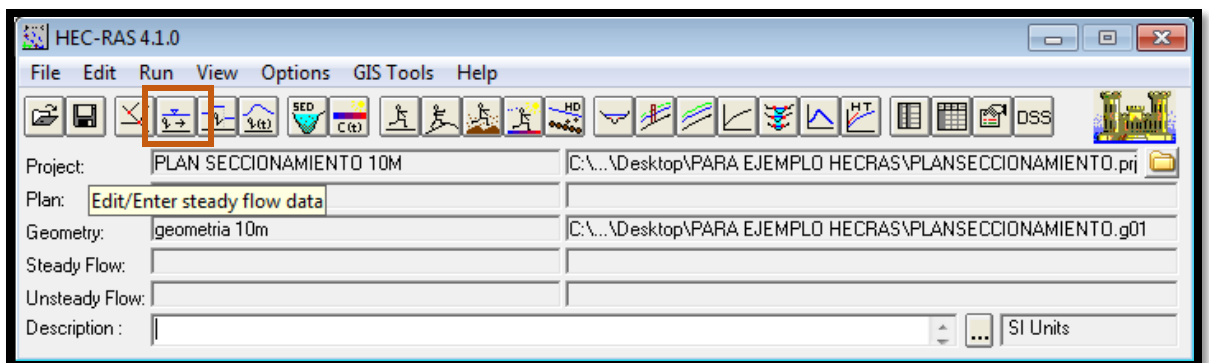


Fig. 93 Flujo Hec-Ras

El caudal de diseño será de 900 m<sup>3</sup>/s

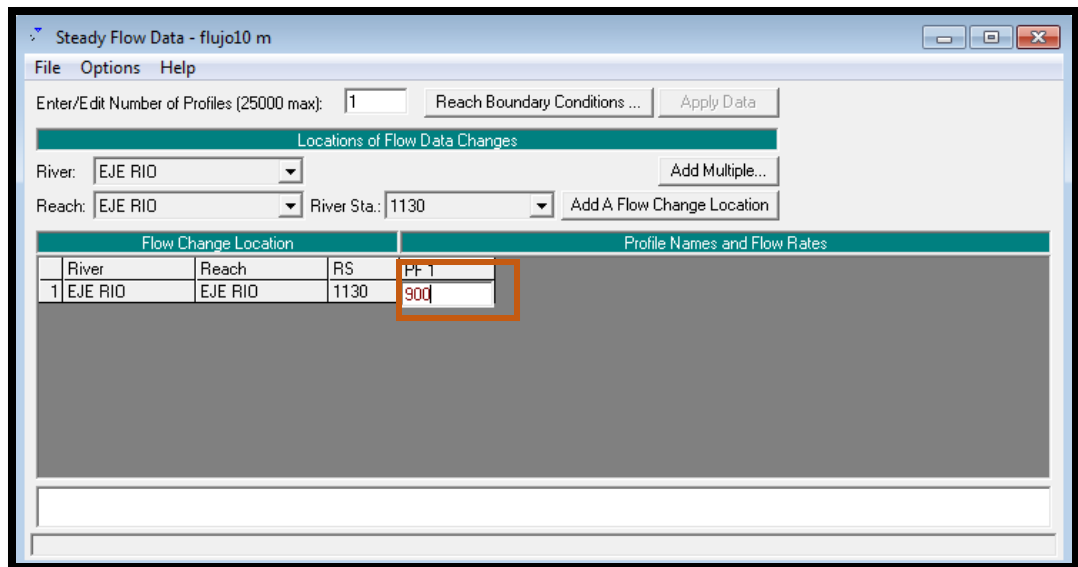


Fig.94 Caudal del río

Click en Normal Depth y escribimos la pendiente del curso del río.

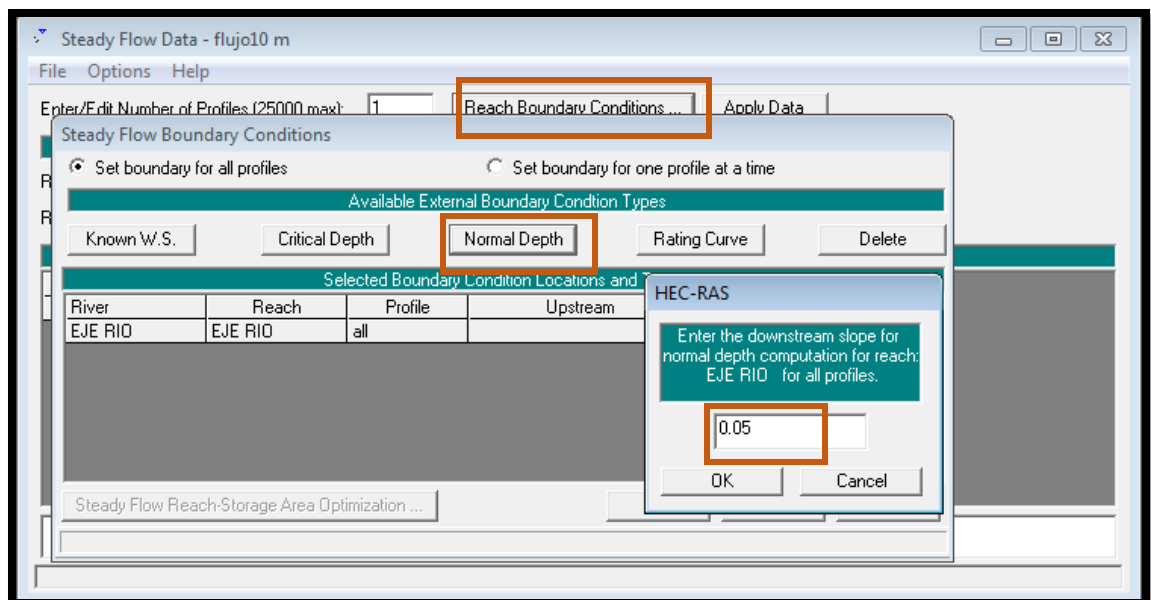
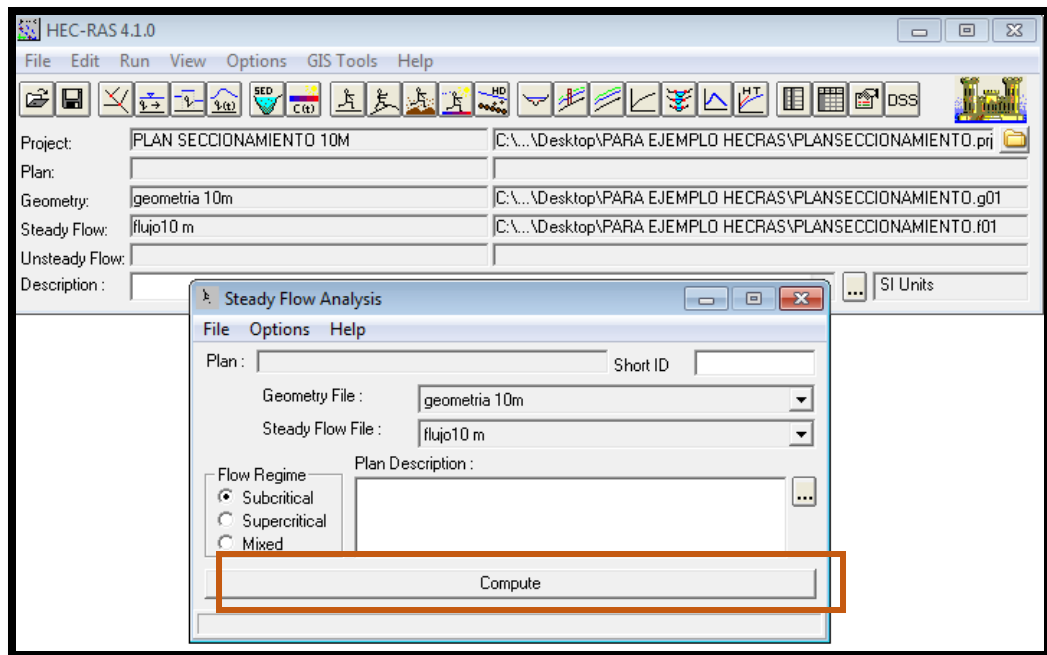


Fig. 95 Características del flujo

Ahora correremos el plan



Click en compute

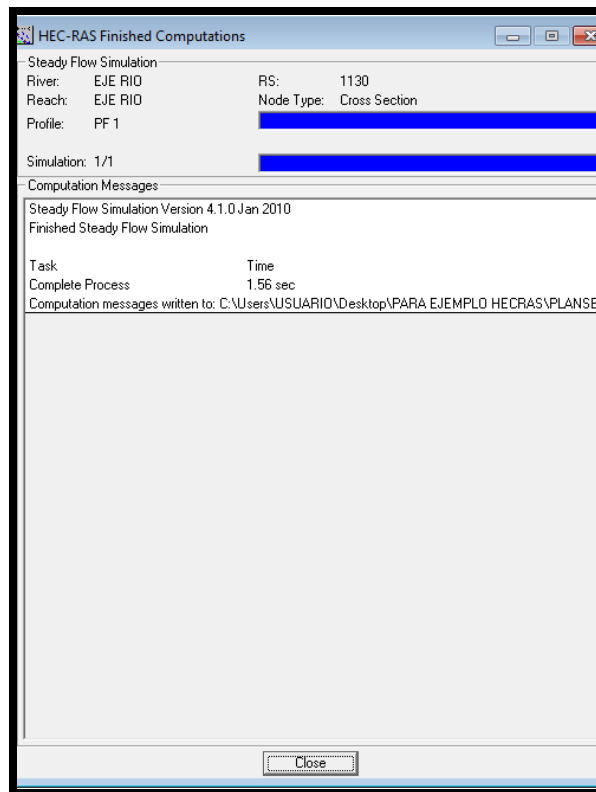


Fig. 96 Análisis del Programa

## INGRESO DE DATOS DEL PUENTE

En la ventana Geometric data hacer click en el ícono Edit and/or create bridges and culverts

Luego en options click en Add a bridge and/or culvert

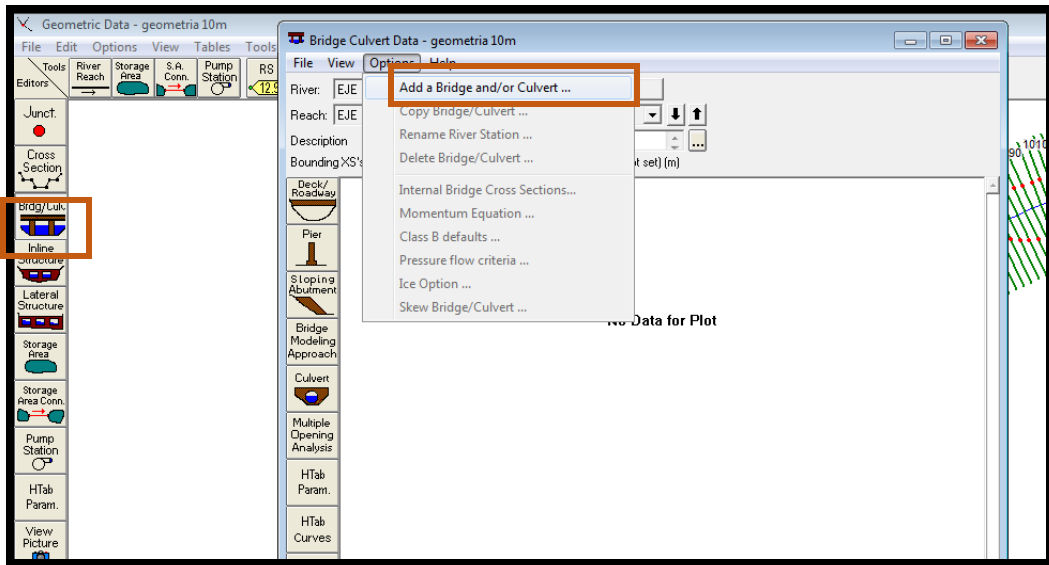


Fig. 97 Ingresar el puente

Se creara el eje del Puente en la progresiva 471 del flujo del rio modelado

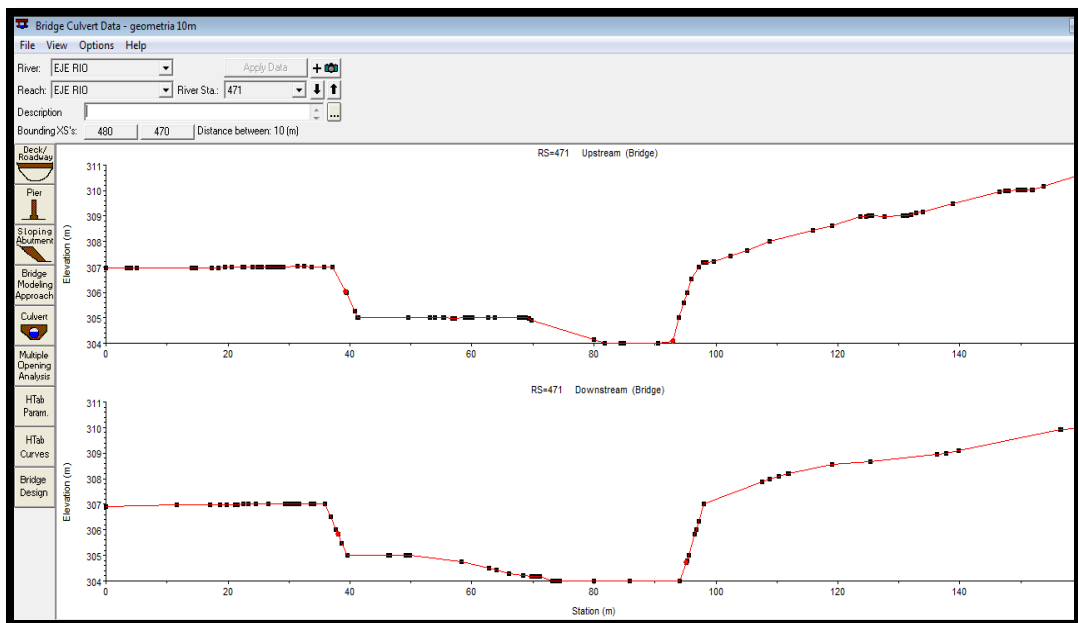


Fig. 98 Sección transversal de los lados del puente

Entrar a edit the bridge deck/roadway y digitar las dimensiones del tablero del puente

Deck/Roadway Data Editor

Distance	Width	Weir Coef
3	10	1.4

Clear Del Row Ins Row Copy US to DS

Upstream			Downstream		
Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1 26.	308.5		26.	308.5	
2 36.21	309.		36.21	309.	
3 36.21	309.	308.	36.21	309.	308.
4 97.36	309.	308.	97.36	309.	308.
5 97.36	309.		97.36	309.	
6 108.8	308.5		108.8	308.5	
7					
8					

U.S Embankment SS: 0 D.S Embankment SS: 0

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)

Fig. 99 Características del tablero

Quedará de la siguiente manera

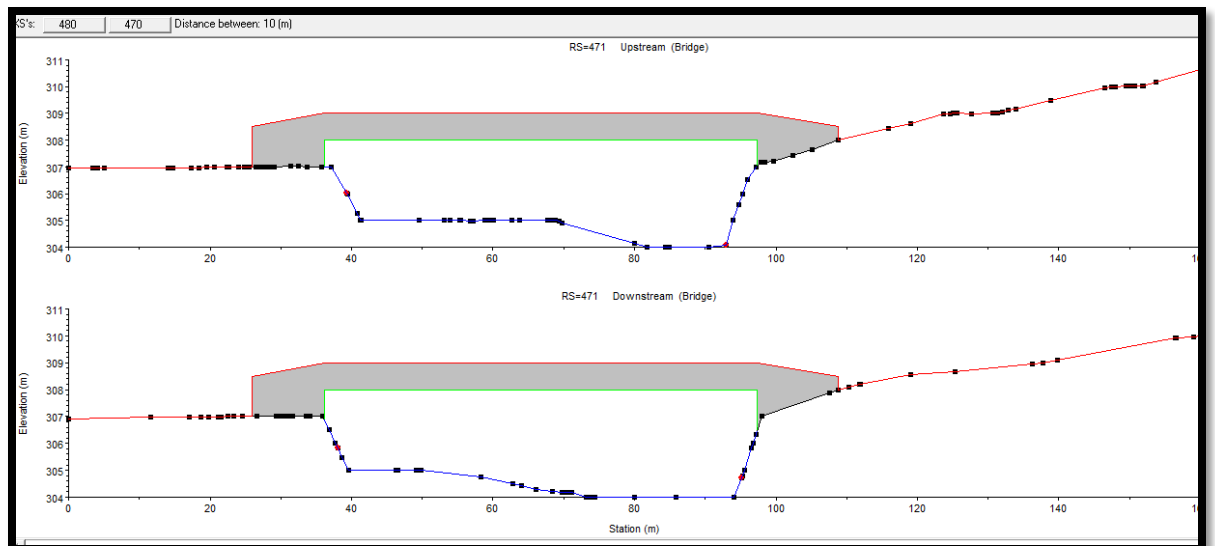


Fig. 100 Tablero del puente

Ahora se digitara las dimensiones de los pilares, teniendo en cuenta que en este caso son 2 pilares de forma circular de 1m de diametro

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 1

Del Row Centerline Station Upstream 57

Ins Row Centerline Station Downstream 57

Floating Pier Debris

All On ... All Off ...  Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

	Upstream		Downstream		
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation	
1	1.	304.99	1.	304.99	
2	1.	308.	1.	308.	
3					
4					
5					
6					

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

Fig. 101 Características pilar 1

Pier Data Editor

Add Copy Delete Pier # 2

Del Row Centerline Station Upstream 77

Ins Row Centerline Station Downstream 77

Floating Pier Debris

All On ... All Off ...  Apply floating debris to this pier

Set Wd/Ht for all ... Debris Width: Debris Height:

	Upstream		Downstream		
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation	
1	1.	304.	1.	304.	
2	1.	308.	1.	308.	
3					
4					
5					
6					

OK Cancel Help Copy Up to Down

Select the Pier to Edit

Fig. 102 Características pilar 2

Quedará de la siguiente manera

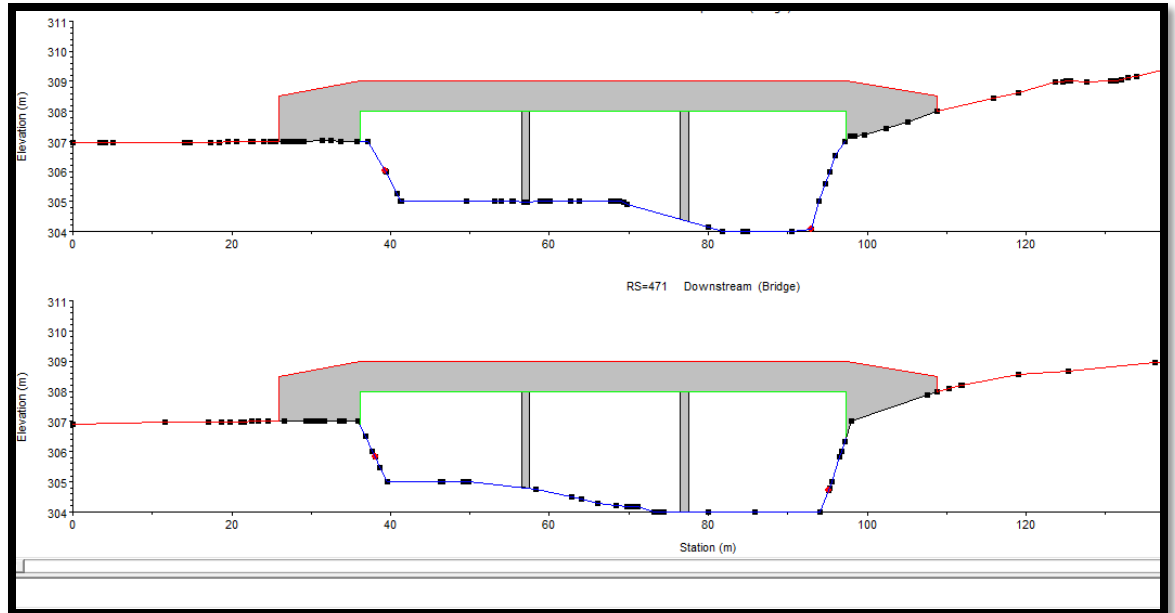


Fig. 102 Ubicación de pilares del puente

A continuación se colocaran los estribos al puente

Sloping Abutment Data Editor

Add Copy Delete Abutment # 1

Del Row Ins Row

	Upstream		Downstream	
	Station	Elevation	Station	Elevation
1	36.21	308	36.21	308
2	38.21	308	38.21	308
3				
4				
5				
6				
7				

OK Cancel Help Copy Up to Down

Edit abutment stations and elevations (m)

Fig. 103 Características estribos 1

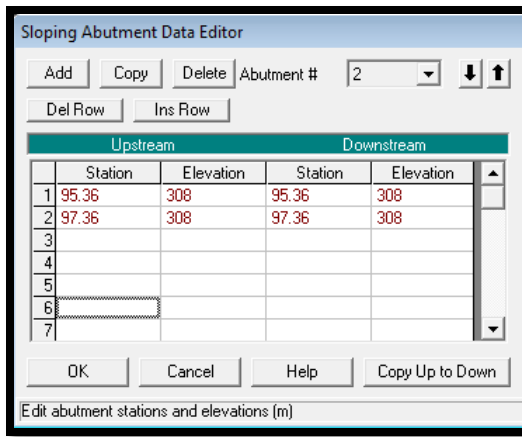


Fig. 104 Características estribos 2

Quedará de la siguiente manera

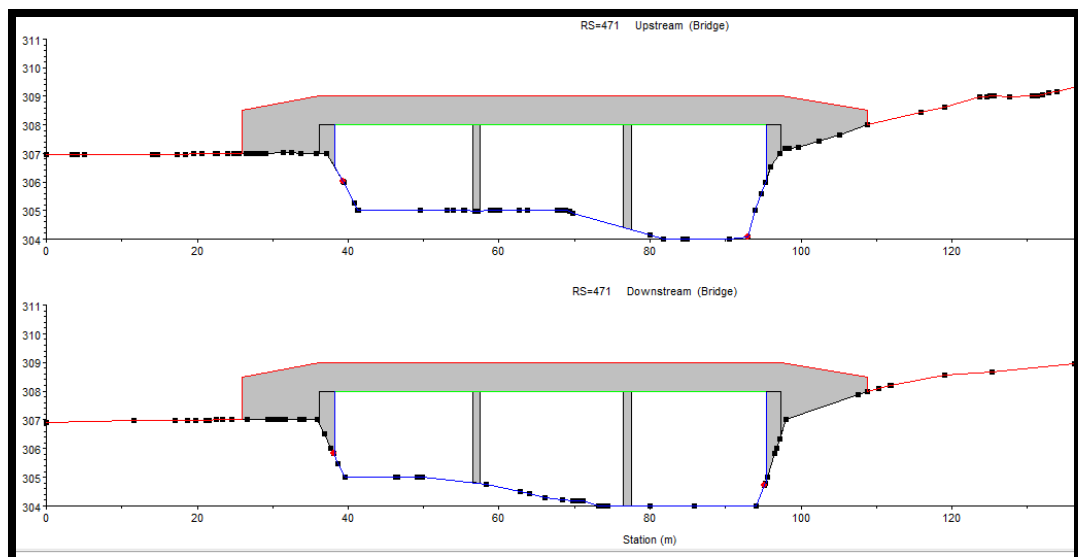


Fig. 105 Ubicación de estribos



Corregir los coeficientes de contracción y expansión

En el menú Geometric Data, click en Tables/contraction/expansion coefficients(Steady flow)....

	Reach	River Station	Contraction	Expansion
60	EJE RIO	540	0.1	0.3
61	EJE RIO	530	0.1	0.3
62	EJE RIO	520	0.1	0.3
63	EJE RIO	510	0.1	0.3
64	EJE RIO	500	0.1	0.3
65	EJE RIO	490	0.3	0.5
66	EJE RIO	480	0.3	0.5
67	EJE RIO	471	Bridge	
68	EJE RIO	470	0.3	0.5
69	EJE RIO	460	0.1	0.3
70	EJE RIO	450	0.1	0.3
71	EJE RIO	440	0.1	0.3
72	EJE RIO	430	0.1	0.3
73	EJE RIO	420	0.1	0.3
74	EJE RIO	410	0.1	0.3
75	EJE RIO	400	0.1	0.3
76	EJE RIO	390	0.1	0.3
77	EJE RIO	380	0.1	0.3

Fig. 106 coeficientes de corrección

El puente quedará de la siguiente manera

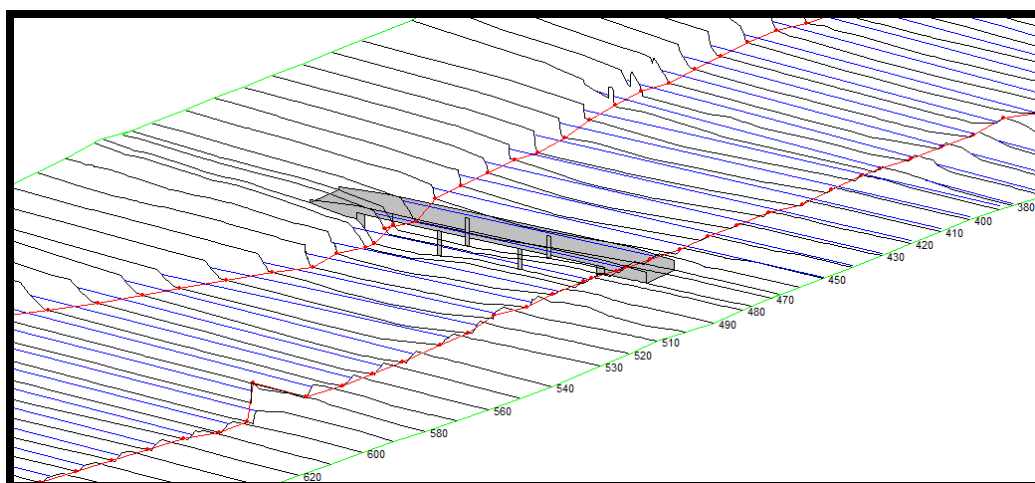


Fig. 107 vista 3D del puente en Hec-Ras

## CALCULO DE SOCAVACION

Entrar al ícono Perform hydraulic desing computation

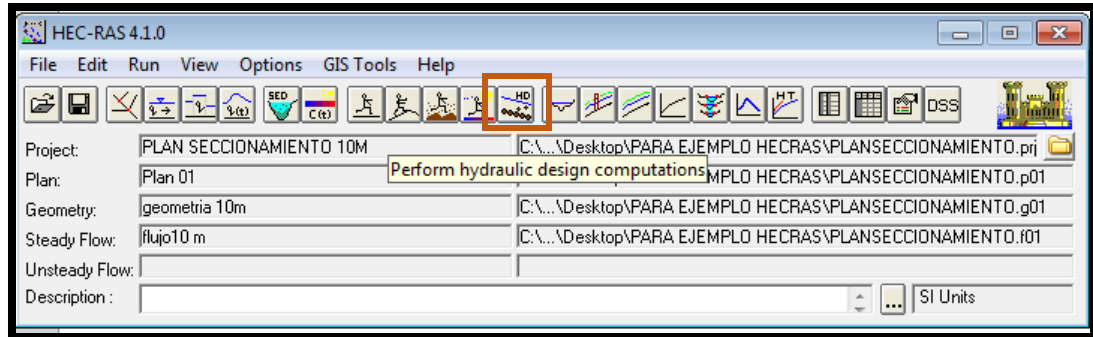


Fig. 108 Ventana principal Hec-Ras

Socavación por contracción

HEC-RAS llena los valores con color verde (las cuales se pueden modificar) de las variables para el cálculo de socavación por contracción

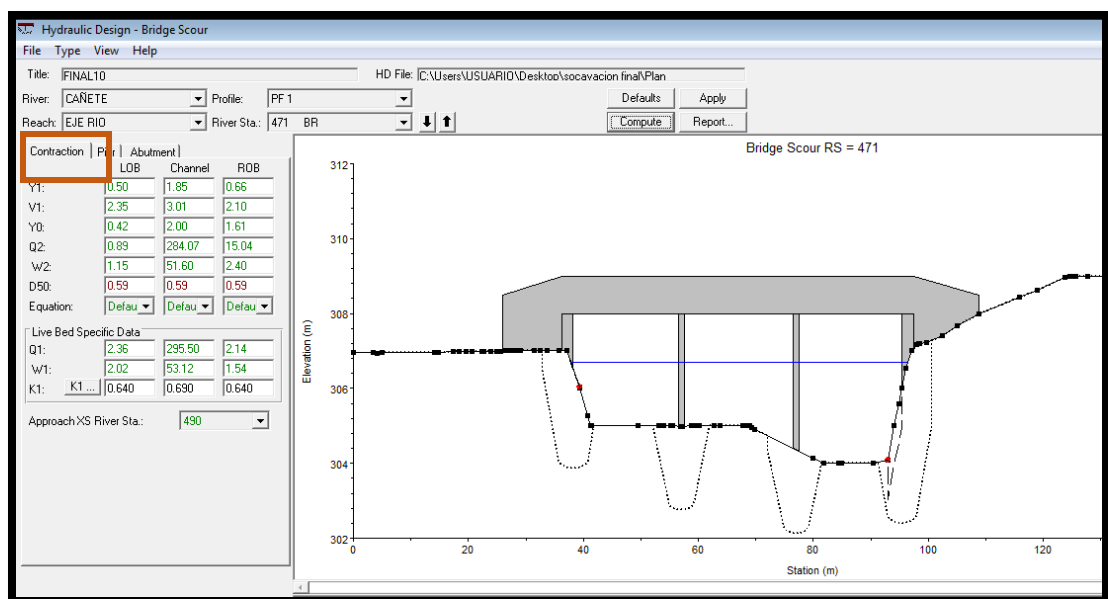


Fig. 109 Socavación por Contracción

## Socavación local en pilares

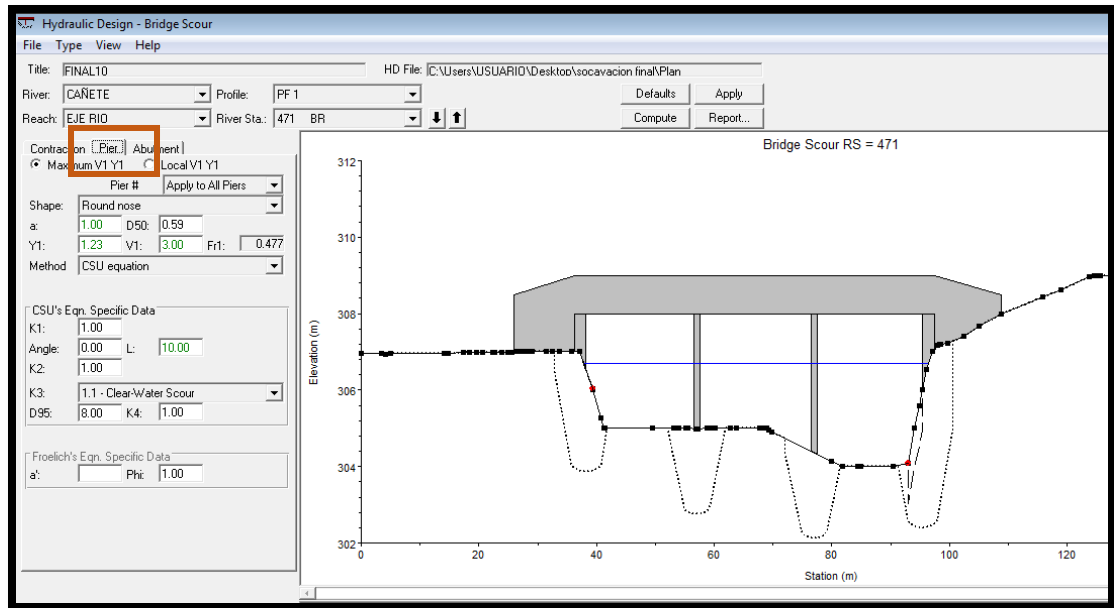


Fig. 110 Socavación local en pilares

## Socavación en estribos

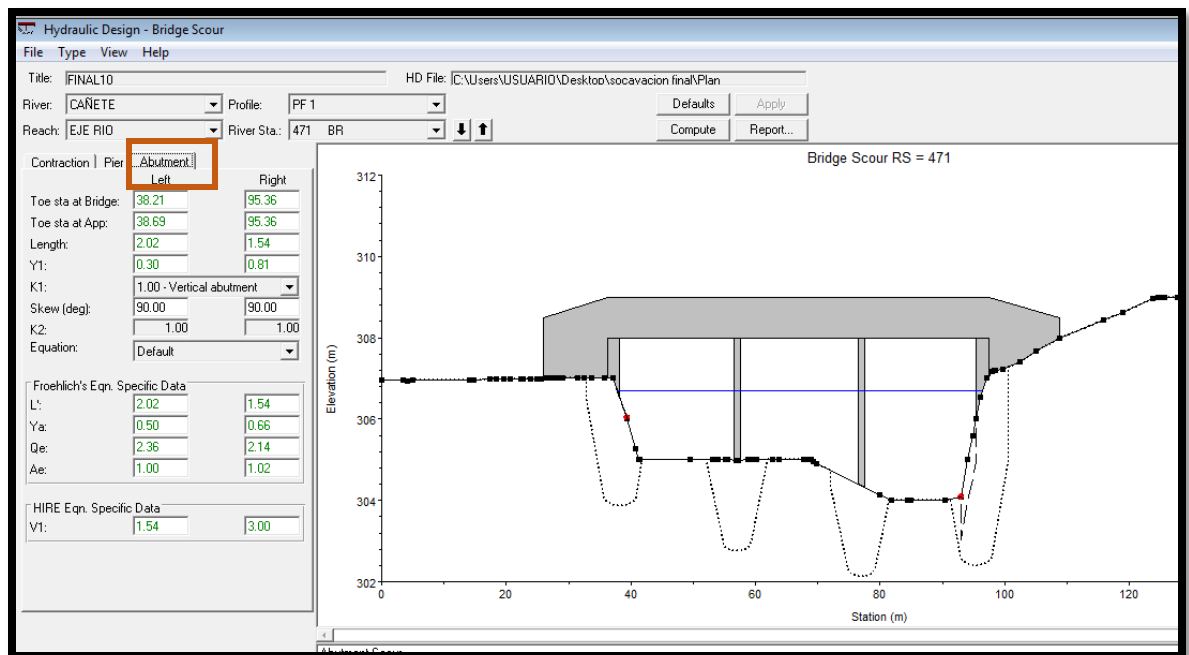


Fig. 111 Socavación local en estribos

Click en Compute y luego en Report, HEC-RAS dara un reporte de socavacion local, pilares y estribos y sus combinaciones

Contraction Scour			
	Left	Channel	Right
Input Data			
Average Depth (m):	1.68	3.75	0.64
Approach Velocity (m/s):	3.60	3.18	1.85
Br Average Depth (m):	0.99	3.24	2.85
BR Opening Flow (m3/s):	116.45	743.73	39.82
BR Top WD (m):	27.15	51.60	2.40
Grain Size D50 (mm):	0.59	0.59	0.59
Approach Flow (m3/s):	240.88	634.44	24.68
Approach Top WD (m):	39.84	53.12	20.79
K1 Coefficient:	0.640	0.690	0.640
Results			
Scour Depth Ys (m):	0.16	1.14	0.99
Critical Velocity (m/s):	0.57	0.65	0.48
Equation:	Live	Live	Live

Fig. 112 Socavación por contraccion

Pier Scour	
All piers have the same scour depth	
Input Data	
Pier Shape:	Round nose
Pier Width (m):	1.00
Grain Size D50 (mm):	0.59000
Depth Upstream (m):	1.81
Velocity Upstream (m/s):	3.12
K1 Nose Shape:	1.00
Pier Angle:	0.00
Pier Length (m):	10.00
K2 Angle Coef:	1.00
K3 Bed Cond Coef:	1.10
Grain Size D90 (mm):	8.00000
K4 Armouring Coef:	1.00
Results	
Scour Depth Ys (m):	2.38
Froude #:	0.74
Equation:	CSU equation

Fig. 113 Socavacion local en pilares

Abutment Scour			
		Left	Right
Input Data			
Station at Toe (m):		38.21	95.36
Toe Sta at appr (m):		38.69	95.36
Abutment Length (m):		39.84	20.79
Depth at Toe (m):		2.24	2.75
K1 Shape Coef:		1.00 - Vertical abutment	
Degree of Skew (degrees):		90.00	90.00
K2 Skew Coef:		1.00	1.00
Projected Length L' (m):		39.84	20.79
Avg Depth Obstructed Ya (m):		1.68	0.64
Flow Obstructed Qe (m <sup>3</sup> /s):		240.88	24.68
Area Obstructed Ae (m <sup>2</sup> ):		66.83	13.32
Results			
Scour Depth Ys (m):		15.52	6.04
Qe/Ae = Ve:		3.60	1.85
Froude #:		0.89	0.74
Equation:		Froehlich	Froehlich

Fig. 114 Socavacion local en estribos

Combined Scour Depths		
Pier Scour + Contraction Scour (m):	Channel:	3.52
Left abutment scour + contraction scour (m):		15.68
Right abutment scour + contraction scour (m):		7.03

Fig. 115 Combinación de las socavaciones

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### SECCIONAMIENTO CASO IDEAL

SECCIONAMIENTO: 200 M			
<b>CONTRACTION SCOUR</b>		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>
SCOUR DEPTH		0.00	1.39
CRITICAL VELOCITY		0.48	0.58
<b>PIER SCOUR</b>		<b>Pilares</b>	
SCOUR DEPTH		2.03	
FROUDE #		0.39	
<b>ABUTMENT SCOUR</b>		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		2.21	2.21
FROUDE #		0.16	0.16
<b>COMBINED SCOUR DEPTHS</b>		<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR		3.42	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR		2.21	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR		2.21	

Tabla 1, Seccionamiento 200m

<b>SECCIONAMIENTO: 150 M</b>			
CONTRACTION SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH	0.00	1.28	0.00
CRITICAL VELOCITY	0.47	0.58	0.47
PIER SCOUR	<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH	2.04		
FROUDE #	0.39		
ABUTMENT SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH	2.19	2.19	
FROUDE #	0.15	0.15	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.32
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19

Tabla 2, Seccionamiento 150m

<b>SECCIONAMIENTO: 100 M</b>			
CONTRACTION SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH	0.00	1.25	0.00
CRITICAL VELOCITY	0.46	0.58	0.46
PIER SCOUR	<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH	2.04		
FROUDE #	0.4		
ABUTMENT SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH	2.19	2.19	
FROUDE #	0.15	0.15	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.29
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19

Tabla 3, Seccionamiento 100m

<b>SECCIONAMIENTO: 75 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.00	1.24	0.00
CRITICAL VELOCITY		0.46	0.58	0.46
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.04		
FROUDE #		0.40		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		2.19	2.19	
FROUDE #		0.15	0.15	
COMBINED SCOUR DEPHTS				<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR				3.28
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				2.19
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				2.19

Tabla 4, Seccionamiento 75m

<b>SECCIONAMIENTO: 50 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.00	1.22	0.00
CRITICAL VELOCITY		0.46	0.58	0.46
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.04		
FROUDE #		0.40		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		2.19	2.19	
FROUDE #		0.15	0.15	
COMBINED SCOUR DEPHTS				<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR				3.26
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				2.19
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				2.19

Tabla 5, Seccionamiento 50m



<b>SECCIONAMIENTO: 25 M</b>			
CONTRACTION SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH	0.00	1.22	0.00
CRITICAL VELOCITY	0.46	0.58	0.46
PIER SCOUR	<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH	2.04		
FROUDE #	0.40		
ABUTMENT SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH	2.19	2.19	
FROUDE #	0.15	0.15	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.26
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19

Tabla 6, Seccionamiento 25m

<b>SECCIONAMIENTO: 10 M</b>			
CONTRACTION SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH	0.00	1.21	0.00
CRITICAL VELOCITY	0.46	0.58	0.46
PIER SCOUR	<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH	2.04		
FROUDE #	0.40		
ABUTMENT SCOUR	<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH	2.19	2.19	
FROUDE #	0.15	0.15	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.25
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.19

Tabla 7, Seccionamiento 10m

## RESUMEN DE RESULTADOS CASO IDEAL

<b>PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
<b>SECCIONAMIENTO (m)</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
200	3.42
150	3.32
100	3.29
75	3.28
50	3.26
25	3.26
10	3.25

Tabla 8, pier scour + contraction scour caso ideal

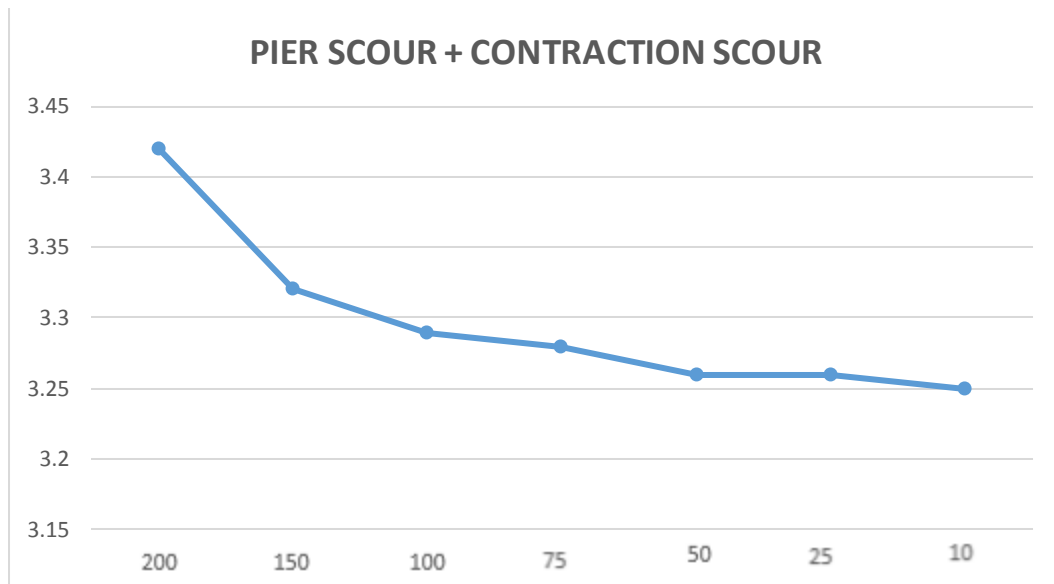


Gráfico 1, pier scour + contraction scour

<b>LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
<b>SECCIONAMIENTO (m)</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
200	2.21
150	2.19
100	2.19
75	2.19
50	2.19
25	2.19
10	2.19

Tabla 9, left abutment scour + contraction scour caso ideal

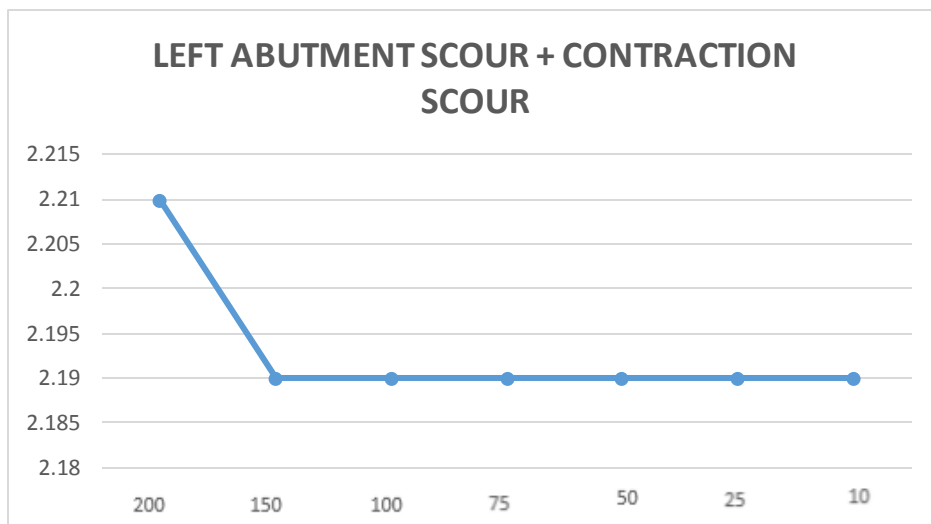


Gráfico 2, left abutment scour + contraction scour

<b>RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
SECCIONAMIENTO (m)	SOCAVACIÓN (m)
200	2.21
150	2.19
100	2.19
75	2.19
50	2.19
25	2.19
10	2.19

Tabla 10, right abutment scour + contraction scour caso ideal

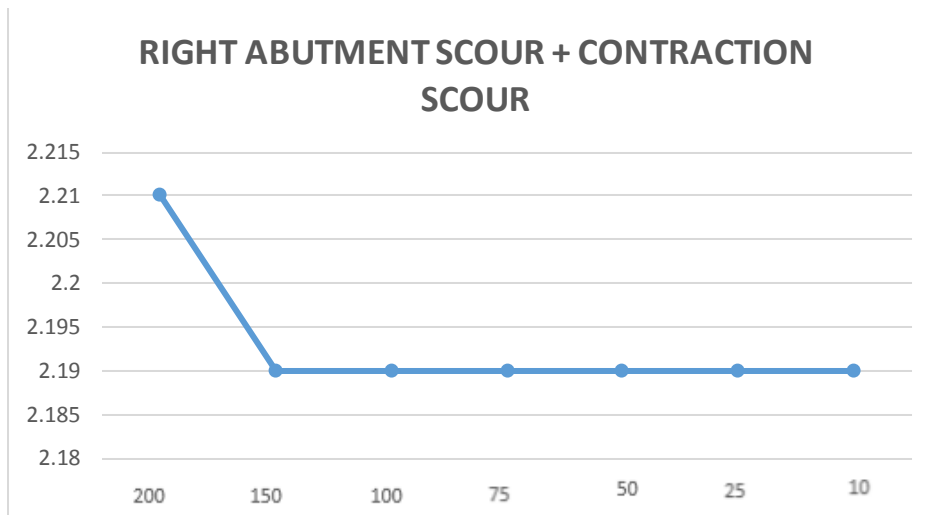


Gráfico 3, right abutment scour + contraction scour

SECCIONAMIENTO CASO REAL CUDAL DE DISEÑO: 900 M3/S

<b>SECCIONAMIENTO: 200 M</b>				
<b>CONTRACTION SCOUR</b>		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
	SCOUR DEPTH	0.55	0.60	0.00
	CRITICAL VELOCITY	0.47	0.60	0.53
<b>PIER SCOUR</b>		<b>Pilares</b>		
	SCOUR DEPTH	2.41		
	FROUDE #	0.47		
<b>ABUTMENT SCOUR</b>		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
	SCOUR DEPTH	3.97	9.69	
	FROUDE #	1.79	3.08	
<b>COMBINED SCOUR DEPHTS</b>			<b>CHANNEL</b>	
	PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.01
	LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			4.52
	RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			9.69

Tabla 11, Seccionamiento 200m

<b>SECCIONAMIENTO: 150 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.30	0.80	0.00
CRITICAL VELOCITY		0.49	0.59	0.53
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.42		
FROUDE #		0.47		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		4.28	9.58	
FROUDE #		0.83	0.95	
COMBINED SCOUR DEPHTS				<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR				3.21
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				4.58
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				9.58

Tabla 12, Seccionamiento 150m

<b>SECCIONAMIENTO: 100 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.02	0.00	0.65
CRITICAL VELOCITY		0.46	0.62	0.59
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.41		
FROUDE #		0.47		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		9.04	6.26	
FROUDE #		0.64	79	
COMBINED SCOUR DEPHTS				<b>CHANNEL</b>
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR				2.41
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				9.07
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				6.91

Tabla 13, Seccionamiento 100m

<b>SECCIONAMIENTO: 75 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.21	0.21	0.00
CRITICAL VELOCITY		0.40	0.61	0.51
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.41		
FROUDE #		0.47		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		9.04	6.97	
FROUDE #		0.64	1.12	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.63	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			9.26	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			6.97	

Tabla 14, Seccionamiento 75m

<b>SECCIONAMIENTO: 50 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.01	0.14	0.88
CRITICAL VELOCITY		0.46	0.62	0.59
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.42		
FROUDE #		0.48		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		7.91	6.26	
FROUDE #		1.12	0.8	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.56	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			7.92	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			7.14	

Tabla 15, Seccionamiento 50m

<b>SECCIONAMIENTO: 25 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.01	0.14	0.88
CRITICAL VELOCITY		0.45	0.54	0.51
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.42		
FROUDE #		0.48		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		7.91	6.26	
FROUDE #		1.12	0.8	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			2.56	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			7.92	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			7.14	

Tabla 16, Seccionamiento 25m

<b>SECCIONAMIENTO: 10 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.00	0.58	1.72
CRITICAL VELOCITY		0.51	0.62	0.55
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.42		
FROUDE #		0.48		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		9.04	4.52	
FROUDE #		0.64	0.69	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.00	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			9.04	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			6.24	

Tabla 17, Seccionamiento 10m



RESUMEN DE RESULTADOS, CAUDAL 900M3/S

<b>PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
SECCIONAMIENTO (m)	SOCAVACIÓN (m)
200	3.01
150	3.21
100	2.41
75	2.63
50	2.56
25	2.56
10	3

Tabla 18, pier scour + contraction scour

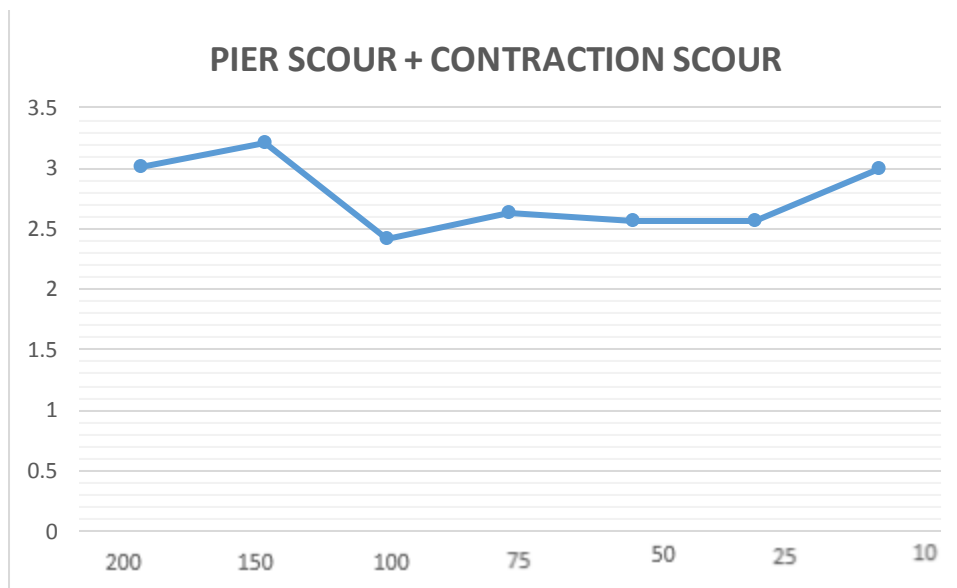


Gráfico 4, pier scour + contraction scour

<b>LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
<b>SECCIONAMIENTO (m)</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
200	4.52
150	4.58
100	9.07
75	9.26
50	7.92
25	7.92
10	9.04

Tabla 19, left abutment scour + contraction scour caso ideal

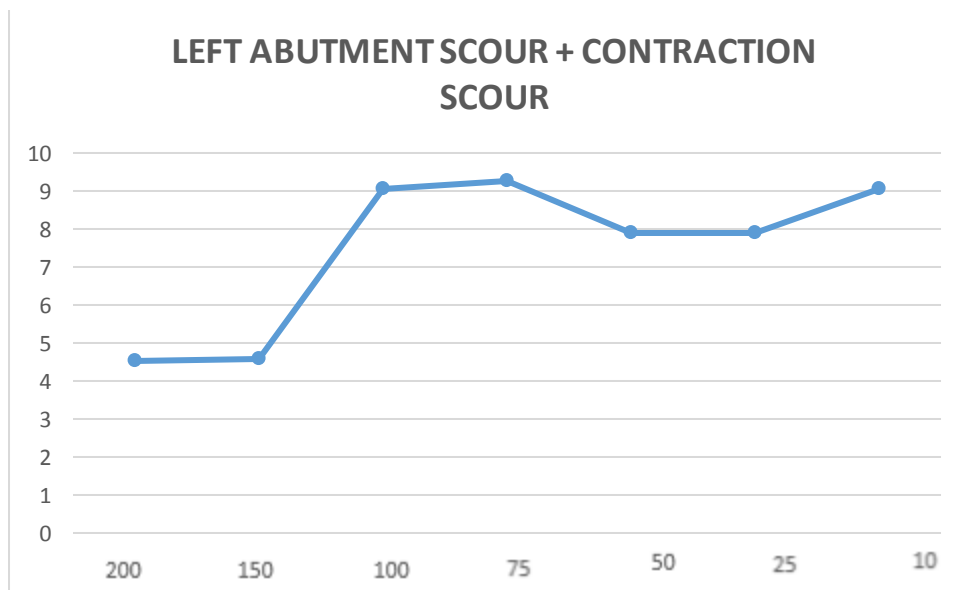


Gráfico 5, left abutment scour + contraction scour

<b>RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
<b>SECCIONAMIENTO (m)</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
200	9.69
150	9.58
100	6.91
75	6.97
50	7.14
25	7.14
10	6.24

Tabla 20, right abutment scour + contraction scour caso ideal

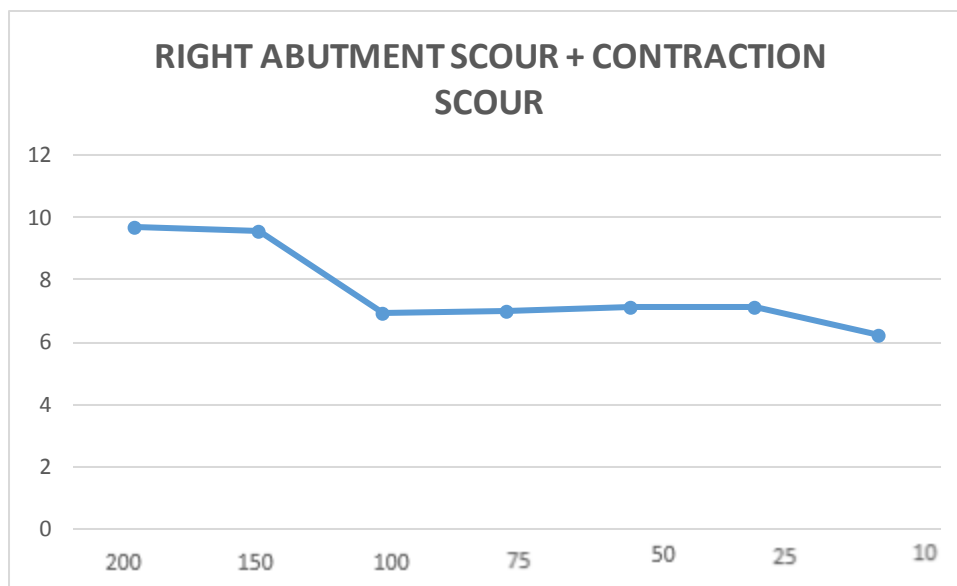


Gráfico 6, right abutment scour + contraction scour

SECCIONAMIENTO CAUDAL MAXIMO 1050 M3/S

<b>SECCIONAMIENTO: 200 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNE L</b>	<b>RIGHT</b>
	SCOUR DEPTH	0.74	1.55	0.00
	CRITICAL VELOCITY	0.49	0.62	0.56
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
	SCOUR DEPTH	2.38		
	FROUDE #	0.43		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
	SCOUR DEPTH	7.87	12	
	FROUDE #	0.73	0.84	
COMBINED SCOUR DEPHTS		<b>CHANNE L</b>		
	PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR	3.93		
	LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR	8.61		
	RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR	12.00		

Tabla 21, Seccionamiento 200m

<b>SECCIONAMIENTO: 150 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.75	1.39	0.00
CRITICAL VELOCITY		0.48	0.62	0.56
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.38		
FROUDE #		0.73		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		7.45	12.11	
FROUDE #		0.75	0.89	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.77	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			8.2	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			12.11	

Tabla 22, Seccionamiento 150m

<b>SECCIONAMIENTO: 100 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.17	0.86	0.68
CRITICAL VELOCITY		0.54	0.64	0.48
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.38		
FROUDE #		0.73		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		13.67	6.72	
FROUDE #		0.97	0.84	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR			3.23	
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			13.84	
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR			7.40	

Tabla 23, Seccionamiento 100m

<b>SECCIONAMIENTO:75 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.28	0.80	0.00
CRITICAL VELOCITY		0.52	0.64	0.49
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.38		
FROUDE #		0.74		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		11.65	8.99	
FROUDE #		0.94	0.92	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR				3.18
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				11.92
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				8.99

Tabla 24, Seccionamiento 75m

<b>SECCIONAMIENTO: 50 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
SCOUR DEPTH		0.16	0.63	0.51
CRITICAL VELOCITY		0.54	0.64	0.48
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
SCOUR DEPTH		2.38		
FROUDE #		0.74		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
SCOUR DEPTH		13.57	6.64	
FROUDE #		0.99	0.86	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR				3.01
LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				13.73
RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR				7.15

Tabla 25, Seccionamiento 50m

<b>SECCIONAMIENTO: 25 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
	SCOUR DEPTH	0.06	0.46	0.82
	CRITICAL VELOCITY	0.51	0.63	0.48
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
	SCOUR DEPTH	2.21		
	FROUDE #	0.76		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
	SCOUR DEPTH	11.12	5.27	
	FROUDE #	1	0.87	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
	PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR	2.67		
	LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR	11.18		
	RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR	6.09		

Tabla 26, Seccionamiento 25m

<b>SECCIONAMIENTO: 10 M</b>				
CONTRACTION SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>CHANNEL</b>	<b>RIGHT</b>
	SCOUR DEPTH	0.16	1.14	0.99
	CRITICAL VELOCITY	0.57	0.65	0.48
PIER SCOUR		<b>Pilares</b>		
	SCOUR DEPTH	2.38		
	FROUDE #	0.74		
ABUTMENT SCOUR		<b>LEFT</b>	<b>RIGHT</b>	
	SCOUR DEPTH	15.52	6.04	
	FROUDE #	0.89	0.74	
COMBINED SCOUR DEPHTS			<b>CHANNEL</b>	
	PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR	3.52		
	LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR	15.68		
	RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR	7.03		

Tabla 27, Seccionamiento 10m

RESUMEN DE RESULTADOS CAUDAL 1050 M3/S

<b>PIER SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
SECCIONAMIENTO (m)	SOCAVACIÓN (m)
200	3.93
150	3.77
100	3.23
75	3.18
50	3.01
25	2.67
10	3.52

Tabla 28, pier scour + contraction scour caso ideal

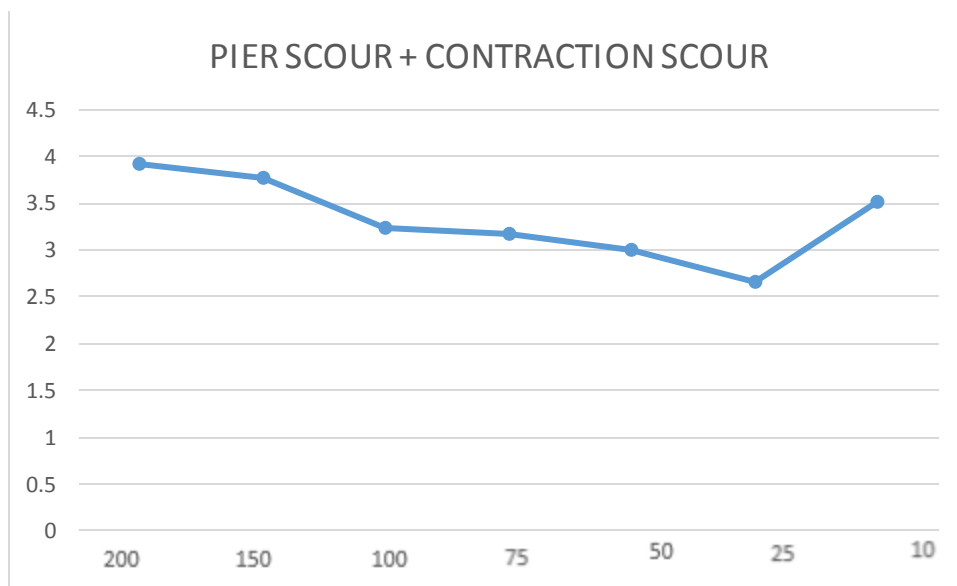


Gráfico 7, pier scour + contraction scour



<b>LEFT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
<b>SECCIONAMIENTO (m)</b>	<b>SOCAVACIÓN (m)</b>
200	8.61
150	8.2
100	13.84
75	11.92
50	13.73
25	11.18
10	15.68

Tabla29, left abutment scour + contraction scour caso ideal

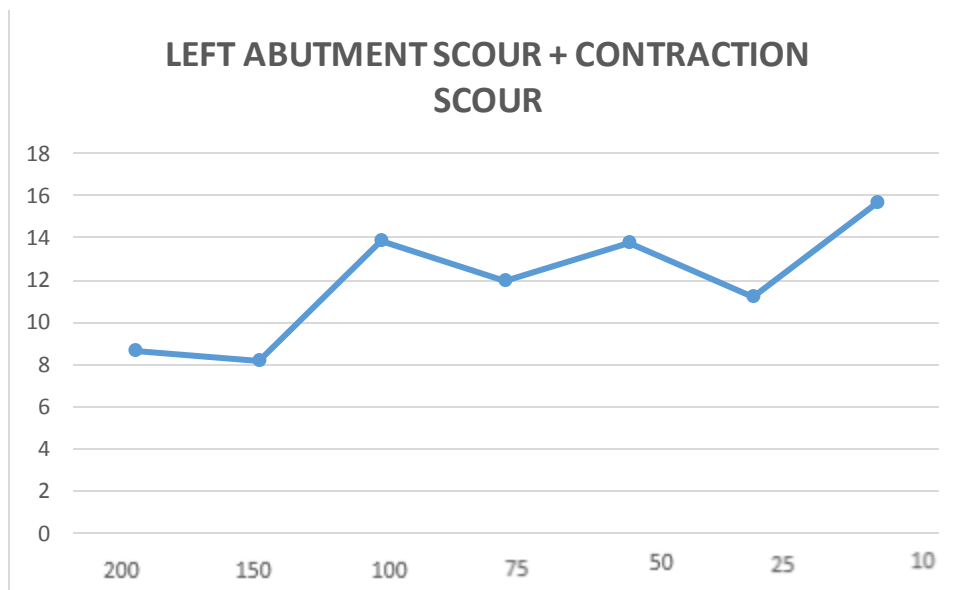


Gráfico 8, left abutment scour + contraction scour

<b>RIGHT ABUTMENT SCOUR + CONTRACTION SCOUR</b>	
<b>SECCIONAMIENTO (m)</b>	<b>SOCAVACION (m)</b>
200	12
150	12.11
100	7.4
75	8.99
50	7.15
25	6.09
10	7.03

Tabla 30, right abutment scour + contraction scour caso ideal

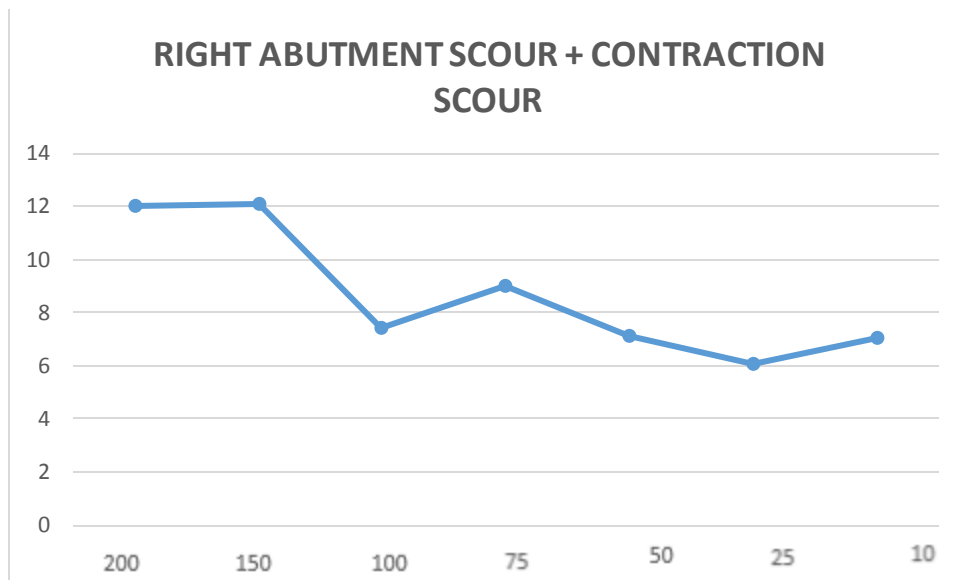


Gráfico 9, right abutment scour + contraction scour

## CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Se comprobó que al variar el seccionamiento del eje del río, varía la profundidad de socavación.
- En el caso ideal, la socavación en pilares del puente, a mayor seccionamiento, mayor la profundidad de socavación, pero mientras se reduce la distancia de seccionamiento, también disminuye la profundidad de socavación, haciéndose una constante aproximadamente en la profundidad 3.26 m.
- La socavación en los estribos izquierdo y derecho son los mismos, siendo mayor cuando el seccionamiento es de 200m y siendo constante a partir del seccionamiento 150m al 10m teniendo como promedio 2.19m de profundidad de socavación.
- Para el caso real, analizando con el caudal de diseño de 900 m<sup>3</sup>/s, la socavación en los pilares son variables, pero la curva sigue una trayectoria descendiente, por lo tanto se descarta el dato de seccionamiento 150m, los demás tienen un promedio de 2.5 m de profundidad de socavación.
- La socavación en el estribo izquierdo va de forma ascendente, teniendo menos profundidad el seccionamiento 200m; se descartan los datos de 100m y 75m ya que no sigue la trayectoria normal de la curva de socavación.
- La socavación en el estribo derecho tiene poca variación, por lo que son validados todos los datos y teniendo un promedio de 7m de profundidad de socavación.
- Se analizó también para una máxima avenida de 500 años la cual el caudal de diseño era 1050m<sup>3</sup>/s, donde la socavación en los pilares va de forma descendente teniendo una variación en el seccionamiento 10m, la cual se descarta, teniendo un promedio de 3m de profundidad de socavación.
- La socavación en estribos es similar a los analizados anteriormente, teniendo las curvas las mismas tendencias, cuyo promedio de socavación es 12m para el estribo izquierdo y 7 m para el estribo derecho.
- Se concluyó que el seccionamiento más adecuado para el análisis de socavación de un puente se encuentra entre los seccionamientos 50m y 25m.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ettema, Robert; Melville, Bruce W. and Barkdoll, Brian (1998) "Scale effect in pier-scour experiments", Journal of Hydraulic Engineering ASCE/June.
- Chow V. T., Maidment D. R. and Mays L. W. (1988). "Applied Hydrology". McGraw-Hill, Inc. New York.
- HEC-RAS. (1995, 1998) "River Stability Analysis". U. S. Army Corp of Engineers. USA.
- Higuera, C. H. y Pérez G. (1994). "Algunos Casos de Rehabilitación de Puentes fallados por Socavación en Colombia" Revista Ingeniería Hoy N° 12. .Pp 34-51. Universidad del Cauca Colombia.
- LUIS ANGEL GÓMEZ CUNYA (2010). "Tesis: Socavación alrededor de pilares de puentes en lechos granulares no cohesivos.
- EDGAR OSORNIO ALEGRE (2008). "Tesis: Socavación en pilas y estribos del puente cuate ii nueva Italia – Arteaga km i60.312.
- Boletín informativo ASOCEM (2012), Ing. Jack López Acuña  
[www.asocem.org.pe/web/\\_actual\\_nac](http://www.asocem.org.pe/web/_actual_nac)

# ANEXOS