

**PROYECTO: “ESTUDIO,
ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL
CANAL CONSTITUCIÓN
MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN
DE LA TÉCNICA LSPIV”**



UCASAL
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Santillán, Matías – Rivero, Erika Daniela

Profesora Guía: Ing. M. Cecilia Botelli

Año 2020

INFORME FINAL
PROYECTO DE GRADO

**“ESTUDIO, ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL CANAL CONSTITUCIÓN
MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA LSPIV”**

Erika D. Rivero
DNI: 36.225.997

Matias Santillan
DNI: 40.157.929

Ing. M. Cecilia Botelli
Profesora Guía

TRIBUNAL EVALUADOR

FECHA DE EXPOSICIÓN: / /

|

Dedico este proyecto final a mi familia. Mi mamá Andrea, mi papá Daniel por acompañar y guiar cada paso.

A mi hermana y hermano. Belén y Joaquín, por su apoyo incondicional en esta y en cada etapa de mi vida.

Le agradezco a la UCASAL por acompañarme a lo largo de la carrera. En especial a la Ingeniera Cecilia Botelli, nuestra tutora, por su compromiso y consejo, que nos motivó para la elaboración de este trabajo.

Gracias a todos por compartir la felicidad de cada uno de mis logros.

Rivero, Erika Daniela

|

Agradezco a mi familia, amigos y todas las personas que me acompañaron a lo largo de esta etapa.

De manera especial, a nuestra tutora, Ingeniería Cecilia Botelli, por guiarnos, por brindarnos apoyo y acompañarnos en este camino.

Gracias a todos.

Santillán, Matías

ÍNDICE GENERAL

I. ABSTRACT.....	pág.1
II. INTRODUCCIÓN.....	pág.2
III. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	pág.3
IV. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA.....	pág.8
V. APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO DE LAS SUBCUENCAS.....	pág.11
VI. MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC-RAS.....	pág.26
VII. VELOCIMETRÍA POR IMÁGENES DE PARTÍCULAS.....	pág.35
VIII. CONCLUSIONES.....	pág.41

Índice de Tablas

Tabla 1- Clasificación de cuencas según su superficie.....	pág.9
Tabla 2- Área subcuencas.....	pág.12
Tabla 3- Coeficientes de escorrentía.....	pág.13
Tabla 4-Coeficiente de escorrentías para las distintas subcuencas.....	pág.14
Tabla 5- Longitudes máximas.....	pág.14
Tabla 6- Pendientes de cada subcuenca.....	pág.14
Tabla 7- Tiempo de concentración mínimo.....	pág.14
Tabla 8- Duración de la tormenta.....	pág.15
Tabla 9- IDF para la ciudad de Salta.....	pág.15
Tabla 10- Valor de Intensidad para cada subcuenca.....	pág.15
Tabla 11- Caudales finales para cada subcuenca por método racional.....	pág.16
Tabla 12- Caudales Acumulados.....	pág.16
Tabla 13- Coeficiente de rugosidad de Manning.....	pág.17
Tabla 14- Caudales Acumulados.....	pág.18
Tabla 15- Comparación Tirantes máximos/ 25 años.....	pág.34
Tabla 16- Comparación Tirantes máximos/ 50 años.....	pág.34
Tabla 17-Comparación Tirantes máximos/ 100 años.....	pág.34
Tabla 18- Ponderación para cálculo de los coeficientes de escorrentía.....	pág.53

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1- Imagen Satelital de la Ciudad de Salta.....</i>	<i>1</i>
<i>Ilustración 2- Imagen Satelital la Ciudad de Salta.....</i>	<i>1</i>
<i>Ilustración 3- Desembocadura del Canal Constitución.....</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 4 - Acumulación de residuos.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 5- Acumulación de vegetación.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 6-Reducción de la sección del Canal.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 7- Cañería que atraviesa el canal.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 8-Cuenca de aporte del Canal Constitución.....</i>	<i>8</i>
<i>Ilustración 9- Imagen Satelital.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 10- Subdivisión de cuencas.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 11- Revestimiento Canal Constitución.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 12- Verificación de la sección /tramo 1/ R25.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 13- Verificación de la sección /tramo 2/ R25.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 14- Verificación de la sección /tramo 3/ R25.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 15- Verificación de la sección /tramo 4/ R25.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 16- Verificación de la sección /tramo 5/ R25.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 17- Verificación de la sección /tramo 1/ R50.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 18- Verificación de la sección /tramo 2/ R50.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 19- Verificación de la sección /tramo 3/ R50.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 20- Verificación de la sección /tramo 4/ R50.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 21- Verificación de la sección /tramo 5/ R50.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 22- Verificación de la sección /tramo 1/ R100.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 23- Verificación de la sección /tramo 2/ R100.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 24- Verificación de la sección /tramo 3/ R100.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 25- Verificación de la sección /tramo 4/ R100.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 26- Verificación de la sección /tramo 5/ R100.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 27- Geometría en HEC-RAS.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 28- Coeficientes de Manning.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 29- Caudales Acumulados.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 30- Pendientes como Condiciones de Contorno.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 31- Perfil Longitudinal del Canal.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 32 - Progresiva 1768.62.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 33- Progresiva 1748.86.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 34- Progresiva 1422.6.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 35- Progresiva 1402.18.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 36 - Progresiva 860.34.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 37- Progresiva 839.03.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 38 -Progresiva 703.24.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 39 - Progresiva 682.54.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 40-Progresiva 592.29.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 41-Progresiva 460.5.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 42- Progresiva 0.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 43 -Interfaz del programa PIVLAB/delimitación del polígono.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 44- Interfaz del programa PIVLAB/aplicación de filtro para una resolución de 20 pixeles.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 45- Interfaz del programa PIVLAB/campo de vectores de velocidad.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 46 - Interfaz del programa RIVeR//vectores rectificados.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 47- Distribución Transversal.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 48 - Curvas IDT para duraciones entre 5 y 120 min.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 49- Curvas IDT para duraciones mayores a 120 min.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 50- Curvas de Nivel Canal Constitución.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 51- Perfil longitudinal.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 52- Vista en planta Progresivas.....</i>	<i>45</i>

<i>Ilustración 53- Progresiva 2027.70</i>	47
<i>Ilustración 54- Progresiva 1990.41</i>	47
<i>Ilustración 55- Progresiva 1916.20</i>	47
<i>Ilustración 56- Progresiva 1900.54</i>	47
<i>Ilustración 57- Progresiva 1829.24</i>	47
<i>Ilustración 58- Progresiva 1806.46</i>	48
<i>Ilustración 59 - Progresiva 1768.62</i>	48
<i>Ilustración 60 - Progresiva 1748.86</i>	48
<i>Ilustración 61 - Progresiva 1713.64</i>	48
<i>Ilustración 62- Progresiva 1619.00</i>	48
<i>Ilustración 63 - Progresiva 1542.34</i>	49
<i>Ilustración 64- Progresiva 1422.60</i>	49
<i>Ilustración 65 - Progresiva 1401.81</i>	49
<i>Ilustración 66 - Progresiva 1316.89</i>	49
<i>Ilustración 67- Progresiva 1260.16</i>	49
<i>Ilustración 68 - Progresiva 1119.34</i>	50
<i>Ilustración 69 - Progresiva 1047.43</i>	50
<i>Ilustración 70- Progresiva 972.67</i>	50
<i>Ilustración 71- Progresiva 860.34</i>	50
<i>Ilustración 72 - Perfil transversal 839.03</i>	51
<i>Ilustración 73 -Progresiva 703.24</i>	51
<i>Ilustración 74 - Progresiva 682.54</i>	51
<i>Ilustración 75 - Progresiva 592.29</i>	51
<i>Ilustración 76 - Progresiva 460.50</i>	51
<i>Ilustración 77- Progresiva 0</i>	52
<i>Ilustración 78- Croquis de Propuesta</i>	54
<i>Ilustración 79- resumen tabla 12</i>	54

I. ABSTRACT

El proyecto permitirá verificar si la zona norte de la Ciudad de Salta podrá desagotar las aguas pluviales de manera efectiva en el momento que sea pertinente ya que, actualmente el crecimiento poblacional incrementó la demanda en los canales.

Se toma como base de estudio el canal existente “Canal Constitución” que consta de una longitud aproximada de 2.03 km, el cual se analizará y verificará para coleccionar las aguas de lluvia, estudiando a su vez si se necesitará redimensionarlo o desarrollar alguna obra complementaria para su eficaz funcionamiento.

A continuación, se muestra dos mapas, el primero es la Ciudad de Salta, el segundo se especifica el trazado del canal (imagen satelital). Fuente: Google Earth



Ilustración 1- Imagen Satelital de la Ciudad de Salta



Ilustración 2- Imagen Satelital la Ciudad de Salta

II. INTRODUCCIÓN

Salta es una provincia con gran riqueza de recursos naturales, entre ellos el recurso hídrico, constituido por una amplia red fluvial formada por diferentes cuerpos de agua de ríos que drenan sus aguas hacia distintos cauces, formando así una gran cantidad de microcuencas, subcuencas y cuencas hidrográficas que contribuyen al asentamiento, sustento y desarrollo de las zonas aledañas y de sus principales actividades domésticas, agropecuarias e industriales.

El canal Constitución de la Ciudad de Salta, constituye una obra muy importante para la zona norte, con una antigüedad de unos 100 años aproximadamente, el cual colecta aguas de diferentes subcuencas. El trazado del mismo se realizó de Suroeste a Norte, con origen en la calle Mitre y Avenida Bolivia con una longitud de desarrollo sobre la Av. Constitución Nacional de 2.03 km., intercectándose con el canal el huaico sobre la Avenida Patrón Costas donde ambos se unen para desembocar en el Río Mojotoro.

El desarrollo urbano y el crecimiento poblacional crean problemas en el manejo de desagües pluviales. La creación de casas, edificios, pavimentación de calles, etc., incrementa el flujo superficial, reduce la infiltración, ya que disminuye la cubierta absorbente del terreno y disminuye el tiempo de concentración. Por lo anterior mencionado, los sistemas de drenaje urbano no cumplen con su objetivo: higiene pública y protección contra las inundaciones.

El proyecto surge de la necesidad de evitar las inundaciones de los barrios que rodean al Canal; con el objeto de analizar la problemática actual y evaluar su funcionamiento respecto al proyecto de diseño original.

Inicialmente se concluye que una de las posibles causas de la potencial inundación es que el canal no tendría la capacidad suficiente para evacuar las aguas de lluvia. Si bien la cuenca de aporte sigue siendo la misma, las condiciones de urbanización modificaron las condiciones de escurrimiento de esta.

Esta conjetura es de gran importancia ya que podría traer diversas consecuencias a la población. En las calles pavimentadas se escurre más agua de la proyectada, inundando veredas, y en algunos casos hasta podría anegar viviendas particulares. En calles no pavimentadas, debido a la circulación del agua pluvial, se producen daños al camino dejándolos intransitables por varios días, generando causas secundarias.

El incentivo para abordar el proyecto es identificar si el canal tiene deficiencias debido a las causas antes nombradas. Una vez identificados los problemas y limitaciones de su capacidad de conducción, se darán modificaciones para resolver estos problemas y mejorar las eficiencias de conducción y distribución del canal.

La primera actividad que se realizó fue la determinación de la cuenca de aporte al canal incluyendo los barrios que en un futuro desaguarán a este.

Luego se realizó el reconocimiento del lugar, para ubicar los puntos necesarios a tener en cuenta. También se recopilaron los datos hidrológicos de la cuenca, dividiéndose en datos de precipitaciones y altimetría (ciclo hidrológico, cuencas, curvas de nivel, entre otros) que permitirá determinar las distintas pendientes de la Ciudad de Salta.

Posteriormente se realizó el relevamiento topográfico del lugar, donde se tomaron las distintas mediciones pertinentes, se procesaron los datos y como resultado se obtuvo las memorias gráficas (planos).

El estudio hidráulico se realizó mediante el método racional, ya que al tratarse de una cuenca con una superficie menor a 100 km², es apto para la misma, ya que este método se puede utilizar hasta cuencas menor a 200 km².

En la siguiente instancia y paralelamente, se trabajó en los análisis hidrológicos de la cuenca con su respectivo balance hídrico y el cálculo de las características de aquella.

Como último paso se determinó mediante la técnica LSPIV: diagnóstico por imagen, si el caudal podrá respaldar el antes calculado, mediante esta nueva técnica de medición.

III. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

A. ZONA DE ESTUDIO

El canal está ubicado en la zona norte de la Capital de Salta, Argentina. Recorre toda la extensión de la Avenida Constitución Nacional, abarcando una longitud de 2,03 kilómetros.

El mismo nace en el cruce de la Av. Constitución Nacional y Bartolomé Mitre; y termina en la rotonda que une las avenidas Constitución Nacional y Patrón Costas. Atraviesa los barrios Miguel Ortiz, Lamadrid, Mosconi y Pereyra Rosas.

Se encuentra sobre la cuenca Mojotoro y subcuenca Toro-Arenales. La extensión de la cuenca de 143 ha. en total; donde 70 han de corresponder a una zona urbana y 73 a una zona con espacios verdes. El relieve de la cuenca es suavemente ondulado.

El clima de la zona es tropical serrano, con una temperatura media de 21° C, con una precipitación media anual de 500-700 mm.

El tipo de suelo presente en el área es derivado de rocas del terciario: areniscas, limonitas, arcilitas y rocas de ordovícicos: limolita, lutitas, areniscas.

B. RECONOCIMIENTO DEL LUGAR

La primera etapa de nuestro proyecto se inició en el reconocimiento del lugar donde se encuentra el Canal Constitución (Zona Norte de la Ciudad de Salta).

Por razones de conveniencia, el recorrido comenzó desde la desembocadura del canal, hacia aguas arriba, pudiéndose apreciar en todo el recorrido varios inconvenientes que reducen la sección efectiva de esta obra.

Además, se conoció los materiales que conforman el canal siendo principalmente de mampostería de piedra bola. Con respecto a la forma de la sección, siempre predominó la trapezoidal con una altura escasa, se adjunta croquis del canal con sus respectivas secciones en el ANEXO III

Cercano a la desembocadura, existe una alcantarilla de hormigón armado.

En cada tramo donde hay cruce de calles se encuentran alcantarillas para cruce vehicular.



Ilustración 3- Desembocadura del Canal Constitución

Como primera observación, se encontraron cantidades importantes de residuos, tanto en la zona rural como en la zona urbana. Estos residuos en ocasiones se acumulan en ciertos sectores del canal provocando una disminución de la sección del mismo, lo cual puede ser una de las causas del mal funcionamiento.



Ilustración 4 - Acumulación de residuos

Además de los residuos provocados por las personas, también había abundante vegetación que crecía en las mismas paredes y fondo del canal, que de alguna manera ocasionaba la acumulación de todos estos elementos y, por ende, la disminución de la sección de este sistema de desagüe.



Ilustración 5 - Acumulación de vegetación

Algo más que llamó la atención fue que algunas cañerías en desuso atraviesan el canal, y en algunos casos se podía apreciar la cantidad de material que acumulan, siendo otro factor importante en la disminución de la sección del canal.



Ilustración 7 - Cañería que atraviesa el canal



Ilustración 6 - Reducción de la sección del Canal

Luego, observamos deterioros y fallas estructurales a lo largo del canal, más acentuados aguas arriba. Estas fallas pensamos que se originaron principalmente por socavación del agua que intenta ingresar al canal, descalzando las paredes del mismo y finalmente produciendo la falla.

Cada uno de estos detalles vistos deberá ser estudiado con más detenimiento para lograr encontrar la mejor solución a este problema que nos encontramos.

C. DATOS HIDROLÓGICOS DE LA ZONA

1. PRECIPITACIONES

La precipitación se define como cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre, producto de la condensación del vapor de agua. La medición de las mismas se efectúa mediante pluviómetros y pluviógrafos.

La precipitación pluvial se mide en mm., es decir, el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable y que equivale a litros de agua por metro cuadrado de terreno (L/m²)

El cálculo de las precipitaciones extremas de corta duración y de alta intensidad es muy importante en las obras ingenieriles para dimensionar el drenaje urbano. Un correcto trabajo garantizará la vida útil de la obra para así poder evacuar volúmenes de agua que podrían producir inundaciones.

Este diseño parte de la identificación de las lluvias máximas, las cuales se caracterizan en función de su intensidad (I), duración (D) y frecuencia de ocurrencia (F). Estas tres variables se relacionan mediante las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), que permiten seleccionar un valor de precipitación para una duración y tiempo de recurrencia adecuados al sitio y magnitud de la obra.

Para el diseño de infraestructuras hidráulicas se necesita conocer el comportamiento de las precipitaciones a través de una curva que facilita la intensidad media en función de la duración y la frecuencia, con la que se podrá predecir patrones de conductas de lluvia con una determinada probabilidad o período de retorno (T). Estas curvas se denominan curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia).

Las precipitaciones pluviales se calculan para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 y hasta 10000 años, para cada sitio particular o para una cuenca, o la precipitación máxima probable (PMP) son determinadas con procedimientos estadísticos, con base a registros de lluvia.

En el caso de nuestra cuenca en estudio, al encontrarse en la capital de la provincia, se recurrió a las curvas confeccionadas para la Ciudad de Salta en el año 2016 por el Proyecto de investigación: “Curvas IDT en la provincia de Salta”, de la Facultad de Ingeniería¹, las cuales poseen una recurrencia de 2,5,10,20,25,50 y 100 años. Las mismas se adjuntan en ANEXO I.

D. ALTIMETRÍA DE LA CUENCA

La altimetría es la rama de la topografía que se encarga de representar la altura de cada uno de los puntos respecto a un plano de referencia.

La altimetría de la cuenca es una característica que influye de manera directa en los escurrimientos, ya que, al aumentar la pendiente del terreno, aumenta la velocidad del agua y se acortan los tiempos de concentración. En general esta influencia es mayor que la debida a la forma de la cuenca. El relieve queda definido por las curvas de nivel del mapa altimétrico.

Para la obtención de las Curvas de Nivel de la zona que se ve afectado el canal, se utilizó el programa informático Global Mapper, un software de procesamiento de datos SIG (Sistema

de Información Geográfica) que incluye todo tipo de información cartográfica y permite obtener mapas del mundo entero.

Este programa se utiliza juntamente con Google Earth, para ubicar las coordenadas del área a analizar. Luego se traza la topografía que el software se encargara de bajar en línea y así, se trazan las Curvas de Nivel. Más tarde se exportaran a AutoCAD.

Las curvas de nivel se encuentran detalladas en el ANEXO II.

E. RELEVAMIENTO TOPOGRÁFICO

Los relevamientos topográficos son operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados con el fin de confeccionar una representación gráfica del mismo sobre un plano. Se dividen en:

- Planimetría, que consiste en determinar la posición relativa entre varios puntos sobre un plano horizontal.
- Altimetría, que representa la altura o bien cota de cada uno de los puntos respecto a un plano de referencia.

Resulta necesario entonces realizar un relevamiento en el canal tanto planimétrico como altimétrico para identificar:

- las distintas secciones transversales con sus elementos (talud, tirante de agua, ancho de solera) y como varían a lo largo del canal.
- las pendientes en sus distintos tramos.
- la presencia de elementos que afectan su funcionamiento, como alcantarillas y tuberías que atraviesan el canal, disipadores de energía, puentes, etc.

Aplicando distintos métodos hidráulicos, estos datos servirán para establecer los límites de inundación del canal Constitución en épocas de lluvias fuertes.

1. MEDICIONES:

Para realizar el relevamiento topográfico del Canal Constitución, se utilizó una estación total KOLIDA 445.

Se denomina estación total a un dispositivo que posee la capacidad de medir tanto ángulos y distancias como niveles para el posterior trazado de mapas planialtimétricos. Su precisión, facilidad de manejo y la posibilidad de almacenar la información para descargarla después en programas de CAD ha hecho que desplacen a los teodolitos, que actualmente están en desuso.

En total se relevaron 168 puntos. Debido a la falta de visibilidad a lo largo del canal producto de la vegetación, se realizaron 10 estaciones. Los perfiles fueron analizados tomando ocho puntos en cada uno (vereda, talud natural, talud de material, solera) y a una distancia de 10 a 50 metros entre ellos, según la necesidad de información relevante y puntos característicos de la traza.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Los puntos tomados, se bajaron directamente a un software compatible con el instrumental (KOLIDA 445), donde se muestran los puntos de manera ordenada.

Luego se trabajó con estos datos obtenidos desde el programa, exportándolos a una planilla Excel, de tal manera de visualizar y manipular fácilmente los valores.

Para obtener una pantalla gráfica general y verificar la correcta toma de puntos, se utilizó como herramienta el CivilCAD , un software que permite conseguir rápidamente perfiles, secciones, curvas de nivel, cálculo de volúmenes en plataformas, entre otras. Con esta herramienta, se generaron los perfiles de las distintas secciones transversales, y su alineamiento longitudinal.

2. PLANOS

En el ANEXO III se muestran los planos correspondientes al relevamiento topográfico con las secciones tipo y plano de planta de las progresivas .

IV. ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

Se entiende por cuenca hidrográfica al espacio territorial delimitado por la divisoria de aguas, compuesto por un sistema hídrico que por sus propiedades físicas y sus pendientes conducen sus aguas a un cauce principal.

En este capítulo se realizó el cálculo de todas las variables hidrológicas necesarias para determinar los caudales en cada uno de los puntos del Canal Constitución.

A. CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Los parámetros que caracterizan a las cuencas hidrográficas son los valores referidos a la forma y geometría de la cuenca, las cuales determinan o condicionan el comportamiento del flujo derivado de la precipitación en la cuenca. Estos parámetros son los siguientes:

- Área de la Cuenca (A)

Es la característica geomorfológica más importante, pues influye directamente en la mayoría de los cálculos y análisis con respecto a la cantidad de agua que la cuenca puede aportar y por ende en la magnitud de los caudales de los cursos de agua.

El canal Constitución se encuentra sobre la cuenca Mojotoro y subcuenca Toro-Arenales. Su extensión es de 1,43 km² en total, donde 0,70km² ha corresponden a una zona urbana y 0,73km² a una zona rural.

A continuación, se muestra la cuenca del Canal Constitución a través de una imagen brindada por la consultora ambiental Proyecto Eteh.

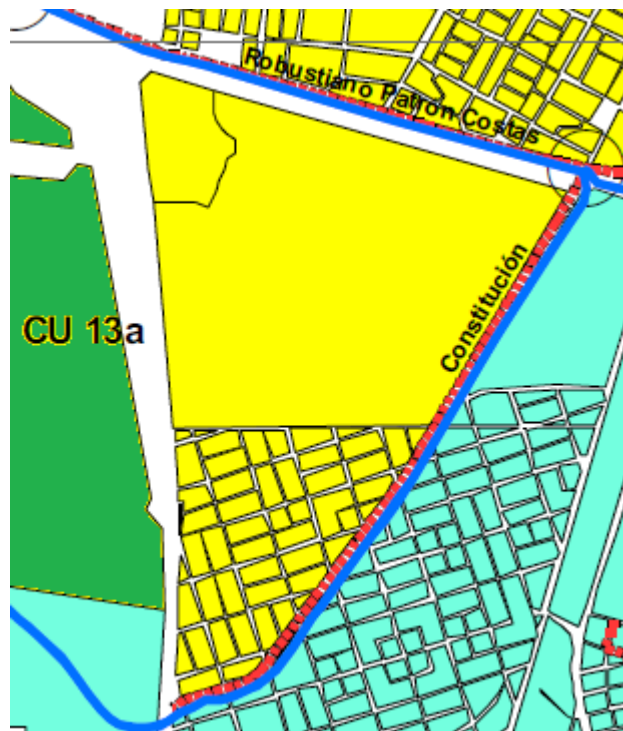


Ilustración 8-Cuenca de aporte del Canal Constitución



Ilustración 9- Imagen Satelital

$$A=1,43 \text{ km}^2$$

De acuerdo con su tamaño, las cuencas se pueden clasificar según la siguiente tabla:

Cuenca	Superficie [km ²]
Pequeña	< 100
Mediana	100 – 2000
Grande	> 2000

Tabla 1- Clasificación de cuencas según su superficie

Entonces consideramos a nuestra cuenca como una cuenca pequeña.

- Perímetro de la Cuenca (P)

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, se obtiene después de delimitar la cuenca con el programa Global Mapper. Esta característica tiene influencia directa en el tiempo de concentración de la cuenca.

$$P=5,373 \text{ km.}$$

- Tiempo de concentración (tc)

Es el mayor tiempo de traslado a la salida, y en el cual toda el área de la cuenca contribuye simultáneamente a la salida. Para determinar el tc se puede utilizar una formula empírica, Fórmula de Kirpich, ya que consideramos una zona relativamente pequeña y donde predomina la ruralidad:

$$t_c = \left(0,87 \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

Donde:

Tc: tiempo de concentración [h]

L: longitud del cauce principal [Km]

ΔH : diferencia de elevación entre la cabecera y la salida [m]

Para el canal Constitución, los valores de L Y ΔH se obtuvieron a través del relevamiento topográfico con la estación total, las mismas medidas fueron corroboradas con Google Earth .

L=2,12 km

ΔH =4.2m

Por lo tanto, el tiempo de concentración para la cuenca es:

$$t_c = 1,3 \text{ horas}$$

V. APLICACIÓN DEL MÉTODO RACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO DE LAS SUBCUENCAS

El Método Racional es uno de los más utilizados para la estimación del caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño.

Hipótesis fundamental: una lluvia constante y uniforme que cae sobre la cuenca de estudio producirá un gasto de descarga el cual alcanza su valor máximo cuando todos los puntos de la cuenca están contribuyendo al mismo tiempo en el punto de diseño. La hipótesis se satisface para el tiempo de concentración.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q= caudal [m³/seg]

C= coeficiente de escorrentía

I= intensidad de la precipitación [mm/hora]

A= superficie de la cuenca [km²]

Para determinar con mayor precisión el caudal de una cuenca donde no existe uniformidad espacial (debido a la existencia de zonas rurales y urbanas, modificaciones en el lecho y área de inundación), es necesario realizar una subdivisión de la cuenca hidrográfica. Es conveniente la división de la cuenca en subcuencas de manera de hacer más representativos los parámetros que la definen. Para discretizar una cuenca hidrográfica deben considerarse factores tales como: características hidrológicas y morfológicas homogéneas, localización de puntos de interés, y distribución espacial de precipitaciones, entre otros.

Por ello se dividió el canal Constitución en 5 tramos, cada uno con su respectiva subcuenca. La discretización se realizó trazando las líneas divisorias de aguas (línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas) de acuerdo con las curvas de nivel en las zonas rurales y en las zonas urbanas también teniendo en cuenta los circuitos de drenaje formados a partir de las cotas absolutas de las calles, las mismas se obtuvieron gracias a un plano cedido por Aguas del Norte.

Una vez definidas las subcuencas, pudimos obtener sus características (Área, perímetro, tiempo de concentración, etc.), de esta manera se procedió a realizar un análisis de diseño del canal por tramos.



Ilustración 10- Subdivisión de cuencas

A. Determinación de los parámetros del método racional.

- Áreas Subcuencas (A_i)

La delimitación de la cuenca se realizó con la utilización del software Global Mapper. También con el mismo programa y con ayuda de AutoCAD se determinaron algunos parámetros como el área.

subcuenca	Área (ha)
1	5,31
2	9,66
3	27,34
4	34,94
5	66,13
Área total	143,38

Tabla 2- Área subcuencas

- Coeficientes de escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total. Varía a través del tiempo de duración y es función de las características del terreno, tipo de suelo, vegetación, permeabilidad, humedad antecedente. Durante una precipitación, la infiltración disminuye y consecuentemente aumenta el valor de C.

Dada la presencia de diferentes usos de tierra en las distintas áreas de la cuenca, es necesario establecer un Coeficiente de Escorrentía Ponderado en función de dichas áreas. Para ello se recurrió a las tablas adjuntas a continuación. Las mismas se obtuvieron de apuntes de la cátedra “Hidrología” de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta.

$$C_{ponderado} = \frac{\sum(C_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$

Se determinaron mediante la siguiente tabla de acuerdo con las características superficiales de cada subcuenca, para periodos de recurrencia de 25, 50 y 100 años. También se tomaron en cuenta las obras que se encuentran en construcción, con sus características superficiales a futuro, para una mejor representación del método.

TABLA 15.1.1

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

Tabla 3- Coeficientes de escorrentía

En el ANEXO IV se detalla el cálculo correspondiente de los coeficientes de escorrentías para las distintas subcuentas

Se adjunta a continuación una tabla resumen de los coeficientes:

subcuenca	coeficiente de escorrentía (C)		
	25 años	50 años	100 años
1	0,726	0,766	0,809
2	0,804	0,844	0,892
3	0,798	0,838	0,884
4	0,692	0,728	0,774
5	0,472	0,519	0,545

Tabla 4- Coeficiente de escorrentías para las distintas subcuencas

- Longitudes para cada subcuenca

Para determinar el punto más alejado de cada subcuenca a la desembocadura del canal en cada tramo, se utilizó el programa AutoCAD.

longitudes (pies)	
subcuenca 1	1330,51
subcuenca 2	2159,35
subcuenca 3	2930,87
subcuenca 4	4450,59
subcuenca 5	4139,31

Tabla 5- Longitudes máximas

- Pendiente de la subcuenca

Las mismas se determinaron con la utilización de la estación total que permitió realizar el perfil longitudinal del canal, el mismo se adjunta en el ANEXO II.

Pendiente (S)	
subcuenca 1	0,016
subcuenca 2	0,015
subcuenca 3	0,014
subcuenca 4	0,016
subcuenca 5	0,019

Tabla 6- Pendientes de cada subcuenca

- Tiempos de concentración

Para la determinación del Tiempo de Concentración existen diferentes expresiones, entre las que destaca la Ecuación de Kirpich:

$$tc = \frac{0,0078 \cdot L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Donde:

L : longitud de la subcuenca (pies)

S : Pendiente de la cuenca

tiempo de concentracion (minutos)	
subcuenca 1	9,750
subcuenca 2	14,512
subcuenca 3	18,855
subcuenca 4	24,705
subcuenca 5	21,868

Tabla 7- Tiempo de concentración mínimo

- Duración de la tormenta

Una de las hipótesis fundamentales de este método es que una lluvia constante y uniforme cae sobre la cuenca de estudio, La misma producirá un gasto de descarga, el cual alcanza su

valor máximo cuando todos los puntos de la cuenca están contribuyendo al mismo tiempo en el punto de diseño. La hipótesis se satisface para el tiempo de concentración

$$D = t_c$$

Duracion de la tormenta (min)	
subcuenca 1	9,750
subcuenca 2	14,512
subcuenca 3	18,855
subcuenca 4	24,705
subcuenca 5	21,868

Tabla 8- Duración de la tormenta

- Intensidades

Usando las curvas IDR de la ciudad de Salta, se determinaron las intensidades para periodos de recurrencia de 25, 50 y 100 años:

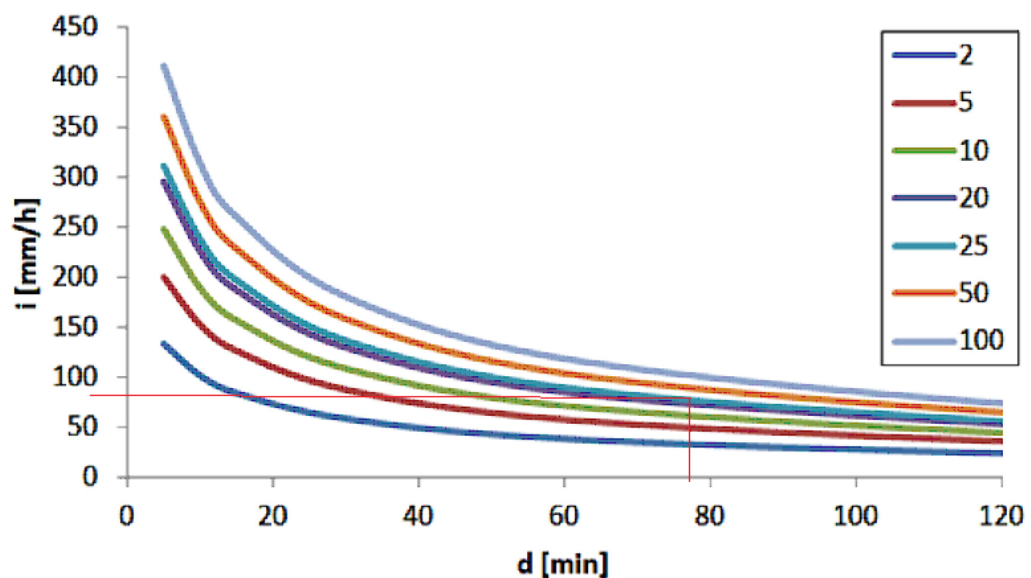


Tabla 9- IDF para la ciudad de Salta.

Subcuenca	duración	periodo de recurrencia		
		25 años	50 años	100 años
subcuenca 1	9,750	240	280	310
subcuenca 2	14,512	200	240	260
subcuenca 3	18,855	190	210	249
subcuenca 4	24,705	145	155	180
subcuenca 5	21,868	147	180	201

Tabla 10- Valor de Intensidad para cada subcuenca

- Caudales

Subcuenca	caudal (m ³ /seg)		
	25 años	50 años	100 años
subcuenca 1	3,751	4,599	5,563
subcuenca 2	6,001	7,406	9,004
subcuenca 3	16,518	20,196	25,336
subcuenca 4	9,744	10,961	13,418
subcuenca 5	13,598	18,114	21,641

Tabla 11- Caudales finales para cada subcuenca por método racional

tramo	solera	talud	pendiente	caudales acumulados (m ³ /seg)		
				25 años	50 años	100 años
1	3,38	1,35	0,009	2,569	3,162	3,701
2	3,99	1,4	0,0018	6,931	8,657	9,985
3	4,75	1,43	0,0043	18,442	22,018	26,711
4	5,47	1,495	0,00078	27,622	32,343	39,462
5	9,8	1,52	0,0013	40,366	49,504	59,582

Tabla 12- Caudales Acumulados

*ver croquis en las páginas 29 a 33 y resumen de la tabla 12 en ANEXO V.

B. ANÁLISIS HIDRÁULICO

- Verificación de Caudales

Se procedió a verificar los cálculos con el programa H-CANALES, que es un software que nos facilita el diseño de canales y estructuras hídricas.

Uno de los parámetros necesitados para este programa es el coeficiente de rugosidad de Manning, este es un índice que determina la resistencia de un flujo en el canal, esta variable es una de las que más influyen en el modelo.

Este coeficiente se encuentra tabulado y depende del revestimiento del canal, en nuestro caso, como ya se explicó anteriormente, el mismo no tiene un revestimiento único, así que se procedió a ponderarlo.

Las pendientes requeridas para cada sección se la extrajeron del plano de relevamiento adjuntado en el ANEXO II.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
3. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel impermeabilizante	0.010	0.014	0.017
c. Concreto			
1. Terminado con lana metálica (palustre)	0.011	0.013	0.015
2. Terminado con lana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con lana de madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.017	0.020	0.024
3. Mampostería de piedra cementada, recubierta	0.016	0.020	0.024
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o riprap	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas con lados de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre mortero	0.020	0.023	0.026
3. Piedra suelta o riprap	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030	-----	0.500

Tabla 13- Coeficiente de rugosidad de Manning

El valor adoptado en nuestro proyecto es de $n=0.025$ para el caso las laderas y la solera con piedra partida cementada.

Se muestra a continuación, foto del recubrimiento del canal.



Ilustración 11- Revestimiento Canal Constitución

Para la verificación de los tirantes normales al final de cada tramo se utilizaron los caudales acumulados calculados anteriormente en el método racional.

tramo	solera	talud	pendiente	caudales acumulados (m3/seg)		
				25 años	50 años	100 años
1	3,38	1,35	0,009	2,569	3,162	3,701
2	3,99	1,4	0,0018	6,931	8,657	9,985
3	4,75	1,43	0,0043	18,442	22,018	26,711
4	5,47	1,495	0,00078	27,622	32,343	39,462
5	9,8	1,52	0,0013	40,366	49,504	59,582

Tabla 14- Caudales Acumulados

A. Recurrencia de 25 años

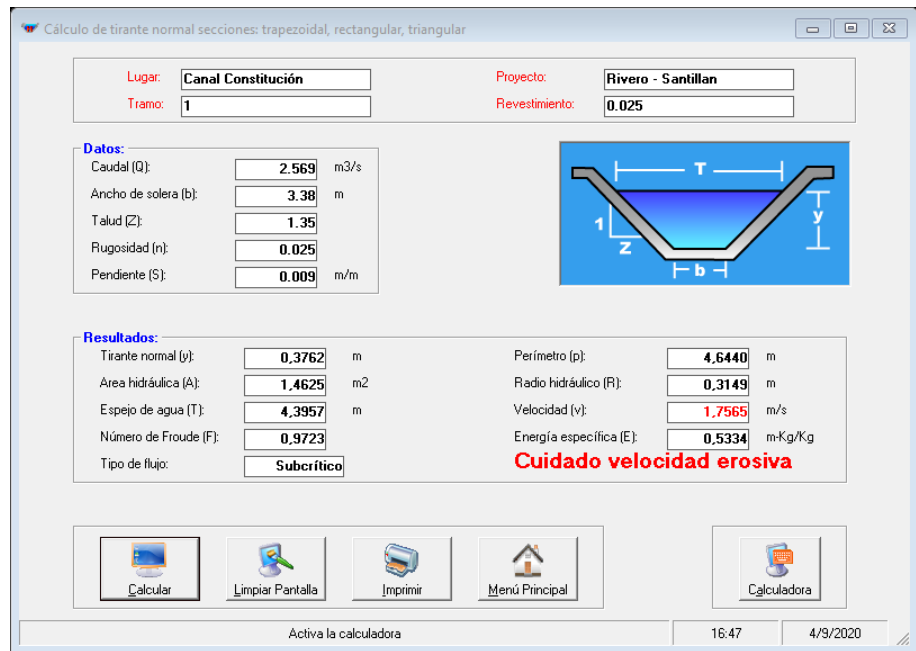


Ilustración 12- Verificación de la sección /tramo 1/ R25

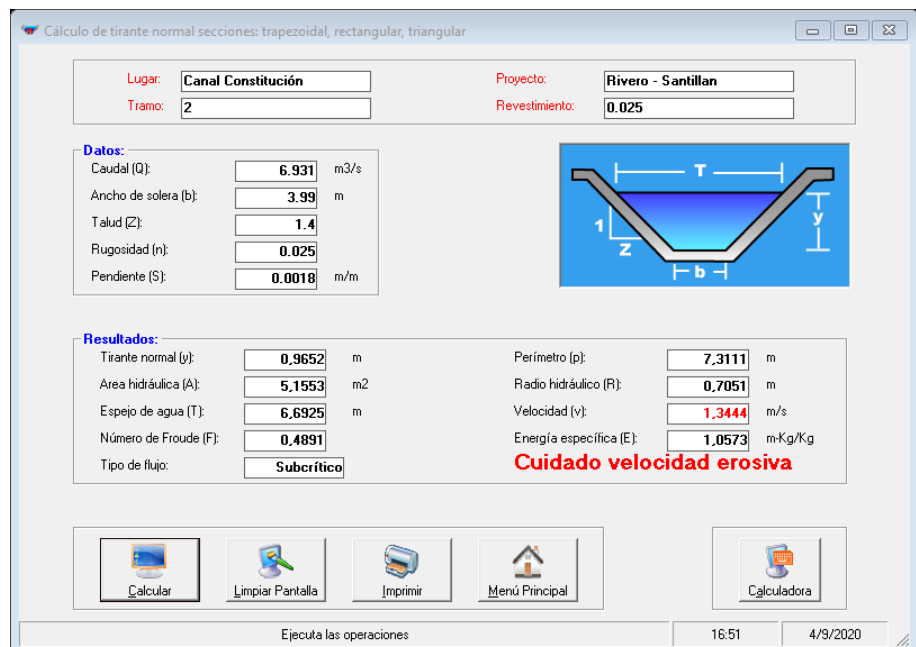


Ilustración 13- Verificación de la sección /tramo 2/ R25

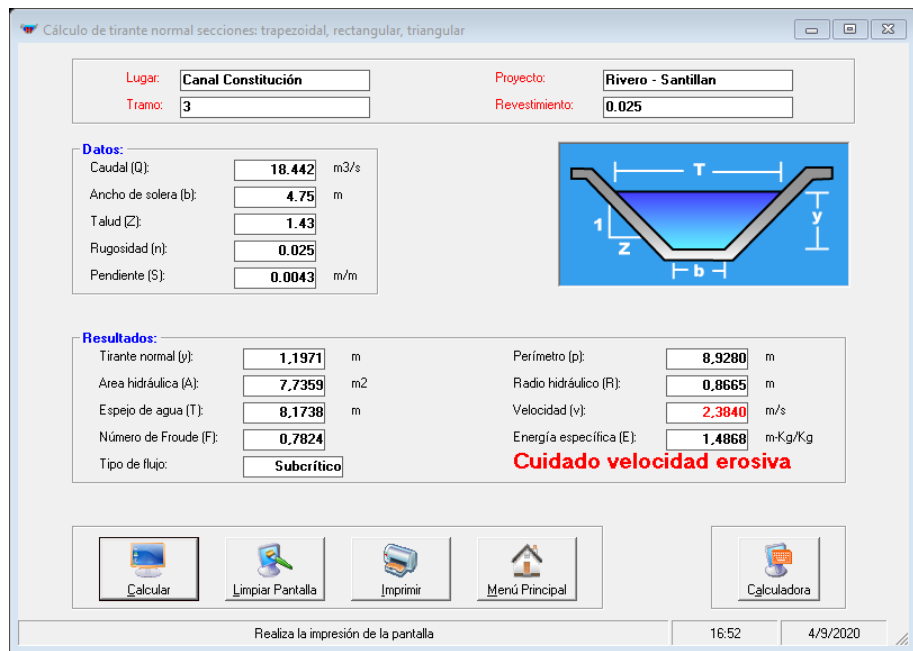


Ilustración 14- Verificación de la sección /tramo 3/ R25

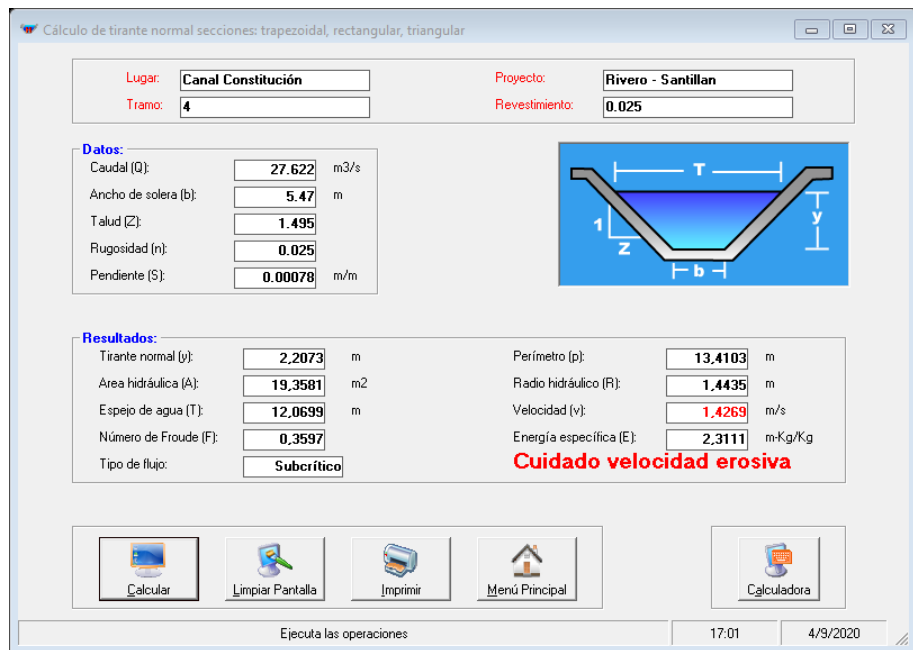


Ilustración 15- Verificación de la sección /tramo 4/ R25

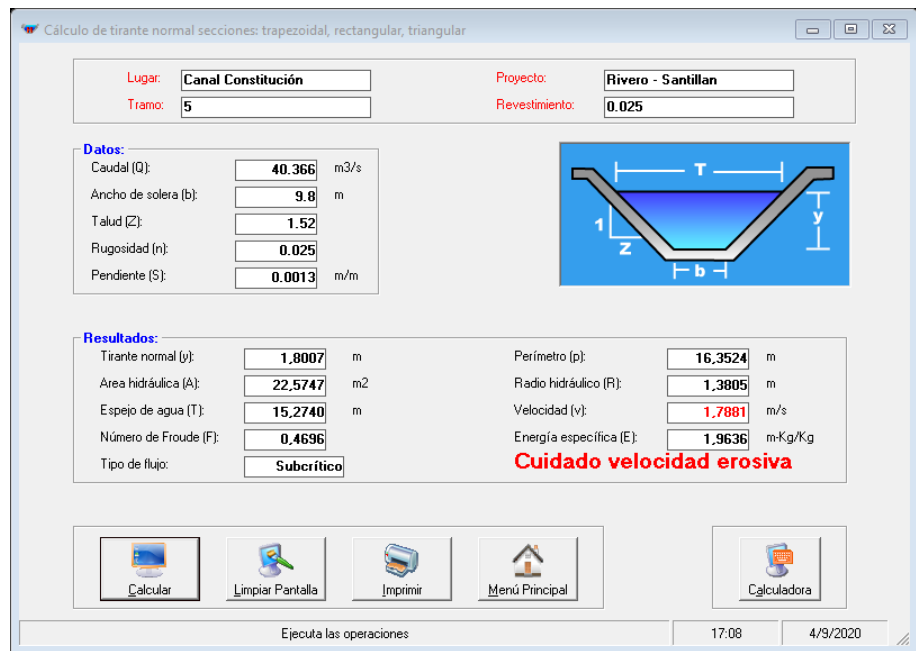


Ilustración 16- Verificación de la sección /tramo 5/ R25

B. Recurrencia de 50 años

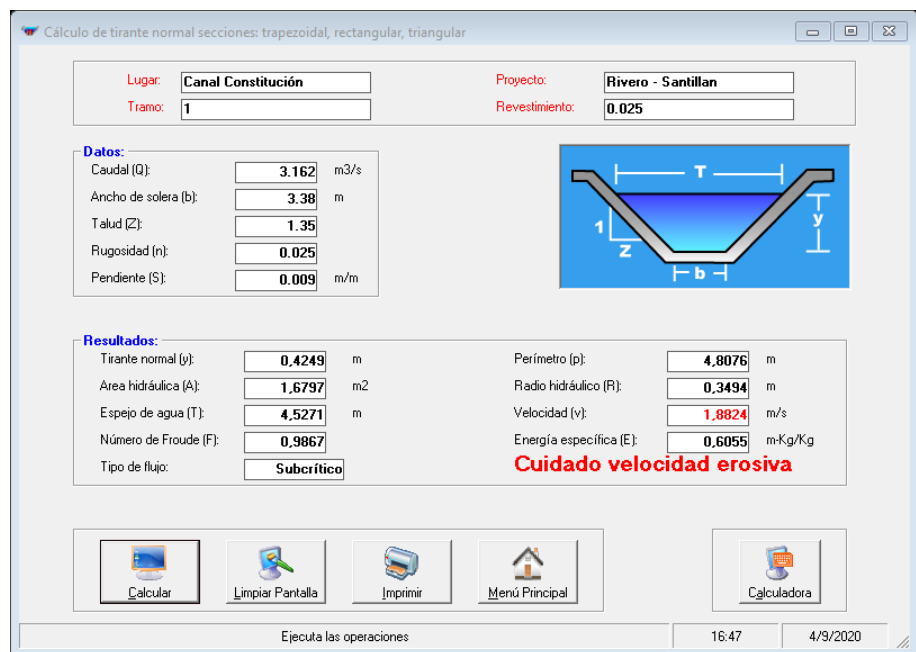


Ilustración 17- Verificación de la sección /tramo 1/ R50

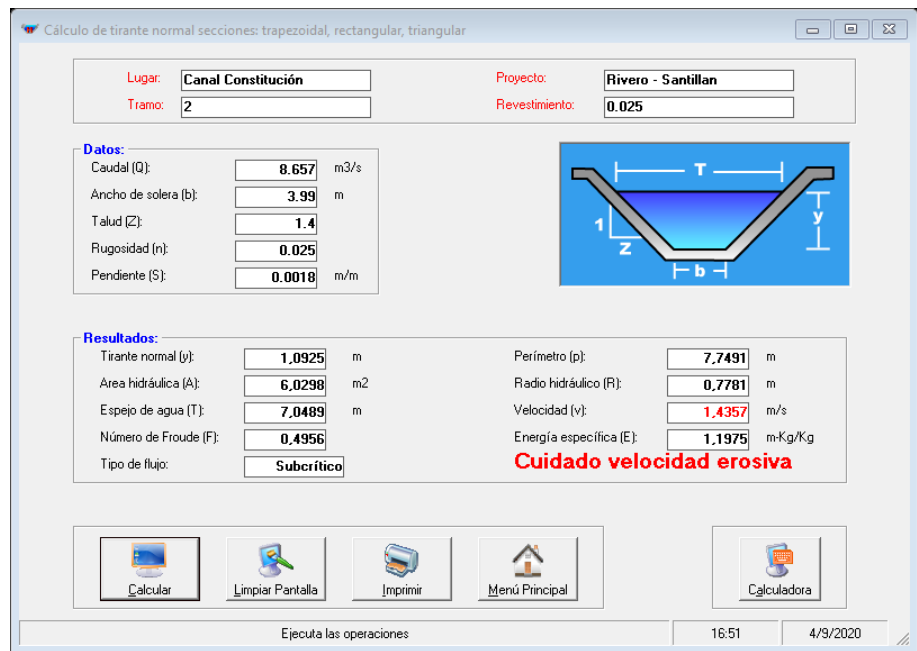


Ilustración 18- Verificación de la sección /tramo 2/ R50

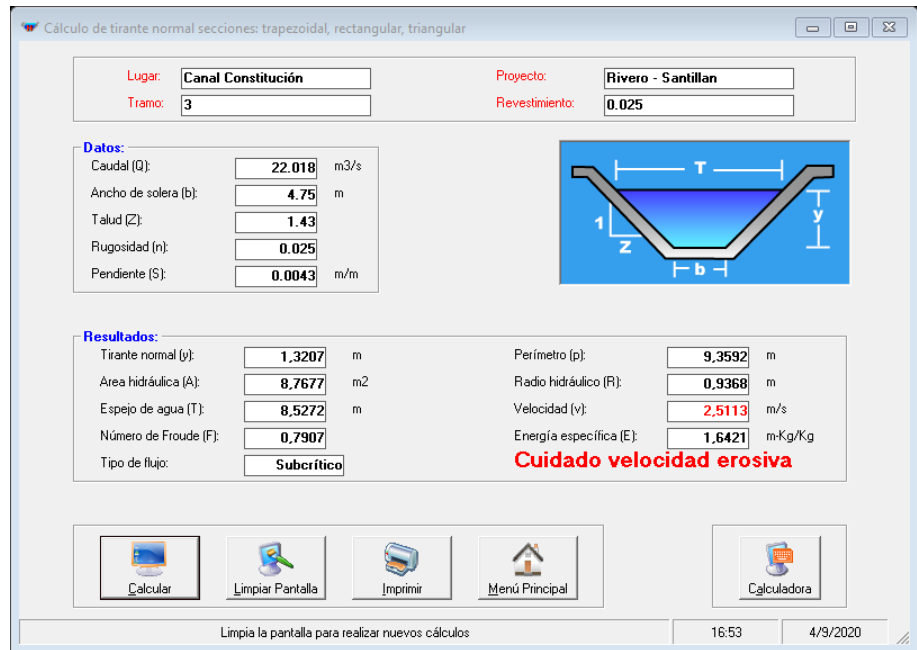


Ilustración 19- Verificación de la sección /tramo 3/ R50

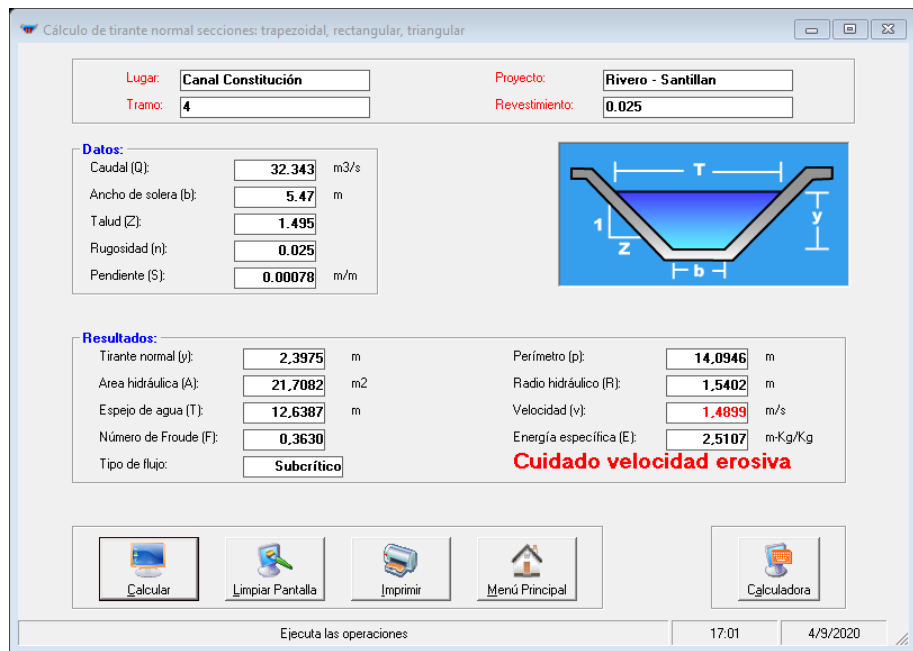


Ilustración 20- Verificación de la sección /tramo 4/ R50

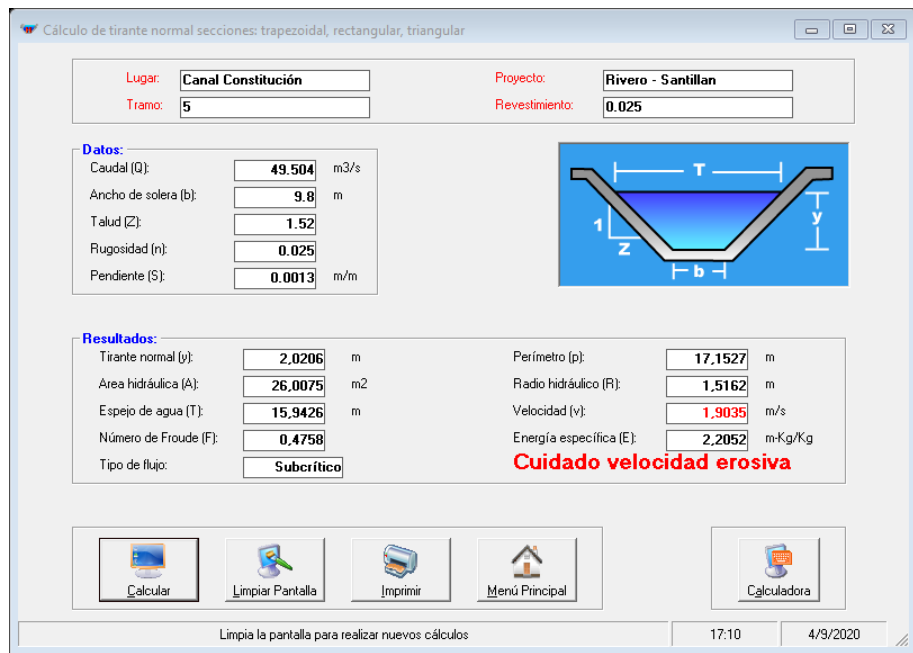


Ilustración 21- Verificación de la sección /tramo 5/ R50

C. Recurrencia de 100 años

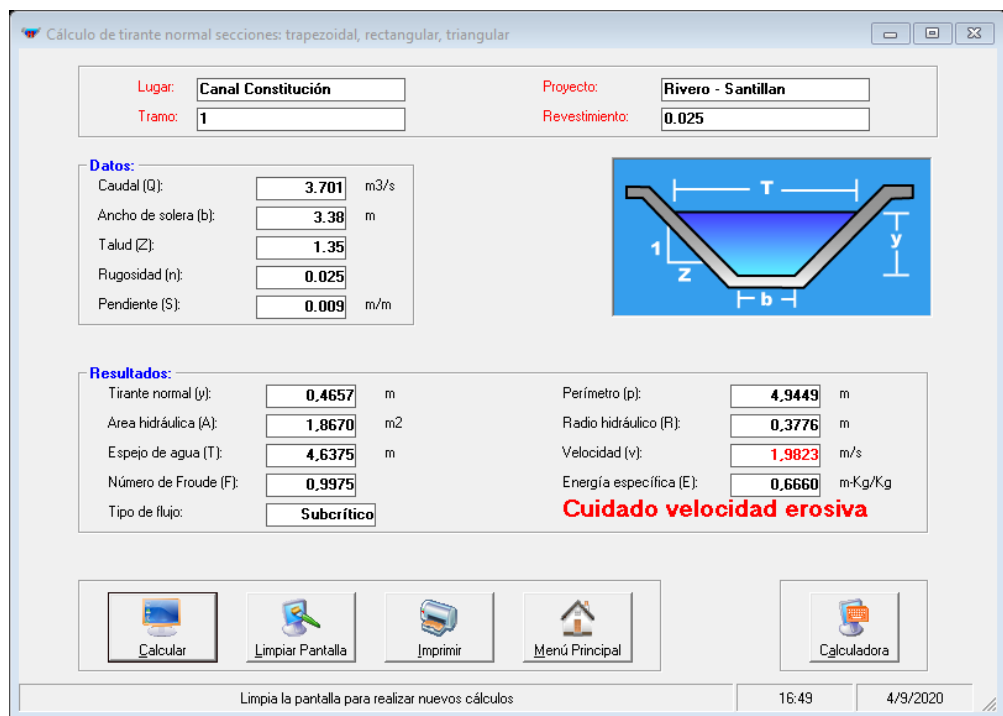


Ilustración 22- Verificación de la sección /tramo 1/ R100

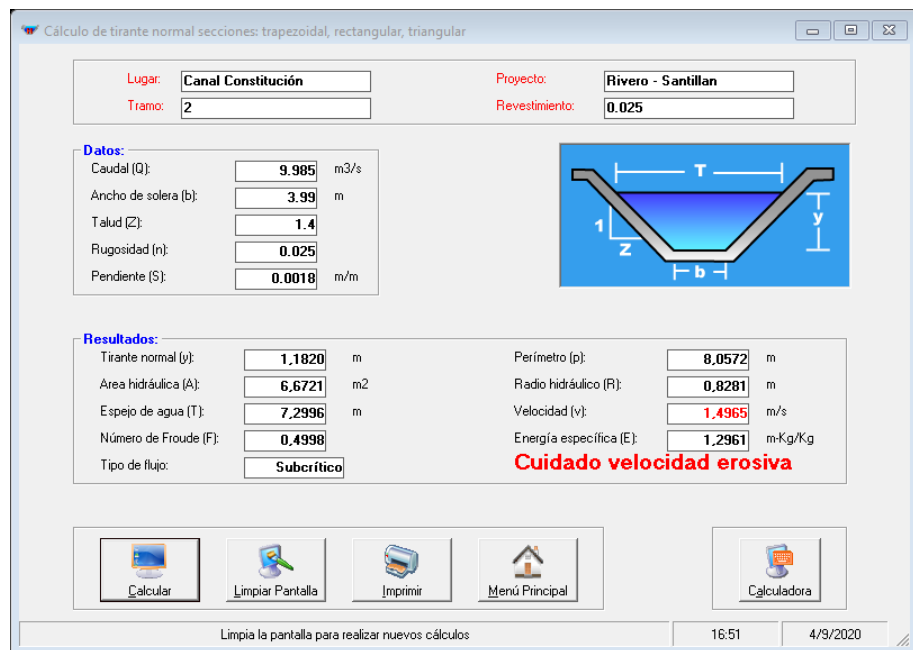


Ilustración 23- Verificación de la sección /tramo 2/ R100

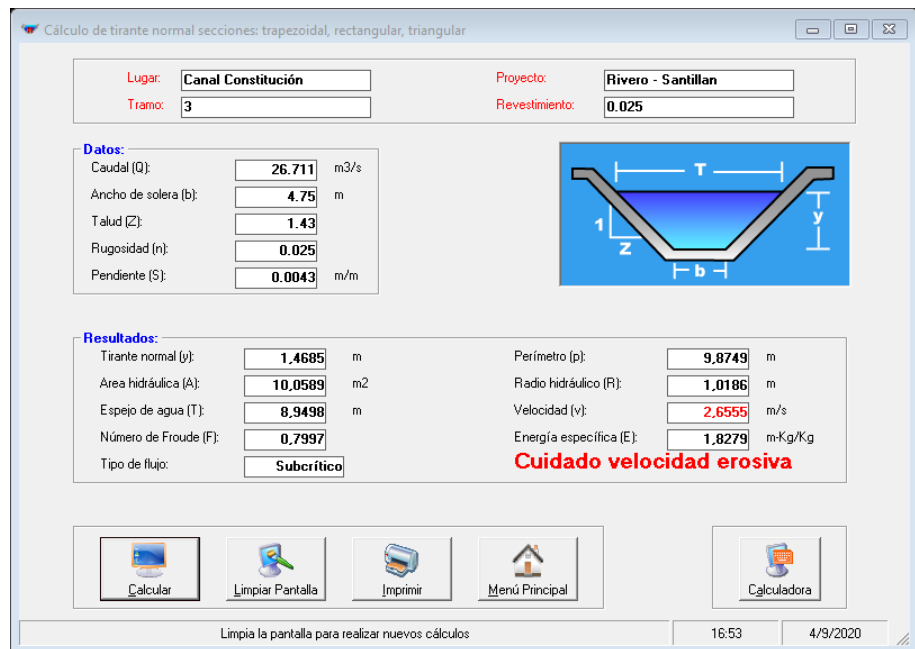


Ilustración 24- Verificación de la sección /tramo 3/ R100

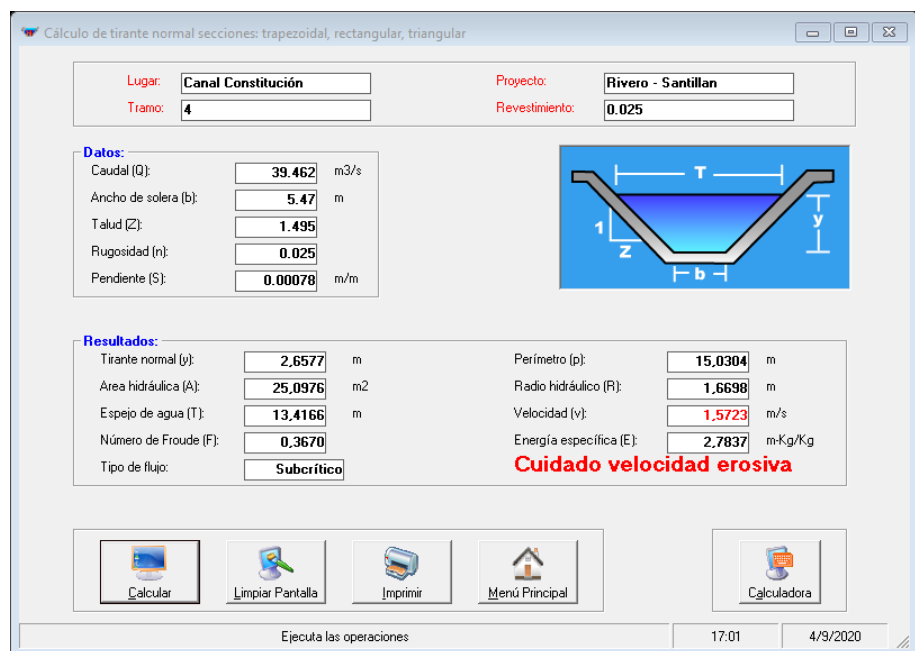


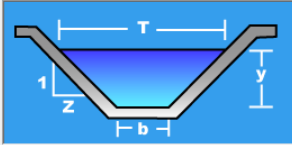
Ilustración 25- Verificación de la sección /tramo 4/ R100

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Canal Constitución** Proyecto: **Rivero - Santillán**
 Tramo: **5** Revestimiento: **0.025**

Datos:

Caudal (Q):	59.582	m ³ /s
Ancho de solera (b):	9.8	m
Talud (Z):	1.52	
Rugosidad (n):	0.025	
Pendiente (S):	0.0013	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	2.2415	m	Perímetro (p):	17.9565	m
Área hidráulica (A):	29.6032	m ²	Radio hidráulico (R):	1.6486	m
Espejo de agua (T):	16.6141	m	Velocidad (v):	2.0127	m/s
Número de Froude (F):	0.4814		Energía específica (E):	2.4479	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		Cuidado velocidad erosiva		

Calculador Limpia Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ejecuta las operaciones 17:10 4/9/2020

Ilustración 26- Verificación de la sección /tramo 5/ R100

VI. MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC-RAS

HEC-RAS 5.1.0 (Hydrological Engineering Center - River Analysis System) es un software de modelización hidráulica unidimensional que nos permite simular el flujo permanente o no permanente en canales artificiales o cauces naturales para identificar el nivel del agua en distintas secciones transversales, donde su objetivo general es realizar estudios de inundabilidad y determinar las diferentes zonas inundables.

Está constituido por una serie de procedimientos, herramientas y utilidades diseñadas para que pueda procesar datos georreferenciados lo cual permita realizar la modelación de los datos geométricos e importarlos al HEC-RAS, mediante otro tipo de software creando un archivo de importación, que procede a tomar los datos de la geometría del terreno incluyendo las secciones transversales, el cauce del río, las líneas de flujo, etc. Ya con el archivo importado en el HEC-RAS, el programa procesa los cálculos hidráulicos y permite identificar los resultados de caudal y velocidad.

Como en nuestro proyecto tanto el canal como la cuenca poseen dimensiones relativamente pequeñas, se optó por realizar una modelización de flujo en régimen permanente debido a que las características del flujo no varían con el tiempo.

El programa requiere como entrada los siguientes datos:

- **Geometría de la zona**

En nuestro proyecto se modeló con el programa CivilCAD al igual que en el Plano de Relevamiento Topográfico. Se dividió el canal en sus respectivos tramos, se generaron las secciones transversales y el alineamiento longitudinal con las progresivas del canal. Cabe aclarar que las progresivas se tomaron de manera invertida, es decir progresiva inicial en la desembocadura, debido a que el HEC-RAS procesa las progresivas mayores como aguas abajo y las menores inversamente.

Una vez obtenidas las secciones graficadas y su alineamiento longitudinal, se procedió a importar todo al programa HEC-RAS.

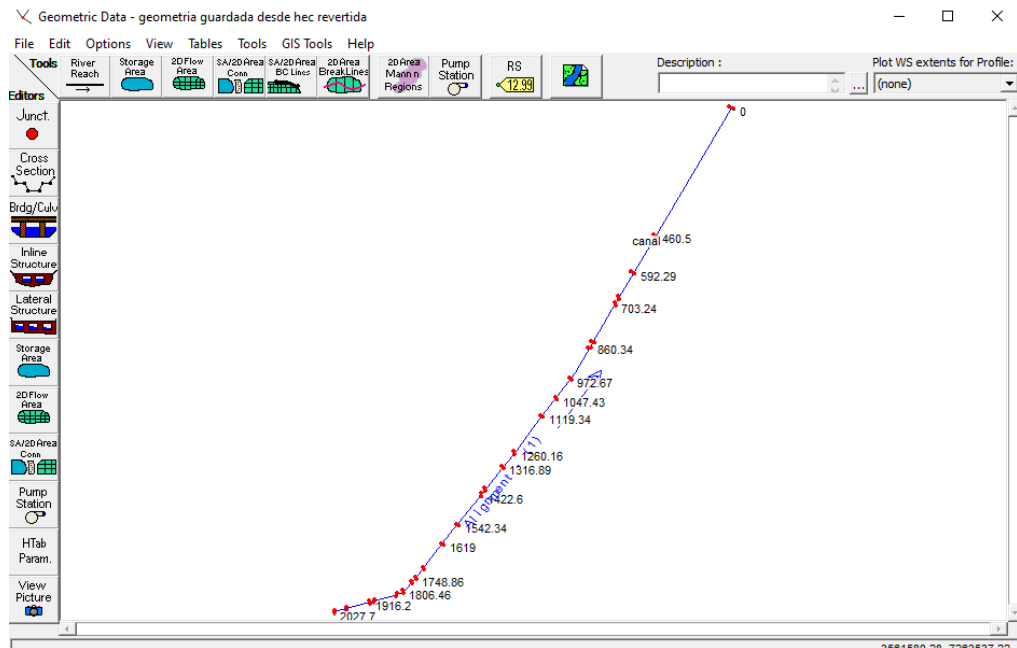


Ilustración 27- Geometría en HEC-RAS

Luego se procedió a cargar los coeficientes de rugosidad de Manning de nuestro canal, dato que el programa requiere para correr. En nuestro canal se optó por elegir un coeficiente de $n=0.025$ para la solera y las laderas de piedra partida cementada, y $n=0.035$ para la zona de los bancos laterales con vegetación abundante.

Edit Manning's n or k Values

River: Alignment - (1) Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: canal All Regions

Selected Area Edit Options: Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1 2027.7	n	0.035	0.025	0.035
2 1990.41	n	0.035	0.025	0.035
3 1916.2	n	0.035	0.025	0.035
4 1900.54	n	0.035	0.025	0.035
5 1829.24	n	0.035	0.025	0.035
6 1806.46	n	0.035	0.025	0.035
7 1768.62	n	0.035	0.025	0.035
8 1748.86	n	0.035	0.025	0.035
9 1713.64	n	0.035	0.025	0.035
10 1619	n	0.035	0.025	0.035
11 1542.34	n	0.035	0.025	0.035
12 1422.6	n	0.035	0.025	0.035
13 1401.81	n	0.035	0.025	0.035
14 1316.89	n	0.035	0.025	0.035
15 1260.16	n	0.035	0.025	0.035
16 1119.34	n	0.035	0.025	0.035
17 1047.43	n	0.035	0.025	0.035
18 972.67	n	0.035	0.025	0.035
19 860.34	n	0.035	0.025	0.035
20 839.03	n	0.035	0.025	0.035
21 703.24	n	0.035	0.025	0.035
22 682.54	n	0.035	0.025	0.035
23 592.29	n	0.035	0.025	0.035
24 460.5	n	0.035	0.025	0.035

Buttons: OK, Cancel, Help

Ilustración 28- Coeficientes de Manning

- **Establecer los Caudales y Pendientes – Régimen Permanente:**

Se utilizaron los caudales obtenidos a partir del método racional por tramos del canal para recurrencias de 25, 50 y 100 años. Cada caudal se cargó para las secciones finales de sus respectivos tramos, a excepción del tramo 1, donde el programa obligatoriamente requiere para

correr un valor para el inicio del tramo 1. El valor asignado fue de 1 m³/s, pero en la hipótesis de nuestro estudio, el caudal allí es cero (no hay aporte de subcuenca).

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	25 años	50 años	100 años
1 Alignment - (1)	canal	2027.7	1	1	1
2 Alignment - (1)	canal	1768.62	2.569	3.162	3.701
3 Alignment - (1)	canal	1422.6	6.931	8.657	9.985
4 Alignment - (1)	canal	860.34	18.442	22.018	26.711
5 Alignment - (1)	canal	703.24	27.622	32.34	39.462
6 Alignment - (1)	canal	0	40.366	49.5	59.582

Ilustración 29- Caudales Acumulados

Por otro lado, se deben cargar las condiciones de contorno, que en nuestro caso colocamos las pendientes aguas abajo y aguas arriba existentes en el canal, que fueron sacadas del plano adjunto en ANEXO III.

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Alignment - (1)	canal	25 años	Normal Depth S = 0.01	Normal Depth S = 0.015
Alignment - (1)	canal	50 años	Normal Depth S = 0.01	Normal Depth S = 0.015
Alignment - (1)	canal	100 años	Normal Depth S = 0.01	Normal Depth S = 0.015

Ilustración 30- Pendientes como Condiciones de Contorno

• **Correr Programa en Régimen Permanente:**

Un dato importante que nos pide el programa es la información del caudal para poder correr la simulación.

Se procedió a correr el programa para un Régimen Permanente y un flujo Mixto (es decir, el programa identificara si es flujo subcrítico o supercrítico).

• **Resultados:**

Una vez realizado el modelaje se pueden ver los distintos resultados que arroja el programa HEC-RAS.

Perfil Longitudinal para 25, 50 y 100 años:

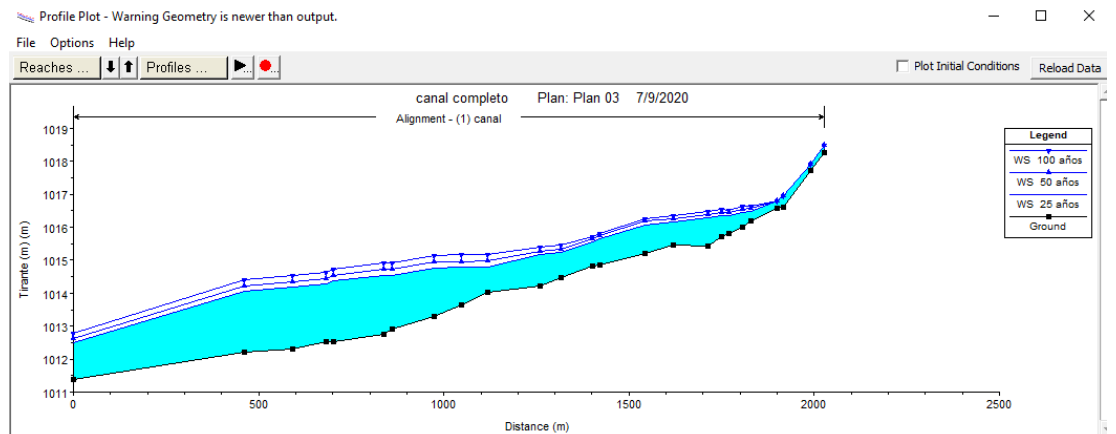


Ilustración 31- Perfil Longitudinal del Canal

Perfiles transversales para 25,50 y 100 años:

Se tomaron como referencia los perfiles al inicio y final de cada tramo, excepto en el tramo 1 donde solo se tomó el perfil al final, debido a que al inicio el caudal es 0.

También se adjuntan a continuación los dos perfiles correspondientes al tramo 5, donde el programa nos muestra que se inundan para una recurrencia de 100 años con los caudales calculados.

- **Tramo 1**
 - Progresiva 1768.62

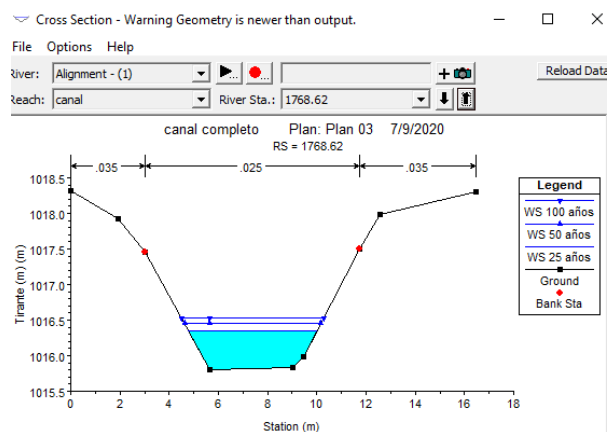


Ilustración 32 - Progresiva 1768.62

- **Tramo 2**

- Progresiva 1748.86

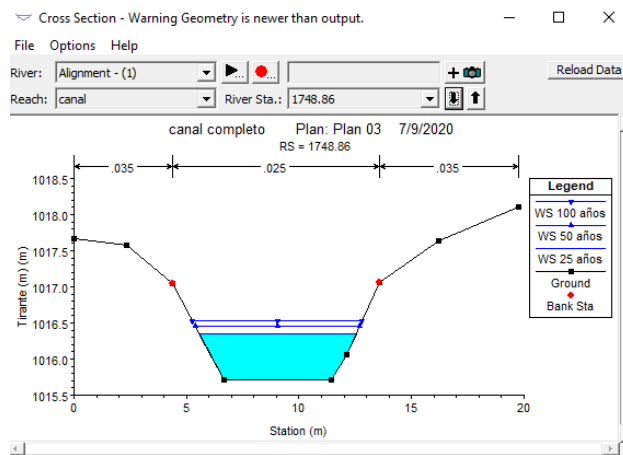


Ilustración 33- Progresiva 1748.86

- Progresiva 1422.6

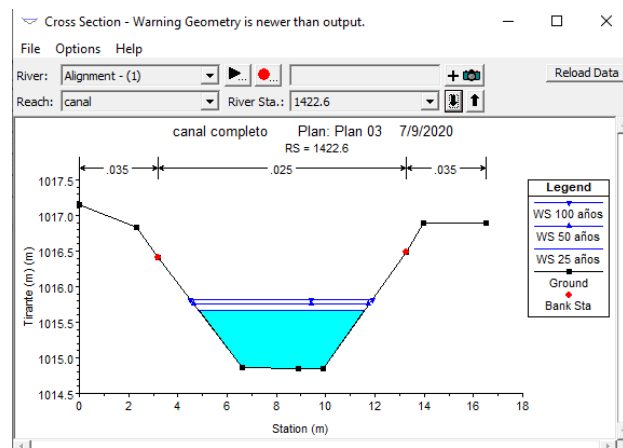


Ilustración 34- Progresiva 1422.6

- **Tramo 3**

- Progresiva 1402.18

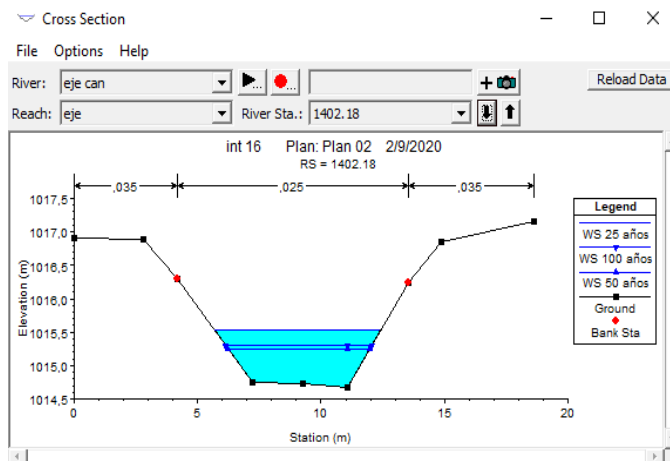


Ilustración 35- Progresiva 1402.18

- Progresiva 860.34

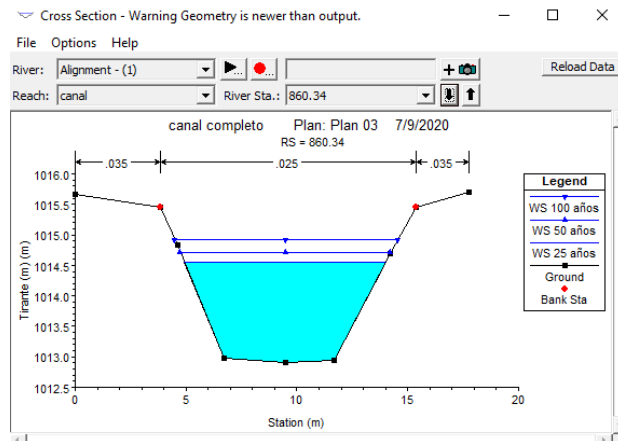


Ilustración 36 - Progresiva 860.34

- **Tramo 4**

- Progresiva 839.03

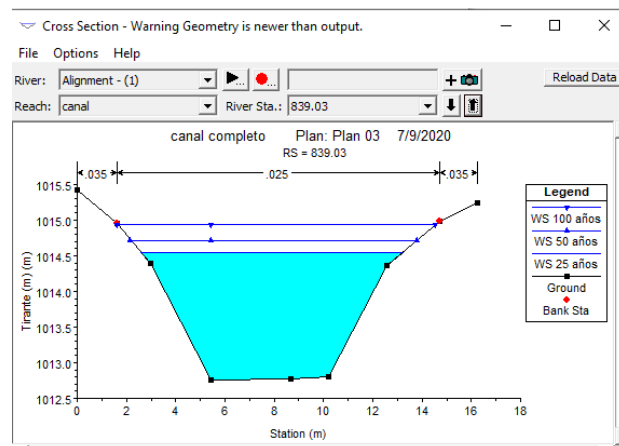


Ilustración 37- Progresiva 839.03

- Progresiva 703.24

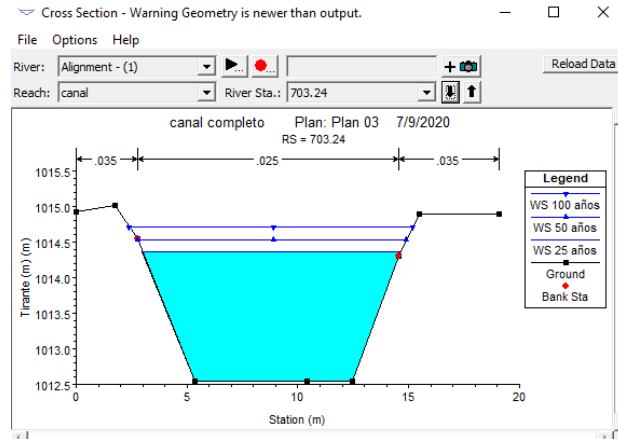


Ilustración 38 -Progresiva 703.24

- **Tramo 5**

- Progresiva 682.54

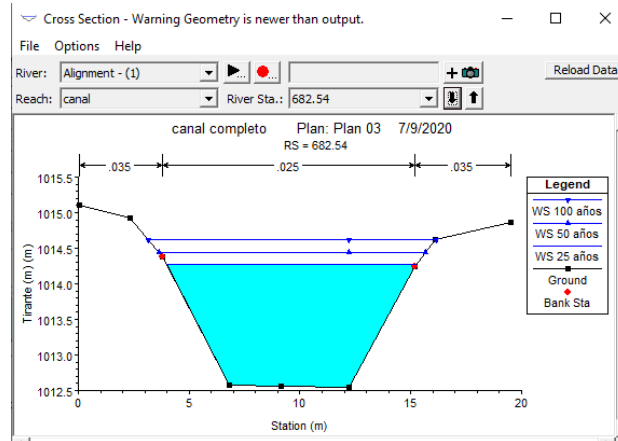


Ilustración 39 - Progresiva 682.54

- Progresiva 592.29

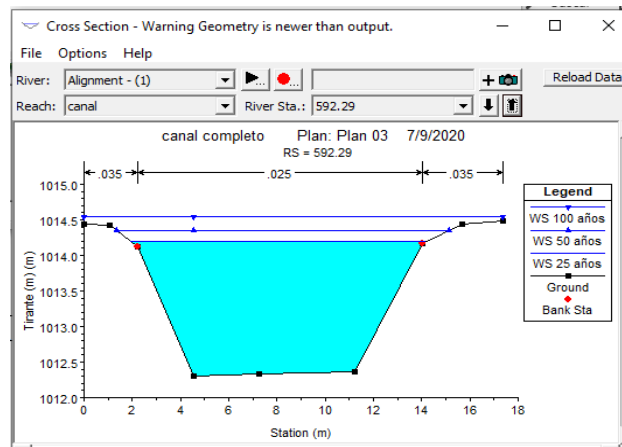


Ilustración 40-Progresiva 592.29

○ Progresiva 460.5

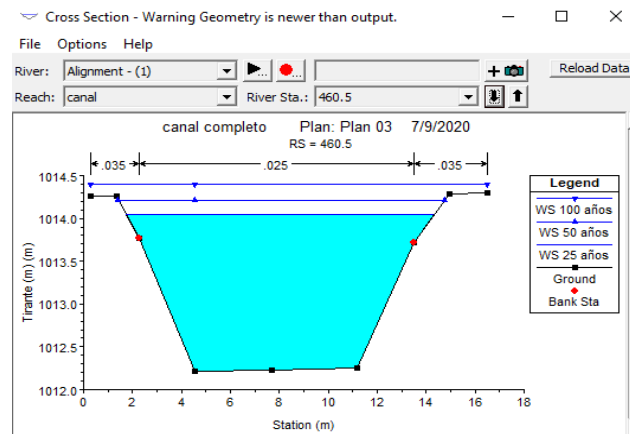


Ilustración 41-Progresiva 460.5

○ Progresiva 0

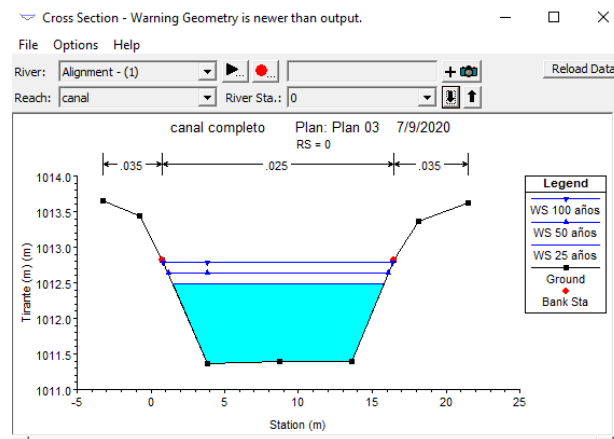


Ilustración 42- Progresiva 0

Una vez terminado el procedimiento de correr el programa HEC-RAS se puede concluir que las secciones verifican los caudales generados por la hidrología de la zona.

A continuación, se adjuntan las tablas comparativas entre los tirantes generados por los programas H-Canales y HEC-RAS, con el fin de verificar la proximidad de los resultados arrojados por ambos programas. Como se mencionó antes, las progresivas en el HEC-RAS fueron tomadas de manera inversa, debido a que el programa procesa las progresivas mayores como aguas arriba y las menores aguas abajo.

TRAMO	PROGRESIVA	Q 25 años	
		Tirante h(m)	
		Hcanales	Hec ras
tramo 1	1768,62	0,40	0,6
tramo 2	1748,86	0,96	0,83
tramo 3	1402,18	1,19	1,56
tramo 4	703,24	2,2	1,82
tramo 5	0	1,8	1,7

Tabla 15- Comparación Tirantes máximos/ 25 años

TRAMO	PROGRESIVA	Q 50 años	
		Tirante h(m)	
		Hcanales	Hec ras
tramo 1	1768,62	0,42	0,6
tramo 2	1748,86	1,09	0,9
tramo 3	1402,18	1,32	1,68
tramo 4	703,24	2,39	1,89
tramo 5	0	2,02	1,84

Tabla 16- Comparación Tirantes máximos/ 50 años

TRAMO	PROGRESIVA	Q 100 años	
		Tirante h(m)	
		Hcanales	Hec ras
tramo 1	1768,62	0,46	0,8
tramo 2	1748,86	1,18	1
tramo 3	1402,18	1,46	1,84
tramo 4	703,24	2,65	2,12
tramo 5	0	2,24	2,08

Tabla 17-Comparación Tirantes máximos/ 100 años

VII. VELOCIMETRÍA POR IMÁGENES DE PARTÍCULAS

Dentro de la ingeniería hidráulica, la medición de velocidades en flujos se realiza por medio de diversas técnicas. Resulta común el uso de un medidor de corriente o molinete (es decir, un dispositivo mecánico formado por hélices o tazas rotatorias) que se sumerge en el agua para medir la velocidad en una sección determinada. Desde hace 30 años, también se utilizan equipos acústicos y electromagnéticos para medir la velocidad del agua. Para poder funcionar, estos equipos al igual que los molinetes deben sumergirse dentro del agua, lo cual no siempre es práctico: por una parte, los sensores de los equipos sufren daños (debido a problemas de corrosión y/o incrustación), y por otra, en ocasiones es complicado (e inclusive peligroso) acercarse a un flujo para sumergir un instrumento. Por lo anterior, surge la necesidad de contar con instrumentos que puedan medir la velocidad del agua sin ser sumergidos (sistemas no intrusivos).

Los grandes avances tecnológicos tanto a nivel de grabación de imágenes (cámaras digitales, aumento de la resolución de los sensores. frecuencia de imagen), como a nivel de computación (cálculos más rápidos. más memoria) hicieron posible el desarrollo de nuevas técnicas de medición capaces de obtener la distribución de la velocidad en flujos cada vez más complejos y rápidos.

Entre estas técnicas ópticas no intrusivas se encuentran la Velocimetría por seguimiento de Partículas (PTV, por sus siglas en inglés), la Velocimetría por imágenes de Partículas (PIV, por sus siglas en inglés), y su implementación a gran escala (LSPTV y LSPIV, respectivamente por sus siglas en inglés). Estas últimas implican grandes ventajas en el estudio de estructuras altamente sensibles a perturbaciones internas y tienen potencial para ser aplicadas con éxito en importantes ríos y obras hidráulicas.

En los siguientes apartados se explicarán las bases y el funcionamiento del método PIV y LSPIV. Se describirán los componentes necesarios para obtener las imágenes a analizar, y se detallará su respectiva aplicación al canal.

Una vez aplicado el método y obtenido los campos de velocidades para un tramo determinado del canal Constitución, se utilizarán las fórmulas básicas de la hidráulica para determinar los caudales instantáneos que pasan por el mismo.

A. PRINCIPIO DE LA TÉCNICA PIV

El sistema de velocimetría por análisis de imágenes de partículas (PIV) es una técnica de medición que permite obtener el campo de velocidades de flujos de manera instantánea y con alta resolución espacial. Esta técnica no es intrusiva, lo cual permite realizar mediciones sin perturbar el flujo. La técnica se basa en determinar sobre la base de dos imágenes capturadas en un intervalo de tiempo conocido, el desplazamiento de las partículas que son sembradas en el flujo. El desarrollo de esta técnica en los últimos años ha permitido su aplicación en la caracterización de flujos complejos logrando un avance notable en el campo de la mecánica de los fluidos.

La metodología experimental general de laboratorio consiste en obtener un video (con una longitud de registro suficiente para obtener parámetros estadísticos representativos) que permita evaluar el desplazamiento de trazadores dentro del flujo. Luego el video se lo descompone en imágenes y en base a dos imágenes capturadas en un intervalo de tiempo conocido se realiza el análisis pertinente para obtener el campo de velocidades.

B. Implementación de PIV a Gran Escala (LSPIV)

La técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas a Gran Escala (LSPIV) es una

moderna técnica experimental con gran potencial para el monitoreo de diversos flujos superficiales en cauces naturales de manera remota. Con esta técnica LSPIV se pueden analizar determinados patrones existentes sobre la superficie del agua, generados por la turbulencia.

La principal diferencia entre PIV y LSPIV son las escalas del flujo de interés a caracterizar (superficies del orden de 2-10 m² para PIV y del orden de hasta 5000 m² para LSPIV).

Ambas técnicas también difieren en las complejidades existentes en las mediciones de campo a gran escala, tales como la iluminación variable, la accesibilidad limitada a las vistas de cámara ortogonales a los flujos a caracterizar), etc.

C. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL REQUERIDO PARA LSPIV

Para poder implementar la técnica del LSPIV se requiere una serie de instrumentos tanto para las actividades de campo como para las de gabinete. Para las actividades de campo se necesita:

- Un dispositivo que cuente con una cámara que pueda grabar un video con una cierta calidad de resolución el curso de agua que se quiera medir.
- Un elemento de medición de distancias como ser una regla, una cinta, un distanciómetro, etc. para poder relevar, previo a la filmación, la posición de 4 puntos fijos que servirán luego para poder delimitar el polígono de estudio y realizar la rectificación de los resultados.

Para la estimación de las velocidades del flujo en gabinete se necesita que una computadora cuente con los siguientes programas instalados:

- PIVLab: Este software permite calcular la distribución de velocidades entre dos o más imágenes, así como también derivar, visualizar y exportar varios parámetros del flujo.
- RIVeR: Es una herramienta cuyo objetivo es realizar una caracterización completa de los flujos de aguas superficiales tales como ríos, canales artificiales (riego, planta de tratamientos, etc.). Utiliza como entrada cualquier resultado de PIVlab.

D. CARACTERÍSTICAS DEL VIDEO

En general, las componentes de esta técnica están estrechamente relacionadas entre sí, tales que, la definición o configuración de una componente impone restricciones al resto de ellas. Por eso, cuando se desea implementar la técnica LSPIV en mediciones de campo, es necesario ajustar una serie de parámetros en la toma del video, de manera tal de optimizar al máximo los resultados finales:

- Una cámara con alta resolución. Mientras mayor sea la resolución, habrá áreas mucho más detalladas y en consecuencia vectores más precisos.
- Amplitud angular de la filmación. Resulta necesario al momento de filmar una correcta posición de la cámara, tal que permita ver el canal en todo su ancho y los 4 puntos fijos previamente definidos y medidos que delimitaran el polígono de estudio.

- Buena iluminación solar. Esto permite que, al momento de interacción entre la reflexión especular formada por la incidencia de la luz sobre la superficie del flujo con las irregularidades de la superficie libre, se generen patrones de onda con mayor detalle.
- En mediciones de velocidades superficiales del flujo a gran escala, se presenta la problemática de la rectificación de las coordenadas del Mundo Real a una proyección ortogonal. Dicha rectificación es necesaria por la oblicuidad de la cámara al momento de la adquisición de las imágenes en razón de que no es posible colocar la cámara perpendicular a la dirección del flujo. Consiste en rectificar los resultados a una vista ortogonal y calibrarlos para transformar las velocidades de [píxel/intervalo de imagen] a [m/s]. Para ello se requieren al menos cuatro puntos no alineados, con distancias conocidas entre ellos, para transformar la imagen obtenida en perspectiva en una imagen de proyección ortonormal.

E. GENERACIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDADES CON PIVlab

La filmación del video se realizó desde una margen del canal a inicios del quinto tramo, progresiva 682.54, el día 2 de abril del presente año. Cabe destacar que dicho video fue filmado con una cámara que posee una resolución de 12+ 2 MP, perteneciente a un Smartphone Xiaomi.

La extracción de las imágenes se efectuó con una frecuencia de 20 imágenes por segundo (20 fps). Luego de esto se llevó a cabo al procesamiento de las mismas.

El primer paso para obtener el campo de velocidades superficiales del flujo consiste en la delimitación del polígono de estudio formado por los cuatro puntos prefijados y cuyas distancias son conocidas.

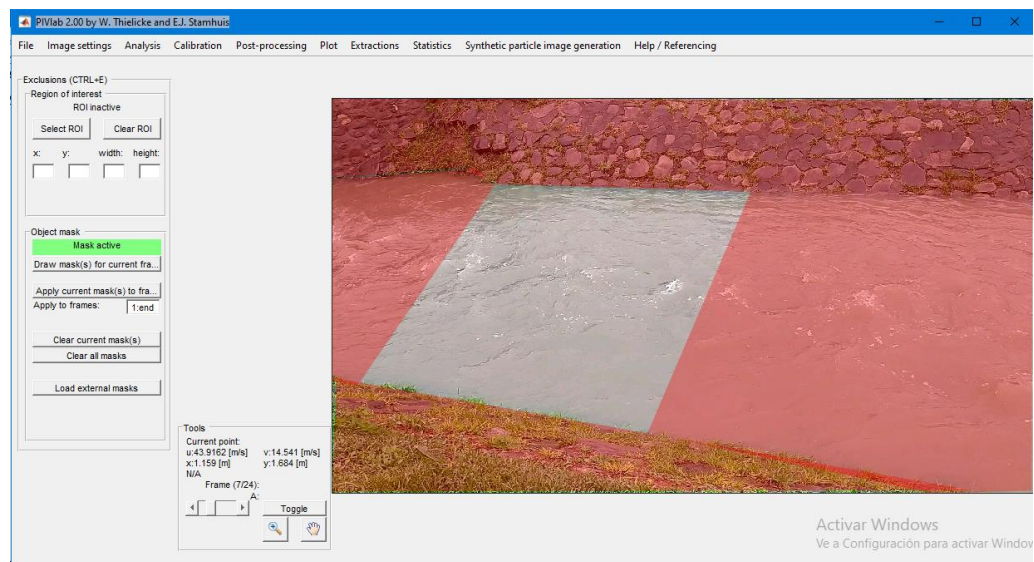


Ilustración 43 -Interfaz del programa PIVLAB/delimitación del polígono

Delimitado el polígono, se ajustaron los patrones de onda de flujo para que el programa reconozca los mismos y así poder generar los vectores de velocidad.

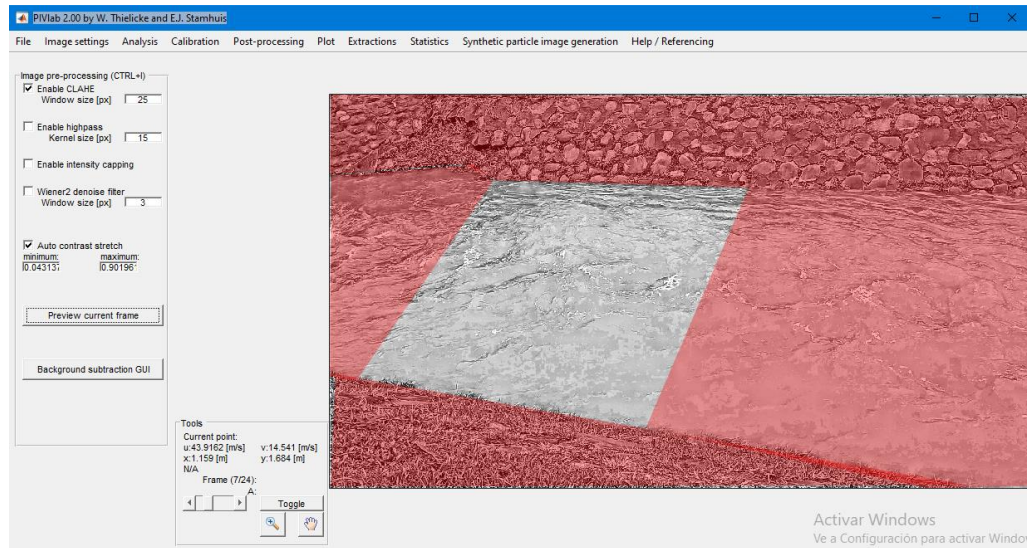


Ilustración 44- Interfaz del programa PIVLAB/aplicación de filtro para una resolución de 20 pixeles

Luego de tener calibrados todos los parámetros dentro de las imágenes, se procedió a iniciar el análisis.

Los resultados de los campos de vectores generados por PIVlab se muestran a continuación.

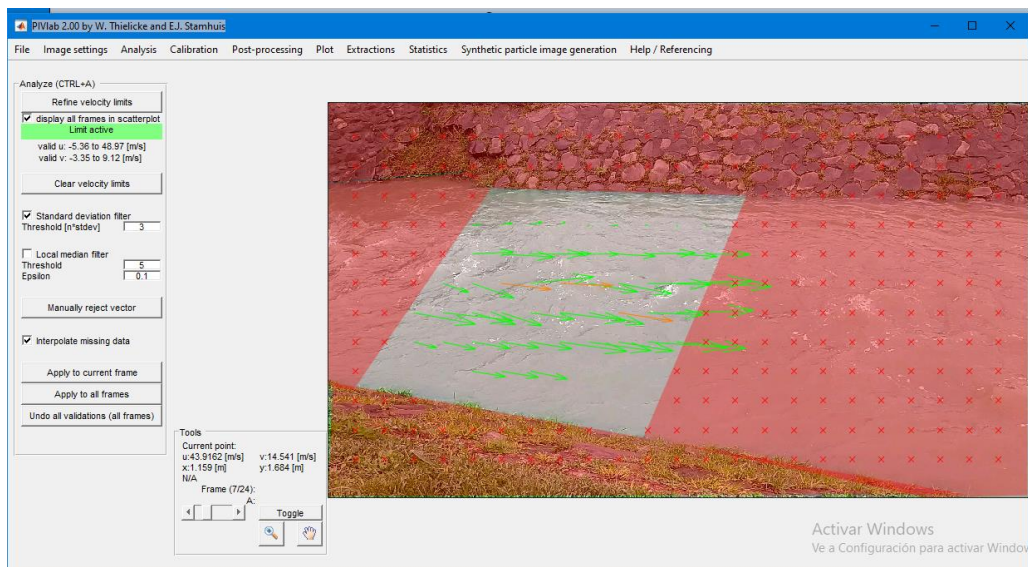


Ilustración 45- Interfaz del programa PIVLAB/campo de vectores de velocidad

Una vez obtenido el campo de velocidades, se exportaron los resultados al programa RIVER, donde se rectificaron todos los vectores.

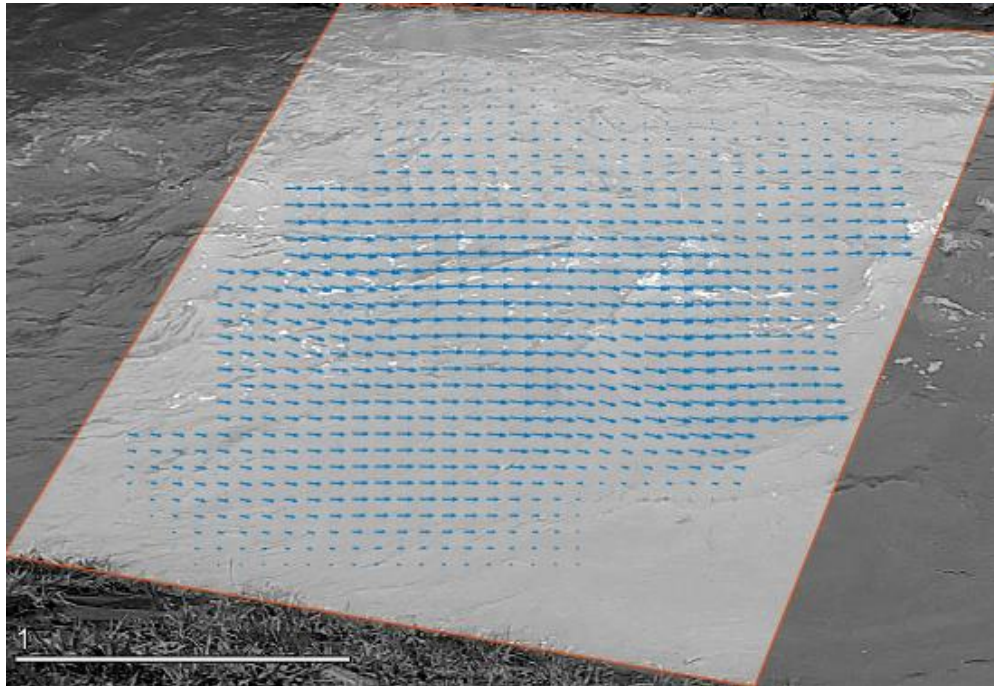


Ilustración 46 - Interfaz del programa RIVER/vectores rectificandos

Posteriormente se localizó y definió la sección transversal a analizar, donde su batimetría ya era conocida. Este paso permitió visualizar el diagrama de velocidades a lo largo de la sección transversal. Para la extracción de las velocidades, el programa las interpola en 11 puntos distribuidos a lo largo del segmento.

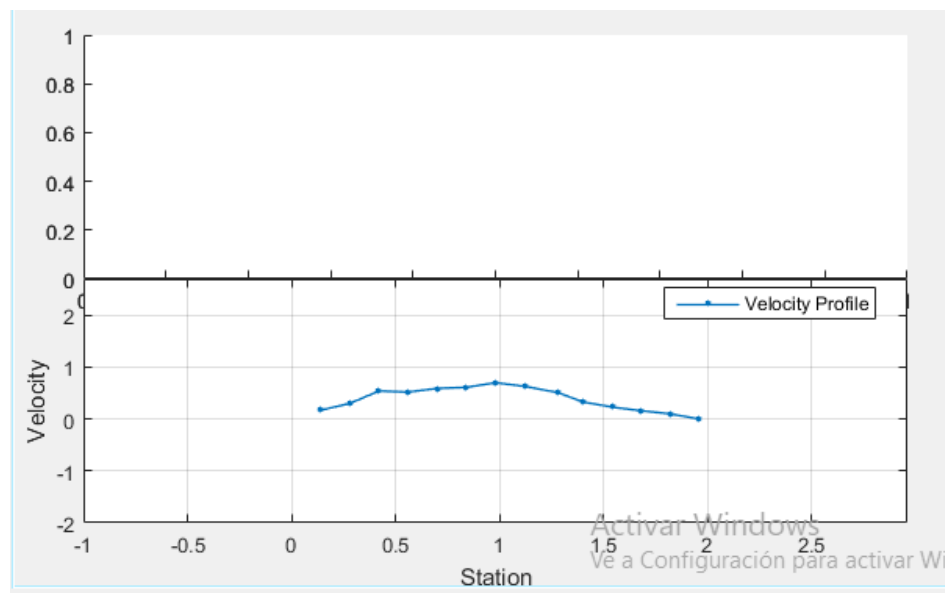


Ilustración 47- Distribución Transversal

Para encontrar la velocidad superficial del flujo se optó por promediar el valor de los vectores, debido a que el análisis arrojaba valores muy similares a lo largo de la sección transversal, el resultado fue:

$$Vel_{superficial\ promedio} = 0,7 \frac{m}{seg}$$

Aplicando el coeficiente de corrección por altura debido a que la velocidad superficial se encuentra bajo las inclemencias del viento.

$$Vel_{media} = 0,6 \times 0,7 \frac{m}{seg} = 0,42 \frac{m}{seg}$$

Finalmente, conociendo el área de la sección transversal se obtuvo el caudal instantáneo, el mismo se ajusta correctamente al valor máximo que soporta la sección.

$$Q = Vel_{media} \times Area_{transversal}$$

$$Q = 0,42 \frac{m}{seg} \times 5,13 m^2$$

$$Q = 2,15 \frac{m^3}{seg}$$

Lo que significa, que se trató de una lluvia ordinaria, comparando esta magnitud con los valores referidos en la tabla 14.

VIII. CONCLUSIONES

El desarrollo de las conclusiones se puede dividir en dos partes: la primera referida a la aplicación de las técnicas más frecuentes y la segunda parte referida al aprendizaje de la técnica LSPIV tanto teórica como práctica.

- Primera parte:

En primer lugar, se estudió la cuenca de aporte del canal constitución para poder determinar mediante el método racional los caudales en los distintos tramos. Estos caudales fueron ingresados a los programas H-canales y HEC-RAS obteniendo resultados de tirantes máximos similares en ambos (ver tabla 15, 16, 17 pág. 33 y 34), pudiendo apreciar que se verifican los mismos en las distintas secciones para recurrencias de 25 y 50 años, no así para un periodo de retorno de 100 años, en donde algunas secciones del tramo 5 sufren inundaciones.

Lo que se propone como alternativa más económica para la problemática de la inundación, es agrandar la sección del canal, verificando de esta manera el agua escurrida. Por lo tanto, no hace falta construir canales auxiliares para la evacuación del agua. Los cálculos del mismo no corresponden al alcance este proyecto (se adjunta propuesta en el ANEXO V)

También se recomienda hacer un mantenimiento periódico para evitar que el canal colapse ante lluvias como la producida el día 2 de abril del corriente año, el cual tuvo una lluvia de 56,5 mm en el lapso de 5 horas.

- Segunda parte:

En la implementación del nuevo método LSPIV, podemos decir bajo un punto de vista técnico que es efectivo para la determinación y caracterización de caudales instantáneos en secciones específicas, cuando se tiene los datos antes mencionados, además sirve para poder determinar las velocidades superficiales y media de los flujos.

Los resultados obtenidos con técnicas de volumetría por imagen muestran características similares a los registrados por métodos más usuales. Se pudo observar que las velocidades tienen un crecimiento hacia el centro de la sección.

Del análisis del video podemos decir que aporta la información pretendida para poder afrontar los problemas de crecidas repentinas. Esta técnica también permite determinar las velocidades para un evento de crecida repentina, utilizando videos recopilados por cualquier individuo.

También se comprueba la sensibilidad de la técnica ante la disminución o falta de patrones en el agua, y la uniformidad según la posición analizada si se busca velocidades en determinados instantes de tiempo. De igual manera los valores de la velocidad son aceptables aun si el estado de los patrones en un video no son los mejores.

Por último, se destaca la importancia de esta técnica como la mejor alternativa para medir en casos extremos, o cuando no se quiere modificar el estado del flujo de manera intrusiva o cuando se dificulta el uso de algún otro método más convencional.

ANEXO I

Se utilizan las curvas IDT actualizadas generadas en el marco del proyecto de investigación “Cálculos de IDT y Actualización de Lluvias máximas” de la Universidad Católica de Salta (UCASAL).

Para los cálculos se utilizó la información pluviográfica existente en el Aeropuerto de Salta Capital (Latitud: -24.78 / Longitud: -65.40). En base a dicha información se estimó la relación IDT actualizada

Las IDT resultantes se presentan a continuación:

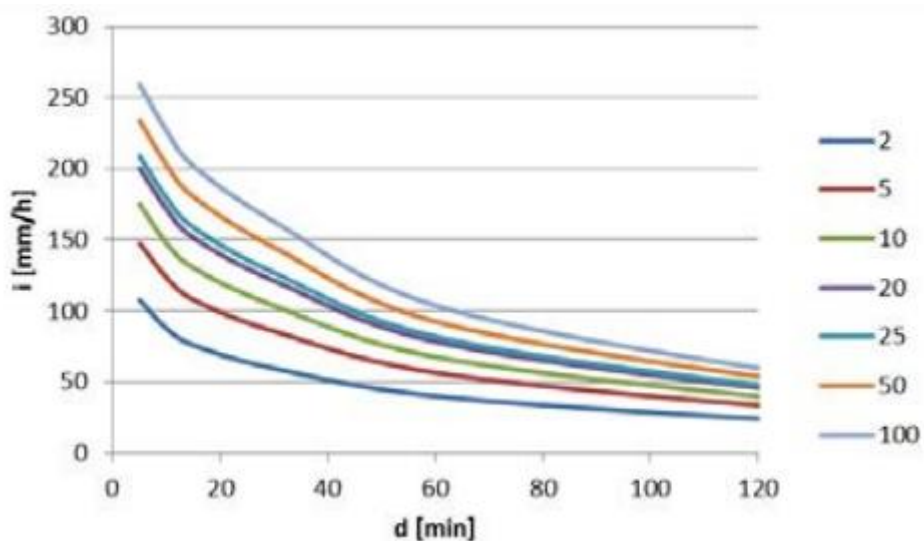


Ilustración 48 - Curvas IDT para duraciones entre 5 y 120 min

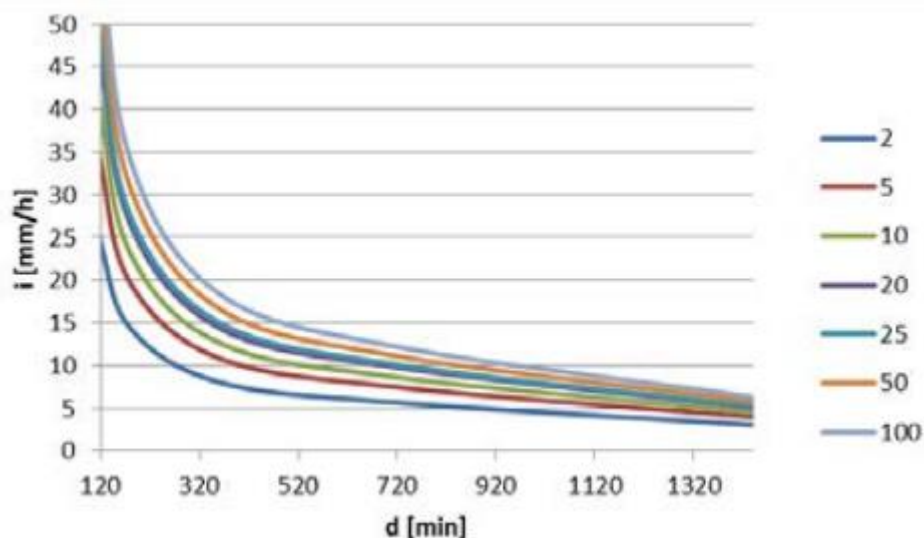


Ilustración 49- Curvas IDT para duraciones mayores a 120 min

ANEXO II

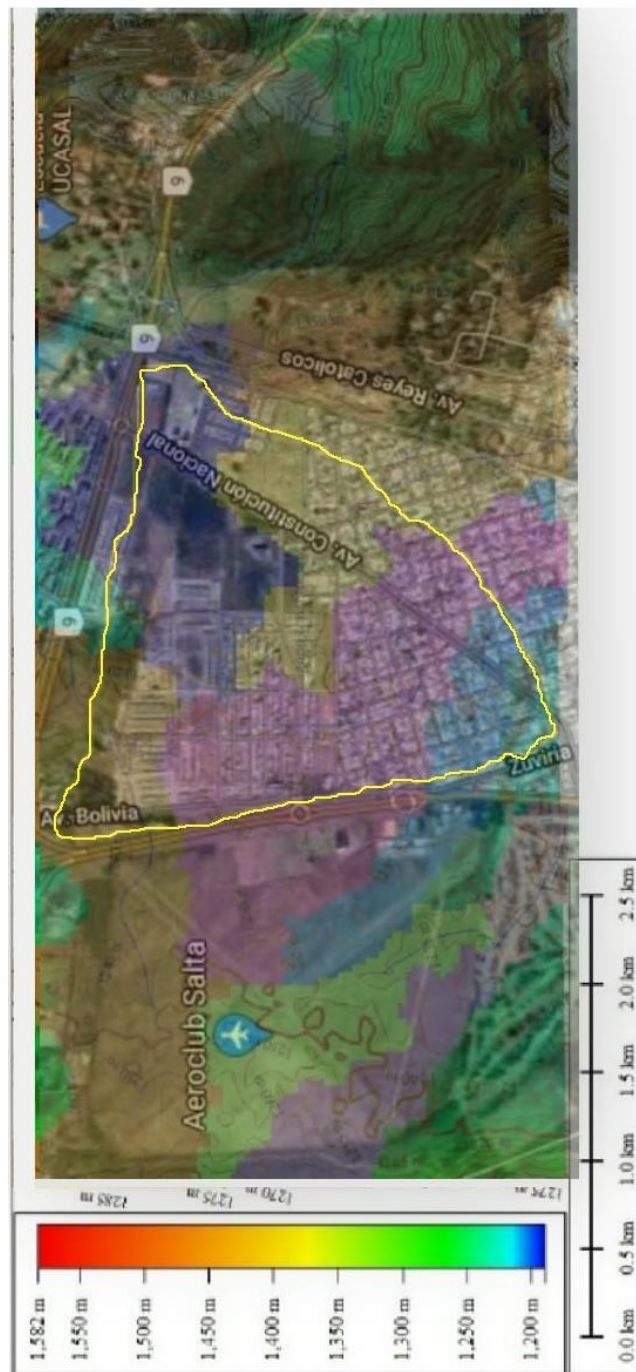


Ilustración 50- Curvas de Nivel Canal Constitución

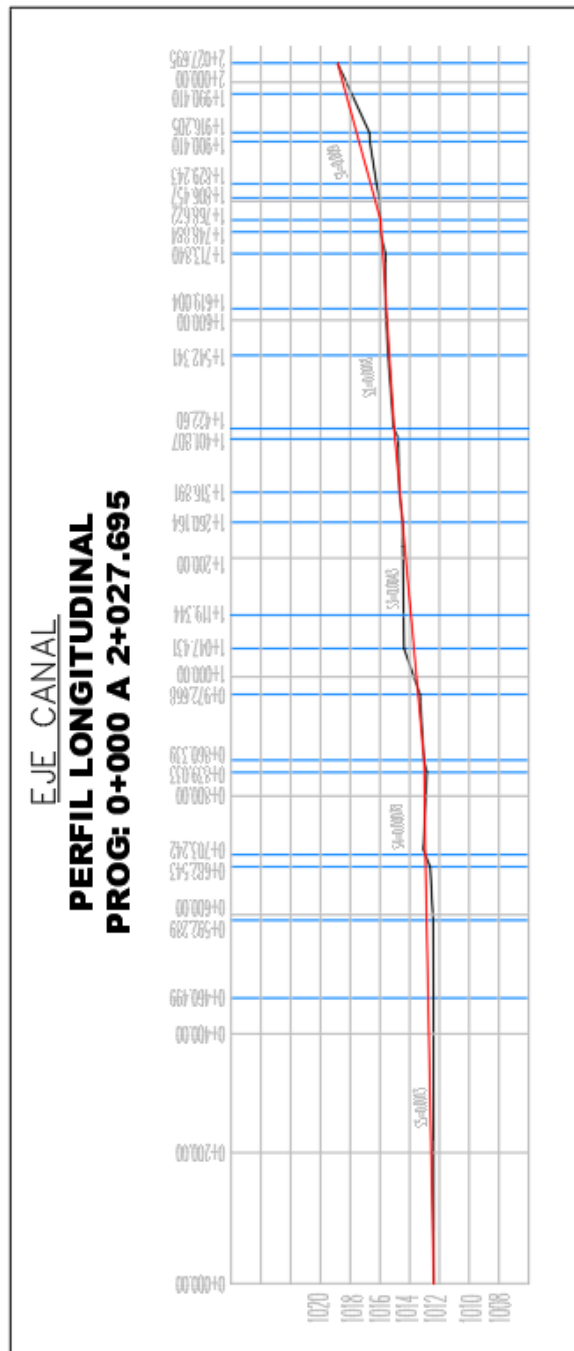


Ilustración 51- Perfil longitudinal

ANEXO III

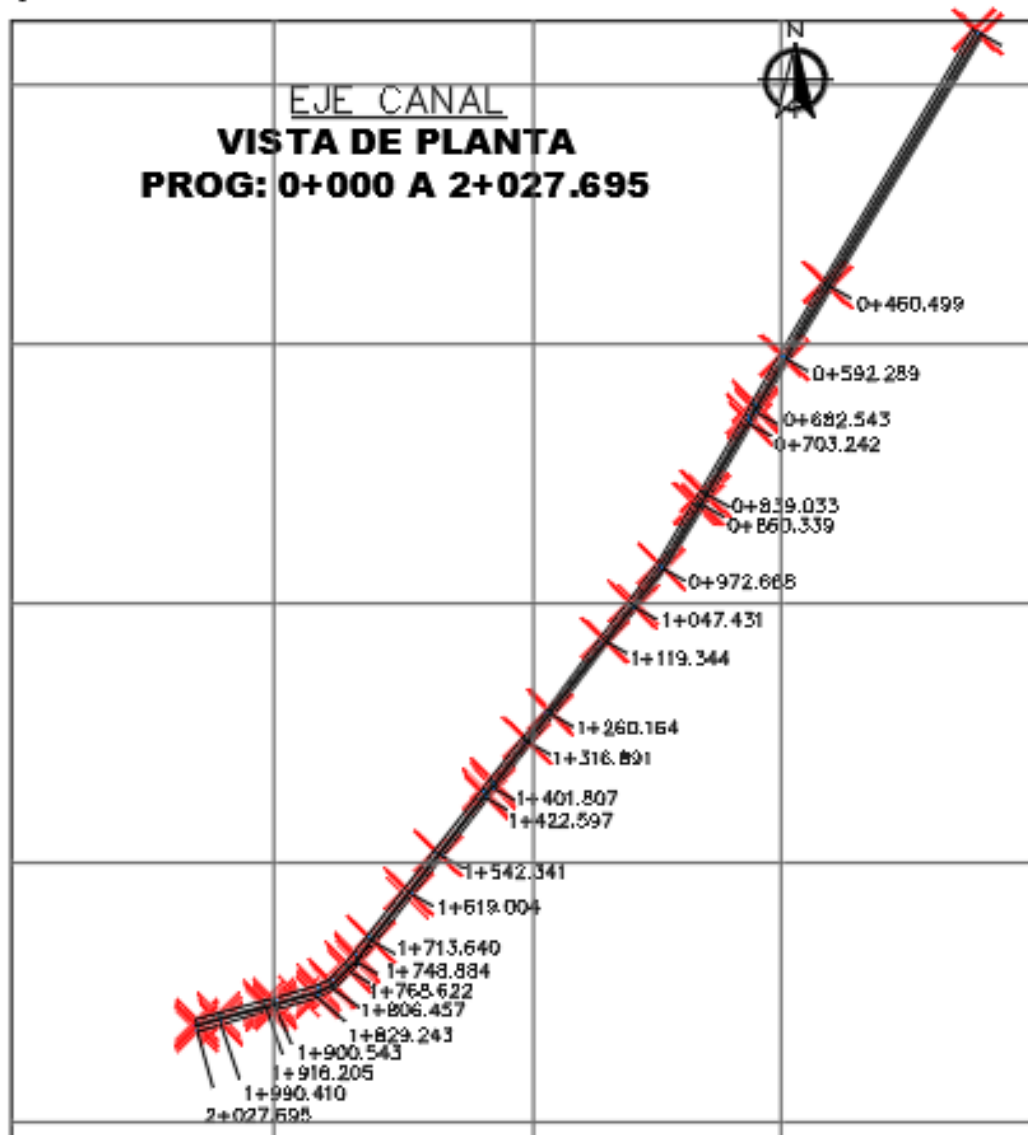
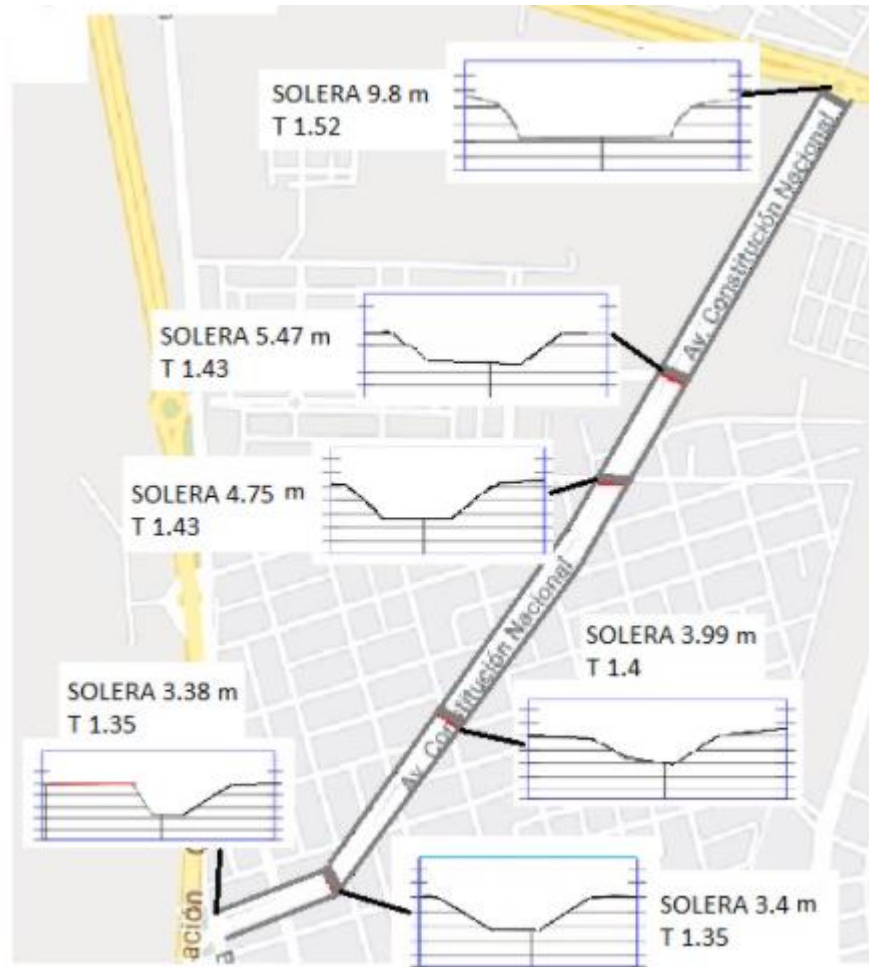


Ilustración 52- Vista en planta Progresivas



SECCIONES TRANSVERSALES

A. TRAMO 1

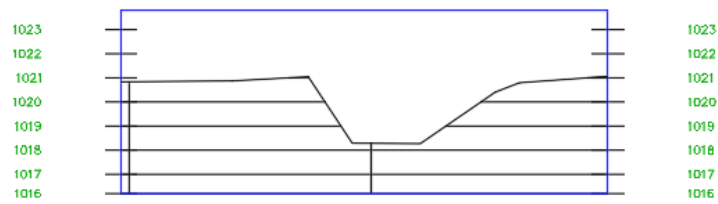


Ilustración 53- Progresiva 2027.70

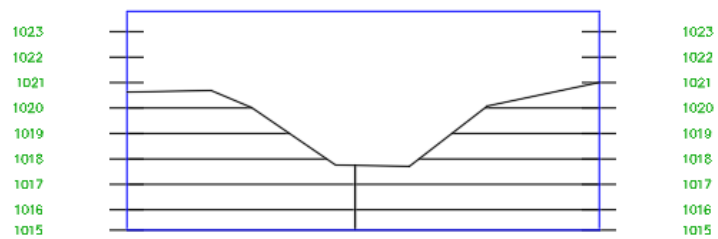


Ilustración 54- Progresiva 1990.41

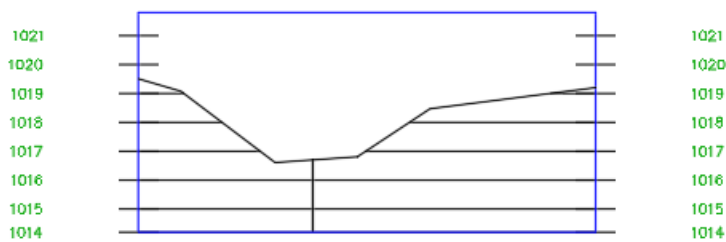


Ilustración 55- Progresiva 1916.20



Ilustración 56- Progresiva 1900.54

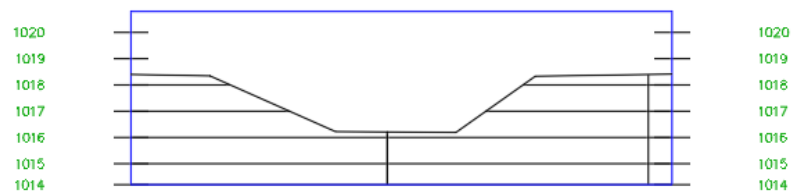


Ilustración 57- Progresiva 1829.24

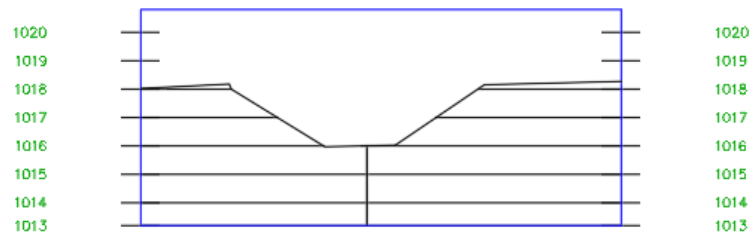


Ilustración 58- Progresiva 1806.46

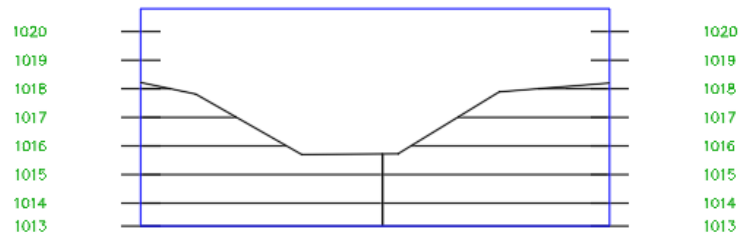


Ilustración 59 - Progresiva 1768.62

A. TRAMO 2

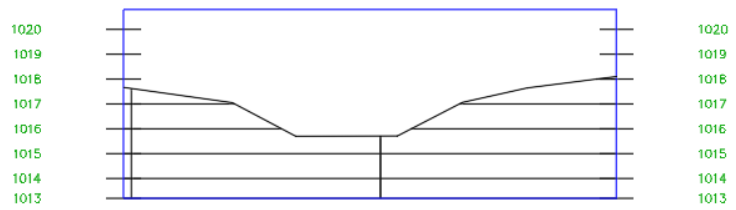


Ilustración 60 - Progresiva 1748.86

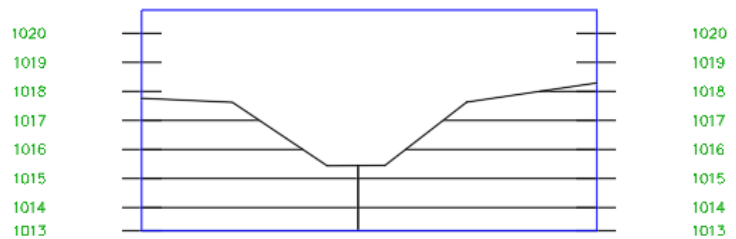


Ilustración 61 - Progresiva 1713.64

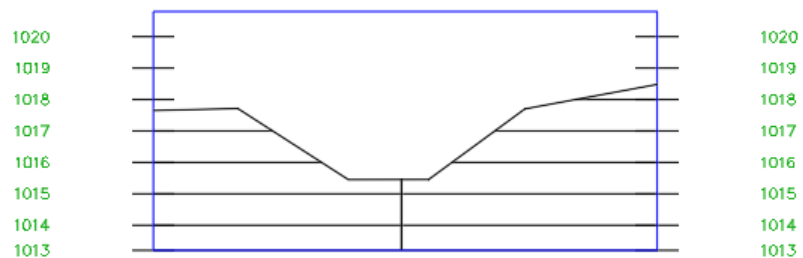


Ilustración 62- Progresiva 1619.00

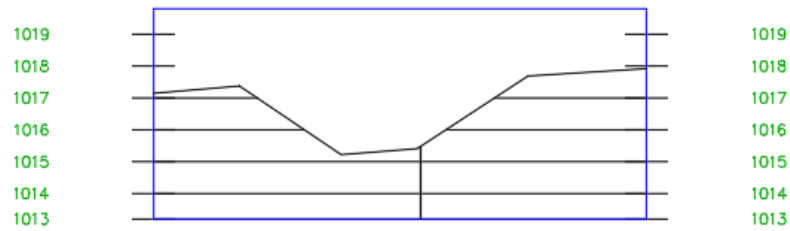


Ilustración 63 - Progresiva 1542.34

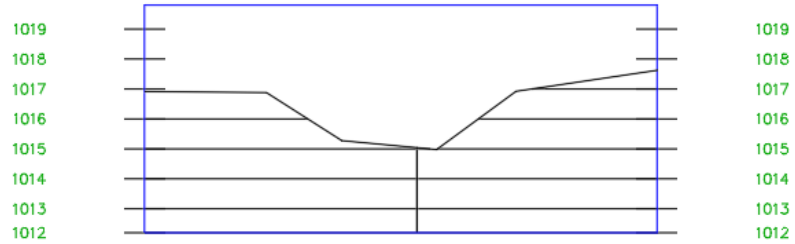


Ilustración 64- Progresiva 1422.60

A. TRAMO 3

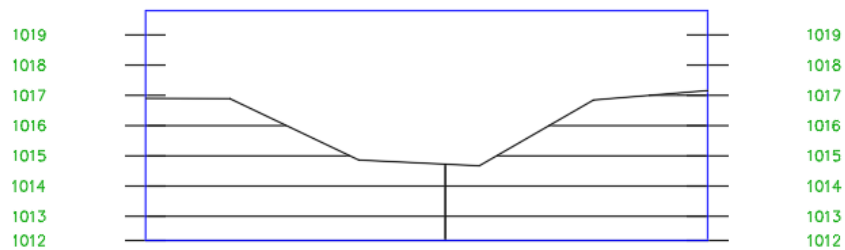


Ilustración 65 - Progresiva 1401.81

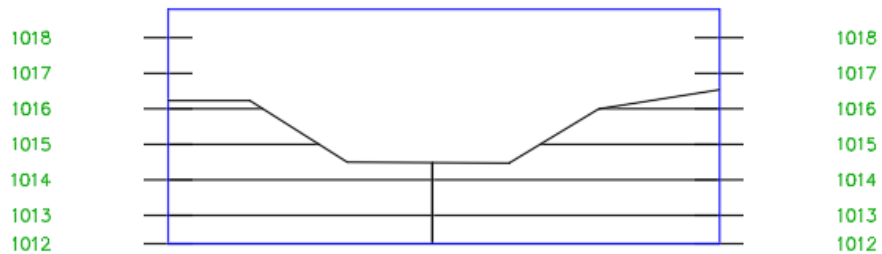


Ilustración 66 - Progresiva 1316.89

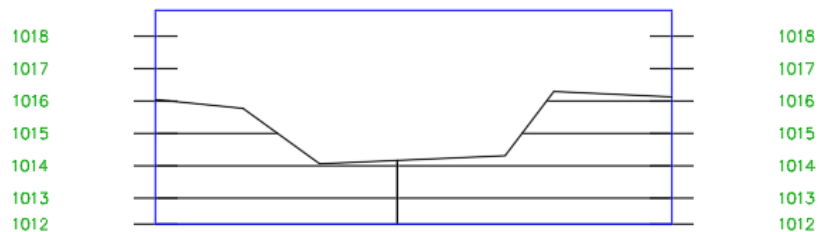


Ilustración 67- Progresiva 1260.16

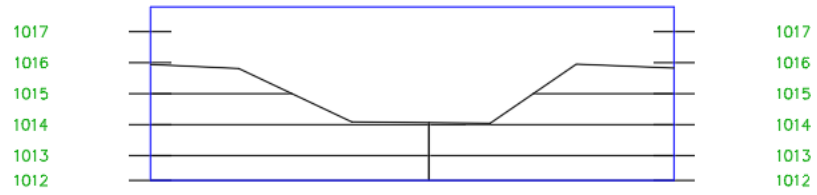


Ilustración 68 - Progresiva 1119.34

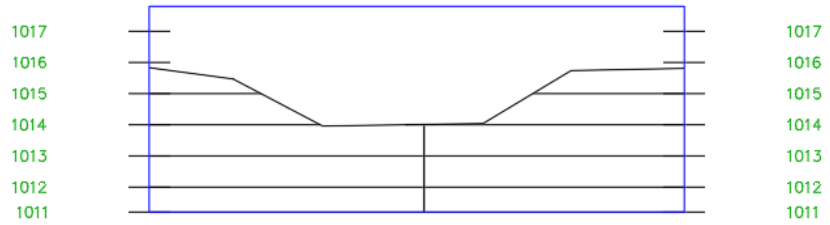


Ilustración 69 - Progresiva 1047.43

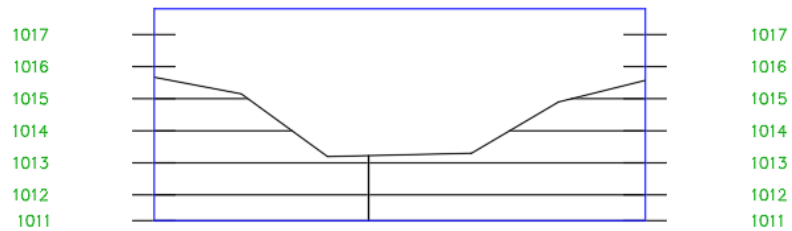


Ilustración 70- Progresiva 972.67

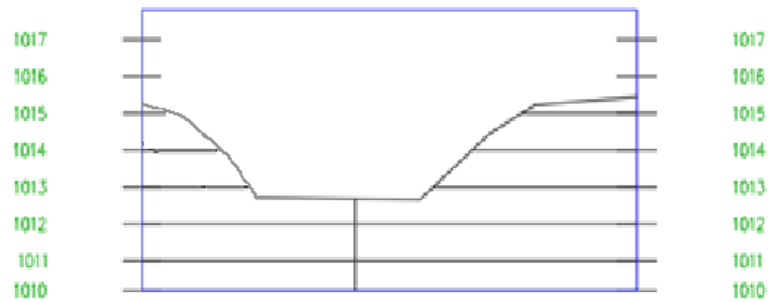


Ilustración 71- Progresiva 860.34

A. TRAMO 4

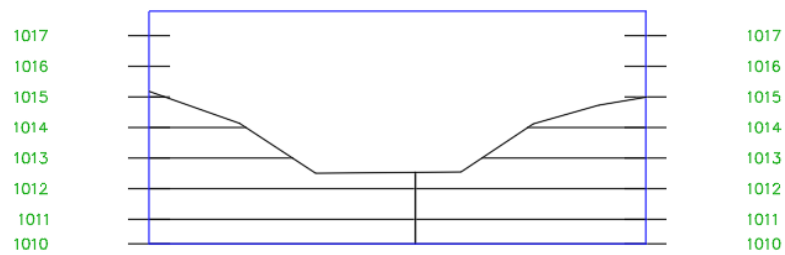


Ilustración 72 - Perfil transversal 839.03

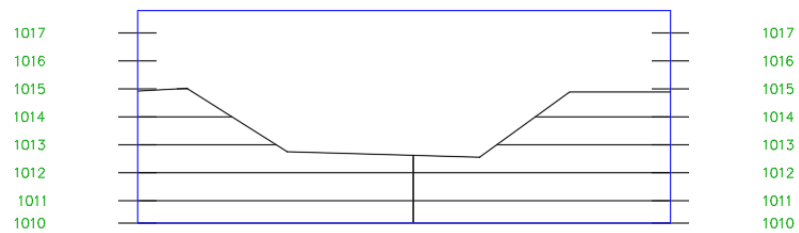


Ilustración 73 - Progresiva 703.24

B. Tramo 5

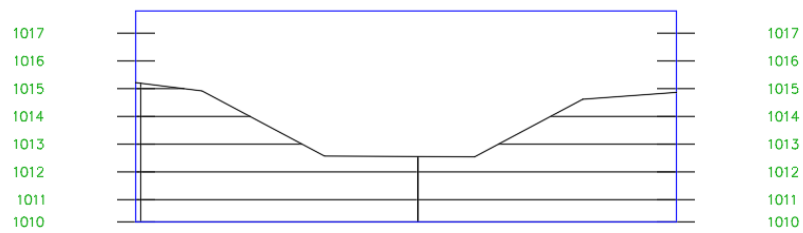


Ilustración 74 - Progresiva 682.54

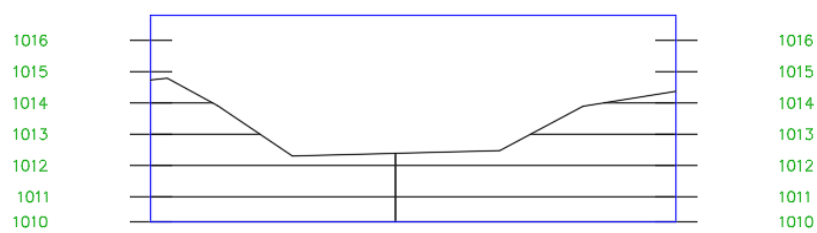


Ilustración 75 - Progresiva 592.29

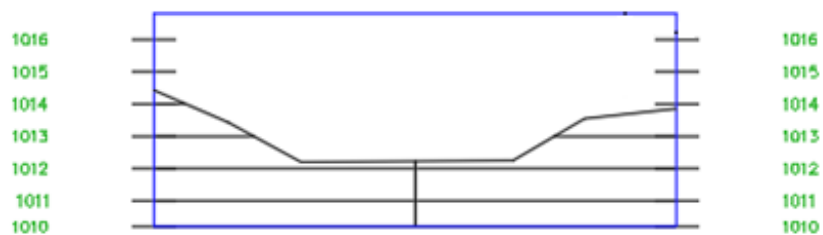


Ilustración 76 - Progresiva 460.50



Ilustración 77- Progresiva 0

ANEXO IV

descripción	área parcial subcuenca [ha]	coeficiente de escorrentía			coeficiente ponderado		
		periodo de retorno			periodo de retorno		
		25 años	50 años	100 años	25 años	50 años	100 años
subcuenca 1							
área desarrollada							
asfáltico	0,85	0,86	0,9				
concreto/techo	4,46	0,88	0,92	0,877	0,917		0,967
área total de la subcuenca [ha]	5,31						
subcuenca 2							
área desarrollada							
asfáltico	1,54	0,86	0,9				
concreto/techo	8,12	0,88	0,92	0,877	0,917		0,967
área total de la subcuenca [ha]	9,66						
subcuenca 3							
área desarrollada							
asfáltico	4,38	0,86	0,9				
concreto/techo	22,96	0,88	0,92	0,877	0,917		0,967
área total de la subcuenca [ha]	27,34						
subcuenca 4							
área desarrollada							
asfáltico	2,47	0,86	0,9				
concreto/techo	19,97	0,88	0,92				
área no desarrollada							
pastizales plano 0-2%	12,503	0,40	0,43	0,707	0,743		0,790
área total de la subcuenca [ha]	34,94						
subcuenca 5							
área desarrollada							
concreto/techo	12,05	0,88	0,92	0,487	0,519		0,561
área no desarrollada							
pastizales plano 0-2%	54,08	0,40	0,43				
área total de la subcuenca [ha]	66,13						
área total de la cuenca [ha]		143,38					

Tabla 18- Ponderación para cálculo de los coeficientes de escorrentía

ANEXO V



Ilustración 78- Croquis de Propuesta



Ilustración 79- resumen tabla 12

BIBLIOGRAFÍA:

- Hidrología Aplicada – Ven Te Chow David
- Hidrología de Canales abiertos- Ven te Chow David
- Diapositivas de clases- Ing. Chalabe- UCASAL
- Diapositivas de clases- Ing. Botelli- UCASAL
- CALCULO RELACIÓN IDT EN LA PCIA. DE SALTA Y ACTUALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS- Botelli, Guillen, García, Chalabe- Consejo Investigación UCASAL
- www.inta.gob.ar
- Apuntes de Hidrología- UCASAL- Ing. Francisco Ramos
- <https://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve>
- Apuntes del curso de posgrado -Hidrología Operacional
- <http://pivlab.blogspot.com.ar/>
- <http://riverdischarge.blogspot.com.ar/>,
- Manual del usuario de HEC – RAS