



ANEXO I

Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

1. Modelación hidrodinámica

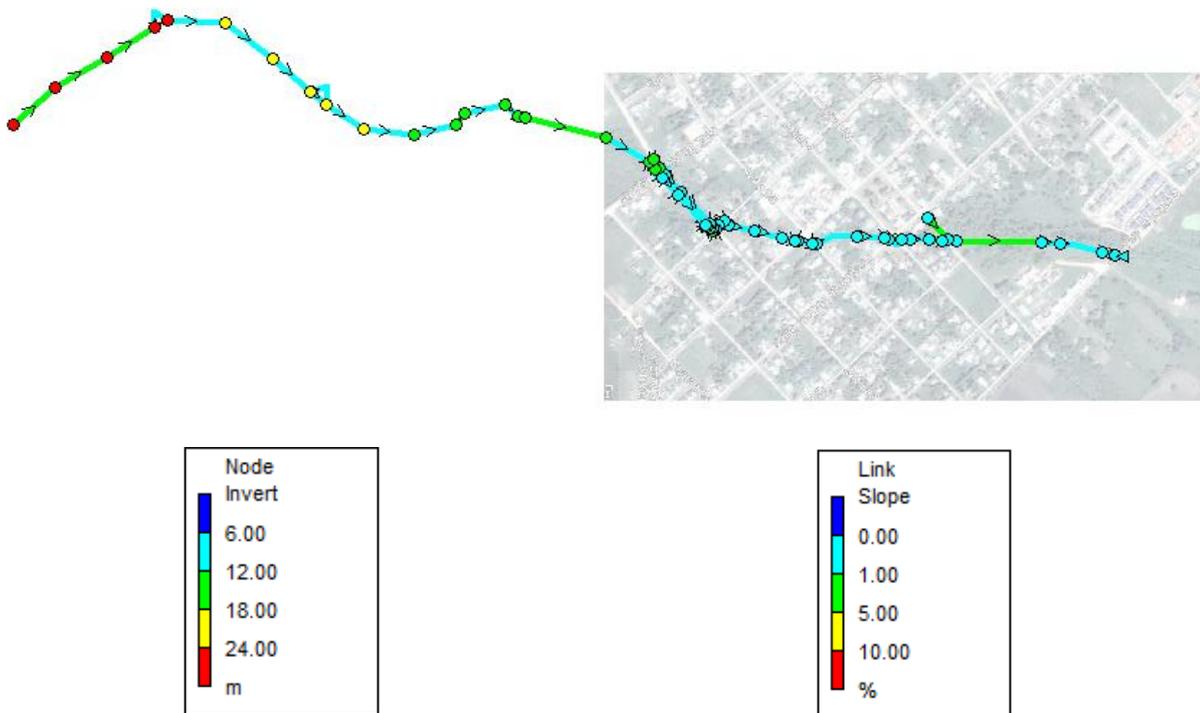
1.1. Desarrollo modelo EPA SWMM

Se desarrolló un modelo hidrodinámico del arroyo La Esmeralda en el software de dominio público EPA SWMM de la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés) debido a que el modelo en HEC-RAS presentaba ciertas inestabilidades dado el alto grado de alteración antrópica que presenta el curso actualmente.

Mediante este nuevo modelo se obtienen simulaciones más estables y permite realizar en forma más rápida los diversos cambios o propuestas de solución a ser analizadas y diseñadas en esta etapa.

La esquematización del arroyo La Esmeralda mediante nodos y conductos en EPA SWMM se muestra en la Figura 1-1, con los colores de los nodos representando la cota de zampeado de los mismos y las pendientes de los conductos. El perfil longitudinal del arroyo La Esmeralda en EPA SWMM se muestra en Figura 1-2.

Figura 1-1 Planta Modelo Arroyo La Esmeralda en EPA SWMM



ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
Marzo 2019

Figura 1-2 Perfil longitudinal Arroyo La Esmeralda en EPA SWMM

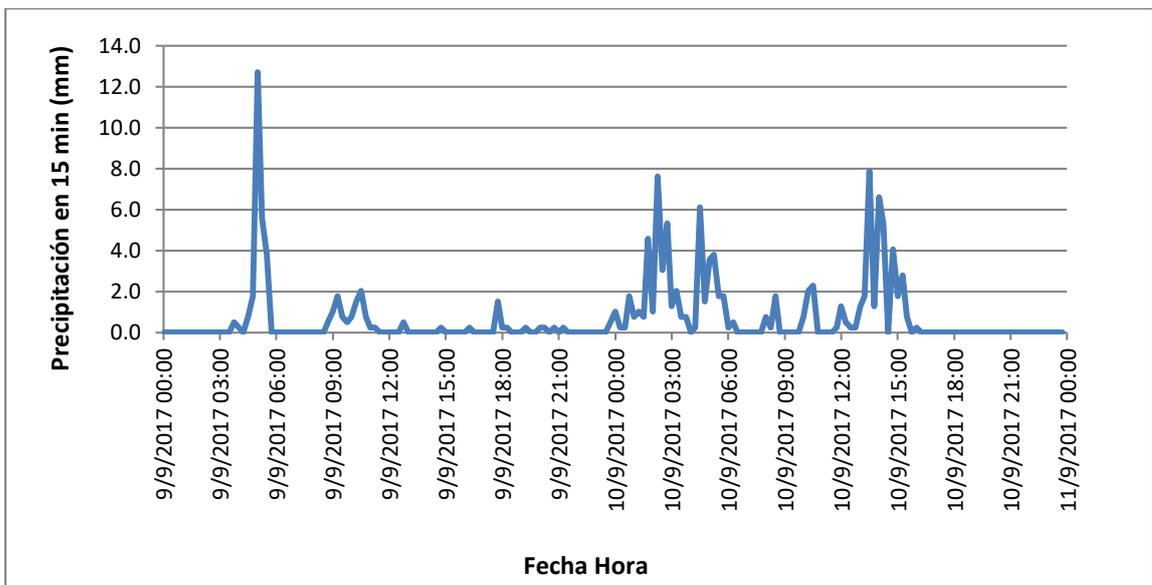


1.2. Calibración modelo con evento Setiembre 2017

Se obtuvieron los datos de pluviómetros instalados por la UdelaR gracias a la amabilidad del Dr.Ing. Pablo Gamazo, y con estos la precipitación que causó la inundación de setiembre de 2017, con la cual se generaron los hidrogramas de crecidas de las subcuencas en HEC-HMS y estos fueron introducidos en el EPA SWMM para así obtener los niveles de crecidas.

La precipitación acumulada cada 15 minutos durante los días 9 y 10 de setiembre de 2017 se muestra como gráfico en la Figura 1-3.

Figura 1-3 Precipitación bloques 15 min (mm) evento Set 17



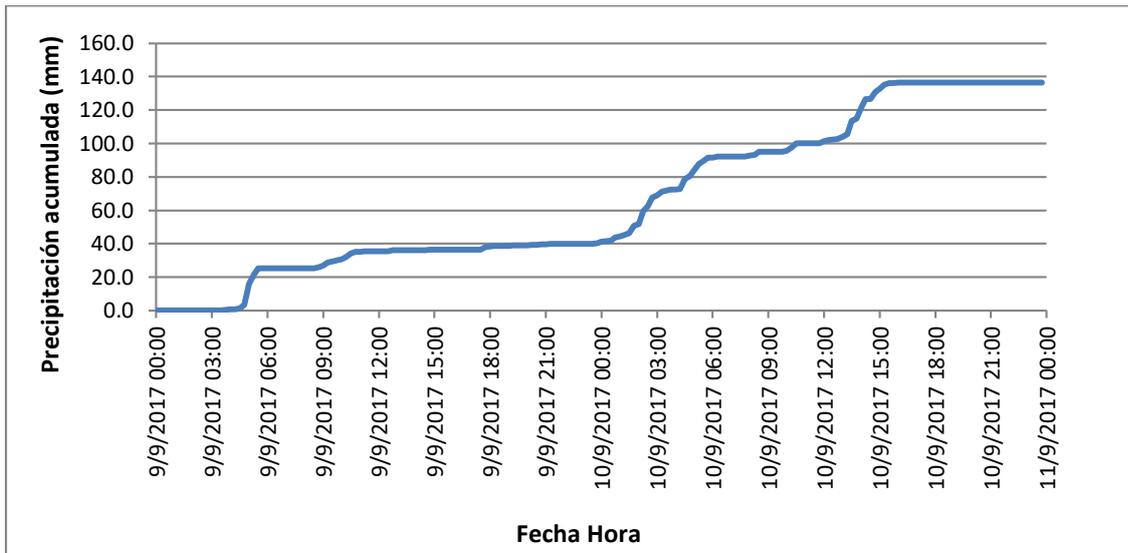
ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

Marzo 2019

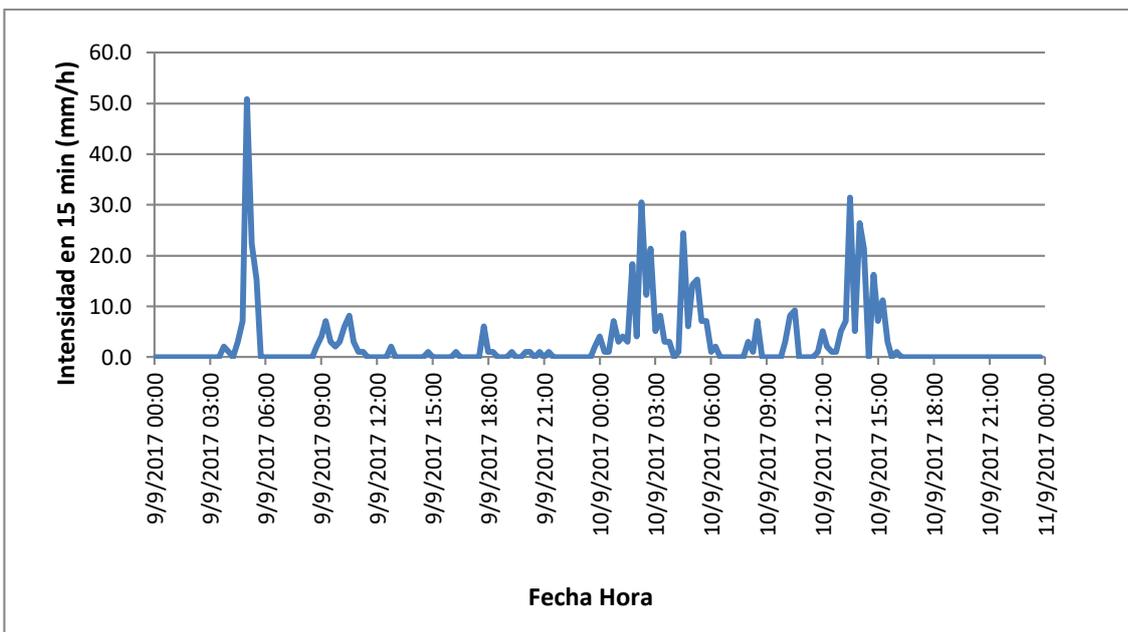
En la Figura 1-4 se muestra el acumulado total de precipitación durante dicho evento, el cual ascendió a unos 136,3 mm.

Figura 1-4 Precipitación acumulada (mm) evento Set 17



Las intensidades de precipitación de los bloques de 15 minutos se muestran en la Figura 1-5, los cuales alcanzaron valores de hasta 50 mm/h.

Figura 1-5 Intensidad bloques 15 min (mm/h) evento Set 17



El evento en cuestión fue analizado y comparado con las curvas IDF del Uruguay de forma de inferir cual fue la recurrencia del mismo. Es así que se analizaron los subeventos del mismo por separado y luego sumando dos sub eventos y luego tres sub eventos. Los resultados se presentan en la Tabla 1-1, donde puede observarse que si se considera cada subevento por separado el periodo de retorno de los mismos ronda el año, mientras que si los agregamos el 2+3 resulta en 2.5 años, y al considerar todo el evento 1+2+3 la recurrencia asciende a unos 5.7 años. No es trivial asignarle una recurrencia al evento ya que

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
Marzo 2019



entre los subeventos la respuesta de la cuenca ya puede haber disminuido y ser considerados como eventos independientes pero el estado de la cuenca ya fue alterado hidrológicamente, lo que nos da es una idea del orden de recurrencia que podemos esperar.

Tabla 1-1 Recurrencia del evento de Setiembre 2017

	sub Evento 1	sub Evento 2	sub Evento 3	Evento 2+3	Evento 1+2+3
Fecha	09/09/2017	10/09/2017	10/09/2017	10/09/2017	09-10/09/2017
Hora inicio	03:45:00	23:45:00	11:45:00	23:45:00	03:45:00
Hora fin	05:30:00	06:15:00	16:00:00	16:00:00	16:00:00
Duración (hs)	1.8	6.5	4.3	16.3	36.0
Precipitación (mm)	25.4	52.3	36.3	88.6	136.3
Intensidad (mm/h)	14.5	8.0	8.5	5.5	3.8
TR asociado (años)	0.8	1.3	0.8	2.5	5.7

Por otra parte se analizaron las fotografías de dicha inundación enviadas por la Intendencia de Río Negro, y se determinó que el nivel de inundación alcanzado en la esquina de Abayubá y Guayabo fue de aproximadamente +12.20 m Cero Oficial.

En la Figura 1-6 se aprecia la superficie de agua en la esquina de Abayubá y Guayabo por Abayubá hacia el Norte, se aprecia que levemente supero el cordón, el eje en el cruce de calles se encuentra aproximadamente en +11.90 m CO.

Figura 1-6 Inundación Setiembre 2017 en Abayubá y Guayabo desde Abayubá



Una vista superior de la misma esquina se aprecia en la Figura 1-7

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

Marzo 2019

Figura 1-7 Inundación Setiembre 2017 en Abayubá y Guayabo desde Guayabo



El modelo hidrodinámico en EPA SWMM con los hidrogramas obtenidos con HEC-HMS, dan en esa esquina un nivel máximo de +12.32 m Cero Oficial, lo cual se considera una precisión razonable. A su vez es correcto que el modelo de valores superiores a lo observado o estimado de la foto ya que si bien parecería que la foto fue tomada en el momento de máxima inundación no hay certeza de esto. Esto se logra con parámetros tanto hidrológicos como hidráulicos de bibliografía, lo cual brinda confianza tanto en la buena representación de la hidrología como de la hidráulica del problema.

Es así que con este nuevo modelo y su recalibración, se vuelven a obtener las manchas de inundación para los periodos de retorno de interés.

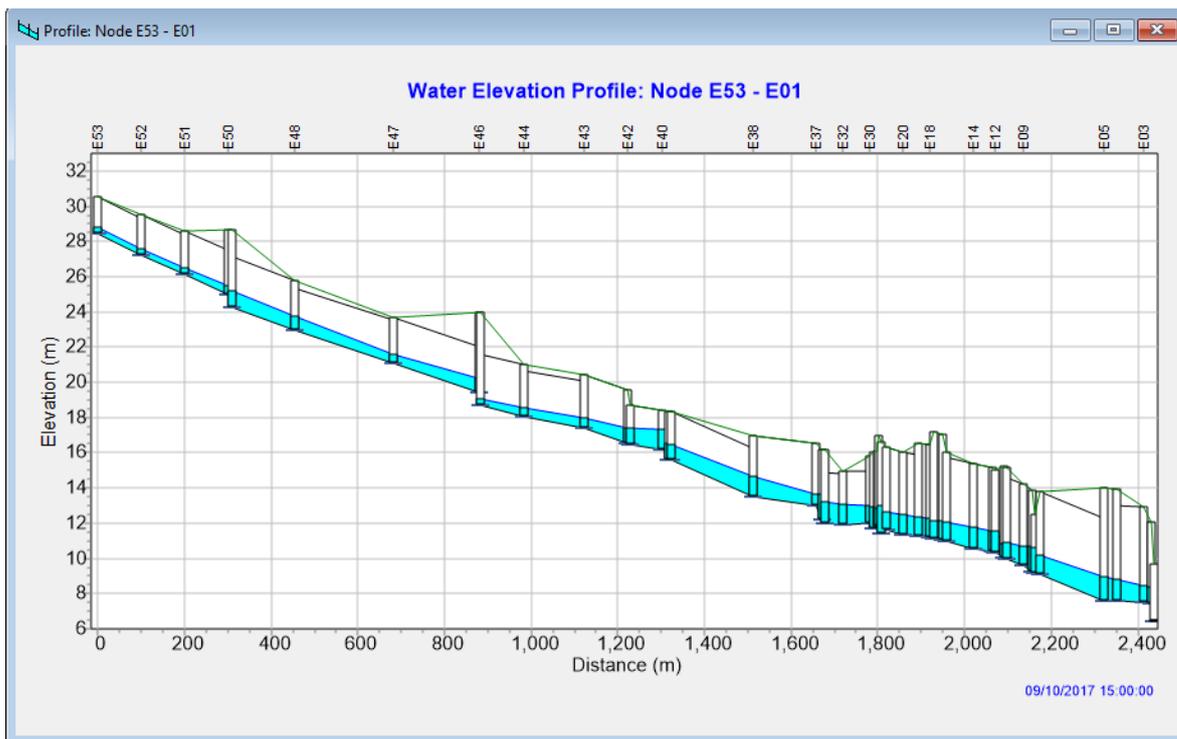
En la Figura 1-8 se muestra el perfil longitudinal de superficie máxima de agua en el arroyo La Esmeralda durante el evento.

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

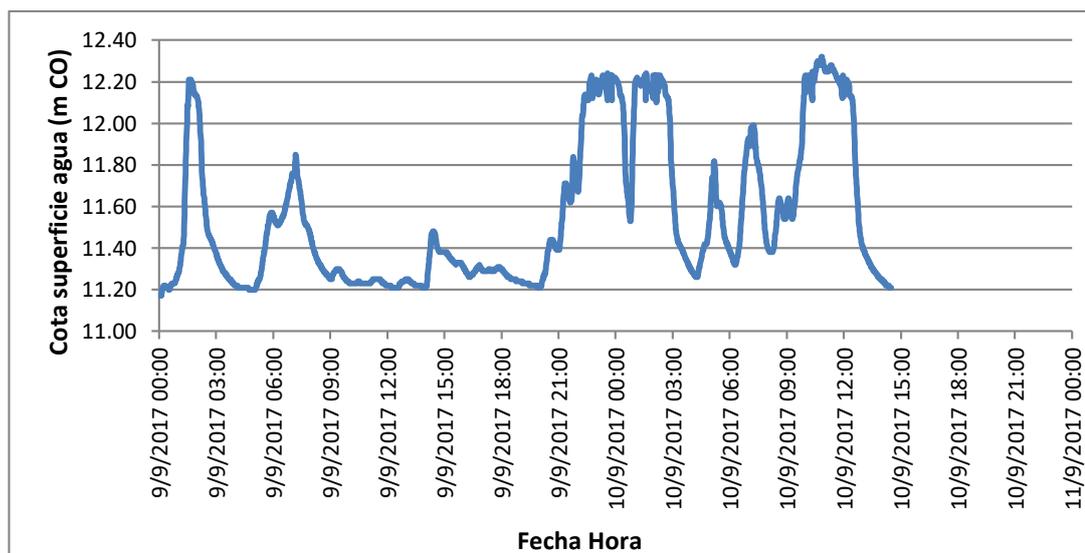
Marzo 2019

Figura 1-8 Perfil longitudinal Arroyo La Esmeralda 10/9/17 15:00 hs



Los niveles de la superficie máxima de agua en la esquina de Abayubá y Guayabo durante el evento de Setiembre 2017 se presentan en la Figura 1-9, puede verse que los 3 sub eventos ocasionan picos en el entorno de los +12.20 m CO.

Figura 1-9 Niveles en Abayubá y Guayabo evento Set 17

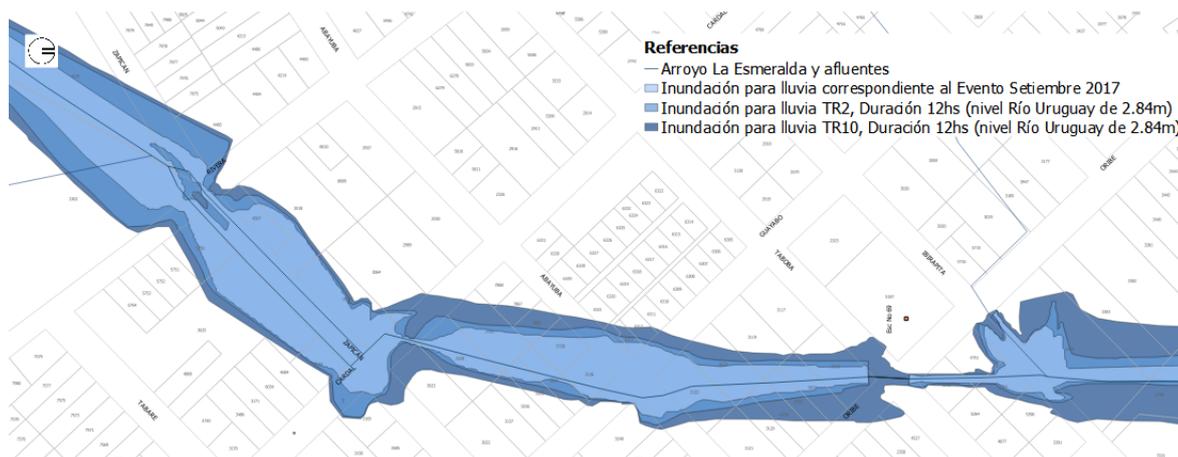


En la Figura 1-10 se pueden observar las manchas de inundación para las tormentas de diseño de TR 2 y TR 10 años (duración 12 horas), así como la mancha de inundación ocasionada durante el evento de Setiembre 2017, en la zona urbana más comprometida. Las manchas de inundación generadas en toda la cuenca se pueden ver en la lámina de diagnóstico ALE-DGN-DP-LA007

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
Marzo 2019

Figura 1-10 Manchas de inundación en zona urbana. TR (2,10) D12h y Set 2017



La siguiente tabla resume los valores de coeficiente de Manning que permitieron calibrar el modelo hidrológico

Tabla 1-2 Coeficientes de Manning

Descripción	n
Canal de hormigón	0.015
Canal sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar	0.040
Planicies con matorrales medios a densos	0.070
Planicies con árboles, algunos troncos caídos, poco matorrales y nivel de agua por debajo de las ramas	0.100
Planicies urbanizadas	0.150

1.3. Funcionamiento de las obras propuestas

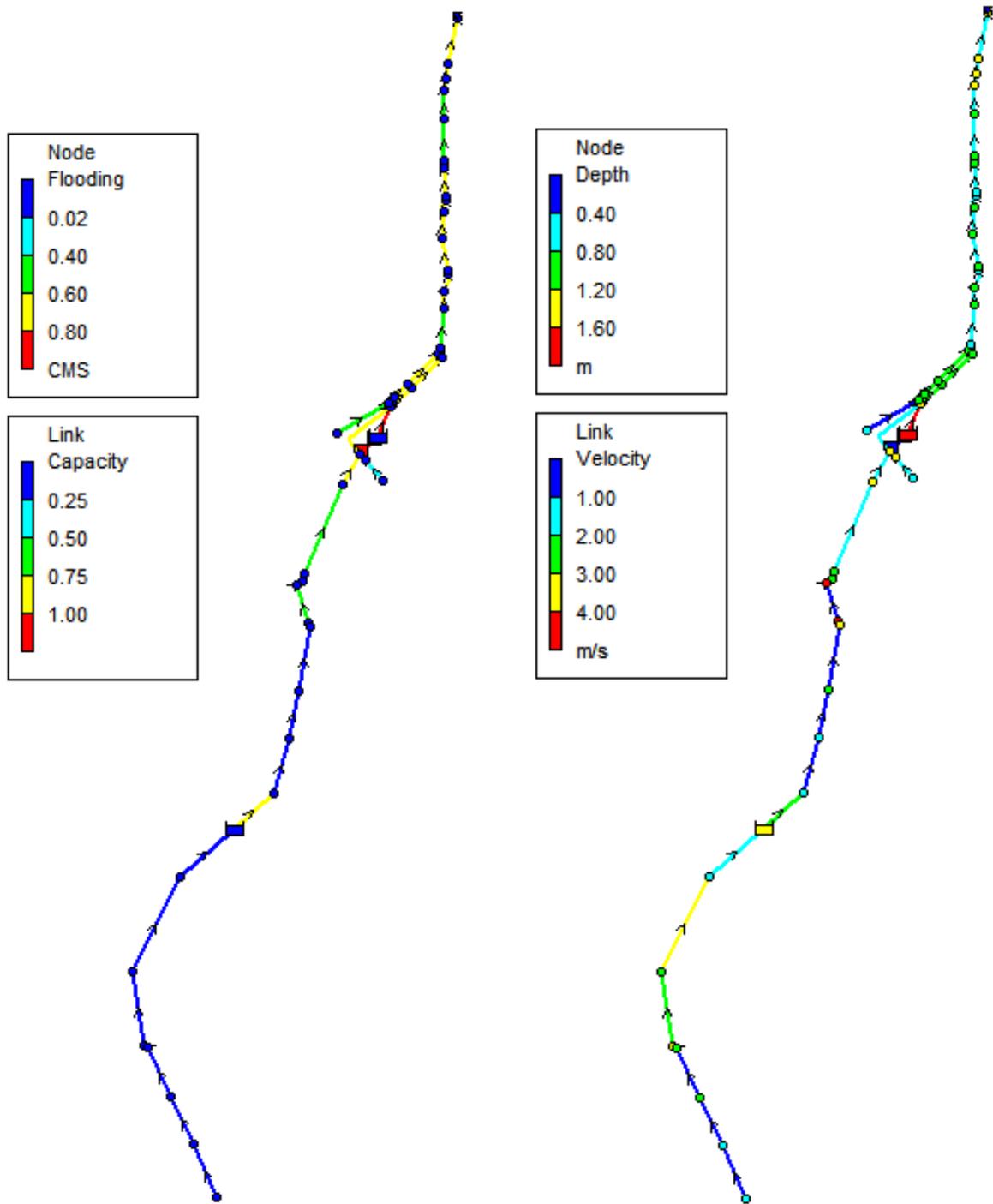
1.3.1. La Esmeralda

En la Figura 1-11 se muestran los principales resultados del funcionamiento del arroyo La Esmeralda en todo el tramo modelado, mientras que en la Figura 1-12 se muestran los principales resultados en el tramo de obras propuestas. En la figura a) se aprecia en los nodos los caudales de inundación, que al ser todos azules indica que no se escapa agua con lo cual el diseño es correcto, en los tramos de conductos la capacidad a la cual funcionan los mismos, es decir el porcentaje de la sección que es ocupada por agua, el único tramo a sección llena es el vertedero y la descarga de la laminación Rivera lo cual es deseable. En la figura b) se observa la profundidad de agua en los nodos y las velocidades en conductos.

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
Marzo 2019

Figura 1-11 Resultados en nodos y conductos del arroyo La Esmeralda para el evento de diseño (TR 10 años, duración 12 hs)



a) Capacidad en conductos e inundación en nodos

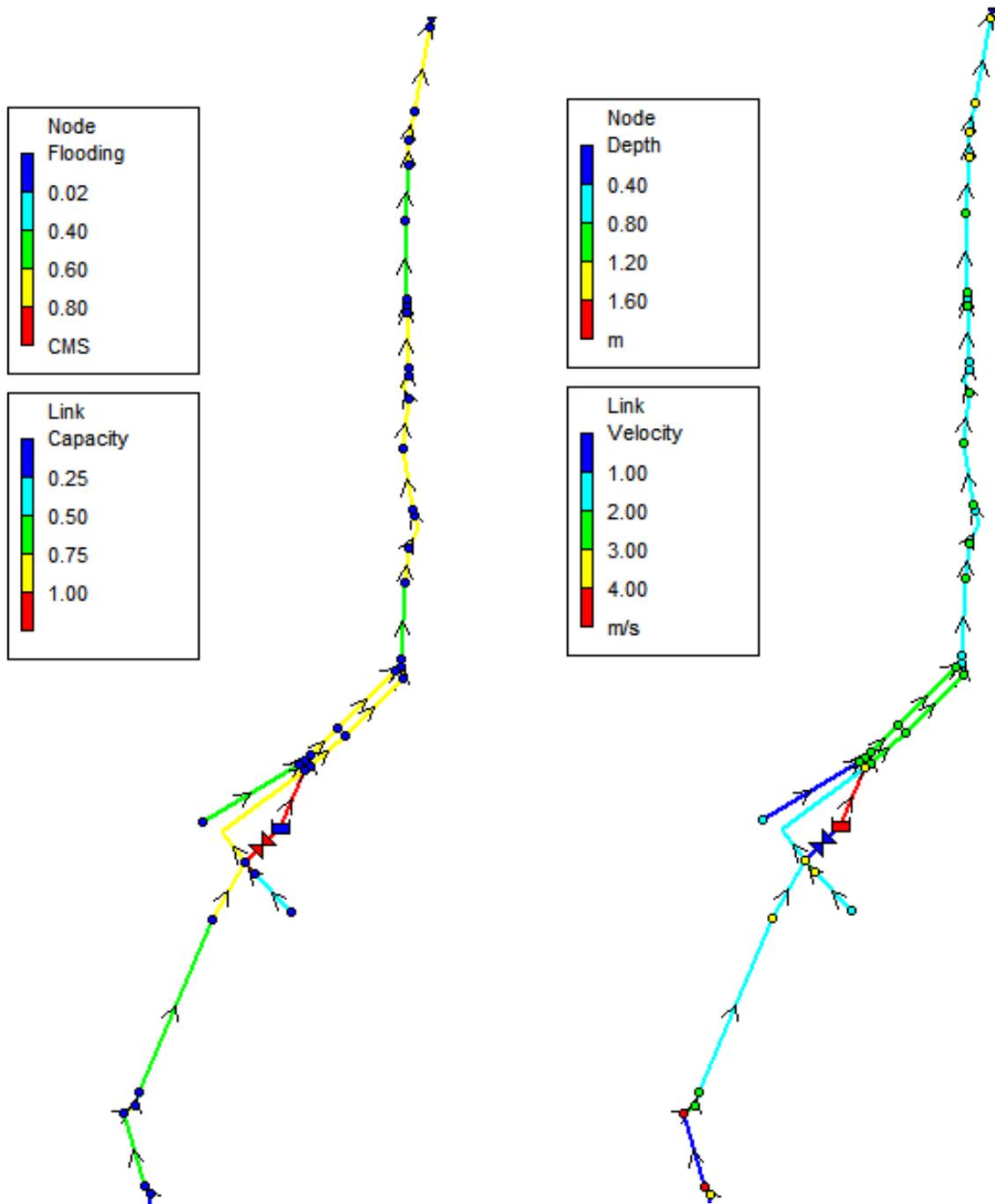
b) Velocidades en conductos y profundidad de agua en nodos

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

Marzo 2019

Figura 1-12 Resultados en nodos y conductos en el tramo de obras para el evento de diseño (TR 10 años, duración 12 hs)



a) Capacidad en conductos e inundación en nodos

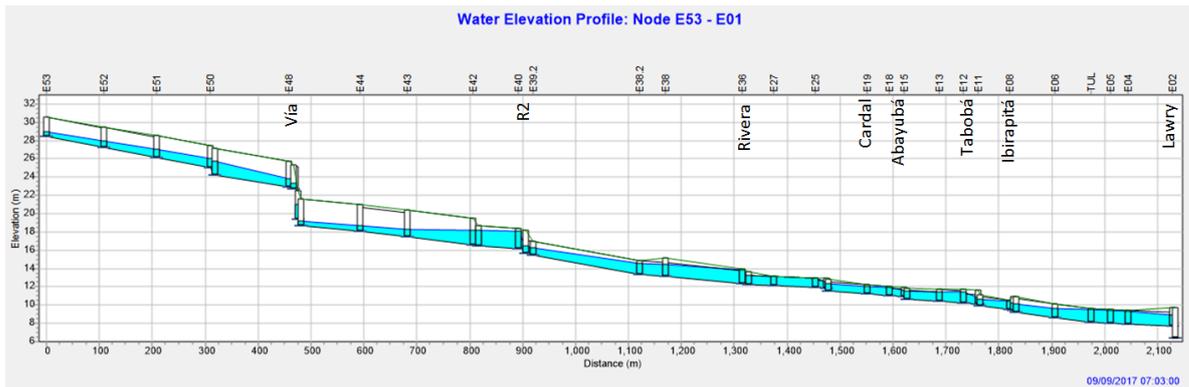
b) Velocidades en conductos y profundidades de agua en nodos

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
Marzo 2019

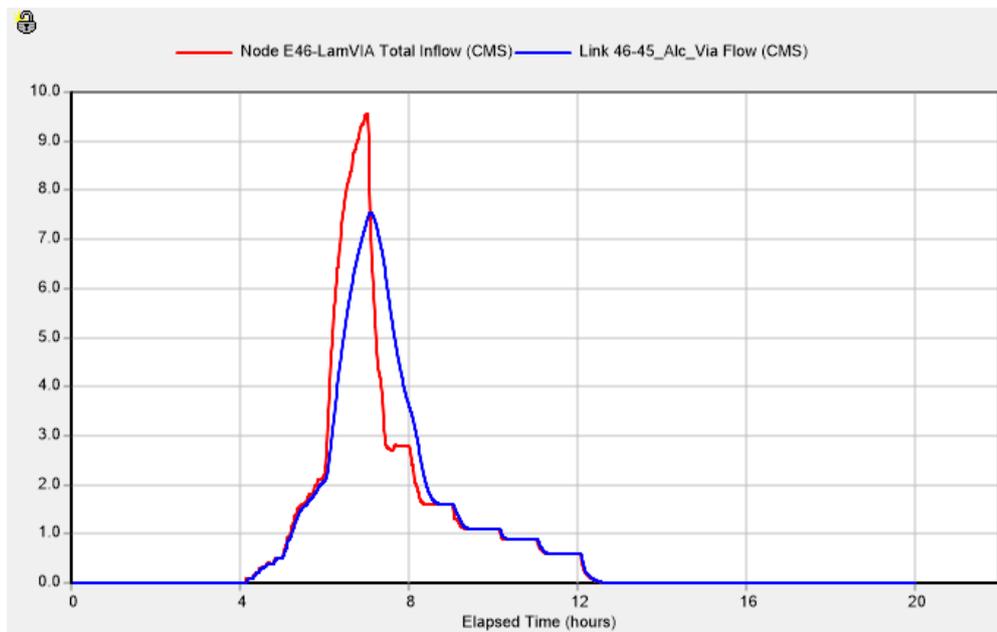
El perfil longitudinal del tramo modelado y la máxima superficie de agua del arroyo La Esmeralda una vez construidas las mismas se presenta en la Figura 1-13

Figura 1-13 Perfil longitudinal arroyo La Esmeralda



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el hidrograma aguas arriba de la vía férrea (rojo) y los caudales a través de la alcantarilla de la vía (azul). Se puede apreciar como la alcantarilla existente tiene un efecto de laminación y amortiguación de caudales, reduciendo los caudales de unos 9.5 m³/s a 7.6 m³/s.

Figura 1-14 Hidrograma aguas arriba y aguas debajo de la Vía Férrea



El funcionamiento de la laminación de Rivera se muestra en la Figura 1-15, en este caso la misma opera en forma paralela, es decir no todo el hidrograma ingresa a la misma sino solo cuando el canal supera cierto umbral, de esta forma se evita ocupar volumen de la misma en los instantes iniciales ya que la disponibilidad de área y/o profundidad en esta zona es muy acotada. Aun así bajo estas estrictas restricciones se alcanzó un diseño que pueda colaborar con la reducción del pico desde unos 13.8 m³/s a

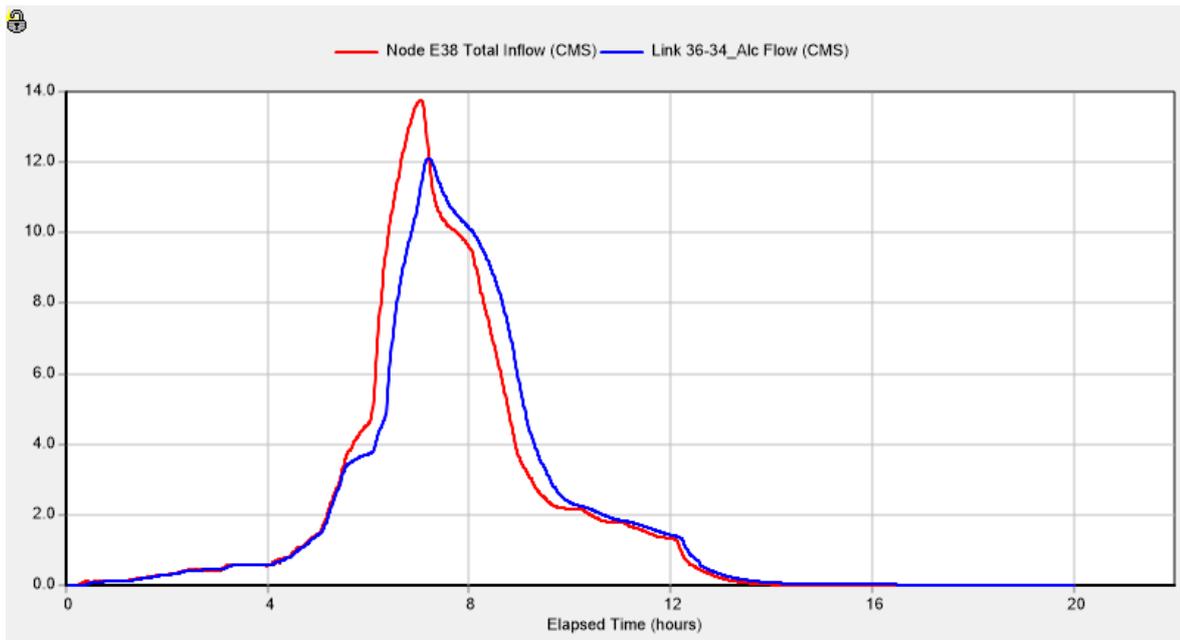
ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

Marzo 2019

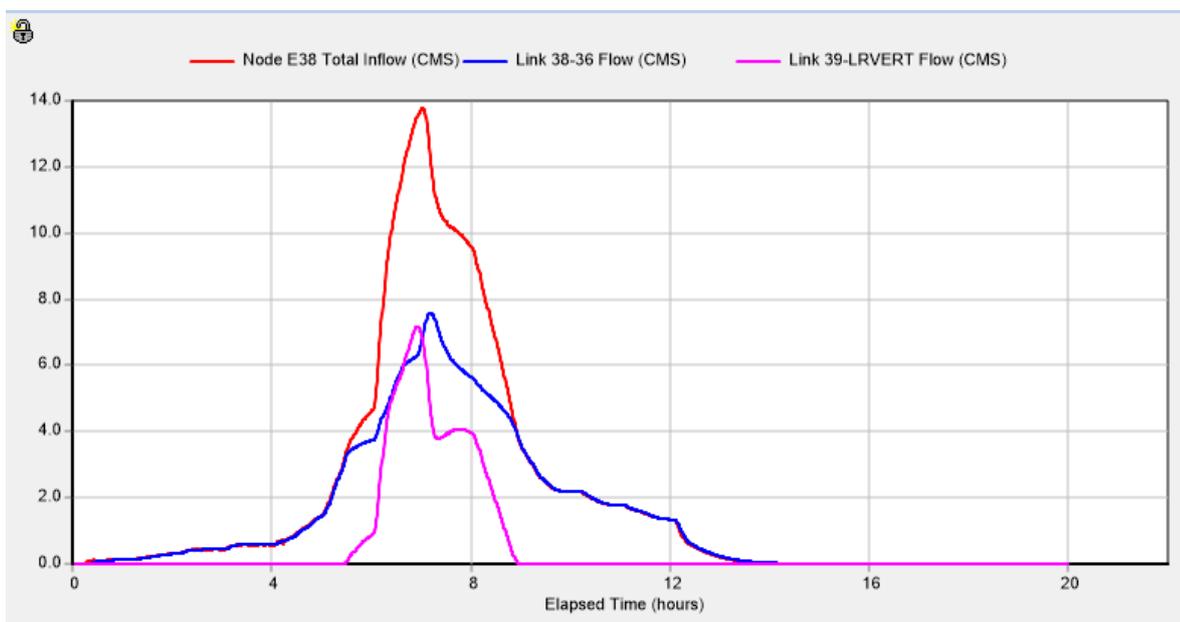
unos 12.1 m³/s, que en cierta medida colabora a la reducción del problema en la zona conflicto de Abayubá y Rivera.

Figura 1-15 Hidrograma de entrada y salida Laminación Rivera



En la Figura 1-16 se puede observar cómo se distribuye el hidrograma de entrada (rojo) en el sistema Laminación Rivera: Caudal de ingreso al lago de amortiguación (magenta) y caudal que continúa por el canal paralelo (azul).

Figura 1-16 Distribución del hidrograma de entrada en el sistema Laminación Rivera

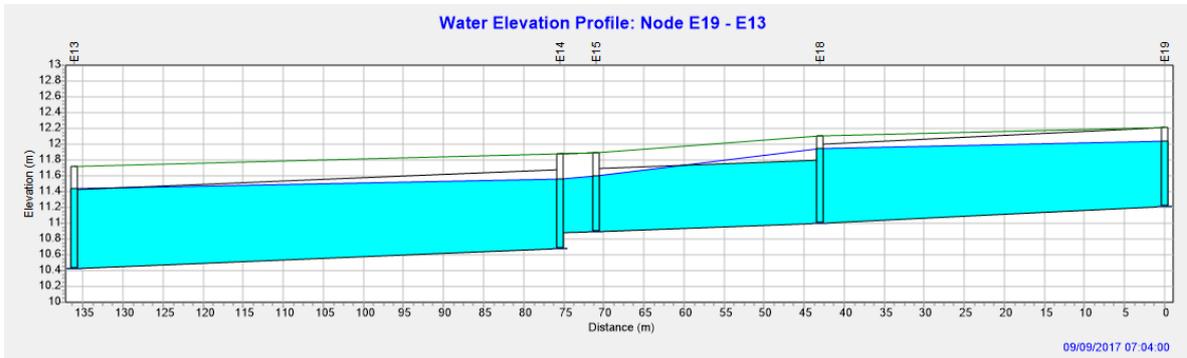


ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
Marzo 2019

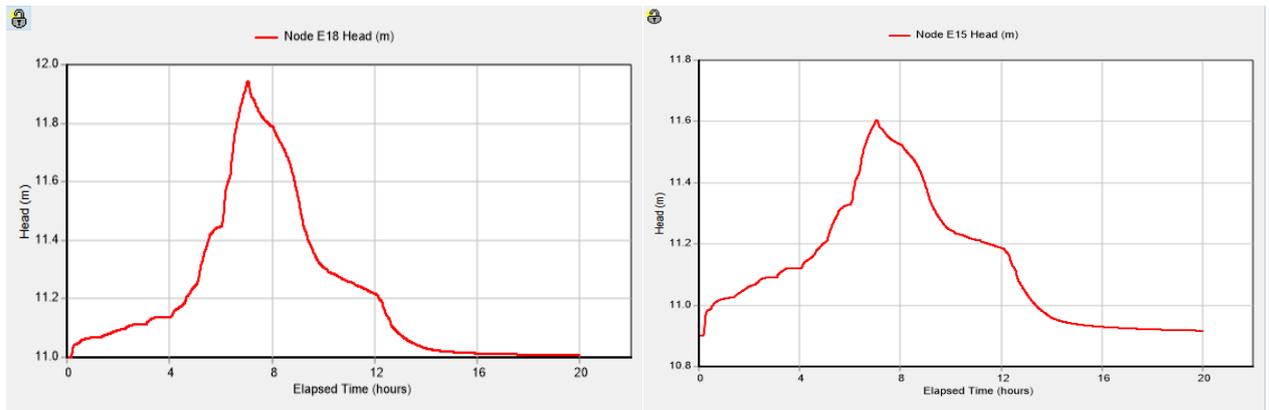
El la Figura 1-17 se observa el perfil longitudinal y las cotas máximas de agua en el punto conflictivo de Abayubá y Guayabo, la alcantarilla proyectada se ubica entre los nodos E18 (aguas arriba) y E15 (aguas abajo).

Figura 1-17 Perfil longitudinal y cotas máximas de agua en esquina Abayubá-Guayabo



En la Figura 1-18 se muestran los niveles de la superficie de agua sobre la calle Guayabo (a) y Abayubá (b) con las obras propuestas. Se aprecia como sobre la calle Abayubá no alcanza los +11.60 m CO, con lo cual dado que el eje de calle se encuentra en +11.90 m CO, se tendría una revancha mayor a los 0.40 m. Sobre la calle Guayabo, el eje de calle se encuentra en +12.10 m CO y los niveles alcanzan la cota +11.94 m CO, dando lugar a una revancha de 0.16 m.

Figura 1-18 Limnigramas en Abayubá y Guayabo



a) Calle Guayabo

b) Calle Abayubá

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

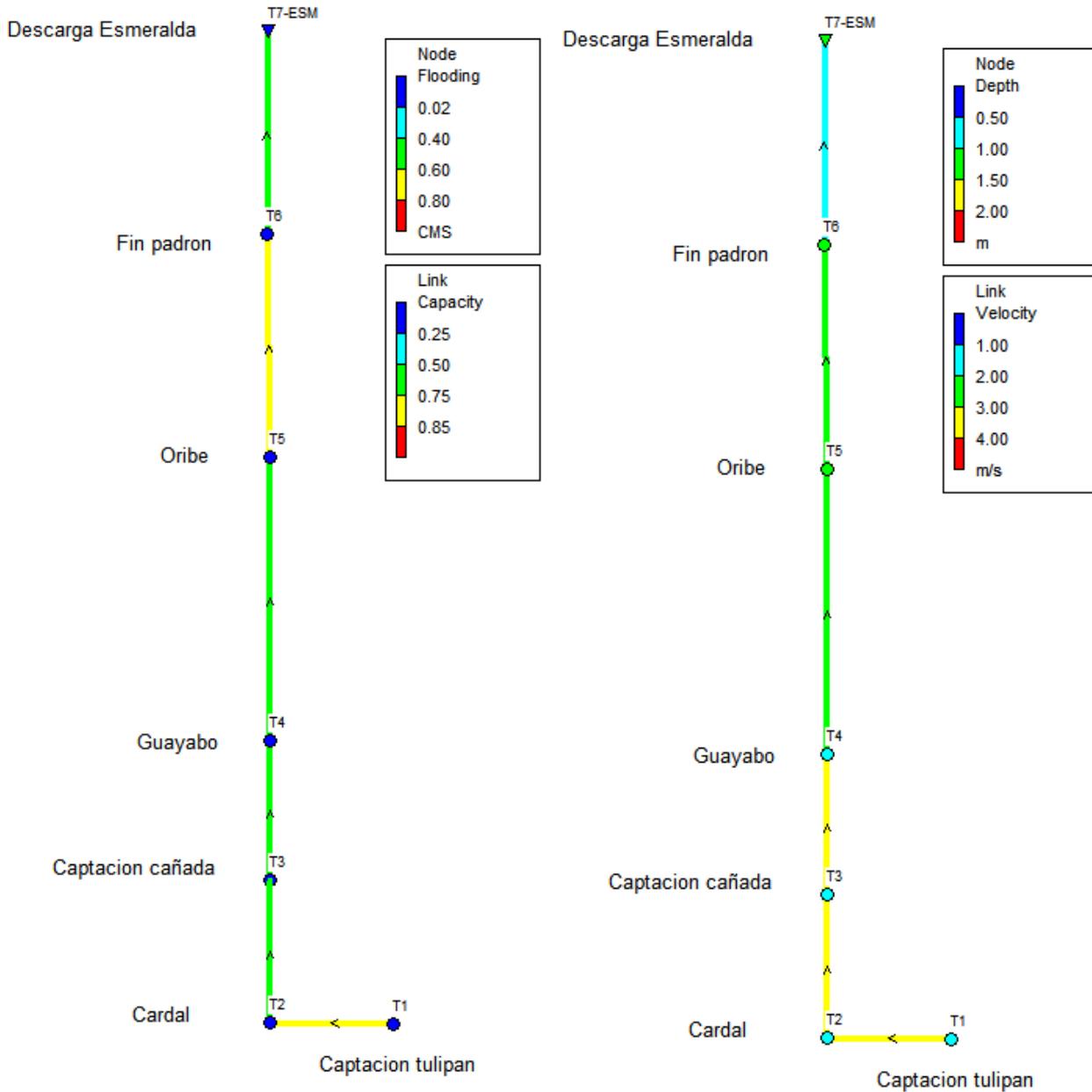
Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

Marzo 2019

1.3.2. Tulipán

En la Figura 1-19 se muestra el funcionamiento del Interceptor Tulipán, en la a) se aprecia que no hay inundación en los nodos y que los colectores diseñados trabajan como máximo al 85%, en la b) se muestra las profundidades máximas en las cámaras y las velocidades en los cuales no superan los 4 m/s.

Figura 1-19 Resultados Interceptor Tulipán



a) Capacidad en colectores e inundación en nodos

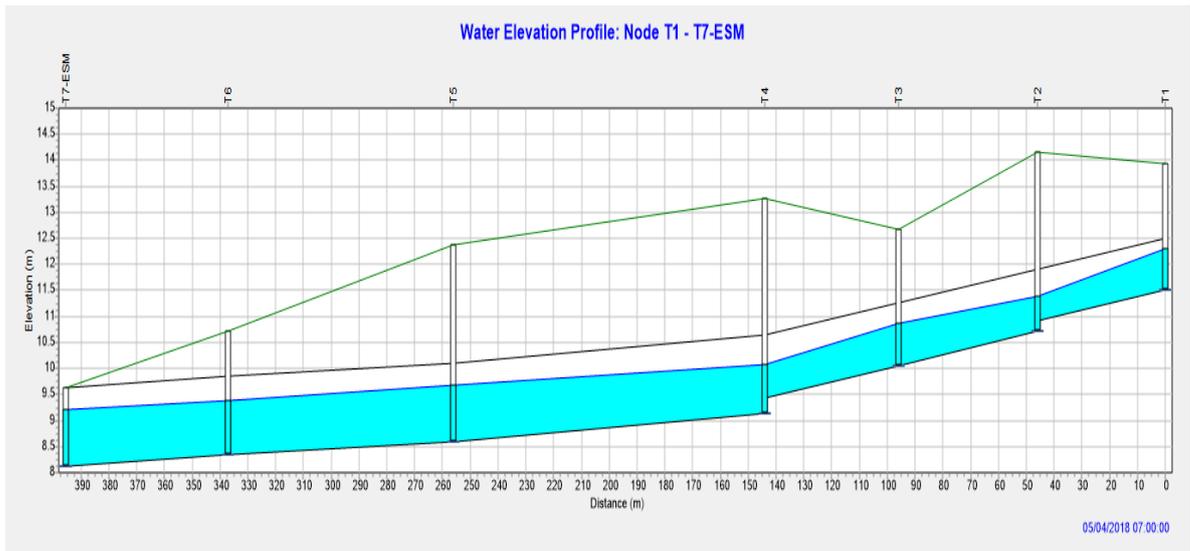
b) Velocidad en colectores y profundidad de agua en nodos

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.
 Marzo 2019

El perfil longitudinal del interceptor y la superficie máxima de agua en el mismo se presenta en la Figura 1-20.

Figura 1-20 Perfil longitudinal Interceptor Tulipán



En ambas figuras puede verse que el interceptor no entra en carga y funciona en forma eficiente sin superar la profundidad de agua el 85% de la altura de sección disponible y con velocidades admisibles.

2. Apéndice: Verificación de velocidades y tensiones rasantes

2.1. Verificación de velocidad para TR 10 años

ANEXO I – Modelación Hidrodinámica – Proyecto Ejecutivo

Diagnóstico integral y proyectos técnicos de infraestructura para la cuenca urbana del arroyo La Esmeralda de la ciudad de Fray Bentos, Departamento de Río Negro.

Marzo 2019

2.2. Verificación de tensión rasante para TR 2 años