

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

XIX CONGRESO CHILENO DE HIDRAULICA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE OBRAS DE MANEJO DE CAUCES CON MODELACIÓN BIDIMENSIONAL MIKE 21

KARLA GONZALEZ.¹
BARBARA RONDA²
LUIS ZAMORANO³

1. RESUMEN

El trabajo consiste en el estudio hidráulico de un tramo de aproximadamente 20 km del río Cruces, a la altura de la localidad de Lanco, que de manera regular presenta desbordes del río hacia su planicie de inundación, provocando inundaciones de la zona urbana, cruces viales y férreos que interrumpen el uso de dicha infraestructura. Las inundaciones ocasionadas por los desbordes del río Cruces son una problemática compleja de abordar, para lo cual se estudió a través de un modelo hidráulico del cauce del tipo bidimensional, la hidrodinámica imperante en la zona del estudio. Posteriormente con este modelo hidráulico se estudiaron las posibles obras de mejoramiento que disminuyeran las inundaciones, u obras de manejo de cauces, de modo de cuantificar el grado de mejoramiento posible de lograr, así como posteriormente cuantificar el costo de dichas obras. El estudio permitió evaluar 6 alternativas de manejo de cauces y su grado de mejoramiento desde el punto de vista de la disminución de las inundaciones. El modelo utilizado fue el modelo danés bidimensional MIKE21 del DHI, en su módulo hidrodinámico FM (Flow Model).

¹Ingeniero Civil Hidráulico GHD - mail: karla.gonzalez@ghd.com

²Ingeniero Civil Hidráulico GHD - mail: barbara.ronda@ghd.com

³Ingeniero Civil Hidráulico GHD - mail: luis.zamorano@ghd.com

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca en el estudio de factibilidad técnico y económico de obras tendientes a solucionar y/o mitigar el problema de inundaciones en el área urbana y rural de Lanco, que solicitó desarrollar la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas, en materia de protecciones fluviales, a través de su Departamento de Obras Fluviales.

El sistema actual de drenaje superficial que posee la localidad de Lanco lo conforma principalmente el río Cruces, el que en caso de crecidas, no es capaz de conducir todo el caudal del río con lo cual se producen inundaciones de importancia con los consecuentes daños producidos a la población residente.

Este cauce natural recibe las aguas del río Leufucade el cual incorpora un volumen de agua que agrava el problema de inundaciones en las zonas aledañas a ambos ríos.

Se tienen registros de inundaciones para eventos con período de retorno menor a 10 años, con lo cual podemos afirmar que las inundaciones son recurrentes o de alta probabilidad de ocurrencia.

El objetivo general del estudio fue entregar, a nivel de factibilidad, una proposición de medidas estructurales destinadas a dar solución o reducir los riesgos de inundación y sus efectos en el área urbana y rural colindante con la ciudad de Lanco, producto de las crecidas de los ríos Cruces y Leufucade. Por esto es que se solicitó realizar un Análisis Hidráulico Fluvial de la zona afectada, que permitiese determinar las alturas de agua, velocidades del escurrimiento, direcciones del flujo y otros parámetros del escurrimiento, asociados a los caudales determinados en el estudio hidrológico que permitirán realizar los diseños de las soluciones estructurales.

Para desarrollar dichos análisis se aplicó una metodología que requiere del desarrollo de las siguientes etapas:

- 1) Reconocimiento del Área de Estudio
- 2) Incorporación Información Base al Modelo Hidráulico
- 3) Calibración y Validación del Modelo Hidrodinámico
- 4) Diagnóstico de la Situación Actual
- 5) Estudio de Alternativas Estructurales

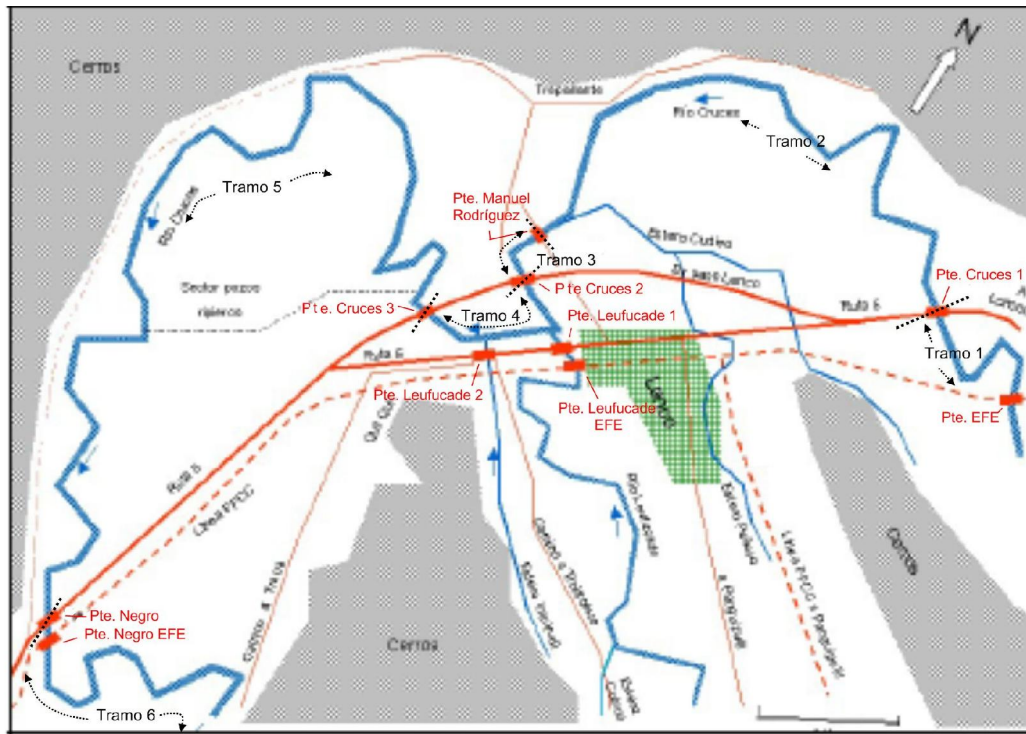
En el diagnóstico de la situación actual se determinaron las zonas afectadas para las crecidas con periodos de retorno de 2, 5, 20, 50 y 100 años. Dado que la zona a estudiar incluye áreas urbanas se consideró principalmente como escenario de interés el caso de crecidas de 100 años, con lo cual se elaboró el diagnóstico de la situación actual y posteriormente se desarrolló el estudio de alternativas y análisis hidrodinámico de mejoramientos. Las obras de mejoramiento consideraron como solución al problema obras y medidas estructurales como las siguientes:

- a) Obras para reducir los niveles de escurrimiento en los cauces.
- b) Obras para reducir los riesgos de desbordes en sectores críticos de riberas.
- c) Obras para proteger directamente áreas o bienes específicos.

- d) Medidas de reasentamiento de población, demolición o modificación de obras existentes.

La zona del estudio se muestra en la siguiente figura, donde el río ha sido clasificado en 5 tramos tal como se indica en la figura.

Figura 1: Zona de Estudio



2. METODOLOGÍA

La herramienta utilizada fue el modelo hidrodinámico no permanente bidimensional MIKE 21 en su módulo HD (Hydrodynamics) o también conocido como Flow Model. Este modelo bidimensional fue desarrollado por el Danish Hydraulic Institute, el cual permanentemente incorpora mejoras al programa. La versión del programa que se utilizó en el caso de los ríos Cruces y Leufucade corresponde a la versión última del año 2007.

Se realizaron un conjunto de modelaciones matemáticas de la hidrodinámica de los Ríos Cruces y Leufucade a lo largo de los 20 km y 4 km respectivamente en torno a la localidad de Lanco. En esta zona el Río Cruces presenta curvaturas y meandros de importancia, y a esto se agrega el cruce de 4 puentes y de la Ruta 5 Sur. En las cercanías de la localidad de Lanco se une el Río Leufucade al Río Cruces.

Para realizar los estudios hidrodinámicos se consideraron los resultados del análisis hidrológico desarrollado en el estudio. Se modelaron caudales asociados a algunos de los períodos de retornos

de 1, 2, 5, 25, 50 y 100 años, para las condiciones actuales de los ríos, de modo de determinar la línea base de las características hidrodinámicas.

El trabajo de la Modelación Fluvial constó de las siguientes etapas:

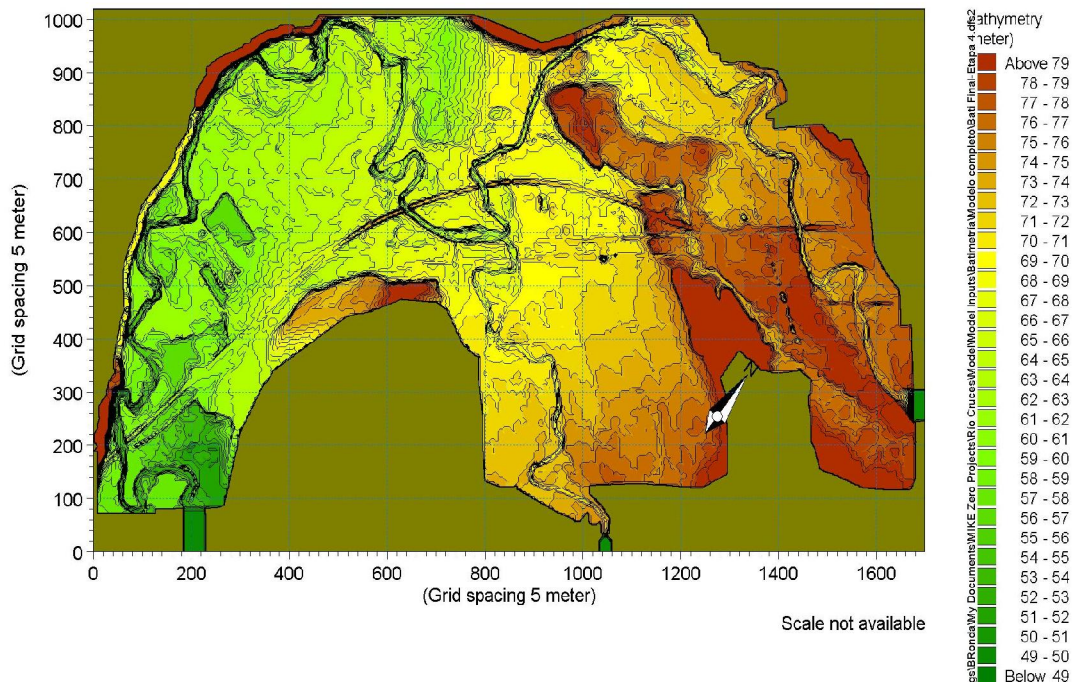
- Elaboración Grilla de Modelación
- Definición de Condiciones de Borde
- Calibración y Validación
- Diagnóstico Situación Actual
- Modelación Alternativas Mejoramiento

Para determinar el dominio físico empleado en la modelación numérica del escurrimiento del río de interés, se tomaron las siguientes consideraciones:

- La zona a modelar deberá comprender una extensión tal, que asegure una buena representación de los fenómenos físicos que caracterizan el comportamiento hidrodinámico del sector en estudio, incluyendo todos los accidentes topográficos, obras o singularidades existentes, capaces de alterar las características del escurrimiento.
- El espaciamiento óptimo de la grilla de modelación, será aquel que permita una representación correcta de los fenómenos hidrodinámicos generales a lo largo del cauce, y una detallada representación de los fenómenos locales.

Como resultado final, se obtuvo la batimetría de modelación generada con el módulo de interpolación de profundidades del modelo MIKE21, a partir de la información obtenida del trabajo topográfico y de gabinete. A continuación se presenta la Grilla de Modelación de la zona del estudio.

Figura 2: Grilla de Modelación



Bajo estas consideraciones, se definió una grilla orientada a -38° respecto del Norte, con un origen de grilla determinado por las coordenadas UTM E: 688.815 y N: 5625724 referidas al Datum WGS-84, M.C. 75° Sur, Zona 18. El tamaño definido para las celdas de las grillas del dominio físico o resolución del modelo, fue de un ancho de 5 metros en ambas direcciones, lo que se traduce en términos prácticos en una malla de 1700 nodos en dirección X, y de 1020 nodos en dirección Y.

Para su normal funcionamiento el programa requiere en cada celda de la malla de la siguiente información: batimetría, criterios de inundación y resistencia del fondo.

La resistencia del fondo corresponde al coeficiente de rugosidad, para lo cual se deben determinar las características granulométricas del lecho (diámetros característicos de las muestras). Adicionalmente, para especificar la condición frontera se puede escoger, para cada tramo, entre las siguientes combinaciones: especificar niveles de agua y direcciones de flujo y especificar flujo total (descarga) y direcciones de flujo

Se debe establecer las condiciones y parámetros de modelación, así como describir las condiciones frontera o condiciones de borde. A continuación se comienza el proceso de calibración del modelo, a través del cual se ajustan los parámetros del modelo con mediciones de campo o registros de caudales medidos anteriormente.

Posteriormente se modela la situación actual para los escenarios hidrológicos de interés, con lo cual se obtienen los niveles de la superficie libre, velocidades y flujos en todo el dominio físico de modelación. Con esto se obtienen las áreas de inundación y las principales zonas afectas a solicitaciones hidráulicas importantes. Se identifican los patrones de flujo del cauce y se determinan las zonas posibles de erosión y de depósito de sedimentos.

A continuación se considera una etapa de presentación de alternativas de mejoramiento, en forma esquemática, de modo de escoger aquellas que sean técnica y económicamente factibles de implementar.

Una vez definida las alternativas de mejoramiento, se realizan las modelaciones de las alternativas para los escenarios hidrológicos de interés. Se rescatan los resultados para todas las variables hidráulicas de relevancia; altura del nivel de agua, velocidades, patrones de circulación, flujos, etc.

Se analizan los resultados y se estima el grado de mejoramiento por efecto de la implementación de cada alternativa.

Se identifican las posibles zonas de erosiones o depositaciones de sedimentos ya que, producto de la solución a implementar, podría alterarse el equilibrio sedimentológico del tramo en estudio.

Modelo Numérico MIKE 21 HD

MIKE 21 HD es un sistema de modelación para flujos en superficie libre en dos dimensiones. MIKE 21 es aplicable a la simulación de fenómenos hidráulicos y medioambientales en río, lagos, estuarios, bahías y zonas costeras.

Este programa puede ser usado para simular un amplio rango de efectos hidráulicos relativos a corrientes y efectos de la marea, crecidas, temperatura y calidad del agua.

El módulo hidrodinámico, que es la base del programa MIKE 21 HD, simula las variaciones del nivel de agua como respuesta a las fuerzas que intervienen en el cuerpo de agua a analizar. Los efectos que incluye este módulo son; tensiones de corte de fondo, variaciones del gradiente de presión, fuerza de Coriolis, dispersión del momentum, tensores de radiación, aportes y extracciones de agua e inundaciones.

Ecuaciones del Modelo Numérico Bidimensional

Las ecuaciones utilizadas por el módulo hidrodinámico (HD), de MIKE21 para describir el flujo y las variaciones de nivel, son las ecuaciones de masa y momentum (Ecuaciones de Reynolds), para el flujo medio, verticalmente integradas y temporalmente promediadas a escala de la turbulencia. Por lo tanto, sólo es posible estudiar áreas caracterizadas por patrones de corrientes esencialmente horizontales, para las cuales el supuesto de una estructura vertical de forma constante sea aceptable.

Para el modelamiento de la turbulencia se utiliza la hipótesis de Boussinesq para la viscosidad de remolino, la que es tratada mediante un submodelo de tipo algebraico, permitiendo el uso de una viscosidad constante o bien el de una viscosidad dependiente de los gradientes del campo de velocidades de corriente.

En resumen, el principal propósito del módulo hidrodinámico HD, que se presenta a continuación, es resolver las ecuaciones de continuidad y momentum para el flujo medio (Mei, 1983). Estas quedan expresadas por:

Continuidad:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Momentum en dirección x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{g p \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \quad (2)$$

$$- \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{xy}) \right] - \Omega q - f(V) v_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (3)$$

Momentum en dirección y:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{g q \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \quad (4)$$

$$- \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h \tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h \tau_{xy}) \right] + \Omega p - f(V) v_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \quad (5)$$

Donde:

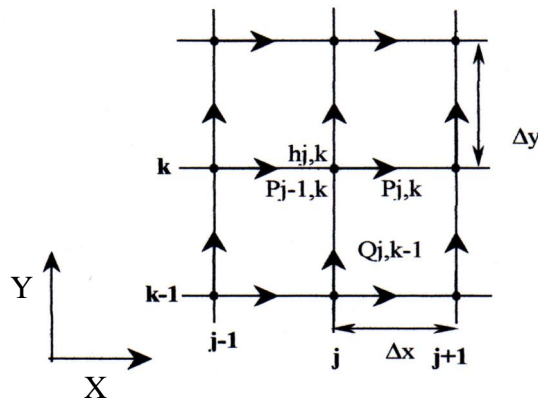
- $h(x,y,t)$: profundidad del agua (m)
- $\xi(x,y,t)$: elevación de la superficie (m)
- $\rho, q(x,y,z)$: densidad de flujo en las direcciones x e y ($m^3/s/m$) = (uh,vh)
- (u,v) : velocidad promedio en las direcciones x e y
- $C(x,y)$: coeficiente de Chezy de resistencia ($m^{1/2}/s$)
- g : aceleración de gravedad (m/s^2)
- $f(V)$: factor de fricción de viento
- $V, V_x, V_y(x,y)$: velocidad del viento y componentes en direcciones x e y
- $\Omega(x,y)$: parámetro de Coriolis, dependiente de la latitud (s^{-1})
- $\rho_a(x,y,t)$: presión atmosférica (kg/m^2)
- ρ_w : densidad del agua (kg/m^3)
- x, y : coordenadas espaciales (m)
- t : tiempo
- $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: componentes de tensiones de corte efectivas

El coeficiente de resistencia de Chezy C, presente en el término de fricción contra el fondo, es computado en función del coeficiente de rugosidad de Manning, desde la expresión:

$$C = M \cdot h^{1/6}$$

El módulo HD hace uso del método implícito de las direcciones alternantes (ADI), técnica que integra las ecuaciones de masa y conservación de momentum en el dominio del espacio-tiempo. Las ecuaciones matriciales que resultan para cada dirección y cada línea de la malla son resueltas por un algoritmo de doble barrido. Según sus autores, el algoritmo provee de una solución precisa, confiable y fácil de obtener, estando el método numérico caracterizado, en términos prácticos, por un error asociado a la estimación de la masa, del momentum y de la energía despreciable.

La malla computacional usada por el módulo HD, y el posicionamiento de las variables sobre la malla es:



3. CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRODINÁMICO

La calibración del modelo consiste en el proceso de ajuste de los parámetros del modelo comparando los resultados del mismo con las mediciones realizadas en terreno, de manera de reproducir el tramo de 20 km del río Cruces y el tramo de 4 km del río Leufucade, lo más cercano a la realidad posible. Para ello se consideraron como datos para la calibración las mediciones del nivel de agua que se tomaron en las mediciones de la batimetría del cauce, y las mediciones del caudal de los ríos. Con ambas mediciones simultáneas se pudo desarrollar la etapa de calibración.

El principal parámetro de ajuste es el coeficiente de Manning, el cual se estima a través de la formulación de Cowan, en la cual una de sus componentes considera las características granulométricas del sedimento. Esta última característica se obtiene de las mediciones y observaciones de terreno. El coeficiente de Manning es un archivo de las mismas características que el archivo de batimetría, es decir, se puede introducir un coeficiente variable en el espacio, en ambos ejes X e Y, según se requiera.

Se adopta un coeficiente de Manning inicial, con el cual se realizan las primeras comparaciones entre los resultados del modelo y las mediciones de campo. Luego se realizan variaciones del coeficiente hasta ajustarse a los valores esperados. Además se incrementa y se disminuye el coeficiente para conocer el grado de sensibilidad que los resultados presentan a variaciones de este parámetro.

Posteriormente se procede a analizar la sensibilidad de otros parámetros internos del modelo en los resultados, tal como el coeficiente de viscosidad turbulenta o eddy viscosity, para conocer el efecto de los fenómenos turbulentos en los resultados de la modelación.

También se verifica la formulación a aplicar para la relación entre la viscosidad turbulenta y la velocidad, pudiendo aplicarse para la determinación de la viscosidad turbulenta (eddy viscosity) la metodología de cálculo dinámico de ésta, utilizando la fórmula de V cte y bajo la formulación basada en la velocidad, adoptando un coeficiente constante, lo que permite representar adecuadamente los fenómenos turbulentos, sin comprometer la estabilidad numérica del modelo. Posteriormente se escoge aquella formulación más adecuada para el caso en estudio.

En esta etapa se estiman otras condiciones de relevancia en la modelación hidrodinámica tales como: delta tiempo o desfase de tiempo, tiempo inicial o de arranque, condiciones de borde, etc.

Posteriormente se realiza la validación del modelo, que consiste en aplicar otro caso conocido y comparar dichas mediciones con los resultados del modelo. En el caso del estudio se realizó la validación para uno de los casos medidos en la campaña de terreno,

4. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

El objetivo de esta etapa fue identificar las situaciones y lugares críticos que originan riesgos de desbordes e inundaciones durante las crecidas de ambos ríos y, por lo tanto, la potencialidad de esos lugares para plantear soluciones a los problemas detectados.

El diagnóstico permitió evaluar la situación de inundabilidad, así como indicar los orígenes de la problemática. En esta etapa se clasificaron los problemas de acuerdo a su gravedad y se definieron aquellos sobre los cuales se enfocarán las soluciones propuestas.

Se definieron las inundaciones máximas a producidas en los distintos escenarios hidrológicos, entre la crecida anual hasta la crecida centenaria.

En el diagnóstico se estimó el efecto en las inundaciones que incorpora el By-pass, dado los requerimientos que la autoridad ha manifestado respecto del impacto de esta obra.

Se presentaron los resultados de niveles de la superficie libre y magnitudes de velocidades, así como de áreas inundables obtenidas con el módulo hidrodinámico HD (MIKE21 Flow Model). Estos resultados se mostraron en mapas de inundación en todo del dominio del modelo, y en forma de gráficos de algunos puntos indicados a lo largo del cauce, correspondientes aproximadamente al eje del cauce.

En este eje se extrajo la información de altura y velocidad del escurrimiento de modo de graficar el eje hidráulico y la línea de energía, y además obtener el gradiente hidráulico en toda la extensión del cauce.

Se identificaron las zonas de mayores velocidades del escurrimiento, y de manera especial se extrajeron los resultados de la variables hidráulicas en zonas con singularidades y obras de interés; cruce de caminos y puentes, zona urbana, by-pass, etc.

Se tiene que los desbordes del río Leufucade se deben al incremento del eje hidráulico hacia aguas arriba de la confluencia con el río Cruces, producto de la limitada capacidad de este cauce. Al aproximarse el cauce del río Leufucade a la confluencia, este tiene un control hidráulico aguas abajo, que impide la circulación normal de este flujo, por lo cual al ser régimen de río, el control hidráulico aguas abajo genera incrementos del eje hidráulico hacia aguas arriba de este punto.

Parece razonable creer que al mejorar la capacidad de evacuación del cauce del río Cruces esto implicará un mejoramiento en la evacuación del cauce del río Leufucade.

Luego del diagnóstico preliminar realizado se puede afirmar que la problemática de las inundaciones en el sector de estudio es compleja y casi permanente, lo cual hace que la solución a implementar para mejorar esta condición tenga un grado de complejidad importante.

Se estima que las soluciones a introducir deben aplicarse al cauce del río Cruces pues los desbordes del río Leufucade se generan principalmente por la falta de capacidad del río Cruces aguas abajo de la confluencia. Además se recomienda realizar un enfoque integral de soluciones pues el incorporar mejoramientos locales que no formen parte de un mejoramiento global no disminuirá las inundaciones a nivel general, incluso podría trasladar el problema hacia otros sectores.

A continuación se muestran dos casos de los analizados en el diagnóstico, para las crecidas de 2 y 50 años de período de retorno.

Figura 3: Diagnóstico Situación Actual - Profundidad del cauce Tr: 2 años

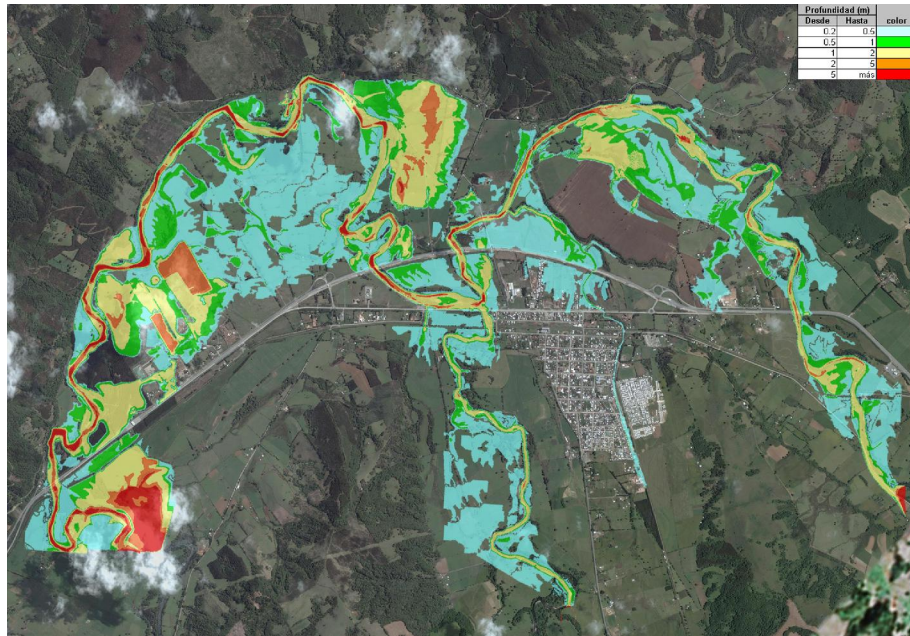
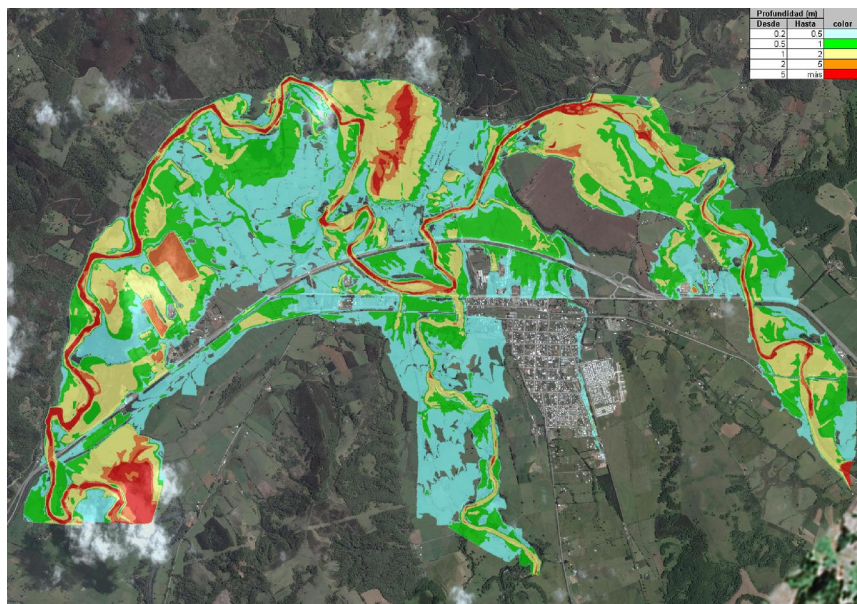


Figura 4: Diagnóstico Situación Actual - Profundidad del cauce Tr: 50 años



5. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS ESTRUCTURALES

Este estudio propuso las soluciones estructurales que evitan o reducen los riesgos y efectos de las inundaciones. Dichas soluciones fueron incorporadas en el modelo hidrodinámico de manera de estimar el grado de mejoramiento de dicha obra en la reducción de las inundaciones del área de estudio.

Las medidas estructurales a estudiar fueron los siguientes tipos de obras:

- 1) Obras de reducción de niveles de escurrimiento en los cauces: esto permite reducir los niveles generales de inundación en las planicies durante las crecidas. Para lo anterior, se analizó la alternativa de obras que incrementaron la capacidad hidráulica del cauce, tales como la ampliación de su sección en sectores críticos, o la reducción de la rugosidad mediante eliminación de islas o suavizando bordes, como también otras obras que suplementen su capacidad mediante la ejecución de canales de alivio sobre la planicie de inundación. Esta última alternativa se visualizó como de particular interés para el logro del objetivo planteado.
- 2) Obras para reducir los riesgos de desbordes en sectores críticos de riberas: para ello se propusieron obras de peralte de riberas en dichos sectores, detectados en la fase de diagnóstico de la situación actual.
- 3) Obras para proteger directamente áreas o bienes específicos: se propusieron obras y medidas de protección de bienes públicos o privados expuestos con mayor riesgo a las inundaciones, mediante obras y medidas destinadas a defenderlos o aislarlos de las inundaciones. Dentro de este objetivo se tuvieron obras tales como diques de intercepción de caudales en las planicies, canales de drenaje superficial sobre las llanuras y devolución a los cauces, o la instalación de defensas directas de algunos bienes sometidos a los riesgos de inundación o socavación.

Para todas las obras de solución propuestas se realizaron las modelaciones del flujo bajo las condiciones hidrológicas solicitadas para la solución, es decir, bajo la crecida de diseño.

Se evaluó primeramente el efecto hidráulico de cada solución estructural desde el punto de vista de la reducción en las inundaciones, tanto en las áreas inundables como en el nivel del eje hidráulico.

Se extrajeron los resultados de niveles de la superficie libre y magnitudes de velocidades, así como de áreas inundables. Se presentaron los resultados en mapas de inundación en todo del dominio de modelación, y en forma de gráficos de algunos puntos indicados a lo largo del cauce, que corresponde aproximadamente al eje del cauce.

En este eje se rescató la información de altura y velocidad de modo de graficar la línea de energía, y obtener el gradiente hidráulico en toda la extensión del cauce. Tales puntos se corresponden con los puntos indicados en el diagnóstico de la situación actual. Esto permitió observar y cuantificar la magnitud de la disminución en el eje hidráulico y línea de energía del perfil longitudinal del río, provocada por la solución en análisis, en comparación con la situación actual o sin obra.

Según lo solicitado en los TDR se analizó con particular atención dos soluciones básicas que la DOH consideraba de especial interés, que se presentan a continuación.

a) Canales de Alivio

Esta alternativa fue analizada de manera de cuantificar su beneficio en el control y reducción de los niveles de agua del río Cruces y afluentes durante las crecidas. Se estudiaron los trazados tentativos propuestos por la DOH para dos sectores del río Cruces, cuyo objetivo fue obtener la depresión del eje hidráulico de ese río en la confluencia con el río Leufucade.

b) Diques de Intercepción entre cerro Quilquil, línea férrea y Ruta 5.

Se menciona a esta obra, en conjunto con otras obras complementarias a ella, como una solución básica que fue evaluada, para reducir el riesgo de inundación de la franja de terreno que se localiza entre el terraplén de la vía férrea y el cerro Quilquil, y entre la vía férrea y el By-pass, al sur de Lanco.

A continuación se presentan los resultados para algunas Alternativas modeladas.

Figura 5: Alternativa 1: Canal de Alivio Río Cruces y Leufucade

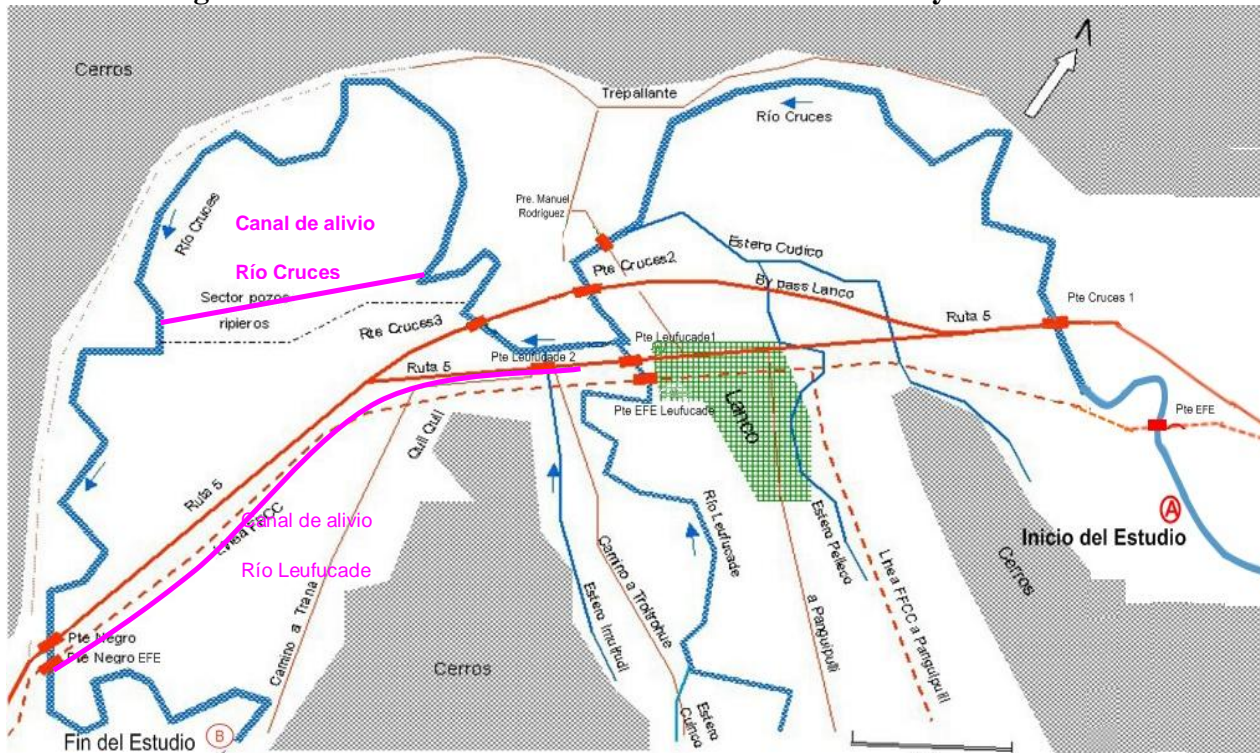
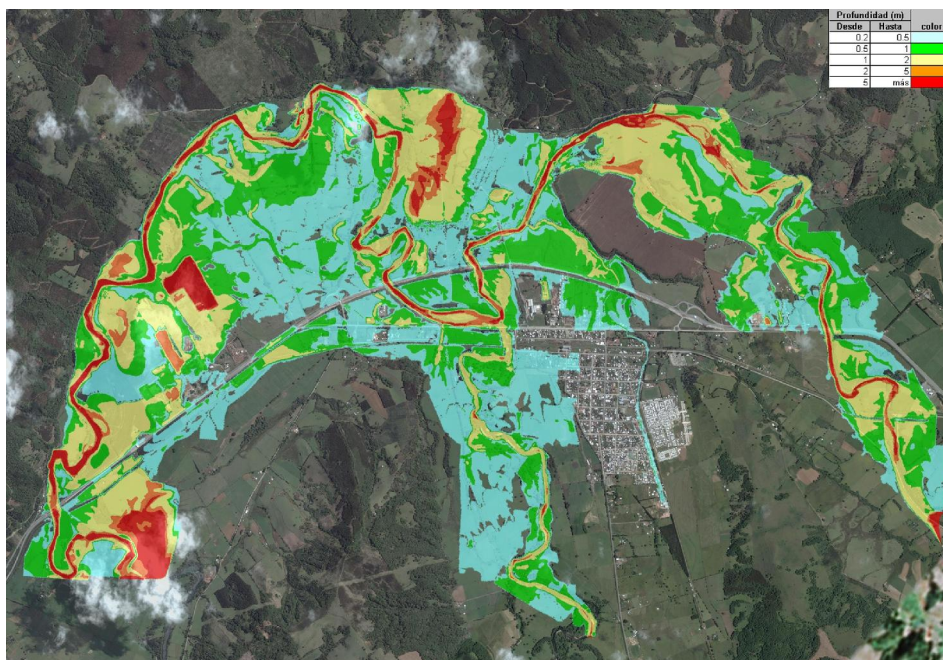


Figura 6: Resultados Alternativa 1 Profundidad (m) del Cauce Tr: 100 años



6. CONCLUSIONES

Algunas conclusiones del presente trabajo son:

- Se logró reproducir la hidrodinámica del sistema fluvial conformado por los aproximadamente 20 km del Río Cruces y su confluencia con el Río Leufucade, con lo cual se logró representar la hidráulica imperante en la situación actual. Esto permitió obtener un diagnóstico de la situación actual con lo cual se logra comprender de mejor manera la problemática de las inundaciones de la localidad de Lanco.
- El modelo resultó ser una buena herramienta para reproducir las características hidrodinámicas de los cauces en la zona del estudio, y con ello encontrar las principales zonas de mayor vulnerabilidad desde el punto de vista de las inundaciones.
- Con los resultados de las modelaciones de las alternativas de mejoramiento o de manejo de cauces se logra conocer el grado de mejoramiento que incorpora cada alternativa. Esto permite evaluar e identificar las zonas que efectivamente son posibles de ser protegidas de las inundaciones de los río Cruces y Leufucade.
- La modelación resultó ser una herramienta de gran utilidad para estudiar el efecto de la implementación de alternativas de manejo de cauces, en las inundaciones de la zona de estudio.
- Se considera de gran utilidad desarrollar este tipo de estudios hidráulicos, con herramientas bidimensionales, para analizar las posibles medidas de mitigación en zonas con problemáticas de inundaciones como la de la localidad de Lanco, tan comunes en la zona sur de nuestro país. La implementación de estos modelos no presenta un grado de complejidad significativo y con buena información base, criterio y experiencia por parte del modelador y un modelo robusto como el utilizado en este estudio, se pueden obtener resultados de mucha utilidad. Los beneficios de estos estudios respecto de los costos de los mismos son tremendamente mayores, sobretodo si consideramos los costos de inversión de las obras que se podrían llegar a materializar.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la DOH por dar las autorizaciones para presentar el trabajo y la confianza de las autoridades depositada en GHD para entregarnos el estudio hidráulico junto con la empresa PRISMA.

Se agradece a la Gerencia de GHD de Chile por el apoyo en la realización de este trabajo que colabora con el desarrollo y difusión de nuestras labores técnicas, así como nuestro crecimiento profesional.

REFERENCIAS

Manual MIKE21 Versión 2007. Danish Hydraulic Institute.

PRISMA Ingeniería Ltda. Estudio de Factibilidad “Construcción Obras de Manejo de Cauces Río Cruces y Leufucade en Lanco”. Informe Modelación Hidrodinámica Fluvial. Análisis de Alternativas. 2008.