
**MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL,
INVERSIÓN Y SERVICIOS**

SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS

**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA
CENTRO REGIONAL LITORAL**

**“ESTUDIO DE DELIMITACION DE AREAS DE
RIESGO HÍDRICO EN SANTA FE”
“(Actualización del Estudio de 1992)”**

INFORME FINAL

JUNIO 2006

INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

PRESIDENTE: Ing. Oscar V. LICO

VICEPRESIDENTE: Ing. José Luis BEZI

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS: Ing. Raúl Antonio LOPARDO

CENTRO REGIONAL LITORAL

DIRECTOR: Ing. Carlos U. PAOLI

RESPONSABLE PROYECTO: Ing. Jorge COLLINS

COMITENTE: CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

SECRETARIO GENERAL: Ing. Juan José CIÁCERA

“ESTUDIO DE DELIMITACION DE AREAS DE RIESGO HÍDRICO EN SANTA FE” “(Actualización del Estudio de 1992)”

El siguiente trabajo fue realizado por:

Instituto Nacional del Agua:

Profesionales: Graciela Bernal (Cartografía Digital)
Héctor Picatto (Topografía)
Beatriz Storani (Topografía)
Ricardo Giacosa (Hidrología río Salado)
Carlos Paoli (Hidrología río Salado – Asesor General)
Jorge Collins (Modelación matemática río Salado – Responsable Proyecto)

Técnicos: Carlos Monteverde (Cartografía Digital)
Antonio Villordo (Topografía)
Ricardo Orué (Topobatimetría)
Guillermo Macedo (Topobatimetría)
Rubén Nicuesa (Topobatimetría)
Miguel Pratto (Topobatimetría)
Miguel Genesio (Topografía)

Becarios: Norma Piccoli
Camila Villordo
Germán Abendaño
Gonzalo Machado

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL)

Profesionales: María del Valle Morresi (Hidrología río Paraná)
Pablo Cacik (Hidrología río Paraná)
Viviana Zucarelli (Modelación matemática río Paraná)
Carlos Ercole (Modelación matemática río Paraná)
Eduardo Ceirano (Modelación matemática río Paraná)

**“ESTUDIO DE DELIMITACION DE AREAS DE RIESGO HÍDRICO EN
SANTA FE”
“(Actualización del Estudio de 1992)”**

Informe Final

Índice

TOMO 1

	<u>Página</u>
1. Introducción	6
2. Actualización y recopilación de la información y antecedentes producidos posteriormente al año 1991	7
3. Topografía	9
3.1 Área de trabajo	9
3.2 Tareas realizadas y metodología empleada	10
3.3 Líneas de nivelación	11
3.4 Memorias descriptivas de nivelación	13
4. Elaboración de cartas planialtimétricas básicas	27
5. Selección y Análisis de crecidas	31
5.1 Sistema Salado	31
5.2 Sistema Paraná	63
6. Elaboración de cartas de riesgo por inundación	103
7. Elaboración del proyecto de información geográfica	108
8. Conclusiones	112
9. Bibliografía	113
10. ANEXO	115
Anexo A	
• Planilla de puntos de referencia Unidad I, II y III	A.1
• Monografía de puntos de referencia Unidad I	A.6
• Monografía de puntos de referencia Unidad II	A.27
• Monografía de puntos de referencia Unidad III	A.44
Anexo B	
• Coeficiente de rugosidad del río Salado	B.1
• Coeficiente de rugosidad del río Paraná	B.15
Anexo C	
• Crecidas históricas modeladas del río Salado	C.1
• Crecidas de diseño modeladas del río Salado	C.18
• Crecidas de caudales fijos del río Salado	C.20
• Crecidas históricas modeladas del río Paraná	C.27
• Crecidas de diseño modeladas del río Paraná	C.46
• Análisis de frecuencias de crecidas del río Paraná	C.86

TOMO 2

Cartas de Riesgo Hídrico de Crecidas Históricas Modeladas Planos N° 1-14

TOMO 3

Cartas de Riesgo Hídrico de Crecidas de Diseño Estadísticas Planos N° 15-28

Trazas de las crecidas históricas observadas Año 1992 y 2003 Plano N° 29

Plano de zonificación de las curvas de nivel Plano N° 30

TOMO 4

Libreta de nivelaciones y de control

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo constituye el informe final del “**Estudio de Delimitación de Áreas de Riesgo Hídrico en Santa Fe**” desarrollado por el Centro Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua, para el Consejo Federal de Inversiones de acuerdo al contrato de locación de obra Expediente N° 62660001 en el período 18/10/2004 al 18/12/2005

Se realiza una actualización del trabajo anterior (marzo de 1992), dándole a las nuevas cartas de riesgo hídrico una actualización hidrológica y topográfica.

Además, los niveles hídricos del sistema Paraná para su representación, surgen a partir de los resultados obtenidos de la aplicación en el mencionado sistema de un modelo hidrodinámico. Se establece una rama en común entre las aplicaciones matemáticas de los sistemas (en la desembocadura del río Salado), para dar las condiciones de borde a cada uno.

Se realiza, además, un proyecto de Sistema de Información Geográfico (SIG), donde se incluyen información topográfica recopilada y producida por el proyecto, fotografías aéreas, plano catastral, curvas de nivel y curvas de riesgos hídrico para las crecidas históricas modeladas y para las crecidas de diseño estadísticas.

El desarrollo de la actualización, generó diferentes tareas que fueron completadas de acuerdo al cronograma aprobado.

Tareas:

Sistema del río Salado

1. Actualización y recopilación de la información y antecedentes producidos posteriormente al año 1991.
2. Obtención del material aerofotográfico y cartográfico a utilizar y realización de los levantamientos topográficos.
3. Elaboración de cartas planialtimétricas básicas.
4. Selección y análisis de crecidas.
5. Elaboración de cartas de riesgo por inundación.
6. Elaboración del proyecto GIS.
7. Producción de las cartas de riesgo hídrico.
8. Informe final sistema río Salado.

Sistema del río Paraná

1. Actualización y recopilación de la información y antecedentes producidos posteriormente al año 1991 básicas.
2. Obtención del material aerofotográfico y cartográfico a utilizar y topografía básicas.
3. Elaboración de cartas planialtimétricas básicas.
4. Selección y análisis de crecidas básicas. (Finalizado)
5. Elaboración de cartas de riesgo por inundación.
6. Elaboración del proyecto GIS.
7. Producción de las cartas de riesgo hídrico básicas.
8. Informe final sistema río Paraná.
9. Entrega del proyecto GIS

2. ACTUALIZACIÓN Y RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y ANTECEDENTES PRODUCIDOS POSTERIORMENTE AL AÑO 1991

Durante el desarrollo del proyecto, se realizó la recopilación de antecedentes mencionados en las tareas **“Actualización y recopilación de información y antecedentes producidos posteriormente al año 1991”**, relativo a obras ejecutadas, en ejecución y a trabajos topográficos e hidrométricos encarados en la zona. La información obtenida fue seleccionada e incorporada según la necesidad, en la base de datos del proyecto.

Los siguientes municipios e instituciones son las que brindaron información, que se describe como información recopilada.

Municipalidad de Recreo: Se analizó e incorporó información topográfica realizada por dicho municipio para el proyecto de desagüe cloacal. Se reacondicionando la misma, al sistema de referencia que se está usando en el proyecto a partir de puntos fijos de referencia dejados por el proyecto.

Municipalidad de Santa Fe: Se recopiló información altimétrica de obras de pavimento, desagües pluviales de diferentes barrios, las que se analizó la calidad de la misma y se seleccionó para su inclusión en la base de información del proyecto.

Municipalidad de Santo Tomé: Se recopiló información altimétrica de obras de pavimento, desagües pluviales y cloacales de diferentes barrios, las que se analizó la calidad de la misma y se seleccionó para su inclusión en la base de información.

Comuna de Monte Vera: Se recopiló información topográfica realizada por dicha comuna para el proyecto de desagüe cloacal, reacondicionando las mismas al sistema de referencia del proyecto, dado que estaban referenciados a un sistema arbitrario.

Comuna de San José del Rincón: Se recopiló e incorporó información topográfica realizada por dicha comuna para el proyecto de los cordones cunetas del ejido urbano y se la llevó al sistema de referencia usado en el proyecto.

Ministerio de Asuntos Hídricos: Se realizó una revisión bibliográfica de su biblioteca relativa a diferentes proyectos encarados en la zona de estudio, tanto sea del sistema Salado como del sistema Paraná. De dicho análisis, se incorporó información de canales realizados en la zona, de obras de defensa, de relevamientos topográficos y de fotografías aéreas.

Servicio de Cartografía e Información Territorial (SCIT): Se recopiló la base catastral de las ciudades de Santa Fe, Santo Tomé, Recreo, San José del Rincón y constituye la base planimétrica del estudio, de acuerdo a lo solicitado por el Ministerio de Asuntos Hídricos.

Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas: Se recopiló información generada por dicha institución correspondiente a la ciudad de Santo Tomé.

Cota del cero de las escalas de los hidrómetros locales

Las cotas de los ceros de las escalas hidrométricas usadas y que son próximas entre sí, fueron verificadas a modo de analizar la existencia de diferencias en el valor de su cero. Se referenciaron todas al mismo plano de comparación del proyecto.

Estación Hidrométrica	Cota "0" (m) IGM
Santa Fe	8.19
Inali	8.07
Batallón	7.91
Esperanza Rta Prov. 70	11.09

3. TOPOGRAFÍA

Se realizaron levantamientos topográficos en la zona de estudio de acuerdo a la necesidad de mejorar la calidad y cantidad de datos utilizados en el estudio **Delimitación de Áreas de Riesgo Hídrico en Santa Fe - 1992**. Además, se incorporan al estudio el área comprendida entre la sección ex -puente Mihura y la ruta provincial N° 70 y la zona urbana de Santo Tomé.

La realización de las tareas topográficas permitió densificar la información altimétrica para contrastar, corregir y mejorar el diseño de las curvas de nivel generadas en el marco de la topografía realizada para el estudio de **Delimitación de Áreas de Riesgo Hídrico en Santa Fe - Tomos 1 y 2 – marzo 1992**. En dicha ocasión se produjeron 13 hojas cartográficas en escala 1: 10000 fundadas esencialmente en el método de compilación, con una equidistancia de 0.50 m utilizando para ello relevamientos planialtimétricos y perfiles topobatimétricos del Proyecto Paraná Medio (año 1979), y de la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas (DPOH), puntos altimétricos de cartografía en escala 1:5000 de Spartan Air Service que cubren el sector urbano de la ciudad de Santa Fe indicando valores en las intersecciones de calles y caminos, que complementadas con relevamientos propios, permitió el diseño de las curvas de nivel en este sector.

En esa oportunidad se contó con valiosa información generada por la Unidad Técnica Inundaciones de la DPOH, que relevó el área del albardón costero en el marco del proyecto de defensa zona Este y que sirvió fundamentalmente para la confección de las curvas de nivel en dicho sector.

En el presente trabajo, para el nuevo trazado de curvas de nivel, se contempló también, la información proporcionada por fotografías aéreas referida a distintos estados hídricos de los sistemas, dado que en algunas zonas marginales de relieves muy planos esos relevamientos planialtimétricos no alcanzaron para definir netamente el relieve. De cualquier manera estaban alejadas de las zonas que potencialmente podían ser afectadas en situaciones de riesgo hídrico.

El diseño de dichas curvas en las áreas críticas de probables afectaciones por crecidas del río Salado, laguna Setúbal – río Paraná fueron contrastada con fotografías aéreas de las crecidas de los años 1992, 1998 y 2003 comprobando que las conformaciones de las mismas seguían las tendencias generales de las curvas de nivel, para distintas alturas hidrométricas

3.1 ÁREA DE TRABAJO

Inicialmente se subdividió el área de trabajo en dos subáreas, Sistema SALADO y Sistema PARANA, pero a efectos del desarrollo de los levantamientos topográficos, se definieron las siguientes unidades de levantamiento:

- UNIDAD I: Margen Derecha Río Salado
- UNIDAD II: Margen Izquierda Río Salado – Margen Derecha Sistema Setúbal
- UNIDAD III: RUTA PROV. N° 1 zona de la Costa correspondiente a la Margen Izquierda del Sistema Setúbal y Margen Derecha del río Colastiné y tributarios.

3.2.- TAREAS REALIZADAS Y METODOLOGÍA EMPLEADA.

Se dividió las tareas topo cartográficas en tres aspectos:

1.- Actualización del sistema horizontal de referencia

Se actualizaron y rediseñaron las Hojas Cartográficas que estaban elaboradas en el Sistema Campo Inchauspe, al Sistema de Referencia de la Provincia de Santa Fe. Para esta tarea se contó con la base cartográfica catastral en formato digital suministrada por el Servicio de Catastro e Información Territorial (SCIT) de acuerdo a las sugerencias de la Inspección del Proyecto.

2.- Actualización planimétrica de la cartografía

Las Hojas Cartográficas se actualizaron tomando como base la cartografía suministrada por el SCIT y la fotointerpretación de fotografías aéreas proporcionados por los vuelos realizados en los años 2000 y 2003.

3.- Ajuste y actualización altimétrica

Se ajustaron y actualizaron las curvas de nivel mediante la realización de polígonos y perfiles de nivelación vinculados a la red vertical de referencia del IGM y se generó, una red de puntos de referencias altimétricos, con precisión topográfica.

3.2.1 Recopilación y análisis de antecedentes

Esta actividad estuvo enfocada fundamentalmente en la ubicación de puntos fijos existentes en toda la zona de trabajo. Se analizaron Líneas de Nivelación de diferentes reparticiones y se recopilaron Monografías de los Puntos Fijos más importantes. Se consultaron las siguientes empresas y reparticiones:

- Instituto Geográfico Militar
- Ministerio de Obras Públicas (Prov. de Santa Fe)
- Ministerio de Asuntos Hídricos (Prov. de Santa Fe)
- Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (Universidad Nacional del Litoral)
- Municipalidad y comunas
- INCOCIV.
- SUPERCEMENTO
- Dirección Provincial de Vialidad (Prov. de Santa Fe)
- Dirección Nacional de Vialidad

3.2.2 Ubicación y selección de puntos fijos de referencia

Se recorrió la zona de trabajo con miras a ubicar los Puntos Fijos Altimétricos identificados en la etapa de recopilación de antecedentes. De esa forma se tuvo una visión de la distribución espacial de los mismos y de su estado de conservación. Por último se seleccionaron los puntos a utilizar en las respectivas Líneas de Nivelación. Se dio prioridad al grado de confiabilidad de las mismas.

3.2.3 Definición de las trazas de nivelación

La selección de las trazas de relevamiento fue precedida por un reconocimiento del terreno, teniendo en cuenta, facilidades de desplazamiento, distribución en el área y proximidades a los Puntos Fijos seleccionados previamente.

En razón de tales antecedentes las trazas de las líneas topográficas de nivelación se planificaron de manera tal que cruzaran la mayor cantidad de curvas de nivel para poder contrastar lo mejor posible su posición.

Nivelación: Tareas de Campo y Gabinete.

La nivelación se realizó con niveles ópticos topográficos utilizando el método de nivelación geométrica. Los controles se efectuaron por cierre en puntos fijos o por nivelación de Ida y Vuelta. Se fijó una tolerancia de **dos (2) centímetros por la raíz cuadrada de la distancia en kilómetros**.

En la Unidad N° II se utilizó como polígono fundamental de apoyo, el polígono altimétrico realizado por el INA para el **Estudio Integral de los Desagües Pluviales de la Ciudad de Santa Fe**, el cual se realizó con el método de doble nivelación y fue directamente vinculado al nodal de Plaza España (N 141) cota 16,361 m IGM.

Este sector de la Unidad II consta con una buena densidad de puntos altimétricos proveniente del trabajo anterior, y solo se realizaron perfiles topográficos que permitan constatar probables cambios de niveles por efectos de repavimentaciones en áreas pavimentadas o de movimientos de suelos en calles de calzadas naturales.

En el Sector Norte de la ciudad de Santa Fe, se vincularon al polígono fundamental, antecedentes topográficos generados por las Municipalidades de Santa Fe y Recreo, y la Comuna de Monte Vera; como así también estudios topográficos realizados por el Ministerio de Asuntos Hídricos de la Provincia que cubren el área suburbana y rural.

Con la metodología de levantamiento topográfico definida oportunamente se operó de la manera así dispuesta y por itinerarios previamente consensuados con los modelistas a efectos de satisfacer las necesidades de los mismos, se realizaron los levantamientos altimétricos.

Además, las trazas de nivelación seleccionadas se definieron contemplando la necesidad de contar con un perfil topográfico ante la ausencia de antecedentes en determinado lugar, y teniendo en cuenta la factibilidad de acceso y operatividad para el relevamiento del terreno natural.

Los valores de las mediciones se volcaron en libretas de campo donde posteriormente se efectuaron los cálculos pertinentes, obteniendo las cotas y progresivas de los puntos levantados. Luego estos se volcaron sobre una base cartográfica en formato papel la que se utilizó para generar la capa temática "COTAS" de la Cartografía Digital del área de trabajo.

3.3 LÍNEAS DE NIVELACIÓN

El resultado de las tareas topográficas realizadas pueden observarse en las capas Temáticas Topografía y Puntos de Referencia Altimétricos de la Cartografía Digital presentada en el SIG. Se utilizaron para el ajuste y rediseño de las curvas de nivel, las elaboradas en el trabajo anterior.

3.3.1 Líneas de nivelación (Puntos de Referencia Altimétricos utilizados, recorrido)

En la zona de trabajo se realizaron líneas de nivelación que se describen a continuación:

UNIDAD I: Margen Derecha Río Salado

En ésta unidad de levantamiento, las líneas de nivelación pueden dividirse en tres sectores:

- NORTE:
- CENTRAL: AREA URBANA Y SUBURBANA SANTO TOME.
- SUR

El Sector Norte está comprendido entre la ruta provincial N° 70 y el ejido de la ciudad de Santo Tomé. Las Nivelaciones se han apoyado en los Puntos N° 5 y N° 8 de la Línea IGM N(54) Santa Fe - Pilar. Estos puntos pueden observarse en la Monografía de Puntos de Referencias ubicadas en Anexo y denominados como I- 47 y I-61 respectivamente.

El Sector Central comprende al ejido de Santo Tomé. Las Nivelaciones se apoyaron en los Puntos Fijos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral.

El Sector Sur se ubica desde la Calle Roverano de Santo Tomé a la Calle Rusia área suburbana del distrito Sauce Viejo. Se apoya en el punto N° 57 de la Línea de Nivelación IGM N(53) Rosario - Santa Fe.

UNIDAD II: Margen Izquierda Río Salado –Margen Derecha Sistema Setúbal.

En esta unidad de levantamiento se pueden diferenciar dos sectores:

- URBANA – SANTA FE
- RURAL – RECREO – MONTE VERA

El sector urbano vincula las líneas de nivelación a la red fundamental propia del INA y que se utiliza como base para la extensión de los nuevos trabajos topográficos.

La red fundamental propia consiste en un polígono de doble nivelación vinculado directamente al punto fijo IGM: Nodal 141 (cota 16.361 m) ubicado en la Plaza España de la Ciudad de Santa Fe y se extiende en proximidades de la divisoria de aguas que separa el sistema del Río Salado del sistema de la Laguna Setúbal. Se desarrolla por la Av. Urquiza desde la Av. J. J. Paso hasta la calle M. Comas y por las Avenidas Peñaloza, Gorriti y Aristóbulo del Valle y su vinculación al Nodal, se realiza por la calle H. Irigoyen.

A dicho polígono se vincularon antecedentes topográficos relacionados con proyectos de desagües pluviales y de estudios de cuencas hídricas urbanas elaborados por la Municipalidad de Santa Fe y este Instituto.

A efectos de incorporar puntos de nivelación de la cartografía precedente, se complementó el contraste de esta información con líneas de topografía expeditiva para verificar cotas de pavimento y calzada natural en zonas que presentan cambios altimétricos por repavimentaciones y movimientos de suelo.

Ante la destrucción de la mayoría de puntos fijos de nivelación del Instituto Geográfico Militar en el área urbana, se resolvió la conveniencia de extender el polígono fundamental

mediante otros polígonos y vincularlo al punto fijo IGM PF N° 22n (102)B, cota 17.716 m ubicado en el Hospital Sayago donde el error de cierre fue del orden de + 0,002 m y al punto fijo IGM PF N° 20n (102)B cota 18.806 m que se encuentran dentro de las instalaciones del Liceo Militar Gral. Belgrano en el Distrito Recreo donde el error de cierre fue del orden de + 0,028 m.

El extremo Noreste de los Polígonos de nivelación se vincularon con el Punto Fijo IGM cota 16.53m ubicado al Norte de la localidad de Monte Vera comprobándose una diferencia de 0.006 m. Se vincularon a los citados polígonos, trabajos topográficos realizados por la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas (actual Ministerio de Asuntos Hídricos), trabajos de topografía de proyectos de obras cloacales de las localidades de Recreo y Monte Vera.

En razón del tipo de explotación en las zonas suburbanas y rural, predominantemente hortícola y ante la imposibilidad de acceder a propiedades privadas para su relevamiento, los polígonos se extendieron preferentemente por caminos públicos con perfiles transversales de 200 m de longitud aproximadamente, donde era posible el ingreso.

UNIDAD III: Ruta Prov. N° 1

En esta unidad la línea principal de nivelación tiene un desarrollo lineal, centrada sobre la traza de la Ruta Prov N° 1, de la que se desprenden polígonos a ambos lados de la misma que llegan a las márgenes del sistema Setúbal y Paraná respectivamente, diseñados de tal manera que sirvieran para verificar las trazas de las curvas de nivel elaboradas oportunamente en el trabajo de Áreas de Riesgo Hídrico en el año 1992.

La línea principal de nivelación esta vinculada al Punto Fijo IGM PF 5-N(133), cota 16.094 m; ubicado en Colastiné Sur, en el viejo atracadero de balsas. Mediante nivelación geométrica de ida y vuelta se traslado esta cota hasta el área de estudio en el albardón costero, a un Punto de Referencia ubicado en la estación de bombeo “Virgen de Guadalupe” (PR N° III_91 cota 14.202 m.), desde el cual se extendieron polígonos de nivelación hasta la ruta provincial N° 1 donde se desarrollo una línea de nivelación hasta el Punto Fijo IGM PF 6 – N55 de cota 15.815 m denominado III-106.

Desde este Punto Fijo se desarrollaron polígonos de nivelación cerrados que por razones de transitabilidad se siguió la traza de la Ruta Prov. N° 1 hasta proximidades del A° Leyes, vinculándose en su trayecto Puntos Fijos IGM PF N° 9, 10 y 11 de la Línea N55.

3.3.2 Monografías de Puntos de Referencias altimétricos

Se efectuó una monografía de Puntos de Referencia levantados en el área de trabajo. Estas constan de fotografías de ubicación, detalle, cotas y coordenadas planas Gauss Krügger Posgar. Estas pueden ser consultadas en el Anexo.

3.4 MEMORIAS DESCRIPTIVAS DE NIVELACIÓN

3.4.1 - MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA UNIDAD 1

A continuación se presentan las Memorias Técnicas de las nivelaciones en la Unidad 1.

UNIDAD 1 – Memoria Técnica N° 1

a) Relevamiento área rural

El relevamiento altimétrico en el área rural se desarrolló por caminos y terrenos rurales y se dejó materializado una red de Puntos de Referencia. Se aplicó nivelación geométrica de ida y vuelta. El trabajo fue realizado por tramos los que fueron seleccionados de tal modo que en una jornada podía realizarse la nivelación de ida y vuelta.

La Nivelación se apoyó en el Punto Fijo IGM PF N° 8 Línea N54 denominado I-61 el que tiene su placa superior destruida razón por la cual se utilizó el Bulón Inferior (subterráneo) cuya cota es 19.973 m.

TRAMO 1 (PF N54 (8) - PF (1 Ch)

Partió del PF IGM y se desarrolló por caminos rurales

Se recorrió 1,146 Km. Error de cierre 0.003 m

Cota salida 19.973 m Cota llegada 19.970 m

TRAMO 2 (PF1 Ch. - PR2 Ch.)

Distancia Recorrida 0.481 Km.

TRAMO 3 (PF 2 Ch.- PF Ombú Ch)

Distancia Recorrida 2.668 Km. Error de cierre 0.004 m

Cota salida 18.062 m Cota llegada 18.066 m

TRAMO 4 (PF Ombú Ch.- PF N54 (6))

Distancia Recorrida 2.201 Km. Error de cierre 0.03 m

b) Relevamiento ciudad de Santa Tomé

Todo el relevamiento de la ciudad se efectuó utilizando una cota arbitraria la que con posterioridad se vinculó con la Red de la FICH realizada para el proyecto de los acueductos que tiene por origen el Punto Fijo IGM PF 5 Línea N54, ubicado al noroeste de la ciudad.

Se partió de la casilla de la guardia del Batallón 121, asignándose un valor arbitrario 50 m. Se efectuó una nivelación hacia Calle Candiotti dejando dos puntos acotados, uno en el cordón de ingreso Sur y el otro en un testigo ubicado al frente del ingreso mencionado, en un alambrado olímpico. A continuación se describen los Polígonos de nivelación realizados en la ciudad de Santo Tomé:

POLÍGONO 1:

Parte de PR N° 1 por Calle Candiotti hasta Av. Richieri, de allí por Richieri hasta Córdoba, por Córdoba hasta Alberdi, Por Alberdi hasta H. Irigoyen, por Irigoyen hasta 12 de Septiembre, por 12 de Septiembre hasta Falucho donde se dobla al sur y por Alberdi se llega a Calle Candiotti donde se cierra en PF Prog (206).

Distancia Recorrida 4,981 Km. Error de cierre 0.016 m

Cota salida = 50.340 m Cota llegada = 50.356 m

POLÍGONO 2:

Parte de Punto de Referencia (Prog. 264) por Calle Córdoba hasta Aristóbulo del Valle, por A. Del Valle hasta Av. Luján, por Av. Luján hasta Hernandarias donde frente al Monumento se materializó el PR, por Hernandarias a Mitre, por Mitre hasta 12 de Septiembre, desde esta hasta Candiotti cerrando en el PR ubicado en tapa de cloaca de Alberdi y Candiotti.

Error de cierre = 0.008 m

Cota salida = 49.890 m Cota llegada = 49.882 m

POLÍGONO 3:

Parte de PR ubicado frente al Monumento por Ruta 19 hasta Calle Buenos Aires, por Bs. As hasta Sarmiento, por Sarmiento hasta V. Sarsfield, se dobla al sur y luego al oeste hasta tomar J. J Paso, de esta hasta Gaboto, por Gaboto hasta Azcuénaga, por esta hasta Ruta 19 y de allí al punto de salida. PR monumento.

Distancia recorrida = 4,005 Km.

Error de cierre = 0.022 m.

Cota salida = 50.251 m Cota llegada = 50.273 m

POLÍGONO 4

Parte PR, ubicado en Calle Sarmiento y V. Sarsfield, por Sarmiento hasta Pueyrredón, por ésta hasta Ruta 19, finalmente por Ruta 19 hasta PR prog. 3565 del Polígono 3.

Distancia recorrida = 4,280 Km.

Error de cierre = 0.022 m.

Cota salida = 50.550 m Cota llegada = 50.528 m

POLÍGONO 5

Parte de PR ubicado en calle Hernandarias y Av. Mitre, por Mitre hasta Av. 7 de Marzo, por 7 de Marzo hasta calle Maciá, por Maciá hasta San Martín y desde esta por la costanera hasta llegar a Calle Sarmiento, por Sarmiento hasta Centenario nivelando alrededor de la plaza hasta retomar Sarmiento y por esta última hasta cerrar en el PR ubicado en Sarmiento y Bs. As.

Distancia recorrida 3,457 Km.

Error de cierre = 0.020 m.

Cota salida = 49.813 m corresponde a Punto proa. de polígono Cota llegada = 49.833 m

POLÍGONO 6

Parte de PR ubicado en Córdoba y Richieri, por Richieri hasta Avda. Luján, por Luján hasta Lavalle, por Lavalle hasta Valdez, por Valdez hasta Frenguelli, por Frenguelli hasta Ruta Nacional N° 11, por Ruta nacional N° 11 luego siguiendo traza ferrocarril hasta Ruta N° 19, y por ruta N° 19 hasta tocar el PR ubicado en cabezal alcantarilla.

Distancia recorrida = 5.068 Km.

Error de cierre = 0.05 m.

Cota salida = 51.235 m Cota llegada = 51.285 m

POLÍGONO 7 . Vinculación Punto Fijo Trigonométrico lindero con la planta de tratamiento cloacal

Se partió de PR ubicado en Calle Mitre y Alberdi, por Alberdi hasta el Punto Trigonométrico ida y vuelta.

Distancia recorrida = 0.872 Km.

Error de cierre = 0.003 m.

Cota Salida = 49.574 m Cota llegada = 49.577 m

POLÍGONO 8: Vinculación PRN Estación Hidrométrica Batallón 121.

Unidad I: Memoria Técnica 2

El área de trabajo esta comprendida desde el Puente Mihura hasta Campo "Las Pañoletas" donde se ubica el Punto Fijo IGM N° 8 N (54).

El trabajo se desarrolló en tres Etapas:

Etapla N° 1: Se realizó un perfil longitudinal de apoyo en dirección Norte-Sur aproximadamente, partiendo del llamado Puente Mihura, donde junto a su cabecera (estribo) se materializó el PR N° 1, desde allí se relevaron cota de terreno natural a ambos lados del camino directriz hasta llegar a un PR ubicado sobre alcantarilla emplazada sobre el Canal La Pañoleta, frente al Campo El Retoño, según Plancheta IGM.

En este desarrollo longitudinal se materializaron doce puntos de referencia colocando hierros en poste de alambrados y sobre cabezales de alcantarillas cuyas cotas se encuentran en planilla de Nivelación de Puntos de Referencia adjunta. En este tramo se realizó nivelación de ida y vuelta arrojando una distancia de 21 Km. cuyo error de cierre fue de 1.1 cm.

Etapla N° 2: Se realizaron los perfiles transversales al perfil longitudinal mencionado en la Etapa N° 1 partiendo de los puntos fijos mencionados y otros desde puntos fijos intermedios (PFR) hasta llegar en algunos casos a bañados del Río Salado y en otros hasta el cauce del mismo. Además se tomaron coordenadas con GPS, de los puntos extremos de los perfiles, donde se colocaron estacas.

Los perfiles mencionados se desarrollaron sobre terrenos naturales, en algunos casos siguiendo la dirección de caminos y a ambos lados del mismo a distancia variable desde alambrados, según las características de la cobertura del terreno. En otros casos cuando se siguieron direcciones donde no existían caminos, se tomaron terrenos naturales en la dirección de la traza establecida.

A continuación se detallan los perfiles pertenecientes a esta Etapa:

- Perfil N° 1: se relevo desde PR N° 4 al Este hasta llegar a cauce del Río Salado con una longitud de 518.60 m, luego se partió desde dicho PR hacia el Oeste con una longitud de 998.90 m (ida y vuelta 3035.00m).
- Perfil N° 2: se relevo desde PR N° R2 (rastrillo 2) de arranque hasta el bañado con una longitud de 1098.00 m (ida y vuelta 2196.00m).
- Perfil N° 3: se relevo desde PR N° 8, junto al terraplén ferroviario, hacia el Norte, con una longitud de 3481.60 m (ida y vuelta 6963.20m)
- Perfil N° 4: se relevo desde PR N° R4 (rastrillo 4) de arranque hasta el bañado con una longitud de 2559.10 m (ida y vuelta 6963.20m).
- Perfil N° 5: se relevo desde PR N° 10 hasta el cauce del Río Salado con una longitud de 3797.60 m (ida y vuelta 7595.20m).
- Perfil N° 6: se relevo desde PR N° 11 hasta los bañados del Río Salado con una longitud de 3030.00 m (ida y vuelta 6060.00m).

Etapla N° 3: En esta etapa se realizaron perfiles transversales de terreno natural siguiendo el mismo criterio de las Etapas anteriores, apoyándose en una línea de nivelación correspondiente al tramo PR INA 2 a PR INA 5 (Canal La Pañoleta – Canal Franck).

En este tramo, se realizaron nivelaciones de cierre para llevar cota a puntos de referencia de arranque de los perfiles.

En primer lugar se partió del PR N° 3 (INA) hasta PR de arranque del Perfil N° 8 (PR8), de ida y vuelta.

De la misma forma se efectuó la nivelación de ida y vuelta desde el PR N° 4 (INA) hasta el PR de arranque del Perfil N° 9. (PR9).

Estas nivelaciones de cierre arrojaron una distancia de aproximadamente 800 m.

A continuación se detallan los perfiles pertenecientes a esta Etapa:

- Perfil N° 7: se relevo desde PR N° 2 INA hasta cauce del Río Salado con una longitud de 2635.60 m (ida y vuelta 5271.20 m).
- Perfil N° 8: se relevo desde PR R8 (rastrillo 8) hasta cauce del Río Salado con una longitud de 2606.30 m (ida y vuelta 5212.60 m).
- Perfil N° 9: se relevo desde PR R9 (rastrillo 9) hasta intersección curva a 90° Canal Franck con una longitud de 1502.20 m (ida y vuelta 3004.40 m).

UNIDAD I: Memoria Técnica 3

Las tareas realizadas se sintetizan en dos memorias técnicas que se exponen a continuación:

Las tareas se pueden ordenar en cinco etapas que abarcan cinco sectores.

Etapas 1 – Ruta Nacional N° 11

Se realizó un perfil longitudinal de apoyo entre el Pasaje Rusia (Distrito Sauce Viejo) al Sur y la empresa IHNSA (Distrito Santo Tomé) al Norte.

Se colocó el PR N° 1 en la esquina de Pasaje Rusia y ruta nacional N° 11 y se trasladó la cota por la banquina este de la ruta. Se tomaron las cotas del terreno natural del lado este y de la calzada de la ruta, y se llegó hasta un PR existente sobre la base del cartel de la empresa IHNSA.

Se acotó el riel este de la vía paralela y al oeste de la ruta nacional N° 11 al inicio, al final y en la entrada al aeropuerto.

Se materializaron 19 puntos de referencia en todo el recorrido sobre cabezales de alcantarillas y sobre el piso de veredas.

La longitud de la nivelación fue de 5.200 m.

Etapas 2 – Zona suburbana norte de Santo Tomé hasta la autopista en cercanías al Club de Campo La Tatenguita.

Se realizó un perfil longitudinal de apoyo partiendo del Punto Fijo IGM N° 5 y se trasladó por calle hacia el sur, luego hacia el este y finalmente hacia el norte hasta cruzar la autopista. Se relevó la cota del terreno natural a ambos lados del camino del perfil. En este tramo se trabajó con doble estación, la longitud fue de 7.250 m y el error de cierre fue de 11 mm.

Se materializaron 12 puntos de referencia con pinchotes sobre postes de alambrado y luz y sobre cabezales de alcantarillas.

Se realizaron perfiles transversales desde el longitudinal hasta el río Salado o los bañados del Salado con una longitud de 3.650 m. Los perfiles se hicieron sobre camino público o privado o siguiendo la alineación de alambrados. Se tomaron las cotas del terreno natural a ambos lados de la traza.

Los cinco perfiles son:

Perfil N° 1. Se relevó desde el PR N° 9 hasta los bañados del río Salado, nivelando con doble estación. Longitud 800 m.

Perfil N° 2. Se relevó desde el PR N° 7 hasta los bañados del río Salado, nivelando con doble estación. Longitud 757 m.

Perfil N° 3. Se relevó desde el PR N° 8 hacia el Este hasta donde lo permitió la vegetación natural existente. Al final del perfil se colocó el PR N° 3 con pinchote sobre poste alambrado. Se niveló con doble estación con una longitud de 638 m.

Perfil N° 4. Se relevó desde el PR N° 10 hacia el Este hasta bañados del río Salado. Se materializó el PR N° 4 al final del perfil sobre cabeza de poste. Se niveló con doble estación con una longitud de 814 m.

Perfil N° 5. Se relevó desde el PR N° 5 hasta el cauce del río Salado. Se materializó el PR N° 5 al final del perfil con un pinchote sobre espinillo. Se niveló con doble estación en una longitud de 641 m.

Etapas 3 – Zona centro de Santo Tomé

Se realizó un perfil longitudinal de apoyo en calle Centenario entre Av. 7 de Marzo y calle Chile, partiendo del PF MOP N° 964 que se encuentra en la Iglesia. En las esquinas se relevó la cota de las calles transversales a ambos lados.

Se materializaron ocho puntos fijos sobre cordón de vereda, la nivelación se realizó de ida y vuelta en una longitud de 1.220 m (2.440 m ida y vuelta).

Se realizaron perfiles transversales desde el longitudinal de calle Centenario hasta margen derecha del río Salado, tomando en las esquinas la cota de las calles transversales a ambos lados. La nivelación se realizó de ida y vuelta en una longitud de 1.203 m (2.406 m ida y vuelta).

Los tres perfiles transversales son:

Perfil N° 1. Calle Obispo Gelabert. Se relevó desde el PR N° 1 hasta el río Salado. Al final se materializó el PR N° 6. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 480 m (960 m ida y vuelta)

Perfil N° 2. Calle Esperanza. Se relevó desde el PR N° 3 hasta el río Salado. Al final se materializó el PR N° 7. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 342 m (684 m ida y vuelta)

Perfil N° 3. Calle Sgto. Cabral. Se relevó desde el PR N° 4 hasta la defensa sobre margen derecha del río Salado. Al final se materializó el PR N° 8. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 381 m (762 m ida y vuelta)

Etapas 4 – Zona centro norte y Regimiento de Santo Tomé

En esta etapa se realizaron perfiles transversales al norte de la Av. 7 de Marzo, desde calle Candiotti hasta el río Salado apoyándolos sobre puntos fijos de la FICH. Para ello se trasladó la cota del PF FICH ST 7 hacia el sur por calle Candiotti hasta calle Juan de Garay materializando el PR N° 9. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 324 m (628 m ida y vuelta).

Luego se trasladó la cota del PF FICH ST 8 hasta calle Balcarce materializando el PR N° 11. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 610 m (1220 m ida y vuelta).

Se materializaron siete puntos de referencia y en la nivelación de los perfiles se tomó la cota de las calles transversales en las esquinas. Los cuatro perfiles transversales tienen una longitud de 2.223 m (4.446 m ida y vuelta) y son:

Perfil N° 1. Calle Juan de Garay. Se relevó desde el PR N° 9 hasta margen del río Salado. Al final se materializó el PR N° 10. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 269 m (538 m ida y vuelta)

Perfil N° 2. Calle Mena. Se relevó desde el PF FICH ST8 hasta margen del río Salado. Al final se materializó puntos de referencia sobre PR N° 25 existente en columna de luz. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 165 m (330 m ida y vuelta)

Perfil N° 3. Calle Balcarce. Se relevó desde el PR N° 11 hacia el este hasta el río y se prolongó desde el PR N° 11 hacia el oeste. Hacia el río se llegó hasta la defensa sobre el río Salado y se materializó el PR N° 12. Hacia el oeste donde tapa calle Candiotti al final del perfil se materializó el PR N° 13. Se tomaron las cotas de las calles transversales y la nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 829 m (1.658 m ida y vuelta)

Perfil N° 4. Regimiento. Se relevó desde el PF FICH ST 1, cercano a la margen del río Salado, hacia el Oeste, en coincidencia con una calle interna, hasta el regimiento. Se tomaron las cotas del terreno natural a ambos lados del perfil, la nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 960 m (1.920 m ida y vuelta)

Etapas 5 – Zona desde puente Mihura hasta puente sobre ruta Prov. N° 70

Se realizó un perfil longitudinal de apoyo partiendo del PR N° 3 INA sobre cabezal de alcantarilla cercana al puente Mihura, primero en dirección Oeste, luego hacia el Norte hasta ruta Prov. N° 70 y finalmente sobre la banquina norte de la ruta hasta el puente principal sobre el río Salado, cerrando en el punto de referencia sobre la vereda del puente.

Se relevó cota del terreno natural a ambos lados de la traza en el camino de tierra, y la cota del terreno natural norte en la traza de la ruta Prov. N° 70. Se acotaron Puntos Fijos existentes del MAH sobre el lado Sur de la ruta Prov. N° 70.

Se materializaron siete puntos de referencia en el perfil longitudinal con pinchotes sobre postes de alambrados y sobre cabezales de alcantarillas.

La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 10.132 m y el error de cierre fue de 24 mm.

Se realizaron tres perfiles transversales desde el perfil longitudinal hasta el río Salado, siguiendo dos entradas particulares y un alabrado. Se tomó la cota del terreno natural a ambos lados del perfil y se completó una longitud de 3.400 m (6.400 m ida y vuelta).

Los perfiles son:

Perfil N° 1. Se relevó desde el PR N° 4 hacia el río Salado. A media longitud se materializó el PR N° 9 con pinchote sobre poste alabrado y al final se materializó el PR Rojo sobre estaca. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 1.518 m (3.036 m ida y vuelta)

Perfil N° 2. Se relevó desde el PR N° 3 hacia el río Salado. A media longitud se materializó el PR N° 8 sobre tronco seco y al final se materializó el PR N° 11 sobre tronco seco. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 1.385 m (2.770 m ida y vuelta)

Perfil N° 3. Se relevó desde el PR N° 2 hacia el Este hasta donde lo permitió la vegetación natural existente. Al final se materializó el PR N° 10 con pinchote sobre alabrado. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 460 m (920 m ida y vuelta).

RUTA NACIONAL N° 11

Se realizó una nivelación de control del perfil longitudinal de 5.200 m entre Pasaje Rusia (Sauce Viejo) y la empresa IHNSA (Santo Tomé), realizado y presentado en la Memoria Descriptiva Margen Derecha Río Salado.

Se partió del PR N° 1 y finalizó en el punto de referencia del cartel de IHNSA. Se trabajó con doble estación y el error entre las dos nivelaciones fue de cinco (5) mm. Con respecto a la nivelación presentada en el informe anterior, el error fue de 5 mm para una nivelación y de 10 mm para la otra. Se repintaron algunos Puntos de Referencia y se acotó el riel Este de la vía paralela a la ruta nacional N° 11 en dos pasos a nivel: al comienzo y al final del perfil longitudinal.

TRASLADO PUNTO FICH ST 11

Se realizó una nivelación para el traslado de cotas desde el PF FICH ST 11 frente al Regimiento de Ingenieros Anfibios en Santo Tomé hasta un PR sin número, dentro del Regimiento, sobre el piso de la garita de guardia. La nivelación se realizó de ida y vuelta con una longitud de 619 m (1.238 m. ida y vuelta) y el error de cierre fue de 2 mm.

CONTROL DE COTAS ENTRE FICH ST 6 Y PR N° 2

Se realizó el control de la cota entre el PF FICH ST 6 y el PR N° 2 de la nivelación de la Zona Centro de Santo Tomé, entregada en la Memoria anterior. Se hizo una estación ya que ambos Puntos Fijos se encuentran próximos, en Avda. 7 de Marzo y Centenario.

3.4.2.- MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA UNIDAD 2

Zona Norte de la ciudad de Santa Fe, Recreo y Monte Vera - Principales Trazas

1° TRAZA:

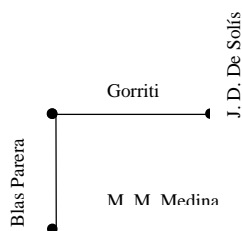
Con la finalidad de comprobar la precisión del polígono fundamental

Se partió de Gorriti y J. D. De Solís, del PF P1G (polígono fundamental), cota 18.848 m.

Por Gorriti hacia el oeste hasta Blas Parera. Por Blas Parera hacia el sur hasta Mario Millán Medina, cerrando en un punto del INA (Cierre = -0,015m).

En el trayecto de esta traza se vinculó el PF IGM 22 n (102) B – emplazado en el Hospital Sayago (Cierre = 0,002 m)

Croquis

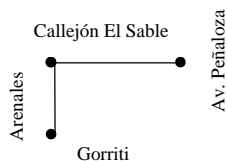


2° TRAZA:

Desde Arenales y Gorriti, por Arenales hacia el norte hasta Callejón El Sable.

Por Callejón El Sable al este hasta Avenida Peñaloza.

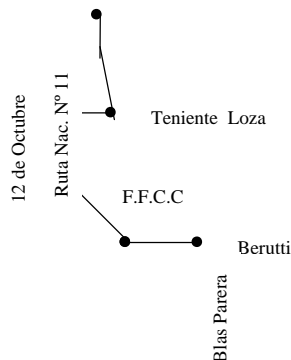
Croquis



3° TRAZA:

Se partió desde el PF IGM 22 n (102) B – emplazado en el Hospital Sayago. Por Berutti hacia el oeste hasta el FFCC. Por el FFCC hacia el Noroeste hasta Dra. C. Grigrson. Por Dra. C. Grigrson y continuando por 12 de Octubre hacia el Norte hasta Teniente Loza. Por Teniente Loza hacia el este hasta la Ruta Nac. N° 11. Por la Ruta Nac. N° 11 hacia el Norte hasta el PF IGM 20 n (102) B –emplazado en el Liceo Militar (Cierre = 0,028m). En toda la traza descripta se fue dejando puntos de referencia, que se identifican en los planos correspondientes.

Croquis

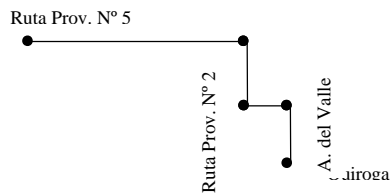


4° TRAZA:

Desde PR en la intersección de la Ruta Nac. N° 11 y la Ruta Prov. N° 5 siguiendo por esta última hacia el Este hasta la Ruta Prov. N° 2. Por la Ruta Prov. N° 2 hacia el Norte hasta el quiebre, luego al Este hasta Aristóbulo del Valle. Por Aristóbulo del Valle hacia el Sur hasta Quiroga. El control de cierre lo da la 5° Trazas (Cierre = -0,022 m).

Además se ejecutó una importante envolvente en la zona rural comprendiendo las áreas situadas al Norte y al Sur de la Ruta Prov. N° 5, entre la Ruta Nac. N° 11 y la Ruta Prov. N° 2, en la cual se realizaron redes de nivelación, identificadas en los planos, cuyos cierres se ajustan a las precisiones solicitadas.

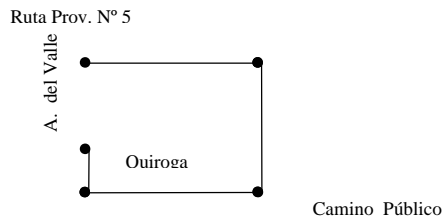
Croquis



5° TRAZA:

Desde la Ruta Prov. N° 2 y la intersección con Aristóbulo del Valle, siguiendo por la Ruta Prov. N° 2 hacia el Este, pasando por Ángel Gallardo hasta el Camino Pedro Gómez Cello (Continuación de General Paz). Por el Camino Pedro Gómez Cello (Continuación de General Paz) hacia el Sur hasta un camino público rural (límite del Distrito La Capital). Por el camino rural hacia el Oeste y continuando por Los Cedros hasta Aristóbulo del Valle. Por Aristóbulo del Valle al Norte hasta Quiroga (Cierre = -0,022 m).

Croquis



6° TRAZA:

Desde la Alcantarilla de la Capilla de Chaquito (PR 49) hacia el este por el Terraplén hasta la Laguna Setúbal. Al Norte del Terraplén se relevó un polígono que al Este bordea la Laguna Setúbal, al Oeste el Camino Pedro Gomez Cello y al Norte un camino viejo abandonado (Cierre = 0,011 m).

Para relevar este polígono así como la red interna se debió ingresar a propiedades privadas. Al sur del terraplén se relevó un polígono que al este bordea la Laguna Setúbal, al oeste el Camino Pedro Gómez Cello y al sur una línea de un viejo alambrado que atraviesa el bañado de este a oeste (Cierre = -0,019 m)

Forma parte de la red de nivelación en la zona rural el polígono que encierra los dos caminos de acceso de Chaquito a la Laguna.

Croquis



Por requerimientos del proyecto que consideró conveniente extender las nivelaciones a la zona rural del Río Salado se realizaron cuatro perfiles partiendo desde el Punto Fijo IGM PF N° 20n (102)B (cota 18.806 m) hasta margen izquierda del Río Salado, en cada uno de estos perfiles se colocaron estacas materializando el pelo de agua del río.

Los perfiles relevados partieron de un punto fijo materializado durante el desarrollo del polígono en una tranquera (PR A3), del polígono que vinculó dicho punto fijo, el Camino Viejo a Esperanza y el frigorífico Recreo (PR37). A partir de dicho punto de referencia se niveló el polígono Recreo (A3 – A4 – A5 – A6) materializando puntos de referencia en sus vértices, extendiendo perfiles hasta el pelo de agua.

El Perfil Recreo 1 tiene una longitud de 4798.50 m, a través del cual se colocaron cuatro puntos de referencia (PR 2 – PR 5 clavos en postes), y una estaca en el extremo del perfil, se realizó el cierre de la nivelación con un error de 0.004 mm.

El Perfil Recreo 2 tiene una longitud de 6639.40 m, a través del cual se colocaron dos puntos de referencia (PR 1 – PR 3 clavos en postes), se realizó el cierre de la nivelación con la estaca extrema colocada el Perfil Recreo 1 con un error de 0.014 mm.

El Perfil Recreo 3-1 tiene una longitud de 1691.50 m, se inició la nivelación desde el PR 3, correspondiente al Perfil Recreo 1, en su desarrollo se colocaron dos puntos de referencia (PR 7 – PR 8 clavos en poste) y una estaca en el extremo del perfil.

El Perfil Recreo 3-2 tiene una longitud de 3176.60 m, a través del cual se colocaron dos puntos fijos (PR 10 clavo en poste y PR 11 en alcantarilla), se inició la nivelación desde el PR 8, correspondiente al Perfil Recreo 3-1, el cierre se realizó con el PR A3 (en tranquera) con un error de 0.004 mm.

Finalmente la última etapa de los trabajos consistió en la vinculación del PR A1 ubicado en la ochava NO del ex Liceo Militar colocado en la primera etapa de los trabajos realizados en la localidad de Recreo, con un punto fijo colocado en la vereda norte del puente de la Ruta Prov. N° 70 sobre el río Salado, margen derecha (PR A7).

Esta vinculación se realizó siguiendo la misma metodología de trabajo, es decir tomando TN cada 100 m y dejando cuatro puntos de referencia a lo largo de 5478.80 m. Esta tarea

permitió cerrar los polígonos desarrollados en las márgenes izquierda (PR A7) y derecha (PR I.76) del río Salado.

3.4.3- MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA UNIDAD 3

Las trazas de nivelación definidas se realizaron mediante el levantamiento de cotas de terreno natural cada 80 m, con perfiles transversales tomando puntos hasta 100 m del eje de acuerdo a la posibilidad de acceso.

Se materializaron Puntos de Referencias identificados con pintura naranja mediante clavos en postes y marcas en alcantarillas, garitas, bordes de calzadas de pavimento y puntales de guarda-rail, cuya distribución se puede apreciar en el croquis de ubicación Puntos Fijos - Unidad III.

El punto de arranque de los polígonos está ubicado sobre loza de hormigón de la Estación de Bombeo Virgen de Guadalupe PR N° 91 (cota 14.202 m.), y se desarrollaron desde dicho punto tres polígonos: al sur de la Ruta Nac. N° 168, al este de la Ruta Prov. N° 1 y al oeste de la misma que convergen en el PR N° 97 (cota 17.016 m.) con un error de cierre de - 0.027 m. Su extensión hasta el Punto Fijo IGM PF N° 6 N55 se controló en su trayecto en el PR N° 105 (cota 16.281 m.) con un error de cierre + 0.034 m con la nivelación de vinculación al PF 50 MOP (cota 17.328 m.) ubicado frente a la plaza principal de la localidad de Rincón que a su vez se utilizó para incorporar la información altimétrica suministrada por dicha comuna.

El cierre de esta línea de nivelación en el Punto Fijo IGM PF N° 6 N55 (cota 15.830 m.) se verificó con un error de cierre de - 0.035 m.

A partir del PF IGM N° 6 N55 hacia el norte, hasta el A° Leyes se desarrollaron polígonos de nivelación de menor recorrido ante la imposibilidad de contar con Puntos IGM de control, según la siguiente descripción.

Polígono N° 01: Tiene una longitud de 2.636,10 m. En su trayecto se dejaron 10 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 2,5 cm.

Polígono N° 02: Tiene una longitud de 2.993,20 m. En su trayecto se dejaron 6 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 1,7 cm.

Polígono N° 03: Tiene una longitud de 1.493,70 m. En su trayecto se dejaron 3 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 1 cm.

Polígono N° 04: Tiene una longitud de 3.650,40 m. En su trayecto se dejaron 6 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 0,9 cm.

Polígono N° 05: Tiene una longitud de 3.690,30 m. En su trayecto se dejaron 7 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 1,6 cm.

Polígono N° 06: Tiene una longitud de 2.515,50 m. En su trayecto se dejaron 4 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 1,5 cm.

Polígono N° 07: Tiene una longitud de 5.160,80 m. En su trayecto se dejaron 5 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 1,7 cm.

Polígono N° 08: Tiene una longitud de 2.126,60 m. En su trayecto se dejaron 3 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 0,1 cm.

Polígono N° 09: Tiene una longitud de 2.807,70 m. En su trayecto se dejaron 3 PR y el cierre altimétrico estuvo en el orden de los 0,8 cm.

Polígono N° 10: Tiene una longitud de 1.638,90 m. En su trayecto se dejaron 3 PR

Polígono N° 11: Tiene una longitud de 2.500 m. En su trayecto se dejaron 2 PR

Polígono N° 12: Tiene una longitud de 422 m.
Polígono N° 13: Tiene una longitud de 362,50 m.
Polígono N° 14: Tiene una longitud de 471,70 m. En su trayecto se dejaron 2 PR
Polígono N° 15: Tiene una longitud de 723,60 m. En su trayecto se dejaron 2 PR
Polígono N° 16: Tiene una longitud de 600,40 m. En su trayecto se dejaron 1 PR
Polígono N° 17: Tiene una longitud de 1.323,20 m. En su trayecto se dejaron 3 PR
Polígono N° 18: Tiene una longitud de 1.554,80 m.
Polígono N° 19: Tiene una longitud de 658,40 m.
Polígono N° 20: Tiene una longitud de 1.165 m. En su trayecto se dejaron 2 PR El cierre altimétrico estuvo en el orden de los 0,3 cm.
Polígono N° 21: Tiene una longitud de 1.099,70 m. El cierre altimétrico estuvo en el orden de los 0,6 cm.
Polígono N° 22: Tiene una longitud de 471 m.
Polígono N° 23: Tiene una longitud de 2.257 m.
Polígono N° 24: Tiene una longitud de 2.047 m.
Polígono N° 25: Tiene una longitud de 725.6 m. En su trayecto se dejaron 1 PR
Polígono N° 26: Tiene una longitud de 2.243,50 m.
Polígono N° 27: Tiene una longitud de 701,60 m.
Polígono N° 28: Tiene una longitud de 2.014,70 m.
Polígono N° 29: Tiene una longitud de 544,20 m.
Polígono N° 30: Tiene una longitud de 1.028,50 m.

Vinculación N° 1: Partiendo del Punto Fijo ubicado en cercanías de la Escuela N° 30 y del club Atlético Arroyo Leyes se realizó una poligonal sobre la Ruta Provincial N° 1 para darle cota a un punto ubicado en la garita localizado en la intersección de la mencionada ruta y la calle N° 76 “Los Ceibos”. La vinculación se realiza ida y vuelta con una distancia total de 5.014 m. En el trayecto se materializaron 9 Puntos de Referencia en alcantarillas y pisos de garitas. El cierre altimétrico estuvo en el orden de los 1,7 cm.

Vinculación N° 2: Partiendo del Punto de Referencia anterior, se realizó una poligonal llegando hasta un punto ubicado en el muro cabezal de la alcantarilla de la calle N° 110 intersección con la Ruta Provincial N° 1. Dicha vinculación tiene una distancia total de 3.473 m, dejándose un total de 11 Puntos de Referencia en alcantarillas, garitas y transformadores.

Vinculación N° 3: Partiendo del Punto de Referencia anterior, se realizó una poligonal llegando hasta un punto ubicado en el puntal del guarda-rail del puente sobre el Arroyo Leyes. La misma tiene una distancia total de 5.197,10 m. En el trayecto se materializaron 10 Puntos de Referencia, los que se ubican en alcantarillas y pisos de garitas a la vera de la Ruta Provincial N° 1.

Vinculación N° 4: Partiendo del Punto de Referencia ubicado en cercanías de la Iglesia de Arroyo Leyes se realizó una poligonal para vincular este con el Punto de Referencia ubicado en el muro cabezal de la alcantarilla de la calle lindante al norte de la Comuna de Arroyo Leyes intersección con la Ruta Provincial N° 1. Dicha vinculación tiene una distancia total de 451,80 m.

Los Puntos de Referencia existentes a la vera de la Ruta N° 1 en el tramo comprendido entre la Comuna de Arroyo Leyes y Arroyo Potrero se vincularon a los Puntos Fijos IGM PF N° 5, 9, 10 y 11 de la Línea N55.

Nota: Todas las referencias necesarias para discriminar al detalle lo anteriormente expresado en esta Memoria Descriptiva se encuentran en originales de planillas de nivelación en formato papel en el **Tomo N° 4 Libretas de Nivelación** y **no observan el orden detallado de las Monografías de los Puntos de Referencia.**

4. ELABORACIÓN DE LAS CARTAS PLANIALTIMÉTRICAS

Desarrollo de la Cartografía Digital y Sistemas de Información Geográfico

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia del Proyecto, la información topográfica, cartográfica y aerofotográfica correspondería inicialmente a la generada del estudio anterior, actualizando las mismas con nueva información recopilada de distintos trabajos realizados en la zona y enriqueciéndola con nueva información producida para este trabajo.

Por pedido del Ministerio de Asuntos Hídricos de la provincia de Santa Fe, la base cartográfica a implementar en el proyecto, debía ser la suministrada por el Servicio de Catastro e Información Territorial (SCIT) de la provincia. La misma contiene información de manzanos de las ciudades de Santa Fe, Santo Tomé y Recreo, de las comunas de Monte Vera y San José del Rincón, y de zonas suburbanas y rurales que comprenden el área de estudio, las que se encontraban georeferenciadas en el sistema WGS 84 proyección Gauss Krüger faja 5 extendida..

Originalmente se recibió de la SCIT dos archivos en formato CAD, de extensión dxf, con manzanero, vías férreas y nombres de las calles de las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé, no así de las comunas. Esta base presentaba importantes vacíos de información como: la traza de la Ruta Nacional N° 11 sobre el río Salado, las obras de defensa en el cordón oeste de la ciudad de Santa Fe, los cancheros y espacios verdes en las zonas urbanas, la traza de la Ruta Nacional N° 168, la traza de la Ruta Provincial N° 1, la traza de la Avenida Malvinas Argentinas, la traza actualizada de la Avenida Alem y la traza de la defensa de la zona este de la comuna de San José de Rincón, entre otras. Parte de esta información fue reemplazada por un plano digital de la ciudad de Santa Fe suministrado por el Ente de la Reconstrucción durante la crecida del río Salado en el año 2003, y otra, fue dibujada a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

No se recibió de la SCIT la información hidrográfica de la zona de islas ubicadas entre la Laguna Setúbal y el Río Paraná, ni los archivos en extensión dgn (nativos de Microstation) de toda la zona de estudio, que probablemente tengan mayor calidad y cantidad de datos que los dxf de AUTOCAD.

Para suplir esa faltante se utilizaron imágenes satelitales las que fueron suministradas por el Ministerio de Asuntos Hídricos de la Provincia y las mismas se encuentran en formato tif, ellas son de fecha 6-11-2002 correspondiente a niveles de aguas normales y 15-4-2003 correspondiente a niveles de aguas altas previo al pico de crecida del Río Salado. Estas imágenes se recortaron a fin de abarcar sólo el área de estudio y se incorporaron como temas de eventos en el proyecto GIS.

Con apoyo de imágenes satelitales recién citadas y otras adquiridas al Grupo I Fotográfico de la II Brigada Aérea con asiento en Paraná, se digitalizó la zona de islas, cursos y bañados faltantes, así como los terraplenes de defensa este de la zona costera.

La traza de la ruta – terraplén de defensa oeste de la ciudad de Santa Fe, etapa III, fue suministrada por la empresa Supercemento S.A., integrante de una Unión Transitoria de Empresas (UTE), que se encuentra construyendo la mencionada obra.

Con fotografías aéreas de distintas zonas de la ciudad, se realizó un trabajo de georeferenciación y digitalización de nuevas urbanizaciones y parcelas rurales, no contenidas en los archivos enviados

por el servicio catastral (SCIT), a efectos de darle apoyo a la información topográfica relevada para el proyecto.

Con la información planimétrica disponible, se generó una base cartográfica del área de estudio (archivo base SCIT.dxf), que fue modificándose a medida que se incorporaban nuevos datos relevados y recopilados. Comprende las hojas IGM 3160-26-4-a 3160-26-4-b 3160-26-4-c 3160-26-4-d y 3160-27-3-a completas y parte de las hojas IGM 3160-26-3-b 3160-26-3-d 3160-32-1-b 3160-32-2-a 3160-32-2-b 3160-27-3-c 3160-26-2-d 3160-27-1-c, que cubre la zona de influencia de las crecidas de los ríos Salado y Paraná sobre el ejido urbano y suburbano de las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé y se encuentra comprendida dentro del área de cobertura de trabajo del Proyecto Áreas de Riesgo Hídrico realizado en el año 1992.

Esta cartografía de base es parte de la información de entrada que se incorpora en el Proyecto GIS que se desarrolla en el presente estudio, utilizando como soporte del sistema de información geográfica, el programa computacional ArcView y el módulo de análisis de imágenes.

Información altimétrica

De acuerdo a lo establecido en los Términos de Referencia del Proyecto, se realizaron tareas topográficas a efectos de vincular y actualizar la información existente referida a nuevos asentamientos, a obras de defensa, de canales, vías de comunicación como así también áreas con nula o escasa información planimétrica y altimétrica.

El trabajo topográfico indicado se detalla en el ítem 2 de este Informe Final.

En el sistema de información geográfica, en nuevos temas, se colocó la información altimétrica compuesta por:

- puntos acotados existentes de las Cartas Catastrales en escala 1:5000 realizadas por Spartan Air Service en el año 1970
- puntos altimétricos medidos por el INA para el Proyecto Plan Director de Drenaje Urbano de la Ciudad de Santa Fe (año 1994)
- puntos compilados de diferentes fuentes (Municipalidades de Santa Fe, de Santo Tomé y de Recreo, Comunas de Monte Vera y San José del Rincón, Ministerio de Asuntos Hídricos)
- puntos altimétricos generados para el presente trabajo, y que forma parte de la complementariedad mencionada en la propuesta de trabajo.
- Puntos fijos IGM

Dichos puntos se pueden apreciar en los diferentes planos de salida y sus correspondientes cotas forman parte de las bases de datos del sistema.

En el sistema de información geográfico se incorporaron, además, perfiles topo-batimétricos en distintas zonas del área de estudio. Las fuentes de estos perfiles son:

- perfiles en la zona de la Laguna Setúbal, A° Colastiné, Río Paraná, A° Leyes realizados en la década del 1980 por la empresa Agua y Energía Paraná Medio.
- perfiles sobre el río Salado realizados por la Dirección Nacional de Vialidad en el año 1976 para el proyecto rectificación del río Salado.
- perfiles sobre el A° Leyes, río Santa Fe, Coronda, Lag. Setúbal, canal de acceso realizado en enero de 2005 por el INA.

También, se incorporó en el Proyecto, la altimetría del área de estudio, correspondiente a:

- las curvas de nivel digitalizadas de las Cartas IGM en escala 1:50000

- las curvas de nivel realizadas por el INA para el proyecto de Áreas de Riesgo Hídrico en Santa Fe realizado en el año 1992

La información altimétrica incorporada se sustentó en las curvas de nivel elaboradas en el año 1992, a la cual se contrastó con una grilla de puntos altimétricos generados por trabajos topográficos realizados para el presente proyecto y compilaciones de topografía del INA (Estudio Plan Director de Drenaje de la ciudad de Santa Fe), del Ministerio de Asuntos Hídricos, y otras fuentes referenciadas siempre al sistema IGM.

Elaboración de las curvas de nivel

La realización de las tareas topográficas permitió densificar la información altimétrica para contrastar, corregir y mejorar el diseño de las curvas de nivel equidistancia 0.50 m generadas en el marco de la topografía realizada para el estudio de Delimitación de Áreas de Riesgo Hídrico en Santa Fe e incorporar otras zonas no cubiertas por el estudio antes mencionado.

En función de todos los antecedentes disponibles, con los nuevos incorporados y con los relevamientos complementarios realizados, se verificaron, modificaron y adaptaron las curvas de nivel, dependiendo su precisión de la densidad de puntos disponibles.

La modalidad del trazado de las curvas de nivel difiere en cada sector del área de estudio, debido principalmente a la densidad de puntos altimétricos que se dispusieron para su elaboración. Teniendo en cuenta estas consideraciones se dividió el área de estudio en 8 zonas de igual tratamiento altimétrico. Esta zonificación se expone a continuación y se muestra en el plano N° 30.

Zona 1 (Z1): Las curvas de nivel fueron elaboradas con topografía generada en el año 1994/1995 por el Instituto Nacional del Agua para el Proyecto correspondiente al Plan Director de los Desagües Pluviales de la ciudad de Santa Fe, con relevamientos complementarios realizados en el año 2005 y con información compilada de la Municipalidad de Santa Fe. La información compilada fue verificada su altimetría antes de su incorporación a la base de información altimétrica, con nivelaciones auxiliares. A partir de esta base de puntos altimétricos, se aplicó software específico para el trazado de las curvas de nivel, verificando y corrigiendo el trazado de las mismas con la topografía del lugar en forma manual.

Zona 2 (Z2): Las curvas de nivel fueron elaboradas manualmente con la topografía generada en el año 2005 para el presente proyecto, y ajustada con las curvas de nivel elaboradas en el proyecto de Área de Riesgo Hídrico del año 1992.

Zona 3 (Z3): Las curvas de nivel adoptadas fueron definidas solamente de las curvas de nivel elaboradas en el proyecto de Área de Riesgo Hídrico del año 1992.

Zona 4 (Z4): Las curvas de nivel fueron elaboradas manualmente con la topografía realizada en el año 2005 ajustadas con las curvas de nivel elaboradas en el proyecto de Área de Riesgo Hídrico del año 1992 e información de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

Zona 5 (Z5): Las curvas de nivel fueron elaboradas manualmente en base a las curvas de nivel elaboradas en el proyecto de Área de Riesgo Hídrico del año 1992 y ajustadas con la información topográfica realizada en el año 2005. Se utiliza también, el apoyo de fotografías aéreas e información compilada del Ministerio de Asuntos Hídricos.

Zona 6 (Z6): Las curvas de nivel fueron elaboradas manualmente a partir de la topografía realizada en el año 2005, las que fueron ajustadas con las curvas de nivel del Instituto Geográfico Militar (IGM) correspondiente a las planchetas mencionadas en escala 1:50.000.

Zona 7 (Z7): Las curvas de nivel fueron elaboradas manualmente a partir de la topografía realizada en el año 2005 y ajustada con fotogramas correspondiente a los años 1977 y 2000.

Zona 8 (Z8): Las curvas de nivel fueron elaboradas manualmente a partir de la topografía realizada en el año 2005, de la topografía compilada de las Municipalidades de Santa Fe y de Recreo y de la comuna de Monte Vera e información de la defensa tramo III en construcción, proporcionada por la empresa Supercemento (UTE).

Los límites definidos de las zonificaciones son aproximados dado que las curvas cruzan las mismas y deben adecuarse a los criterios de cada zona.

El área de estudio se dividió en 14 zonas cuya subdivisión y escala se realizó de conformidad con el comitente respetando el área de estudio y estando ellos referidos planimetricamente al Sistema de Referencia Oficial de la Provincia de Santa Fe y altimetricamente al Instituto Geográfico Militar.

5. SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE CRECIDAS

Se realizó una actualización de las series hidrológicas estadísticamente y un análisis de las crecidas históricas y de diseño utilizando la modelación hidrodinámica.

5.1 SISTEMA DEL RÍO SALADO

5.1.1. Información analizada

A partir de los antecedentes existentes, se actualizó la serie de niveles y caudales en el río Salado (Ruta Prov. N° 70 e INALI) y en el puerto de Santa Fe, incorporando las crecidas registradas en los años 1998 y 2003.

Río Salado en Ruta Prov. N° 70.

Esta sección se encuentra a 25 Km. aguas arriba de su desembocadura disponiéndose de registros de niveles diarios para la serie 1953-2003, con interrupciones en el período 1987-1993.

La serie de caudales medios diarios fueron divididos en dos períodos debidos a cambios detectados en la curva de descarga.

La sección de paso del Río Salado en ruta provincial N° 70 comprende un puente principal y dos aliviaderos. Para alturas hidrométricas próximas a los 6.85 -7.00 m el nivel de las aguas sobrepasaba la cota de calzada de pavimento. A partir de que la misma fue alteada en oportunidad de su repavimentación, la incorporación de bolseado de las banquetas (a modo de defensas), y el denso desarrollo de vegetación (cañas) en la banquina norte, ocasionó una modificación en la relación h-Q a partir de los 6.85-7.00 m aproximadamente.

En consecuencia, se estableció una nueva curva de descarga, a partir de 1993, y cuyas principales diferencias surgen para niveles superiores a los 7.00 m:

1. Serie 1953-1986 Se utilizó la curva de descarga realizada por el INCyTH (INA-CRL)
2. Serie 1993-2003. Se utilizó la nueva curva de descarga realizada por la SSRH (operada por EVARSA).

Río Salado - Inali

Esta estación cuenta con niveles diarios y opera desde 1971 a la fecha. La misma se encuentra sobre la desembocadura del Río Salado (300 m aguas arriba de Ruta Nacional N° 11) en el sistema fluvial del río Paraná y gobernada por las fluctuaciones de éste para situaciones de aguas medias y altas, en las cuales en general las cotas de pelo de agua son mayores en Puerto Santa Fe.

Sin embargo en situación de grandes crecidas del Río Salado y situación de aguas bajas en el Paraná, la cota de pelo de agua es mayor en la desembocadura del Río Salado que en el Puerto de Santa Fe.

Sistema Paraná - Puerto Santa Fe

La misma es operada por la Dirección Nacional de Vías Navegables, con registros de niveles diarios en el período 1905-2003. En las alturas máximas y medias anuales para el período

completo de observación se aprecia que a partir de 1960-61 se produce una tendencia con incrementos positivos acentuándose a partir de la década del 70, situación similar a la indicada para los caudales del río Salado.

Niveles máximos de la crecida 2003

A partir de las marcas dejadas por los máximos niveles de la reciente crecida del río Salado, se seleccionaron puntos característicos en ambas márgenes, y se vincularon altimétricamente las marcas testigos, a efectos de representar el perfil longitudinal del pelo de agua. El tramo relevado comprende desde puente carretero de la ruta nacional N° 11 hasta el puente del río Salado sobre la ruta provincial N° 6.

5.1.2 Selección y análisis de crecidas

Los regímenes de los ríos Paraná y Salado en su desembocadura son independientes entre sí. Dado los objetivos del presente estudio, las condiciones mas críticas se producirán ante situaciones de crecidas simultáneas en ambos ríos que producen elevadas cotas de pelo de agua en todo el tramo del río Salado.

En consecuencia, a los efectos del presente estudio se requiere determinar los máximos caudales del río Salado, combinados con niveles máximos del río Paraná.

Máximas crecidas registradas

En el río Salado estación Esperanza se cuenta con mediciones de caudales para estados de aguas altas, cuatro de las cuales son coincidentes con los máximos registrados en las crecientes extraordinarias de 1973, 1977, 1981, 1998 y la recientemente registrada en el 2003.

Creciente Río Salado –año 1973

Ocurrida en mayo - junio de 1973 fue aforada por la DPOH. El agua sobrepasó la carpeta asfáltica, y se produjeron dos cortes de aproximadamente 700 m cada uno entre el puente principal y el aliviadero Este.

El pico fue registrado el 13-06-1973 para una altura de 7.19 m y un caudal de 2430 m³/s, de los cuales 1234 corresponden al puente principal, 270 al aliviadero Este, 456 al aliviadero Oeste y 470 sobre el pavimento. Los tres primeros caudales corresponden a valores medidos en tanto el último fue estimado. Estos datos fueron recalculados (4), por cuanto el valor correspondiente al escurrimiento sobre pavimento era sobreestimado en un 48% por exceso en la medición del área.

La onda tuvo una duración de 90 días producto de los aportes del Sistema Bajos Submeridionales. El máximo caudal se produjo durante la curva de recesión del hidrograma por precipitaciones en la cuenca inferior del Salado, cuyos aportes se superpusieron a la onda principal. El segundo pico es el de mayor magnitud, y en ambos durante 20 días se produjeron caudales superiores a los 1000 m³/seg.. En el último de los picos durante siete días los caudales superaron los 2000 m³/seg.

Creciente Río Salado –año 1977

La crecida fue aforada por INCyTH, y si bien fue sobrepasada la ruta, la magnitud de la misma fue inferior a la anterior. La máxima altura hidrométrica fue registrada el 14-03-1977 con un $h = 6.55$ m y un caudal total de 1790 m³/s. Al igual que en el caso anterior, si bien el pico fue de corta duración, durante 22 días los caudales fueron superiores a los 1000 m³/s.

Creciente Río Salado –año 1981

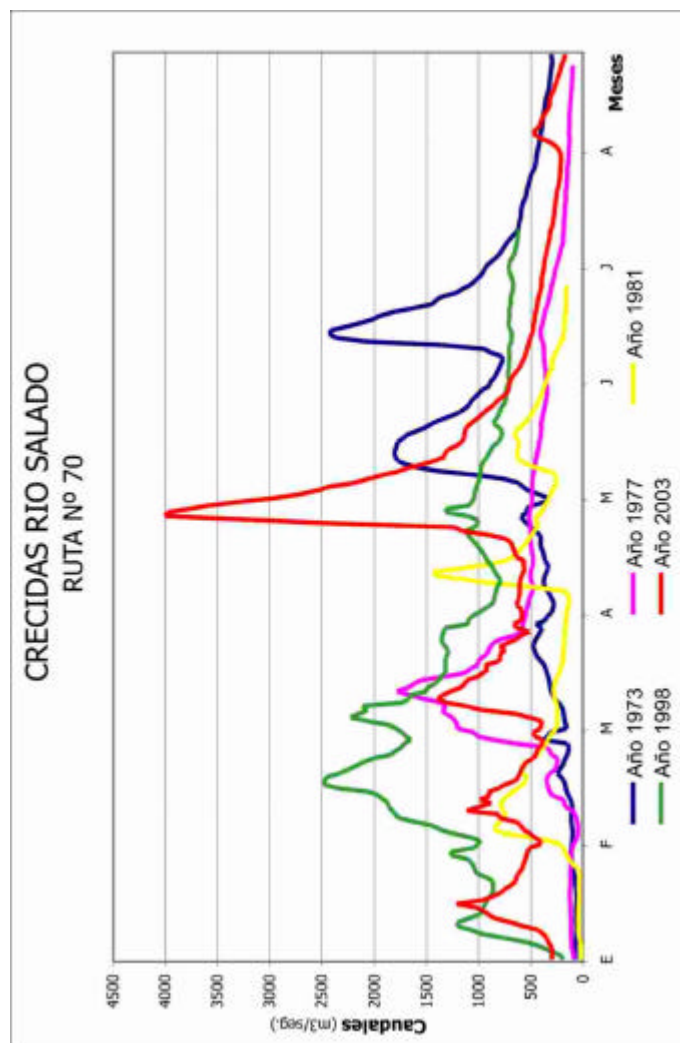
Los máximos registrados en 1981 corresponden a precipitaciones producidas en la zona de desembocadura, lo que produjo un repunte de gran magnitud pero de breve duración en que solo 4 días se registraron caudales superiores a los 1000 m³/s.

Creciente Río Salado –año 1998

La crecida extraordinaria en la cuenca del río Salado, fue aforada por el CRL del INA en la sección puente autopista Santa Fe - Rosario. El mismo día como resultado un caudal de 2350 m³/s el 18-02-1998

Los aforos realizados en la estación Esperanza por la empresa EVARSA el día 19-02-98 para una altura de escala de 7.08 m arrojaron un total de 2003 m³/s, de los cuales 1307 m³/s escurrían por el puente principal, 457 m³/s por el aliviador oeste y 239 m³/s por el aliviador este. El pico se dio el día 17-02-98 con un nivel de escala de 7.10 m. En esta oportunidad la ruta no fue sobrepasada, pero hay que considerar que la misma fue alteada en oportunidad de su repavimentación y adicionalmente fue defendida mediante bolseado de las banquetas. Esta crecida además fue la que se presentó con mayor coincidencia con la crecida del río Paraná, por lo que la influencia del remanso en esta sección de aforos es importante. De los ajustes efectuados a la curva de descarga a partir de 1994, corresponde un caudal pico de 2672 m³/s.

En el gráfico siguiente, se presenta la evolución de la crecida a partir de los registros de niveles proporcionados y transformados en caudales a partir de la curva H-Q adoptada. En el mismo puede observarse que entre febrero y abril se superaron los 1000 m³/s durante 61 días consecutivos, con dos picos que superarían los 2000 m³/s durante 10 y 5 días respectivamente, constituyéndose en la crecida de mayor volumen registrada hasta el momento.



Creciente Río Salado –año 2003

La crecida del río Salado se originó por la ocurrencia de lluvias elevadas sobre su cuenca baja entre los días 22 y 24 de abril del corriente año. En dicho período se registraron precipitaciones de gran magnitud: La Penca (388 mm), Margarita (352 mm), San Justo (120 mm), Esperanza (112 mm).

La onda de crecida originada por estas lluvias se superpuso sobre la recesión de una onda previa, ocurrida durante el mes de marzo, cuyo pico alcanzó los 1380 m³/s en ruta Prov. N° 70. En los tres primeros meses de 2003 en La Penca y San Cristóbal, se registraron precipitaciones que superaron los 1000 mm, lo que dio origen a un estado de total saturación de la cuenca baja.

El tiempo de retardo del pico de la crecida desde las precipitaciones del 23-24/4 fue de 5 días, con variaciones de caudales en ruta Prov. N° 70 desde 950 m³/s el 24/4 hasta un máximo instantáneo estimado en 4000 m³/s el 29/4. El tiempo de permanencia de caudales superior a los 1000 m³/s fue de 31 días.

El caudal aforado el 30/04 aguas abajo del FFCC Mitre, fue de 3100 m³/s. Este valor no incluye los caudales que desbordaron por la margen izquierda del río Salado inmediatamente aguas arriba de la ruta Prov. N° 70, (que inundaron la localidad de Recreo e inmediaciones) y en la zona del Hipódromo “Las Flores”, que inundaron la zona oeste y parte del centro sur de la ciudad de Santa Fe.

Se estimó un caudal máximo del orden de los 3800m³/s en ruta Prov. N° 70, de acuerdo a la curva altura caudal actualizada, pero hacia el norte de Recreo se produjo el desborde de la Ruta Nac. N° 11 y del FFCC en unos 4000 m de longitud aunque con poca altura, estimándose este caudal que se derivó hacia la Laguna Setúbal en 154 m³/s (114m³/s por encima de la ruta y 20m³/s por las obras de arte). También agua abajo de Recreo, se produce un corte de menor magnitud, estimado en 50 m³/s.

En la sección autopista se estima que pasaron aproximadamente 3450m³/s ya que se calcula que un caudal del orden de los 300 m³/s se introdujo por una brecha de la defensa por el norte de la Ciudad de Santa Fe (cercana al Jockey Club), de acuerdo a los tiempos de llenado del volumen inundado dentro de la ciudad. El nivel observado en la Ruta provincial N° 70 fue de 18.90m IGM y el observado en el ingreso a Santa Fe fue de 16.75m, mientras que en Santo Tomé fue de 14.61m y 13.69m en Puerto Santa Fe. El agua de la ciudad estaba saliendo en el momento del pico por la brecha de la defensa por donde ingresa el FFCC Gral. Mitre (cota 16.00 m) y luego comenzó a salir por las roturas que se realizaron en el Terraplén Irigoyen, la Av. Mar Argentino y los desbordes hacia el canal de derivación sur (Río Paraná).

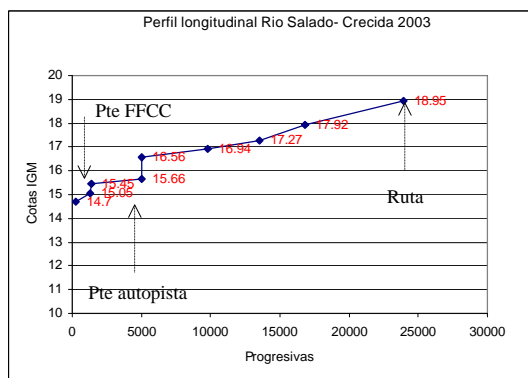
En la sección del puente Autopista Santa Fe – Rosario (155 m) la contracción producida por el terraplén (8% del ancho del valle aluvial) en esa sección, originó una elevación adicional del nivel de agua de 0.80 m. El efecto del remanso, influyó en el desborde en la zona del hipódromo, ubicado a unos 2400 m aguas arriba del puente.

A partir de los vestigios dejados por el agua, se realizaron relevamientos topográficos para su vinculación altimétrica. La ubicación y sus respectivos valores (cotas IGM) se presentan

en el plano siguiente. Se disponen fotografías aéreas en escala 1: 20.000 en el tramo desembocadura- ruta provincial N° 70 en fecha inmediatamente posterior al pico (07/mayo 2003), que permite precisar los niveles de inundación en todo el tramo.

El perfil hídrico con los niveles máximos que alcanzó el agua durante la crecida en puntos característicos se presenta en la tabla y grafico adjunto.

Punto	Lugar	Progresiva (m)	Cota (m)	Observaciones
	Cuatro Bocas		14.62	Batallón Ing. Ejército
1	Pte Carretero	0		
2	INALI	300	14.7	Escala hidrométrica
3	FFFCC. Mitre(ag abajo)	1340	15.05	Municipalidad de Santo Tomé
4	FFFCC. Mitre(ag arriba)	1350	15.45	Municipalidad de Santo Tomé
5	Autopista aguas abajo	5000	15.66	Club Inmaculada
6	Autopista aguas arriba	5010	16.56	Club CRAI
7	El Pinar	9800	16.94	Club El Pinar
8	Canal Ediger	13500	17.30	Margen derecha
9	Gorriti	13500	17.27	Escala DPOH
10	Empalme San Carlos	16800	17.92	Marca zona urbana
11	Canal Sur	21600	18.80	Ex puente Mihura
12	Ruta Prov. N° 70	23900	18.95	EscHidroméSSRH(EVARSA)
13	Ruta 6 (a. Arriba)	39100	23.89	



Crecidas río Paraná

Sobre el río Paraná se han seleccionado las crecidas de 1992, 1983 y 1977 cuyo efecto de remanso en el tramo inferior del río Salado es de singular interés evaluar. Por otra parte, de la correspondiente a 1977, se disponen fotografías aéreas en escala 1:2000 en fecha próxima al pico, lo que permite precisar los niveles de inundación alcanzados en todo el tramo.

Los niveles alcanzados por las crecidas del río Salado en 1973, 1977, 1983, 1998 y 2003 fueron registrados en diversas secciones, y los respectivos valores medidos se presentan en el cuadro adjunto.

Niveles y cotas registradas en crecidas extraordinarias

Fecha	INALI h.escala/ Cota	Menchaca h.escala /Cota	Empalme h.escala/Cota	Esperanza h.escala /Cota
Junio 1973	5.61 - 13.94		7.80 - 16.43	7.04 - 18.28
Marzo 1977	6.48 - 14.81	4.54 - 15.58	7.90 - 16.53	6.55 - 17.79
Julio 1983	7.11 - 15.44	4.48 - 15.53	6.91 - 15.54	4.37 - 15.61
Feb-may 1998	7.09 - 15.42			7.10 - 18.34
Abr-May 2003	6.37- 14.70		17.92 (*)	7.89 - 18.95)

• valor obtenido a partir de marcas de la creciente.

5.1.3. Análisis de frecuencias de caudales máximos del Río Salado

En los anteriores trabajos realizados por el CRL del INA (Ex INCYTH) se efectuaron análisis de frecuencias de caudales máximos anuales correspondientes a estación Ruta Prov. N° 70.

Un análisis detallado fue realizado en 1998 para el estudio de la nueva conexión vial Santa Fe - Santo Tomé y para el redimensionado del puente de la autopista solicitado por la concesionaria AUFE, el cual fue actualizado en el año 2003. En dichos estudios se efectuó el análisis de frecuencia de la denominada serie moderna que corresponde al período entre 1971 - 2003. La introducción en la serie del máximo de abril del 2003 de 3954 m³/s, produce importantes modificaciones en la serie muestral. Los resultados de la aplicación del programa estadístico AFMULTI arrojan los siguientes valores muestrales (En el anexo se presentan la salida completa y las respectivas distribuciones):

Longitud de la serie: 27 años
Caudal máximo medio: 865 m³/s
Desvío: 882 m³/s
Coef. de variación: 1,02
Coef. de asimetría: 2,31
Caudal máximo máximo: 3954 m³/s
Caudal máximo mínimo: 154 m³/s

El caudal máximo diario promedio aumentó solo en un 11 %, pero el desvío lo hizo en casi un 40 % lo que le confiere una característica de alta variabilidad a la muestra (coeficiente de variación superior al 100 %).

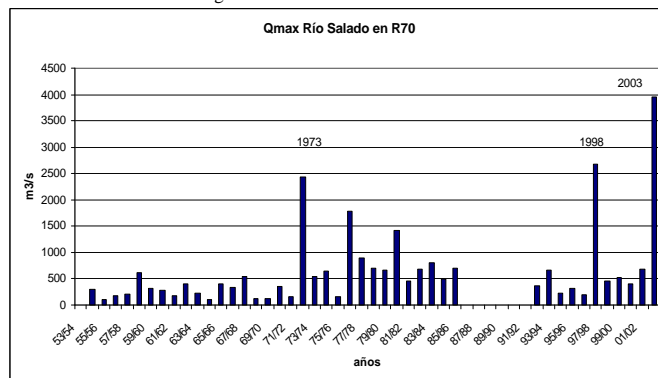
También el coeficiente de asimetría pasó de 1, a 2.31, influenciado por el valor extraordinario del 2003, que fue del orden de un 50% mayor que los máximos registrado anteriormente en los años 1973 y 1998.

Si se hubiera estimado cual era la probabilidad y recurrencia esperada para un caudal del orden de los 4000 m³/s, antes de que el mismo se produjera, a la luz de los estudios

disponibles del año 1998, se hubiera indicado que dicha crecida era esperable con una recurrencia del orden de los 500 años. Esto implica que es necesario realizar un nuevo análisis de frecuencia de los caudales máximos introduciendo los nuevos valores medidos, lo que evidentemente cambiará los parámetros de diseño disponibles hasta este momento.

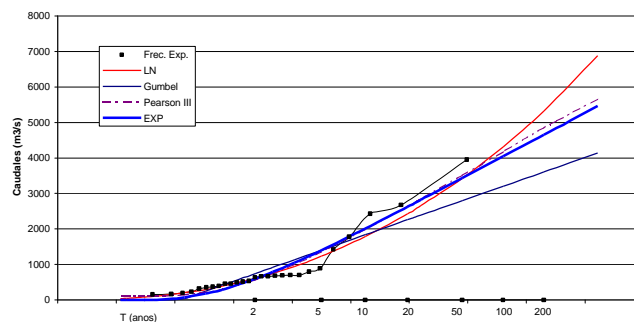
La cuenca activa del Río Salado que genera las crecidas bajo estudio, se ha visto permanentemente modificada en los últimos 50 años, en relación, al uso del suelo y al continuo desarrollo de obras de desagües rurales, como así también a un mayor régimen de precipitaciones ocurridas en los últimos 30 años. Esto se refleja claramente en los caudales máximos cronológicos que se muestran en el gráfico siguiente.

Caudales máximos cronológicos Río Salado en Ruta Prov. N° 70



Aun aceptando todas las limitaciones que implica un análisis de frecuencia sobre series de este tipo, el mismo se realiza para establecer valores de referencia para el diseño y redimensionado de nuevas obras civiles. Se utiliza el programa AFMULTI para la serie 1971-2003, ajustando las distribuciones Pearson III, Log. Normal, Gumbel y Exponencial, con frecuencia experimental según Hazen. La representación gráfica se muestra a continuación.

Análisis de Frecuencia de caudales máximos anuales
 Río Salado en Ruta 70



Manteniendo el criterio de selección de distribuciones en el campo muestral pero pensando en modelos de comportamiento robusto se adoptan los valores de caudales máximos correspondientes a las distribuciones Pearson III y Exponencial, cuyo promedio arroja los siguientes valores:

T (años)	Caudal (m³/s)
1000	6250
500	5470
250	4825
100	4110
50	3470
10	2000
5	1375
2	580

Si se considera la distribución Log-Normal, se observa que la misma también presenta un ajuste muestral bueno y que no difiere mayormente de los valores proporcionados para recurrencias de hasta 100 años, pero por encima de estas recurrencias sobreestima los valores esperados dando lugar a montos de crecidas tan altos que aún desde el punto de vista físico son difícilmente conducidos por el valle de inundación del río.

A efectos de tener en cuenta las incertidumbres implícitas en las estimaciones, se calcularon los intervalos de confianza para los valores esperados calculados con la distribución exponencial

Intervalos de confianza del caudal esperado para diferentes recurrencias para un nivel del 90% (Según Kite, 1977)

T (años)	Límite Inferior (m ³ /s)	Caudal Esperado (m ³ /s)	Límite Superior (m ³ /s)
500	3698	5462	7227
250	3170	4851	6139
100	2771	4043	5316
50	3470	3432	4493
20	1970	2630	3672
10	1438	2013	2589
5	1028	1402	1776

El significado de estos límites es que resulta esperable con un nivel de confianza del 90 % que los valores que se estiman para una probabilidad indicada, caigan dentro de esos límites.

El intervalo de confianza depende fuertemente del tamaño de la muestra y del estimador de desvío, por lo que en este caso de una muestra de escasos 27 datos y CV superior al 100 %, los intervalos son muy grandes. Así se encuentra que el límite superior de la crecida centenaria es un 31 % mayor que el valor central.

Análisis de niveles máximos de puerto Santa Fe

Al igual que para el río Salado, el Paraná ha sido objeto de anteriores estudios, en los cuales se efectuaron análisis de frecuencias de valores máximos.

Con el fin de utilizar parámetros de diseño comparables entre los diversos estudios y proyectos de la zona, se actualizó la serie de niveles máximos diarios en Puerto Santa Fe y se efectuó nuevamente el análisis de frecuencia utilizando el mismo programa AFMULTI para la serie 1961-2002.

Los niveles del río Paraná se determinaron de acuerdo, al análisis de frecuencia de alturas máximas puerto Santa Fe. Se procedió a seleccionar el nivel máximo anual alcanzado o superado durante 1 día, 7 días, 15 días y 30 días. Para cada una de las variables definidas se realizó con el modelo AFMULTI el análisis de frecuencia de la serie 1960/61 – 2002/03, incluyendo el evento de mayo de 2003. En la Tabla adjunta se presentan los estadísticos muestrales para las series de niveles máximos consideradas.

Estadísticos de Alturas hidrométricas (en m)

	Diaria	7 días	15 días	30 días
Hmáx med (m)	5.28	5.22	5.09	4.80
S	0.99	0.99	0.97	0.94
CV	0.19	0.19	0.19	0.20
CS	0.44	0.41	0.31	0.17
CK	2.4	2.4	2.5	2.6

Siendo: hmáx med: altura máxima media, S: desvío estándar, CV: coeficiente de variación, CS: coef. de asimetría y CK: coef. de Kurtosis.

En función de los ajustes a la muestra disponible y a las recomendaciones de estudios de frecuencia sobre éste río, se adopta a la distribución GEV (de valores extremos generalizada), como representativa de las muestras analizadas.

Teniendo en cuenta la cota IGM del cero de la escala del Puerto Santa Fe de 8.19 m, se confeccionó la tabla siguiente con los valores característicos que se indican a continuación:

Alturas máximas para distintas permanencias en Puerto Santa Fe -en cotas IGM (m)

T(años)	Diaria		7 días		15 días		30 días	
	Alturas	Cotas	alturas	Cotas	Alturas	cotas	Alturas	cotas
2	5.16	13.35	5.11	13.30	5.01	13.20	4.75	12.94
5	6.12	14.31	6.06	14.25	5.93	14.12	5.63	13.82
10	6.70	14.89	6.63	14.82	6.46	14.65	6.10	14.29
20	7.21	15.40	7.13	15.32	6.91	15.10	6.49	14.68
50	7.82	16.01	7.71	15.90	7.42	15.61	6.92	15.11
100	8.24	16.43	8.11	16.30	7.76	15.95	7.19	15.38
500	9.09	17.28	8.92	17.11	8.41	16.60	7.67	15.86

Es conocido el comportamiento de los niveles extremos que tienden a hacerse asintóticos en la cola superior, sobretudo en cursos con importantes valles de inundación, motivo por el cual se ha seleccionado una distribución de frecuencias que representa este efecto. No obstante ello, los valores que superan ampliamente el tamaño de la muestra (100 y 500 años) deben tomarse con precaución, y considerarse solamente a título indicativo.

5.1.4. Modelación hidrodinámica

Las zonas con frecuente riesgo de inundación fluvial han sido ocupadas por la población durante los últimos 60 años, y se han incorporado obras estructurales que modifican el cauce natural y generan alteraciones en el escurrimiento natural.

Con posterioridad al estudio realizado de Área de Riesgo Hídrico (1992), se produjo crecidas extraordinarias del río Salado con niveles y caudales superiores a los registrados hasta esa fecha y se han generado modificaciones en el valle fluvial del río.

Ante esta situación, surge la necesidad de actualizar las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación, donde deberá contener los nuevos escenarios hidrológicos y las modificaciones estructurales introducidas en el medio físico a efectos de producir una nueva base de información referida a la ocupación y uso del suelo.

Las curvas de riesgo hídrico para las distintas recurrencias son estimadas a partir de los resultados obtenidos de la aplicación de un modelo matemático y de la planialtimetría de la zona de estudio. Se realiza la implementación y aplicación del modelo hidrodinámico ISIS FLOW en el río Salado considerando en su configuración las nuevas defensas contra inundaciones y los escenarios hidrológicos definidos. Los limnigramas calculados en cada caso, son utilizados para definir las diferentes áreas inundadas.

5.1.4.1 Metodología

Se implementó el modelo hidrodinámico a partir de la información topográfica utilizada en el trabajo anterior más el agregado de nueva información batimétrica en las secciones más significativas. Además, se extendió el espacio modelado hacia aguas arriba hasta la ruta provincial N° 6 y se colocó una rama adicional que simula el comportamiento del canal de Derivación Sur y las nacientes del río Coronda.

El escenario de modelación del río Salado corresponde a un tramo de río de aproximadamente 56 Km., comprendido entre aguas abajo de la ruta provincial N° 6 y su desembocadura, en el río Coronda. Esta última sujeta a las variaciones de niveles producidos por el río Paraná.

Dentro de este espacio físico, se caracterizó al tramo del río Salado con 35 secciones espaciadas de longitudes variables donde se han actualizado el perfil batimétrico del puente autopista, del puente sobre ruta Prov. N° 70 y se han incorporado otros perfiles aguas arriba de la traza de Empalme San Carlos hasta el puente de la ruta Prov. N° 6. Se incorporaron, además, 15 perfiles batimétricos que definen la nueva rama incorporada a la configuración del modelo. Cada sección se compone de un cauce principal, dos valles fluviales caracterizados por zonas de movimiento y zonas de almacenamiento con velocidades muy pequeñas o despreciables.

Cuando se produce la crecida, el río sale de su cauce madre y el valle fluvial comienza a conducir parte de la crecida combinando su trayectoria meandrosa, con la definida por el valle. En estos casos, el valle toma más importancia y conduce caudales significativos, aumenta la pendiente de energía, se reduce la longitud entre secciones y cambian las condiciones de resistencias al escurrimiento.

Descripción del modelo

Condiciones generales del modelo

El modelo hidrodinámico ISIS Flow es un programa computacional usado para modelar canales abiertos y flujos en planicies de inundación en cualquier red de canales. Puede incorporarse una amplia gama de estructuras hidráulicas (alcantarillas, vertederos, terraplenes, compuertas, bombeos, reservorios, etc.) que son usadas para evaluar el comportamiento del sistema actual y/o diseñar un nuevo sistema, incluye además, una variedad de tipos de conductos.

El cálculo de las profundidades y caudales generados a partir de una onda de crecida están basados sobre las ecuaciones para ondas de flujo poco profundo en canales abiertos – ecuaciones de Saint Venant. El sistema puede resolverse para condiciones permanentes e impermanentes y utiliza el esquema de diferencias finitas de cuatro puntos de Preissmann para resolver el sistema de ecuaciones.

Los resultados del modelo pueden ser usado junto a un sistema de información geográfica, definiendo así, los anchos afectados por inundación, las profundidades, las velocidades de los cursos de agua, a efectos de analizar el comportamiento del canal y el funcionamiento de los sistemas de hidráulicos introducidos.

La unidad de río basada en la ecuaciones de Saint Venant para flujo unidimensional, expresan las conservaciones de masa y momento del cuerpo de agua. También es posible realizar un pseudo modelado bi-dimensional para planicies de inundación cuando se calculan diferentes caudales para distintas áreas de una sección transversal. Se puede incorporar también almacenamiento de agua en una planicie de inundación y flujo turbulento. Las regiones localizadas con flujo supercrítico pueden ser modeladas en forma aproximada.

Ecuaciones

Las ecuaciones utilizadas en la unidad de Río son de Conservación de Masa y Continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

Q = Caudal (m³/s)

A = sección transversal

q = Caudal específico (m³/s/m)

x = distancia longitudinal del canal (m)

t = tiempo (s)

Ecuación de Momento o Dinámica:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} - g \frac{AQ/Q}{K^2} + q \frac{Q}{A} \cos \alpha = 0$$

H = nivel de agua

β = coeficiente de corrección del momentum

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

α = ángulo de incidencia del flujo

K = conducción del canal

n = coeficiente de Manning

R = radio hidráulico (A/P)

P = perímetro mojado

Las consideraciones hechas para derivar las ecuaciones de Saint Venant son las siguientes:

- El flujo es unidimensional: se utiliza una velocidad y una cota específica para describir el estado del cuerpo de agua en cada sección transversal.
- La curvatura de las líneas de corriente es pequeña y las aceleraciones verticales despreciables, por lo tanto la presión es hidrostática.
- Los efectos de la fricción lateral y la turbulencia pueden ser tenidos en cuenta por representaciones de canales derivadas de un estado de flujo permanente.
- La pendiente longitudinal promedio es suficientemente pequeña tal que se puede utilizar un ángulo de aproximación suficientemente pequeño.
- Todas las funciones y variables son continuas y diferenciales (las cuales impiden el correcto modelado de saltos hidráulicos).

El modelo ISIS FLOW calcula la conducción para un nivel de agua seleccionado y el caudal en cualquier sección intermedia.

5.1.4.2 Configuración del sistema

El sistema físico se sintetiza en el modelo por tres ramas conectadas, unidas en un nodo que representa la desembocadura del río Salado en el paraje denominado "4 Bocas".

Se utiliza el módulo de Río, para introducir las secciones transversales definidas con una cantidad de puntos que permite definir la forma de la sección. Se ingresa valores de

progresiva, cota, coeficiente de rugosidad “n de Manning” y una relación de meandrosidad del tramo.

Condiciones de borde externas: la condición de borde externa aguas arriba sobre el río Salado, es un hidrograma de entrada ubicado en la ruta provincial N° 6 y corresponde a caudales estimados de la curva de gasto de la estación hidrométrica sobre la ruta provincial N° 70 que se trasladan hacia esta sección. Se considera que en el tramo comprendido entre las rutas provinciales N° 6 y N° 70 no hay aportes ni pérdidas significativas.

En esta implementación, la rama adicional que representa el Canal de Derivación Sur y las nacientes del río Coronda, formado este por el ingreso del río Salado y por los caudales que aporta el canal mencionado. Se genera la incorporación de dos nuevas condiciones de bordes externas. Uno corresponde al ingreso en rama del canal de Derivación Sur, que son los caudales provenientes del sistema Paraná y el otro como condición de borde de salida y constituyen los niveles aguas abajo de la sección denominada Pontoneros ya en el río Coronda. Esta información es aportada por la modelación matemática del sistema del río Paraná.

Condición de borde internas: Como condición de borde interna, se colocaron estructuras de control como las indicadas seguidamente.

A la altura de ruta provincial N° 70 y para representar la sección del puente, se incorpora una estructura de control tipo vertedero de cresta ancha (Unidad WEIR), con una cota de cresta de 18.30 m, además se fijaron las siguientes características:

- o Ancho de cresta: 2500 m Coeficiente de descarga: 1
- o Coeficiente de velocidad: 1 Límite modular: 0.8

En la misma sección se coloca una estructura (Unidad BRIDGE) que simula el puente de la Ruta provincial N° 70, con las características de pilas, estribos y pérdidas de carga.

En la sección de la autopista Santa Fe – Rosario se considera el puente existente y el efecto de contracción que el mismo produce sobre el río utilizando la rutina de pérdidas de carga (Unidad Loss) con un coeficiente de contracción igual a 1, además de la unidad de puente con las características de pilas, estribos y pérdidas de carga locales.

Esta situación se repite aguas abajo a la altura del puente del ex - Ferrocarril Mitre, donde se adopta un coeficiente de contracción igual a 0.8.

Existen informaciones de limnigramas en secciones ubicadas dentro del espacio modelado:

- Ruta provincial N° 70
- Estación Inali
- Estación Pontoneros en el batallón del Ejército (Santo Tomé)

Condiciones iniciales:

Las condiciones iniciales en cada sección, son calculadas a partir de una primera aplicación de la modelación en régimen permanente, para un caudal inicial definido.

Datos geométricos:

La ubicación planimétrica de cada perfil se encuentra definida en coordenadas WS84 y su altimetría referida al sistema IGM. Esta información es incorporada a la base de datos que forma el estudio. Se incorporaron nuevos perfiles topográficos y batimétricos correspondientes a la información recopilada en el río Salado y a perfiles realizados en la desembocadura del río Salado, en el Canal de Derivación Sur y en el río Coronda. Estos perfiles fueron adoptados de los relevamientos batimétricos realizados para el presente proyecto.

Consideraciones del modelado en la implementación

Se consideró conveniente implementar la rama Canal de Derivación Sur y río Coronda en la modelación del río Salado, a efectos de tener un tramo en común entre los dos modelos implementados referidos al sistema Salado y al Sistema Paraná. En este tramo los dos modelos se complementan y proporcionan las condiciones de borde.

Se observa en el gráfico siguiente la ubicación espacial de las secciones utilizadas en la implementación



5.1.4.3 Resultados obtenidos

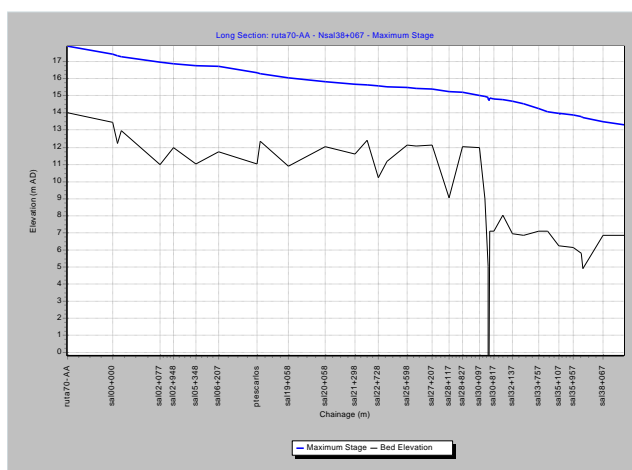
Se aplicó el modelo hidrodinámico para reproducir las crecidas estimadas en el informe hidrológico en el tramo ruta provincial N° 70 y desembocadura.

Dentro del ajuste de parámetros del modelo a las crecidas, para su verificación con la información histórica, se debió trabajar con dos juegos de coeficiente de rugosidad. Un juego representa el sistema cuando se produce una onda de crecida única y viene de un nivel de aguas abajo y el otro juego cuando se quiere representar el escurrimiento en un período prolongado de aguas altas.

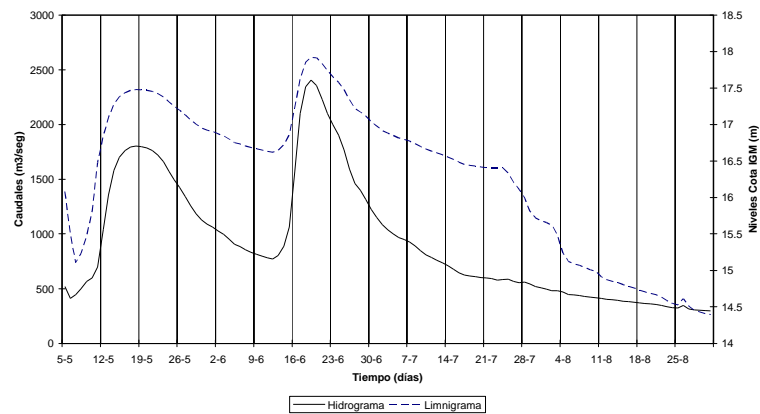
Se representa en los gráficos siguientes el comportamiento del río Salado en diferentes secciones del tramo modelado, para cada uno de los escenarios hidrológicos históricos, los que serán usados en el trazado de las líneas de riesgo. También se aplicaron al sistema, caudales definidos para diferentes frecuencias en la condición de aguas arriba y para diferentes frecuencias de niveles y caudales en las condiciones de borde de aguas abajo. Siendo estos últimos, aportados por la modelación hidrodinámica del sistema Paraná.

Crecida año 1973

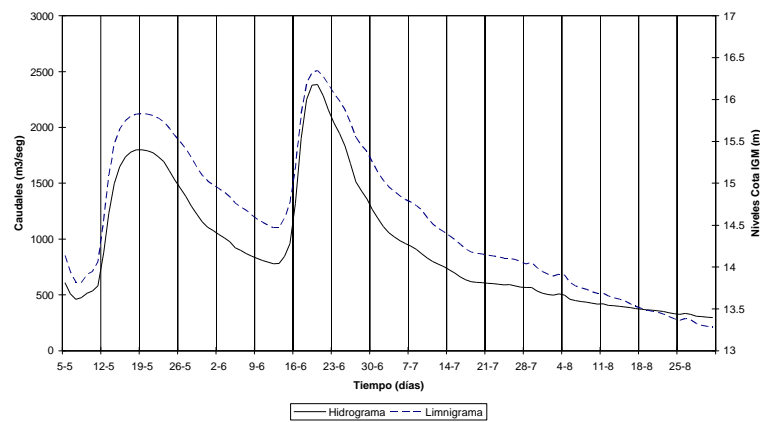
Se puede observar el desarrollo de la crecida de 1973, a través de la envolvente de los niveles máximos alcanzados en el tramo de estudio y el limnigrama en secciones de interés.



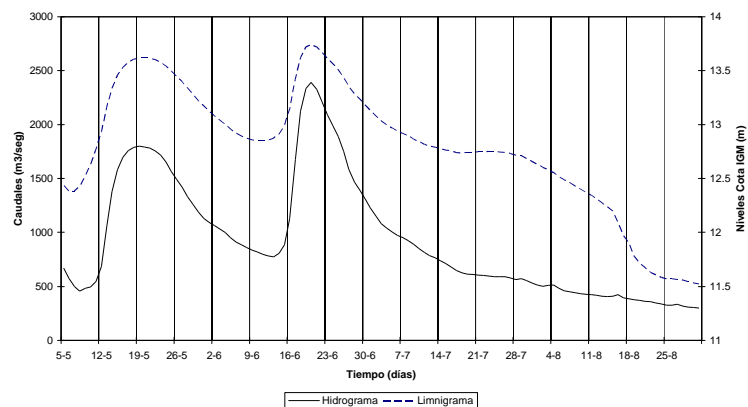
Crecida Río Salado Año 1973
Ruta Provincial Nº 70



Crecida Río Salado Año 1973
Empalme San Carlos

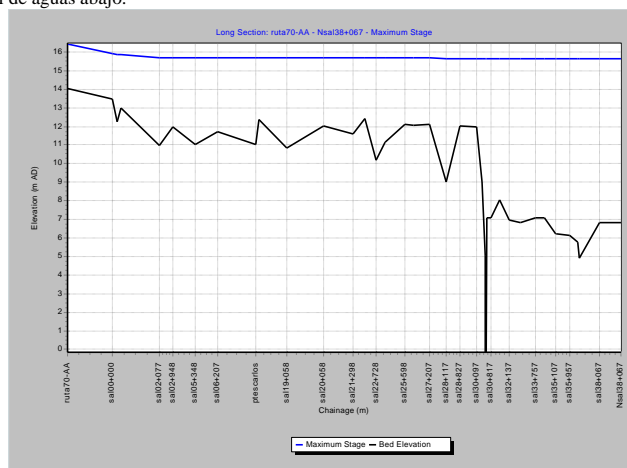


Crecida Río Salado Año 1973.
Chalet

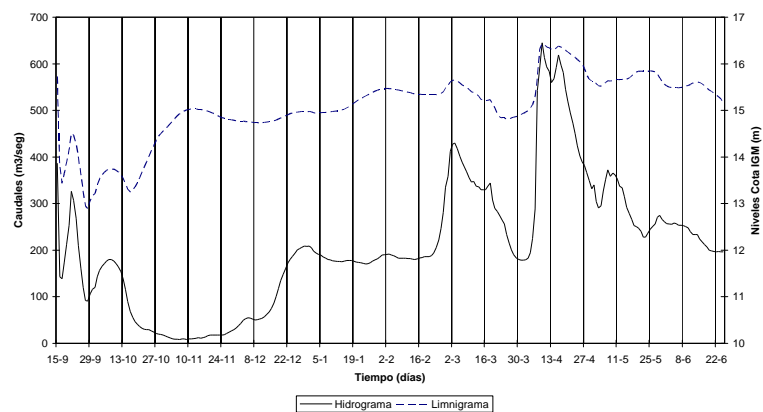


Crecida año 1982/83

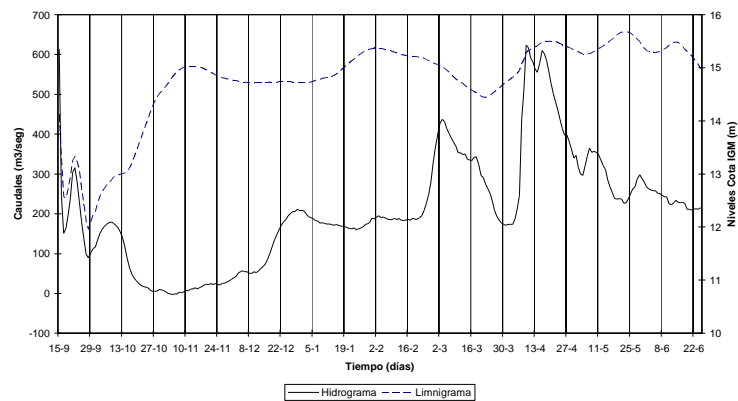
Se puede observar el desarrollo de la crecida del río Paraná durante los 1982/83, a través de la envolvente de los niveles máximos alcanzados en el tramo de estudio y el limnigramas en secciones de interés. Se puede observar caudales negativos en el tramo inferior dado por el nivel de aguas abajo.



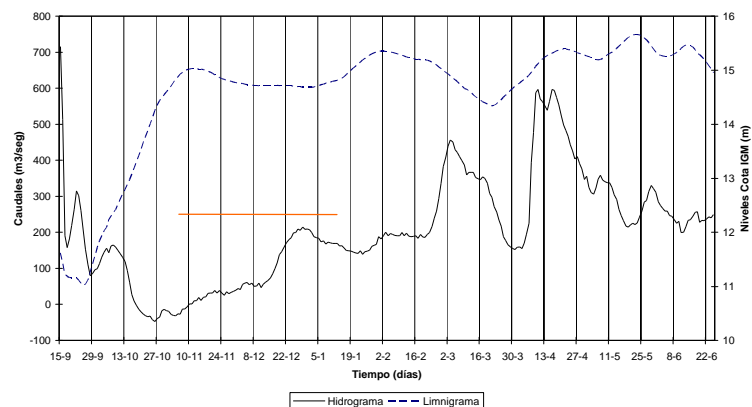
Crecida Río Paraná Año 1982-1983
Ruta Provincial Nº 70



Crecida Río Paraná Año 1982-1983
Empalme San Carlos

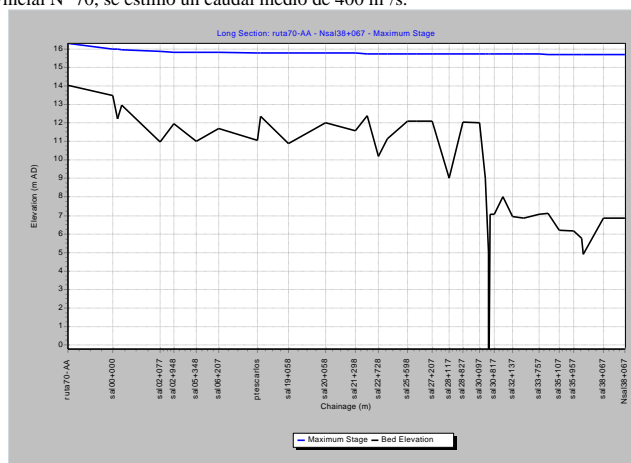


Crecida Río Paraná Año 1982-1983
Chalet

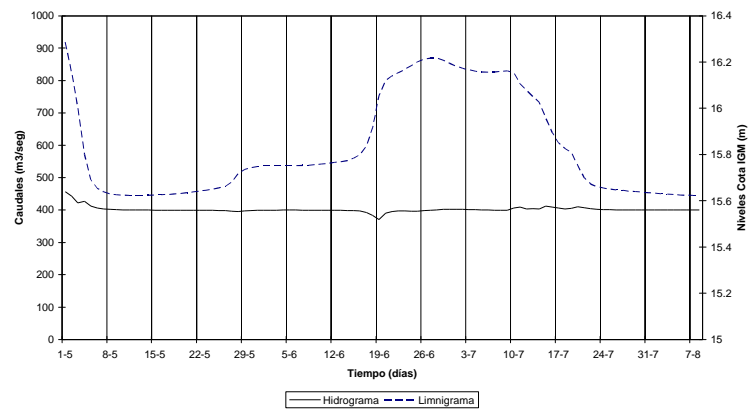


Crecida año 1992

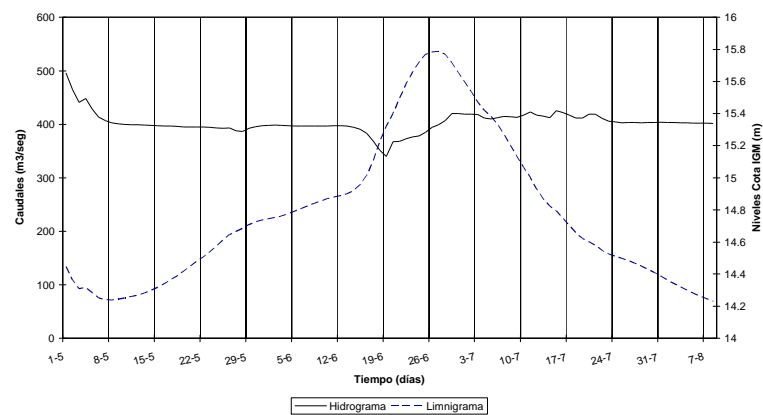
Se puede observar el desarrollo de la crecida del río Paraná del año 1992, a través de la envolvente de los niveles máximos alcanzados en el tramo de estudio y el limnigramas en secciones de interés. Debido a que no existe información hidrométrica en la estación ruta provincial N° 70, se estimó un caudal medio de 400 m³/s.

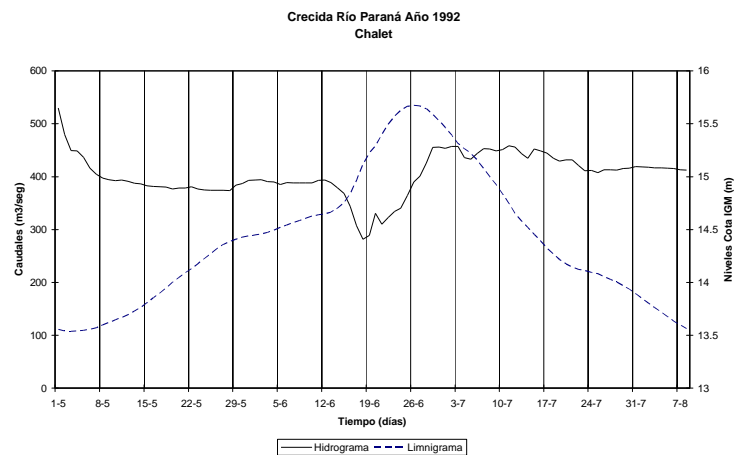


Crecida Río Paraná Año 1992
 Ruta Provincial Nº 70



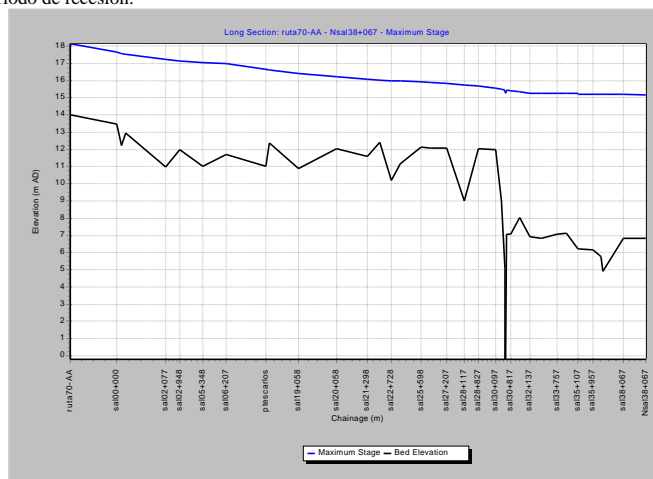
Crecida Río Paraná Año 1992
 Empalme San Carlos



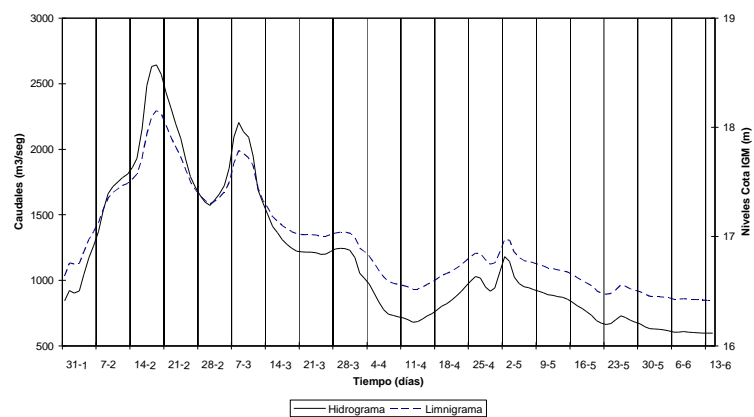


Crecida año 1998

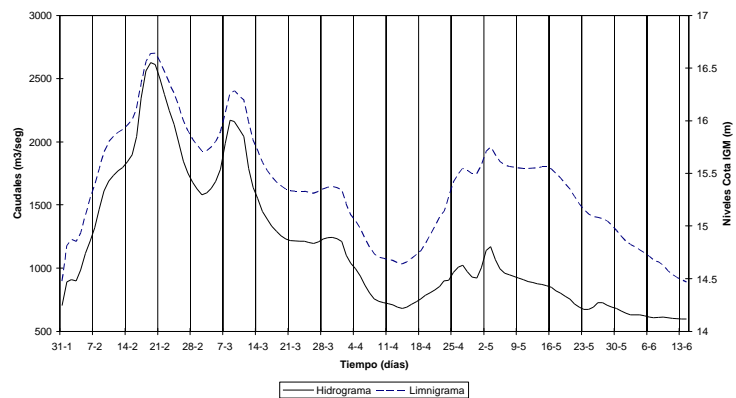
Se puede observar el desarrollo de la crecida de 1998, a través de la envolvente de los niveles máximos alcanzados en el tramo de estudio y el limnigramas en secciones de interés. Es una crecida que combina primeramente, una crecida proveniente del río Salado y posteriormente se da la formación de la crecida del río Paraná cuando esta comienza su período de recesión.



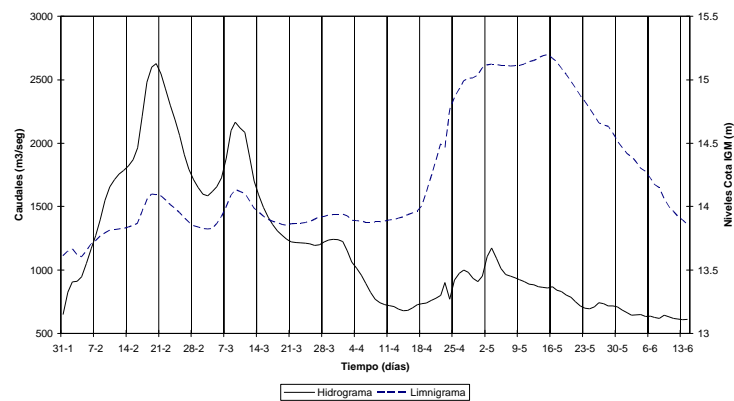
Crecida Río Salado y Paraná Año 1998.
Ruta Provincial Nº 70



Crecida Río Salado y Paraná Año 1998.
Empalme San Carlos

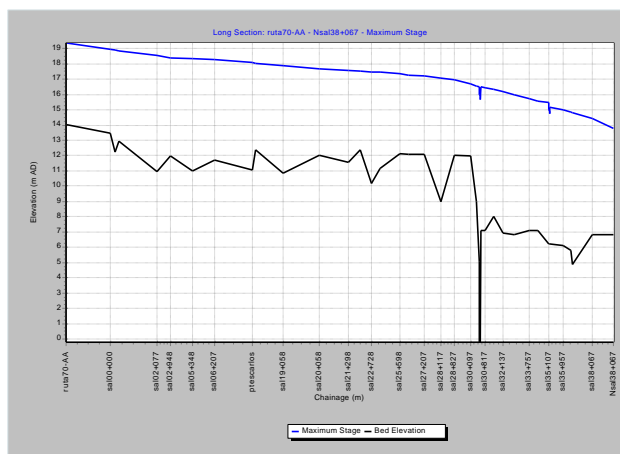


Crecida Río Salado y Paraná Año 1998.
Chalet

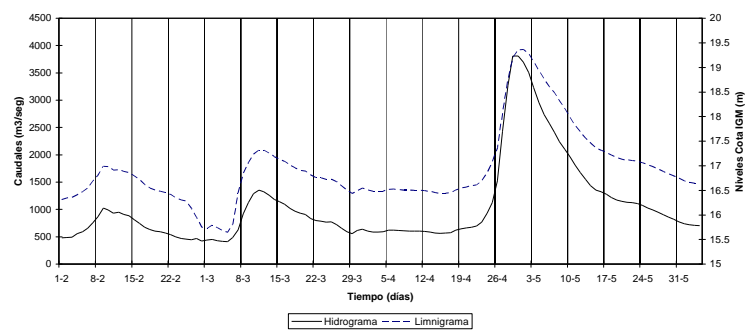


Crecida año 2003

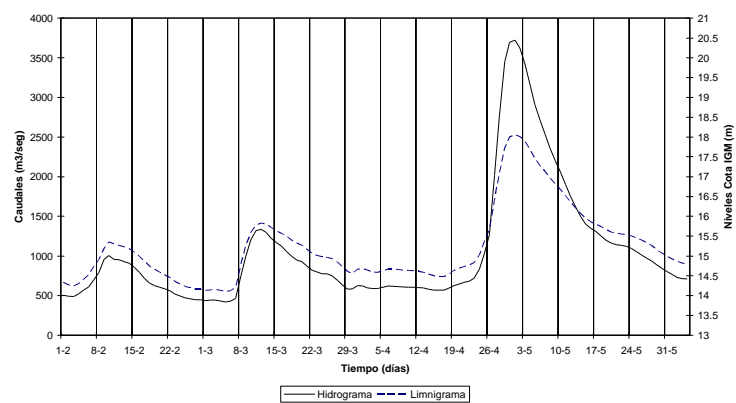
Se puede observar el desarrollo de la crecida de 2003, a través de la envolvente de los niveles máximos alcanzados en el tramo de estudio y el limnigramas en secciones de interés. Esta crecida resulta la mayor crecida registrada, que pudo ser medida y cuantificado sus registros máximos.



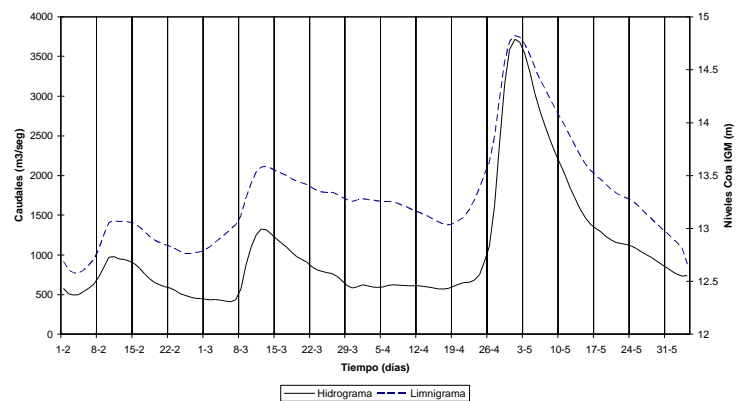
Crecida Río Salado Año 2003
Ruta Provincial Nº 70



Crecida Río Salado 2003.
Empalme San Carlos



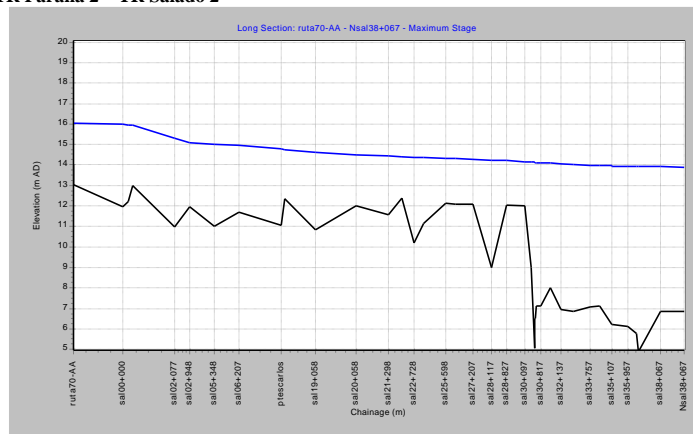
Crecida Río Salado Año 2003.
Sección Chalet



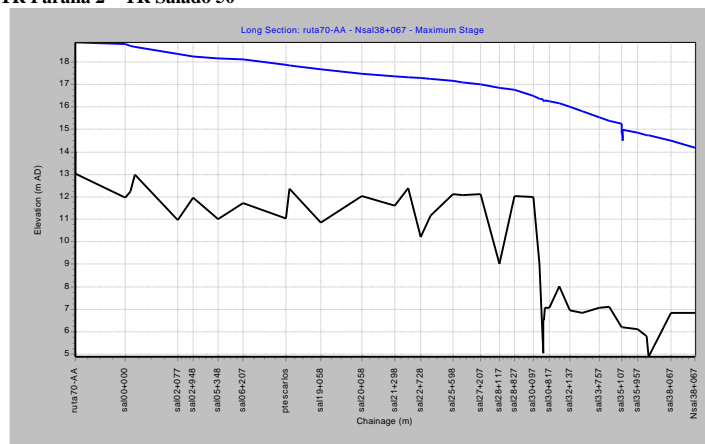
5.1.4.5 Resultados obtenidos para las diferentes crecidas de diseño

Se puede observar la envolvente de los niveles máximos alcanzados en el tramo de estudio de definidas a partir de caudales para diferentes frecuencias solicitadas en la condición de borde de aguas arriba y caudales y niveles para las diferencias frecuencias en las condición de borde de aguas abajo.

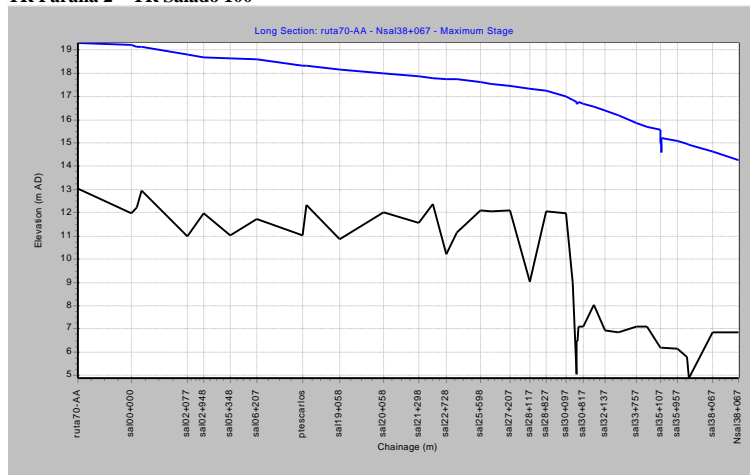
TR Paraná 2 – TR Salado 2



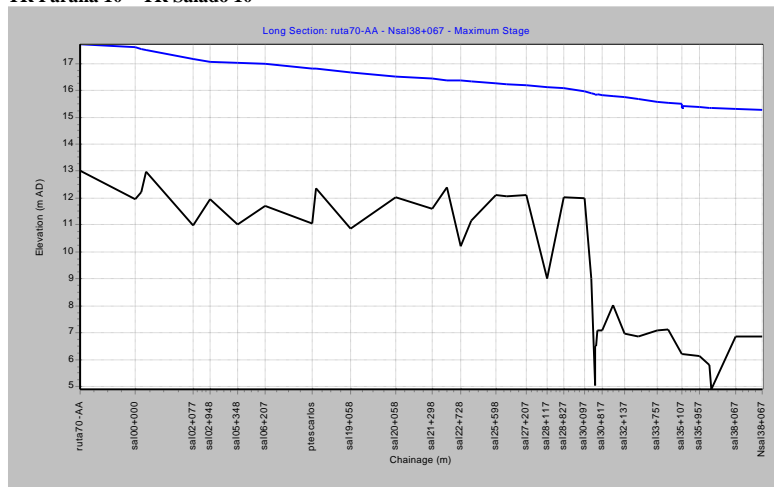
TR Paraná 2 – TR Salado 50



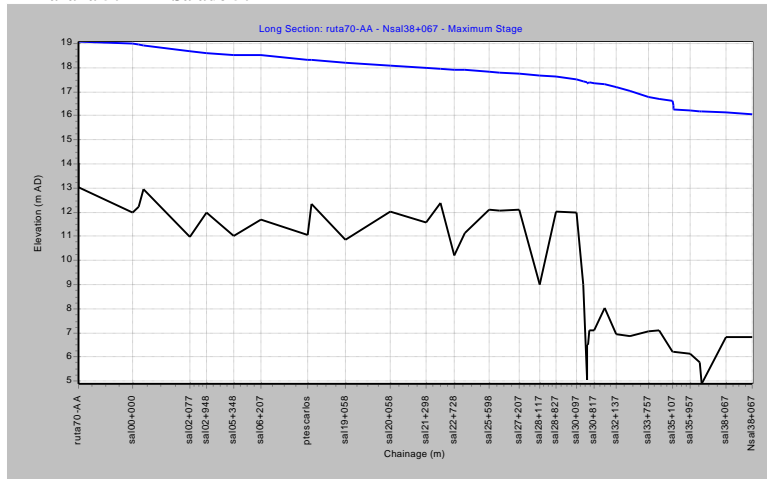
TR Paraná 2 – TR Salado 100



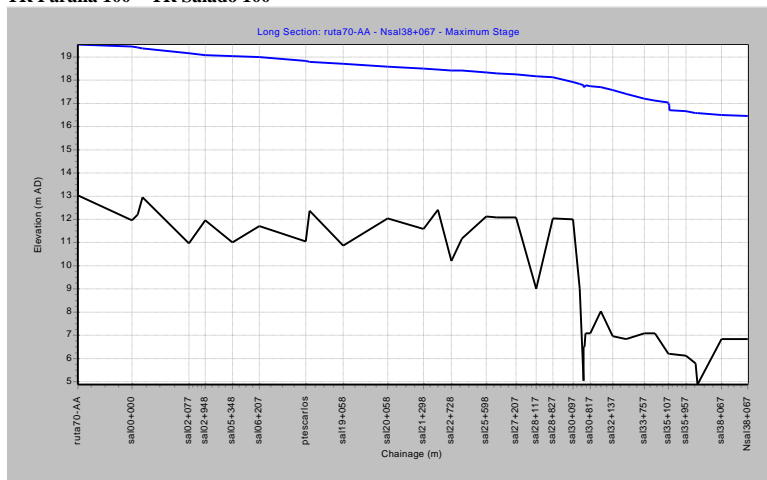
TR Paraná 10 – TR Salado 10



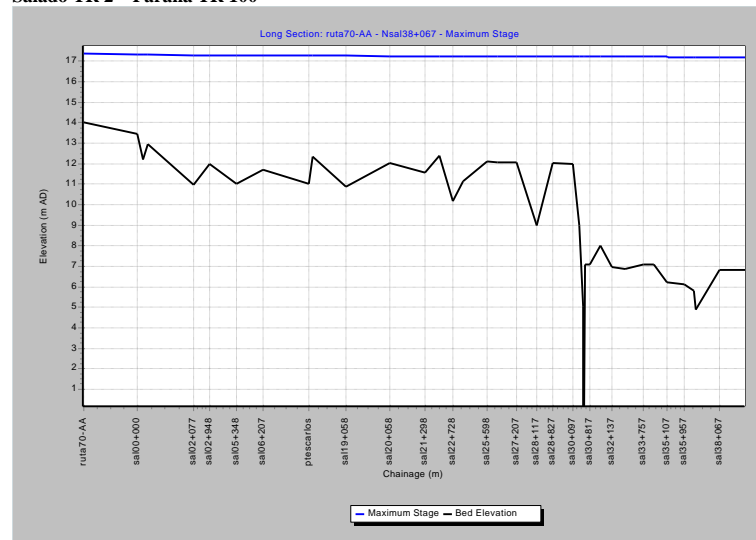
TR Paraná 50 – TR Salado 50



TR Paraná 100 – TR Salado 100



Salado TR 2 – Paraná TR 100



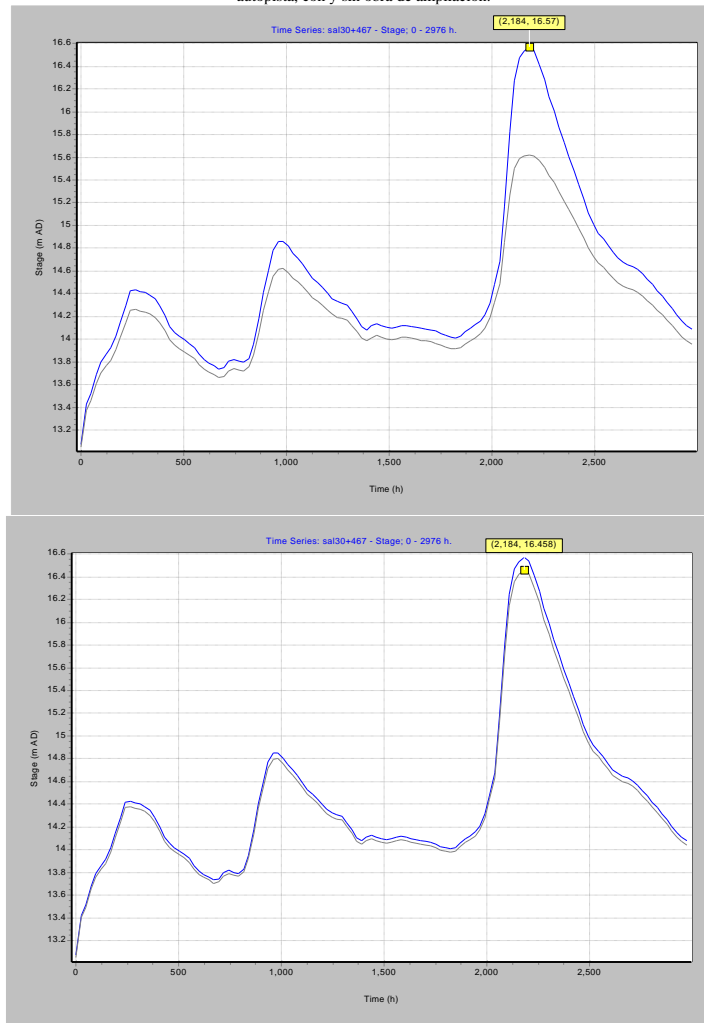
Análisis de la obra del puente autopista

De acuerdo a lo solicitado se aplicó el modelo matemático implementado al río Salado, a la crecida del año 2003, utilizando diferentes configuraciones de secciones en el puente autopista. Se analizó primero la sección que tiene una luz de 155 m correspondiente a la situación anterior a su ampliación y luego una sección correspondiente a la actual ampliación (en construcción). En esta última se consideró el cauce principal igual al anterior y el valle aluvial presenta una cota de 12.5 m. Esta obra actualmente se encuentra en construcción.

De los resultados obtenidos, se observa que los niveles de aguas arriba no varían significativamente después de la ampliación, pero si se modifica la pendiente longitudinal y disminuye el salto producido entre aguas arriba y debajo de la sección del puente. Puede observarse en las figuras siguientes los resultados alcanzados con referencia a los niveles entre las secciones de aguas arriba y abajo del puente autopista con obra y sin obra (situación anterior al año 2005).

Las condiciones cinemáticas entre las dos alternativas en la sección del puente autopista son diferentes, disminuyendo significativa la última condición, cuyas velocidades medias pasan de 3 m/s a velocidades medias de 0.9 m/s.

Diferencia de niveles entre las secciones de aguas arriba (azul) y aguas abajo (gris) de la sección puente autopista, con y sin obra de ampliación.



5.2 SISTEMA DEL RÍO PARANÁ

5.2.1 Introducción

En grandes ríos como lo es el de referencia, una crecida puede ser de distinta importancia según la variable que se analice y la manifestación de la misma se da en forma diferente a lo largo de todo el tramo. Si bien existen relaciones entre las variables que identifican una crecida (caudal máximo, volumen, duración, etc.), cada una mide características distintas de un mismo fenómeno. Como resultado de todo esto, es difícil e incorrecto (en muchos casos), asignar en forma unívoca una recurrencia fija a una determinada crecida, a lo largo de todo el tramo del curso. Este hecho no resulta novedoso para la región encontrándose tales conceptos volcados en el libro “El Río Paraná en su tramo medio, Contribución al conocimiento y práctica ingenieril en un gran río de llanura, (UNL, 2000).”

De ésta forma una crecida tendrá tantos valores de recurrencia más o menos parecidos, según la variable hidrológica analizada y la sección o tramo del río donde se analicen los datos de dicha variable.

La variable original en una sección determinada de un curso de agua es su caudal, considerando a éste como el resultado de todos los aportes provenientes de aguas arriba. Los niveles que alcanza el agua en la misma sección son dependientes de la misma y de las características de pendiente y rugosidad del tramo aguas arriba y aguas abajo.

Las crecidas de diseño están en directa relación con el tipo de obra o medida no estructural de interés, siendo particularmente importante en este caso la manera en que se determinan las alturas o cotas máximas.

El río Paraná, a través de su dinámica fluvial erosiona y sedimenta permanentemente dentro de su valle aluvial, modificando la forma de su sección y variando también su rugosidad por evolución y cambio de vegetación y de formas emergentes. De tal forma, la curva de gasto que trata de vincular el caudal escurrido con el nivel que se produce en la sección, además de ser no lineal, es variable temporalmente.

El procedimiento se complica cuando no se dispone de secciones de control y medición de caudales confiables, que abarquen la totalidad de la sección del escurrimiento y que permitan establecer curvas H-Q seguras. Esta situación se da en el tramo medio del río Paraná, donde el valle de inundación adquiere proporciones tales que hacen muy difícil en las grandes crecidas la medición de caudales que pasan por una sección completa. En general se determina con buena aproximación el caudal que pasa por el curso principal y por los brazos más importantes, pero no es fácil hacerlo en la zona de islas y de desbordes.

En general, en la mayoría de los estudios hidrológicos y de determinación de parámetros de diseño del tramo, se utilizaron las crecidas de diseño determinadas a partir de los datos de caudales de Corrientes, estación ubicada en el inicio del tramo denominado Paraná Medio, para luego ser transitadas en la zona de interés, a través de diferentes tipos de modelación.

Se ha verificado tanto por las observaciones de crecidas reales como a través de las simulaciones de grandes crecidas, que la forma del hidrograma tiene directa incidencia en las alturas máximas alcanzadas, debiendo en este caso analizarse la forma más apropiada para cada una de las recurrencias a utilizar.

Por lo tanto la metodología desarrollada para la definición de las envolventes de riesgo por inundación propuesta es la siguiente:

- Actualización de análisis de recurrencia de caudal pico, volumen y duraciones de crecidas en la estación Corrientes.
- Análisis de las formas de las crecidas reales ocurridas en el período 1961-2003 y selección de las representativas por rango de caudales máximos. Análisis de la evolución de las diferentes crecidas en los distintos puntos de paso de la Ruta Nacional N° 168 (puente Oroño y aliviadores) y arroyo Leyes, e identificación de los procesos de ocupación del valle de inundación con relación al comportamiento de las crecidas.
- Seleccionar del análisis anterior una o dos formas características de crecidas.
- Determinación de hidrogramas característicos para recurrencias de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años (rango de caudales máximos aproximadamente entre 30000 m³/s y 77000 m³/s).
- Análisis de frecuencia de alturas máximas anuales en las estaciones hidrométricas del tramo, con información entre 1960 y 2003.
- Selección de crecidas reales que puedan considerarse representativas de determinadas recurrencias.

5.2.2 Procesos de ocupación del valle de inundación con relación al comportamiento de las crecidas.

Los procesos de ocupación del valle de inundación del río Paraná en la zona de influencia de la ciudad de Santa Fe han sido descriptos en numerosos trabajos previos, resaltándose a continuación los más importantes, por su relevancia y/o su actualidad.

- La creciente anual 1965-66, interpretación de sus efectos. Cabral, S. (1966), DNCPyVN. Dpto. Paraná Medio. Paraná. Entre Ríos.
- Efectos de la creciente del Río Paraná 1982/83 en el tramo Santa Fe-La Guardia. Giacosa R. Informe Técnico N° 04/83. CRL-INCYTH. 1983. Santa Fe.
- Los efectos de la crecida 1982-83 en la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas. Pautas de solución. Paoli, C. CRL-INCYTH. 1985. Santa Fe.
- Estudio de Delimitación de Áreas de Riesgo Hídrico en Santa Fe. INCYTH – CFI, 1992.
- Estudio de Prefactibilidad. Subsistema Hídrico Leyes - Setúbal. Convenio FICH-INCYTH-AYE / CFI-Gob. Santa Fe. 1993.
- Estudio Integral del Subsistema Ruta Nacional N° 168- Alto Verde. Convenio FICH (UNL) / CFI-Gob. Santa Fe. (1996)
- Libro “El Río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y práctica ingenieril en un gran río de llanura. FICH (UNL), 2000.

La evolución histórica de las obras de infraestructura en la zona que fueron modificando el sistema natural y las sucesivas crecidas que se producían, hasta el año 2000 han sido expuestas en los trabajos previamente mencionados, resumiéndose de los mismos los hechos más importantes, que permitirán encuadrar y justificar posteriormente criterios hidrológicos para establecer condiciones de diseño.

El valle de inundación del río Paraná tiene un ancho de unos 30 Km. aproximadamente en la sección San Javier – La Paz, comenzando un estrechamiento que culmina con

aproximadamente 13 Km. de ancho en la sección Santa Fe – Paraná. Recostado sobre la margen izquierda se encuentra el cauce principal del río Paraná, y luego hacia la margen derecha una zona de islas frecuentemente inundables, el río Colastiné (formado principalmente por aportes del Paraná), y posteriormente se encuentra el llamado albardón costero, que en dirección SO – NO borde el valle de inundación propiamente dicho, separándolo de las terrazas anteriores del valle aluvial, que se ubican hacia el Oeste. En esta última zona se desarrollan las lagunas Setúbal, Leyes, Capón y otras menores, alimentadas desde el Norte por los arroyos Saladillos y desde el Este fundamentalmente por los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita (aportes del Paraná).

Sobre el medio natural se fue produciendo una progresiva ocupación. Paulatinamente fue creciendo la actividad ganadera y posteriormente la agropecuaria. El natural crecimiento de las poblaciones y de la actividad económica trajo aparejada la necesidad de su vinculación terrestre (vial y ferroviaria) con los centros más importantes. Por otra parte la existencia de las capitales provinciales de Santa Fe y Paraná, imponía su vinculación, cruzando el valle de inundación justamente en su tramo más estrecho.

Según lo describe Cabral (1966), hasta el año 1885 el río escurría sin impedimento e interferencia alguna, utilizando en sus crecidas toda la sección que le fuera necesaria. La comunicación con la Mesopotamia era totalmente por vía fluvial. En el año 1886 se construye la primera línea del ferrocarril desde Santa Fe hasta Colastiné Norte y San José del Rincón. Entre los años 1904 y 1910 se construye el puerto de ultramar de Santa Fe con sus dos diques y el canal de acceso, que deja por el norte y en zona de islas un terraplén donde posteriormente se desarrollaría el asentamiento urbano de Alto Verde. Durante la gran creciente de 1905, se verificó que el nivel de las aguas llegó a menos de una cuadra de lo que hoy es la arteria principal de la ciudad de Santa Fe. Toda esta zona fue elevada conjuntamente con la construcción del puerto. En el año 1924 se construye el Puente Colgante, en la desembocadura de la laguna Setúbal.

En el año 1936 se construye el camino Santa Fe - Colastiné sobreelevando la cota del terreno natural de las islas (actual trazado de la Ruta Nacional N° 168). En el año 1942 se construye el llamado camino de la costa, Ruta Provincial N° 1, desde La Guardia hacia el NE siguiendo el albardón costero. En 1952 se continúa el avance hacia el oeste, con la prolongación de la Ruta Nacional N° 168.

Durante este período de progresiva ocupación del valle aluvial, se produjeron crecidas que sin llegar a ser excepcionales, mostraron que estas obras interferían el normal escurrimiento de las aguas, lo cual se observó durante las crecientes de 1959 y 1961 (caudales picos del orden de los 30.000m³/s), en las cuales se produjo una elevación de niveles hacia el este de la Ruta Provincial N° 1 (RP1) y luego el corte de los terraplenes en varios puntos, destacándose por su magnitud los de la zona de El Laurel y Vuelta del Dorado.

En 1963 se terminó de reconstruir la RP N° 1 con cotas adecuadas a la crecida de 1961 y con defensas laterales en las zonas de bajos naturales. En el año 1965 se continúa sobre islas la RN N° 168 hasta el Túnel Subfluvial.

La creciente de 1966, con un máximo de 6.94 m en Puerto Santa Fe, provocó que la RP N° 1 fuera sobrepasada por el nivel de las aguas en largos trechos entre las localidades de saladero

Cabal y Helvecia, entre Cayastá y Santa Rosa y cerca de San José del Rincón. Asimismo se produjo una fuerte erosión en margen izquierda del puente sobre el arroyo Leyes y una profundización general del lecho. El enorme volumen de agua que pasó al Subsistema Setúbal se encontró con la barrera que le significaba la RN N° 168 sobrepasándola en algunos tramos, y cuando se temía por la estabilidad del Puente Colgante debido a la fuerte erosión que sufría la pila de margen izquierda, se decidió la voladura de tramos de la RP N° 168, para permitir una más fácil evacuación de las aguas. La costanera santafesina sufrió también grandes deterioros por el efecto erosivo de la corriente. Los incipientes asentamientos de La Guardia y Alto Verde fueron totalmente inundados.

Entre los años 1976 y 1978 se realiza la elevación del terraplén de la RN N° 168 entre Santa Fe y La Guardia, y la habilitación de nuevos puentes, a mayor cota, pero de luces escasas. En 1977 se produce una crecida para la cual se estima un caudal pico del orden de 39.000 m³/s, lo cual provocó también el sobrepaso y cortes en la RP N° 1 y también afectaciones en la RN N° 168 que estaba siendo reconstruida a mayor cota entre Santa Fe y La Guardia. Alto Verde y La Guardia se inundaron en numerosos sectores. Luego de esta crecida, las defensas de la RP N° 1 fueron reforzadas asumiendo el nivel de la crecida de 1966 más una revancha.

Se continuó la instalación de nuevos asentamientos dentro del valle de inundación, tales como el FONAVI del barrio El Pozo y la incipiente ciudad Universitaria.

Entre diciembre de 1982 y agosto de 1983, se produce la mayor crecida registrada, con cinco picos de crecidas alcanzando un máximo de 61.100 m³/s y un nivel en Puerto Santa Fe de 7,33 m. Durante ese período la RP N° 1 y sus defensas actuaron como dique de contención, embalsando aguas al este de la misma que sólo podían pasar hacia el oeste por los puentes de los arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita. Con el cuarto pico de crecida se produce el rebalse en la RP N° 1 en un frente de 8 Km, estimándose unos 2.400 m³/s. A su vez se ha estimado que en los momentos del pico pasaban hacia el oeste de la RP N° 1 caudales de más de 13.000 m³/s, que se acumulaban en el Subsistema de la Laguna Setúbal anegando unas 180.000 ha.

La salida de todo este Subsistema se produce por la sección determinada por la RN N° 168 entre Santa Fe y La Guardia, donde en un recorrido de aproximadamente 5 Km. se disponía sólo de 300 m de puente en la sección de la laguna Setúbal y 340 m distribuidos en 6 puentes aliviadores sobre la planicie de inundación. La diferencia entre los caudales que ingresaban al Subsistema Setúbal y la capacidad de evacuación de la sección Santa Fe-La Guardia dio lugar a un importante efecto de embalse, con desniveles medidos entre aguas arriba y abajo de la RN N° 168 de hasta 70 cm. (Giacosa, R, 1983, Paoli, C. 1985). Esto produjo mayores niveles de inundación hacia aguas arriba y un aumento de las velocidades de paso a través de las secciones del puente colgante y de los puentes aliviadores con las siguientes consecuencias:

- Una gran concentración de flujo en la sección del puente colgante y puente Oroño (inmediatamente aguas abajo), favorecida por los rellenos en la zona de El Pozo. Se presentaron velocidades altamente erosivas que destruyeron la costanera santafesina y erosionaron la sección del puente colgante, cuya área de escurrimiento total aumentó casi en un 40%, hasta producir su derrumbe.

- En el tramo de los puentes aliviadores, la zona de mayor solicitación correspondió a los puentes 4, 5 y 6. Las velocidades puntuales alcanzaron valores superiores a los 3 m/seg. Esto, conjuntamente con las corrientes laterales de gran magnitud dieron lugar a procesos erosivos que triplicaron y quintuplicaron las secciones de escurrimiento hasta provocar la caída de los puentes 4 y 6 (mes de Julio) cortando la comunicación con la Mesopotamia. Con la caída de estos puentes se destruyó también la cañería de provisión de agua a la planta de tratamiento de Santa Fe y parcialmente el conducto de la cloaca máxima.
- Las defensas del barrio de viviendas “El Pozo” y La Guardia fueron superadas y esta última totalmente inundada.
- En la zona de Alto Verde las defensas fueron superadas, produciéndose grandes cortes en sentido de la corriente NE - SO, que sólo dejaron emergentes algunas partes aisladas más altas.

Con posterioridad a esta crecida la RP N° 1 fue reparada y repavimentada reforzando las zonas más afectadas. Los arroyos Santa Rita, Leyes y Potrereros siguieron presentando crecientes problemas de socavación en pilas y estribos al concentrarse en los mismos las posibilidades de paso de las crecidas hacia el oeste.

En la RN N° 168 se construyeron tres nuevos puentes aliviadores con un total de 750 m de luz. Sin embargo, en general su eficiencia hidráulica fue muy baja al encontrarse en zonas de planicie de inundación y no de cauces, y no disponer de canales de llamada.

Debe tenerse en cuenta que el año 1983 existían 6 puentes aliviadores numerados en forma correlativa desde Puente Oroño a La Guardia. Luego de la caída de los aliviadores 4 y 6, se construyen nuevos puentes, de mayores luces, pero ubicados en lugares no totalmente correspondientes con los anteriores.

Es así, que el actual aliviador 3 se construye entre los aliviadores anteriores 2 y 3, pasando el antiguo 3 a denominarse actualmente 4. En lugar del aliviador caído 4 (antigua denominación) se construye un terraplén, rellenando de esa forma el cauce arroyo Saladillo 4to. Se construyen dos nuevos puente de mayor luz, cercanos a La Guardia, el actual aliviador 5, entre el antiguo 4 y 5, y el actual aliviador 6, ocupando el lugar de los antiguos 5 y 6.

Las zonas de rellenos ubicada aguas arriba (Barrio “El Pozo”, CONICET y Universidad), fueron elevados y reforzados lo que dio lugar a una mayor concentración de flujo hacia la descarga de la Laguna Setúbal.

La costanera santafesina fue rellenada sin considerar protecciones especiales y en la desembocadura de la laguna Setúbal se registraba una profundización e incremento del poder erosivo. La pila izquierda del Puente Oroño debió ser fundada a mayor profundidad y se ejecutó el tratamiento y protección de la margen derecha.

Los asentamientos suburbanos se extendieron en general, proliferando la construcción de terraplenes de protección de muy dudosa y diferentes condiciones de seguridad. Se construye una defensa provisoria en la Guardia Norte, al Norte de la RN N° 168.

Bajo estas condiciones en 1992 se produce una nueva situación de crecida, que culmina en Santa Fe con un caudal pico de 56.000 m³/s y altura máxima de 7,43 m, nivel superior aún al máximo de 1983, a pesar del menor caudal pico.

La menor permanencia de esta crecida en sus valores máximos posibilitó un mayor éxito en la implementación de las medidas de emergencia y lucha contra la inundación. Así fue que la RP N° 1 fue defendida impidiendo su corte físico, aún cuando el tránsito debió ser suspendido por cuestiones de seguridad. Mientras varias de las defensas de la zona de Alto Verde, La Guardia, Colastiné y Rincón fueron sobrepasadas e inundados numerosos barrios, otros se mantuvieron sólo providencialmente. La costanera santafesina se vio fuertemente afectada con desmoronamientos y hundimientos que obligó a la clausura de una de sus manos.

Durante los años 1993 a 1996, a través del el Programa de Rehabilitación para la Emergencia de las Inundaciones (PREI) financiado por el BIRF (Banco Mundial), se proyectan y construyen numerosas defensas contra inundaciones, en el barrio FONAVI de El Pozo, en el Distrito Alto Verde y en La Guardia, además de las construidas a ambos lados de la RP N° 1 que conforman el anillo de protección para Rincón y Colastiné Norte. Se reconstruyen el acueducto Colastiné - Santa Fe, la cloaca máxima y la costanera santafesina.

A su vez se desarrollan en el valle de inundación, emprendimientos comerciales de gran magnitud con rellenos de áreas bajas, y en algunos casos, limitando la capacidad de descarga de aliviadores próximos.

En 1998 se produce una crecida cuyo caudal estimado para el pico fue del orden de los 47500 m³/s y que alcanza en el Puerto de Santa Fe una altura máxima de 7.16 m (cota IGM 15.34), la cual resultó una prueba para las obras ejecutadas y/o en construcción. No se advirtieron afectaciones de importancia en los sitios donde se disponía de obras definitivas y consolidadas, pero nuevamente se vieron afectadas las zonas con defensas provisionales y fue muy grave la situación del puente Leyes, mientras que las defensas provisionales de la RP N° 1 se mantuvieron pero con trechos críticos de alto riesgo de falla.

Como otro ejemplo de nuevas obras en la sección, se menciona en el extremo próximo al cauce principal del río Paraná, y debido a procesos erosivos en la margen derecha del mismo en cercanías del túnel, se construyó otra ruta paralela a la existente entre el aliviador 10 y el acceso al túnel, construyéndose a su vez un nuevo puente en correspondencia con el aliviador 11, pero cuya luz total es prácticamente un tercio del puente antiguo.

El conjunto de nuevas obras construidas ha fijado otras restricciones y condicionantes para el manejo de las aguas, que pueden resumirse en:

- En La Guardia, un sector de las defensas limita la capacidad del aliviador N° 6.
- La cloaca máxima fue reconstruida a la misma cota, lo cual limita posibilidades de obras de canalización.
- En Alto Verde la defensa principal concluida (con cota de coronamiento media de 17.2 m IGM) impide todo paso del escurrimiento hacia aguas abajo hasta el denominado Corte Grande.
- En el Corte Grande se ubica un camino de vinculación que salva un trecho de aproximadamente 250 m con una cota media de 14.5 m IGM, y que en crecidas incluso es

defendido por los pobladores locales para mantener la comunicación terrestre con los sectores mas alejados (La Boca).

- Al suroeste del Corte Grande se encuentra una serie de anillos de defensa a cota 15.5 m IGM separados por 3 "pasos" precarios para el escurrimiento de unos 50 m de ancho cada uno, que se encuentran a cota media aproximada de 14 m IGM.

Con el conjunto de obras construidas y otras que se continúan proyectando y evaluando, se está intentando resolver los problemas de inundaciones y otras afectaciones derivadas de las crecidas depredadoras, dotando al área de un nivel de seguridad conceptual compatible con el riesgo hidrológico de una crecida centenaria.

Un ejemplo de esto es la canalización de los aliviadores 3, 5 y 6, la protección contra erosiones de la cloaca máxima y la obra de canalización, protección contra erosiones y puente de vinculación en ejecución en el Corte Grande (2004 / 2005).

A su vez aparecen obras que siguen ocupando el valle de inundación, como son los rellenos en el predio del CERIDE aguas arriba de la RN N° 168, próxima a la desembocadura de la laguna Setúbal.

Desde la creciente de 1998 no se han registrado eventos de magnitud, lo cual ha provocado una fuerte presión por la realización de desarrollos de diferente naturaleza en el propio valle de inundación, la mayoría con intenciones de rellenar sectores del valle de inundación.

De la misma manera se pretende el afianzamiento de actividades agropecuarias bajo el concepto de disminuir o evitar el riesgo de inundación tanto en el subsistema Leyes - Setúbal como en el San Javier-Leyes en áreas naturalmente inundables que nunca tuvieron protección.

Es de esperar, que con cada nueva crecida importante que se presente surjan nuevas afectaciones o impactos no previstos, se dude de la efectividad de ciertas obras y aparezcan propuestas de otras tratando de mitigar los daños ocasionados por los "nuevos problemas".

En definitiva, y a pesar de las restricciones que impone la normativa vigente, se presentan dudas de la forma en que evolucionará el sistema en su conjunto

Evolución de caudales

Al analizar la evolución de caudales por las distintas secciones, se debe tener en cuenta muchos de los cambios enumerados precedentemente en el sistema hídrico en estudio.

En los cuadros siguientes se muestran valores de alturas en los hidrómetros de Santa Fe y Paraná y caudales registrados en los distintos componentes del sistema durante el desarrollo de las crecidas de 1982/83, 1992 y 1998.

A efectos del cómputo de caudales por secciones principales, se agrupan los puentes aliviadores al cauce principal asociado. En la sección Santa Fe-La Guardia se incluyen la salida por el Puente Oroño y los aliviadores de la RN 168 hasta La Guardia (1 a 6). Se considera como parte del Colastiné los aliviadores N° 7 y 8 ubicados entre La Guardia y el puente sobre el mismo y como pertenecientes al cauce principal los aliviadores N° 9, 10 y 11, ubicados entre el puente del Colastiné y el Túnel Subfluvial.

Resumen de aforos de la crecida de 1982/83 en la Sección Santa Fe - Paraná

Fecha	paraná (m)	HSta Fe (m)	QColastiné (m³/s)	QC. Princ. (m³/s)	QSFc-L.Guar (m³/s)	Q Total (m³/s)
29/12/82	6,43	6,95	7.100	29.400	5.900	42.400
21/03/83	6,63	7,02	7.200	32.000	7.400	46.600
06/06/83	6,72	7,11	7.400	33.700	9.900	51.000
20/06/83	6,42	6,84	6.900	30.700	8.300	45.900
27/06/83	6,68	7,09	7.500	37.200	10.800	55.500
30/06/83	6,79	7,19	7.800	38.700	11.700	58.200
06/07/83	6,83	7,35	7.900	39.500	13.700	61.100

Resumen de aforos de la crecida de 1992 en la Sección Santa Fe - Paraná

Fecha	Hparaná (m)	HSta Fe (m)	QColastiné (m³/s)	QC. Princ. (m³/s)	QSFc-L.Guar (m³/s)	Q Total (m³/s)
01/05/92	4.58	5.11	3200	21300	2400	26900
15/05/92	5.06	5.64	3700	24000	3300	31000
31/05/92	5.54	6.16	4500	26500	4300	35300
10/06/92	5.79	6.36	5000	29500	5000	39500
15/06/92	6.30	6.85	5900	35000	6400	47300
22/06/92	6.89	7.43	6300	39500	10200	56000
30/06/92	6.52	7.10	5800	35000	9000	49800
15/07/92	5.44	6.07	4200	26000	5700	35900

Resumen de aforos de la crecida de 1998 en la Sección Santa Fe - Paraná

Fecha	Hparaná (m)	HSta Fe (m)	QColastiné (m³/s)	QC. Princ. (m³/s)	QSFc-L.Guar (m³/s)	Q Total (m³/s)
15/05/98	6.72	7.16	6530	29962	10790	47282
20/05/98	6.50	6.99	6222	29396	10003	45377

Considerando los dos picos más importantes del evento 1982/83 y los picos de 1992 y 1998, se presenta en la Tabla adjunta los porcentajes de caudal pasantes por cada sección respecto al total.

Fecha	HParaná (m)	HSta Fe (m)	%QColastiné (m³/s)	%QCPPrinc (m³/s)	%QPte Oroño (m³/s)	%Qaliv. 1 a 6 (m³/s)	QTotal (m³/s)
06/06/83	6,72	7,11	14.5	66.1	13.7	5.7	100
06/07/83	6,83	7,35	12.9	64.6	16.0	6.5	100
22/06/92	6,89	7,43	11.3	70.5	14.2	4.0	100
15/05/98	6,72	7,16	13.8	63.4	17.6	5.2	100

El caudal pico total de la crecida de 1998 fue un 23 % y un 16 % menor que los picos de las crecidas de 1983 y 1992 respectivamente. En términos generales pasa por el cauce principal entre un 65 a 70 % del caudal y el restante 35 a 30 % lo hace por los distintos puentes de la RN N° 168. En la crecida de 1992 estas proporciones son de un 70 a 75 % para el cauce principal y de un 30 a 25 % para el resto.

Sin duda uno de los factores que inciden en la distribución de caudales y mayor capacidad de conducción del cauce principal es el gradiente de la onda de crecida, que da lugar a diferencias en su velocidad de traslado. Otros factores como la duración de las crecidas, los aportes locales, el viento, el estado de la vegetación en el valle, el almacenamiento, las erosiones ocasionadas en grandes crecidas anteriores, etc., también modifican esta distribución y tienen gran incidencia en los niveles finalmente alcanzados. Ejemplo ilustrativo son las diferencias entre las crecidas de 1982/83 y la de 1992: el caudal de la primera fue mayor que el de la segunda; la larga duración de la primera produjo una gran limpieza del valle de inundación, transformándose éste en uno de los principales elementos de conducción del sistema, en cambio, la crecida de 1992 fue muy rápida, no alcanzó a limpiar el valle y la mayor parte del escurrimiento se produjo por los cauces, determinando que los niveles alcanzados fueran superior a pesar de que el caudal total fue de 5.000 m³/s menor.

La crecida de 1998, presenta algunas características distintivas de las anteriores. Se observa unos incrementos proporcionales en la evacuación de la sección Santa Fe -La Guardia, producto de mayores ingresos por el Subsistema Leyes -Setúbal, originados a la vez en aportes importantes al valle de inundación por margen derecha provocados por las importantes lluvias que se produjeron. De tal forma se presentan niveles mayores a los esperados en función del caudal pico estimado.

En 1983 la conducción por el valle de inundación se encontraba aumentada a raíz de la permanencia de la crecida y explica los relativamente bajos niveles alcanzados en comparación con las crecidas de 1992 y 1998, a pesar de tener un caudal significativamente mayor.

En la crecida de 1992, a pesar de que en el resto del sistema las alturas fueron superiores a las de 1983, dentro de la laguna fueron menores. Esto, como consecuencia, de que la sobreelevación en ella fue prácticamente despreciable. Tampoco se produjeron sobreelevaciones en la laguna durante la crecida de 1998.

Acompañando a los cuadros anteriores, y en relación directa a los caudales de afectación directa a la margen derecha del sistema, se debe tener en cuenta el comportamiento de los ingresos al subsistema Leyes-Setúbal por los Arroyos Leyes, Potrero y Santa Rita en la RP N° 1, los cuales se sintetizan a continuación:

Fecha	Altura de escala en Pto Sta Fe (m)	Caudal en m ³ /s			
		A. Leyes	A. Potrero	A. S. Rita	Q total
08/06/83	7,11	6563	2252	880	9695
06/07/83	7,33	7210	2722	928	10860
29/07/83	7,20	7104	2502	1057	10663

Si se adiciona el caudal estimado por los cortes de la RP N° 1, el caudal total de ingreso en el momento del pico puede estimarse en 13300 m³/s.

Fecha	Altura de escala en Pto Sta Fe (m)	Caudal en m ³ /s			
		A. Leyes	A. Potrero	A. S. Rita	Q total
15/06/92	6,85	6650	1496	477	8623
19/06/92	7,32	9464	2158	735	12357
30/06/92	7,10	6290	1674	413	8377

En esta situación prácticamente todo el paso de agua se concentró en los puentes, con lo cual se observa que en momentos del pico de la crecida de 1992, pasó por los mismos un caudal mayor que en la crecida de 1983.

Fecha	Altura de escala en Pto Sta Fe (m)	Caudal en m ³ /s			
		A. Leyes	A. Potrero	A. S. Rita	Q total
16/05/98	7,15	6188	2441	541	9170
19/05/98	7,05	7185	2312	484	9981

Durante esta crecida todo el ingreso se produjo por los puentes.

5.2.3 Análisis de frecuencia de extremos máximos en la estación Corrientes

Análisis de frecuencia de caudales máximos

Teniendo en cuenta los análisis de homogeneidad efectuados sobre las crecidas del Río Paraná en los estudios antecedentes, y en particular los indicados en el libro “El Río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura”. FICH (UNL). 2000, se adoptó como serie de trabajo la que se inicia en el año 1960/61 (año hidrológico Setiembre – Agosto). Con la actualización de información realizada, la misma se extiende hasta el año 2003/2004, contando con información completa en el período. En este caso los caudales máximos anuales se seleccionaron con el criterio de serie parcial de duración anual.

Para el ajuste de funciones de distribución probabilística, se utiliza el modelo AFM (FICH, 1998), el cual es una versión bajo entorno Windows del modelo AFMULTI (FICH, 1991). Este modelo estima parámetros de funciones de distribución aptas para el Análisis de Frecuencia de Crecidas, y estima eventos para distintos períodos de retorno, utilizando 7 funciones de distribución probabilística y procedimientos de estimación de parámetros (con un método de ajuste particular para cada distribución).

Estos procedimientos de estimación son:

Distribución	Método de Ajuste de Parámetros
1- Log - Normal (2p) (LN2)	Máxima Verosimilitud (MV)
2- Gumbel (GU)	Momentos Ponderados por Prob. (MPP)
3- General Val. Extremos (GEV)	Momentos Ponderados por Prob. (MPP)
4- Pearson III (PIII)	Máxima Verosimilitud (MV)
5- Log - Pearson III (LPIII)	Momentos Mixtos (MxM)
6- Exponencial (EXP)	Momentos (método tradicional)
7- Wakeby (WA)	Momentos Ponderados por Prob. (MPP)

Además de ajustar estos modelos y obtener valores para distintas recurrencias, se calculan los tests de Bondad de Ajuste de χ^2 y Kolmogorov-Smirnov, así como los errores cuadráticos medios de frecuencia (ECMF) y variable (ECMV) para cada una de las distribuciones.

En la tabla adjunta se presentan los estadísticos muestrales correspondientes a caudales máximos anuales de la serie 1960/61 – 2003/04.

Estadísticos muestrales caudales máximos anuales en Corrientes

Caudales máximos anuales	1960/61 – 2003/04
Media (m ³ /s)	32633
Desvío (m ³ /s)	8197
Coef. de asimetría (CS)	1.64
Coef. de Kurtosis (CK)	5.1

En la figura siguiente se muestra el ajuste gráfico obtenido con los valores calculados con el modelo AFM, cuya salida se adjunta en Anexo.

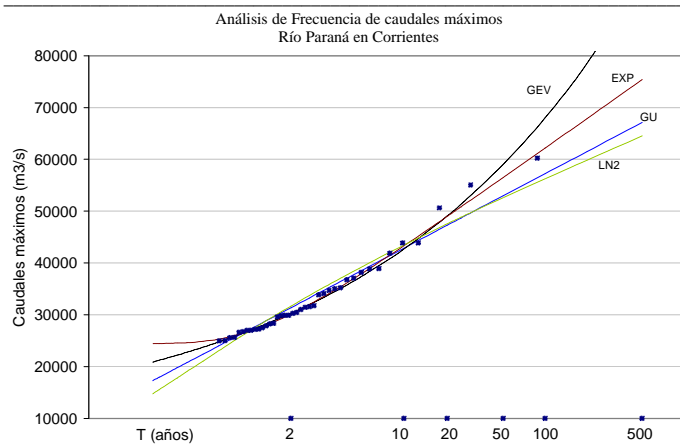
Teniendo en cuenta los resultados de los tests y de errores de ajuste muestral, pero principalmente teniendo en cuenta los estudios de robusticidad realizados por Paoli y otros (1992, 1994) para esta estación, se selecciona a la distribución Exponencial para obtener los valores maximizados.

Los valores de caudales máximos anuales, para la estación Corrientes que se muestran en la tabla siguiente:

Caudales máximos estimados para distintas recurrencias

T (años)	Qmáx (m ³ /s)
500	75400
100	62200
50	56500
25	50830
10	43320
5	37640
2	30130

Recurrencia asignada a las crecidas registradas



Año	Q _{máx} (m³/s)	T (años)
1982/83	60215	79
1991/92	55000	42
1997/98	50600	24
1965/66	43829	11
1989/90	43829	11
1996/97	41884	8

Análisis de frecuencia de volúmenes y duraciones de crecidas

Se obtuvieron series muestrales de volúmenes y duraciones de crecidas para caudales superior al umbral de 20000 m³/s, tomando los valores en correspondencia a las crecidas seleccionados anteriormente para el análisis de frecuencia de caudales máximos. De esta forma se dispone de las mismas crecidas seleccionadas para cada una de las variables a analizar. En las Figuras siguientes se muestran los ajustes gráficos obtenidos, adjuntándose en Anexo la salida del modelo.

Las distribuciones de mejor ajuste, tanto para volúmenes como para duraciones, resultan ser la LN2 y GEV, con resultados muy similares en las recurrencias de interés. En las tablas siguientes se muestran los valores maximizados para distintas probabilidades y las recurrencias para los valores de crecidas registradas, según la distribución GEV:

Volúmenes máximos estimados para distintas recurrencias

T (años)	Volumen (Hm ³)
100	389300
50	258500
25	169600
10	93900
5	56940
2	23715

Recurrencia asignada a las crecidas registradas

Año	Volumen (Hm ³)	T (años)
1982/83	570748	192
1997/98	150083	21
1965/66	142806	19
1991/92	127258	16
1960/61	77169	8

No cabe dudas, al observar los estimadores muestrales de asimetría y los ajustes estadísticos que se efectúan, que la crecida de 1982/83 se presenta como un outlier desde el punto de vista de su volumen y que dicho valor tiene una gran influencia en las inferencias probabilísticas, particularmente para recurrencias elevadas.

Respecto a las duraciones máximas estimadas para distintas recurrencias, se tiene:

T (años)	Duración (días)
100	265
50	218
25	177
10	128
5	95
2	53

Recurrencia asignada a las crecidas registradas

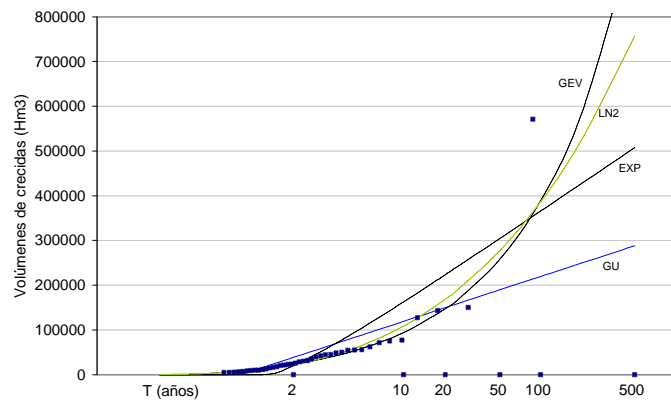
Año	Duración (días)	T (años)
1982/83	305	170
1960/61	146	14
1984/85	140	13
1991/92	139	12
1965/66	137	12

La crecida de 1983 es la de mayor magnitud de todas las registradas, variando su importancia según la característica analizada ya que según el caudal pico le correspondería una recurrencia del orden de los 80 años que se aumentaría al orden de 190 años si se considera el volumen y se obtendría un valor intermedio si se analiza la duración.

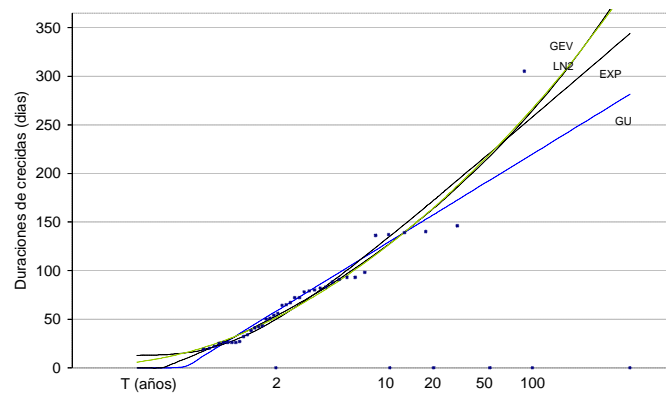
El orden para el resto de las crecidas se modifica notoriamente según la característica analizada, resultando que a la crecida de 1992, segunda por su caudal máximo de recurrencia 42 años, solo le corresponde una recurrencia de 16 y 12 años por su volumen y duración respectivamente.

Desde 1998 en adelante, la crecida de mayor relevancia fue la de Febrero – Marzo de 2001, con un caudal pico de 27854 m³/s.

Análisis de frecuencias de volúmenes máximos
 Río Paraná en Corrientes



Análisis de Frecuencia de duraciones máximas
 Río Paraná en Corrientes



5.2.4. Análisis de series de caudales en la sección Paraná – Santa Fe

A partir de la información recopilada se dispuso de caudales en las secciones:

- Río Paraná en túnel subfluvial
- Río Colastiné en RN N° 168
- Sección descarga Laguna Setúbal (pte. Oroño, más aliviadores 1 a 6 sobre la RN N° 168)
- Aforos para los puentes aliviadores durante las crecidas de 1983, 1992 y 1998

A su vez se dispusieron de alturas de escala en las estaciones Puerto Paraná, Colastiné y Puerto Santa Fe.

A partir de la información en estas estaciones y de los ajustes que se pueden lograr en situaciones de crecidas incorporando los aforos por puentes aliviadores, es posible reconstruir una serie de caudales para la sección Paraná – Santa Fe. Se dispuso de información en las estaciones desde principios de siglo, pero debe reconocerse las modificaciones que tuvo la RN N° 168 en si misma y en su entorno, asimismo como las erosiones existentes en las secciones de paso particularmente a partir de la crecida de 1982/83.

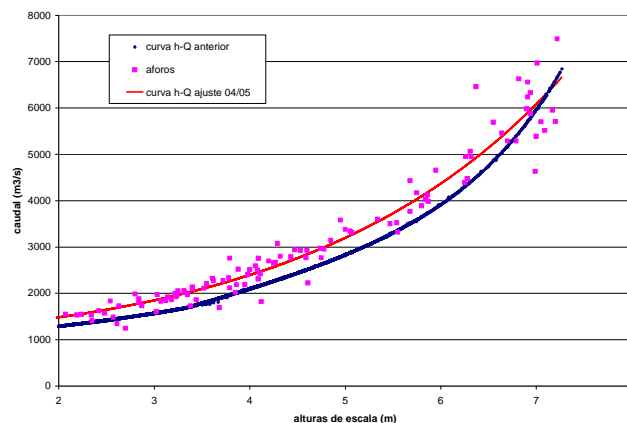
Se considera que estas evaluaciones son estrictamente válidas desde 1983 en adelante, momento también a partir del cual se dispone de aforos en la sección completa de escurrimiento del río. No obstante, y a efectos comparativos, se extiende el análisis de la serie de caudales hasta 1969/70.

Tratamiento y análisis de consistencia de la información

En primer lugar se graficaron los aforos disponibles con los caudales suministrados en las 3 estaciones básicas disponibles.

Luego del análisis de la información, se decidió recalcular la curva de descarga de la estación Colastiné en la RN N° 168 en el período 1960 – 1/09/2000, indicándose en Figura siguiente el nuevo ajuste obtenido. A su vez, en la estación Colastiné, existen muchos datos faltantes en el período 1984 – 1990, por lo que se recurrió a rellenar los mismos mediante el ajuste de una curva altura – caudal, utilizando los aforos de Colastiné y los niveles de la estación hidrométrica de Paraná.

1. aforos colastine 1983 - 9/2000



Para las grandes crecidas de 1983, 1992 y 1998 se dispuso de aforos en todas las secciones de escurrimiento. A partir de los mismos se realizó un ajuste de los caudales escurridos en cada sección. Un ejemplo de ello se presenta en las Figuras siguientes, para el cauce principal y para la sección Santa Fe – La Guardia.

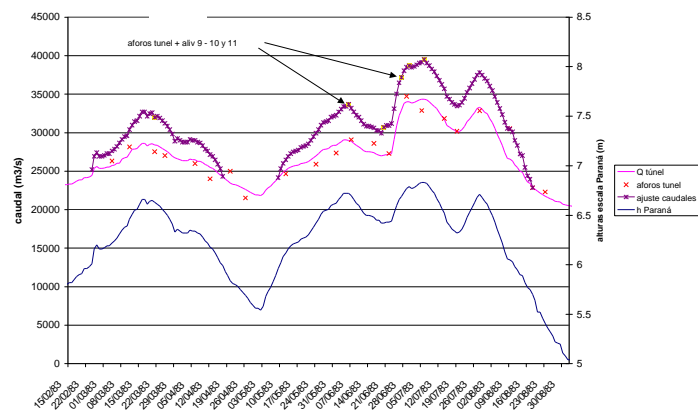
Finalmente, por suma de caudales entre las secciones, con ajuste por aforos en las grandes crecidas, se obtuvo una serie de caudales diarios en el período 1969/70 – 2002/03.

Para validar la consistencia de la información obtenida, se obtuvieron los caudales medios mensuales y anuales en el período, y se compararon con valores de la estación Corrientes, observándose que las diferencias en general resultan menores al error medio existente en las mediciones de caudales.

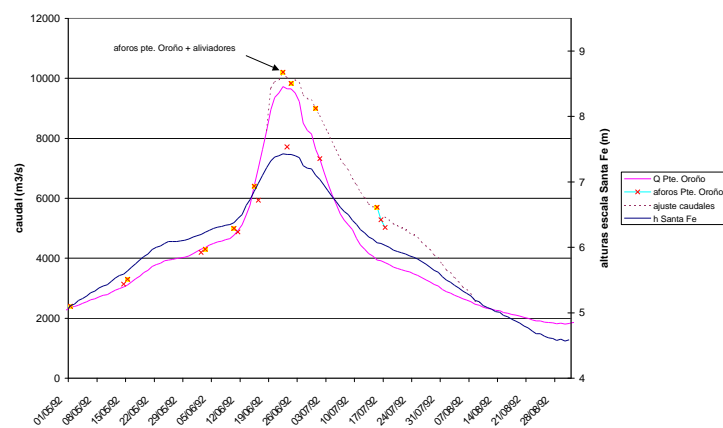
A partir de la serie de valores diarios, se obtuvieron los caudales máximos anuales (año hidrológico) y se compararon con los valores de la estación Corrientes, lo cual se presenta en la Figura correspondiente.

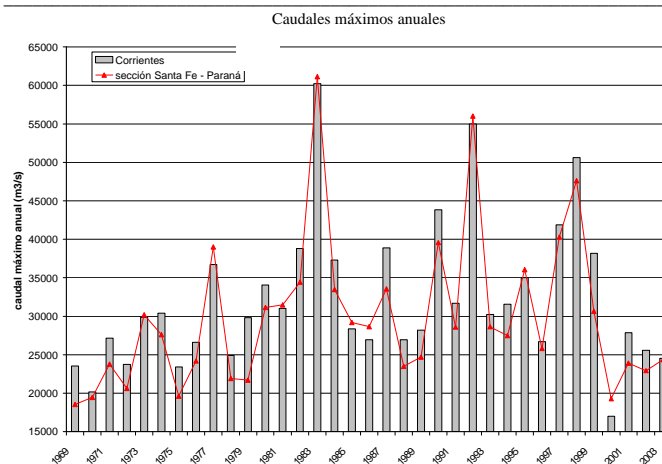
Se observa en dicha Figura que el comportamiento es dispar, mientras que en las mayores crecidas existen diferencias (en más y en menos), siempre dentro de un 10% respecto a lo registrado en Corrientes, en los años donde se registran las crecidas menores las diferencias pueden ser mucho más significativas.

Caudales cauce principal Río Paraná y aliviadores 9 a 11
 1983



Caudales Laguna Setúbal
 1992





Análisis de frecuencia de caudales máximos en la sección Paraná – Santa Fe

En la Tabla adjunta se presentan los estadísticos muestrales correspondientes a caudales máximos anuales de la serie correspondiente al período 1969/70 – 2002/03, indicándose también valores obtenidos en Corrientes para el mismo Período.

Estadísticos muestrales caudales máximos anuales en Corrientes

Caudales máximos anuales	RN168	Corrientes
Media (m³/s)	30314	32447
Desvío (m³/s)	9800	9443
Coef. de asimetría (CS)	1.58	1.25
Coef. de Kurtosis (CK)	4.9	4.3

Los caudales máximos para distintas recurrencias en función de la distribución EXP se presentan en la Tabla adjunta:

Caudales máximos estimados para distintas recurrencias (m³/s)

T (años)	RN168	Corrientes
100	65640	66500
50	58850	59945
25	52060	53400
10	43080	44750
5	36286	38200
2	27307	29550

Teniendo en cuenta las peculiaridades de la sección Santa Fe – Paraná, así como su longitud y el hecho que puedan obtenerse resultados levemente inferiores (aunque del mismo orden) respecto a Corrientes, a la fecha resulta todavía aconsejable trabajar con la estación de caudales de Corrientes para definir los hidrogramas de diseño a transitar por el valle aluvial del Río Paraná en el sector de estudio.

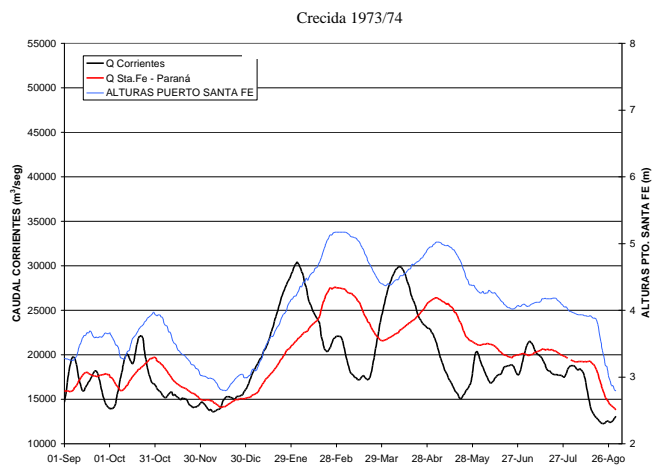
Análisis de formas de crecidas en el período 1961 – 2003.

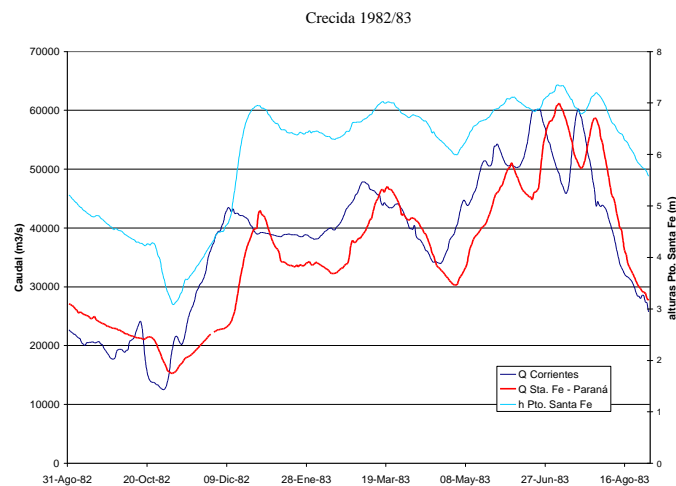
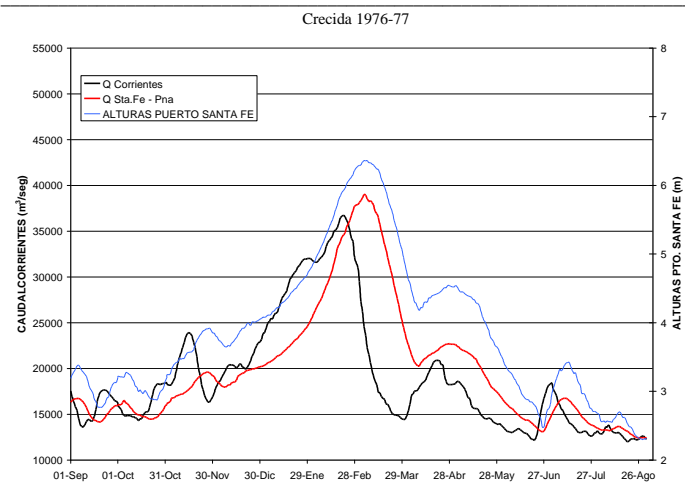
Selección de crecidas representativas por rango de caudales máximos.

Los análisis de características de crecidas reales no difieren significativamente de los disponibles en estudios antecedentes, debido fundamentalmente a que en el período de actualización de información no se registraron crecidas de gran interés. Sí se incorpora como elemento de interés, y pese a sus limitaciones, las formas de las crecidas en la sección Santa Fe – Paraná y su comparación con los valores de Corrientes.

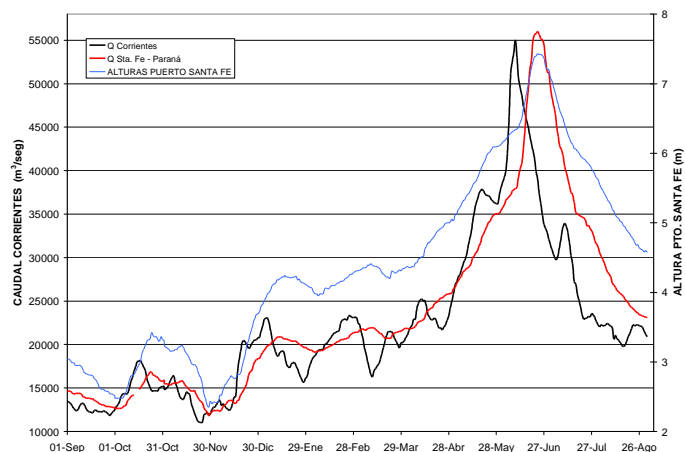
No caben dudas que la complejidad del régimen de crecidas del río Paraná se refleja en la forma de sus crecidas, donde prácticamente cada una de ellas se constituye en un caso tipo.

Se presentan en las Figuras adjuntas comparaciones para las grandes crecidas observadas (1983, 1992 y 1998), así como para crecidas menores de 1977 y 1974. Asimismo se indican en las Figuras las alturas alcanzadas en Puerto Santa Fe.

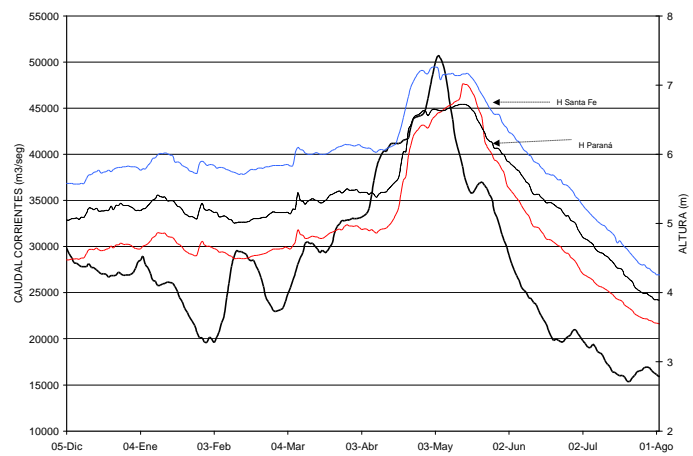




Crecida 1991/92



Crecida 1997/98



A los efectos de obtener formas tipos por rango de crecidas, se seleccionaron y agruparon aquellas que cumplieran con el requisito de presentar, como factor más importante, un caudal pico del orden de la recurrencia que se pretende representar y como segundo factor, duraciones por encima de los 20.000 m³/s que se acercaran a los de la misma recurrencia.

A partir del análisis de frecuencia efectuado y observando los valores de caudales máximos para distintas recurrencias, se determinan hidrogramas de forma tal de representar adecuadamente distintas magnitudes de crecidas (teniendo en cuenta que cumpla con la condición de recurrencia aproximada en todo el tramo Corrientes – Santa Fe – Paraná)

Así para representar los distintos rangos, las crecidas seleccionadas fueron:

Crecidas de diseño T =	Crecidas Históricas seleccionadas
2 años	1973/74; 1979/80; 1980/81; 1992/93; 2000/01
5 y 10 años	1960/61; 1964/65; 1965/66; 1976/77; 1994/95
Superior a 25 años	1965/66; 1982/83; 1991/92; 1997/98

Determinación de los hidrogramas característicos de las crecidas para las recurrencias adoptadas.

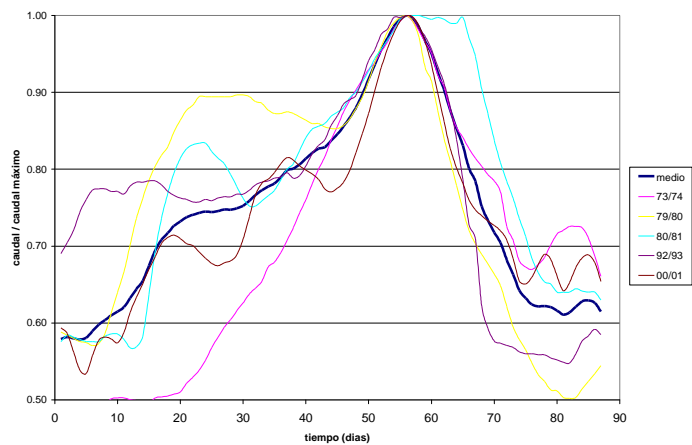
Para cada rango de recurrencias el procedimiento seguido fue el siguiente: una vez definidas las crecidas históricas, representativas de las recurrencias pretendidas, se adimensionaliza los hidrogramas respecto a su caudal máximo. Estos hidrogramas adimensionales fueron ubicados en el tiempo haciendo coincidir sus picos, y se obtuvo un hidrograma adimensional medio, para cada recurrencia.

Este hidrograma adimensional medio luego es multiplicado por el caudal pico correspondiente a la recurrencia de interés, ajustando luego mediante relaciones lineales la duración del caudal de 20000 m³/s, según el análisis de frecuencia correspondiente. Finalmente se verifica que el volumen obtenido del hidrograma presentara diferencias menores al 5% respecto al volumen correspondiente a la misma recurrencia.

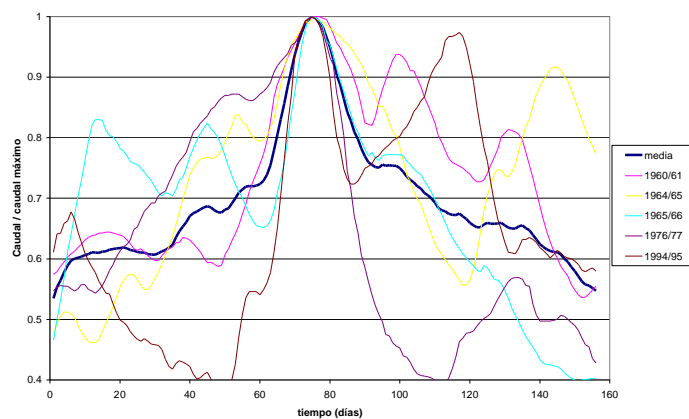
De esta manera se asume que se obtiene, para cada recurrencia, hidrogramas que preservan una forma característica, el caudal máximo, la duración y el volumen para la recurrencia en análisis.

Las figuras siguientes se presentan los hidrogramas adimensionales para formas representativas de 2 años de recurrencia, 5 a 10, y más de 25 años respectivamente.

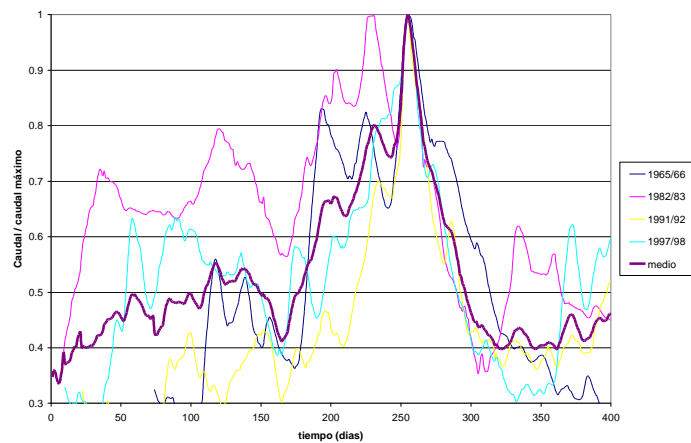
Hidrograma adimensional T= 2 años. Estación Corrientes



Hidrograma adimensional T= 5 - 10 años. Estación Corrientes

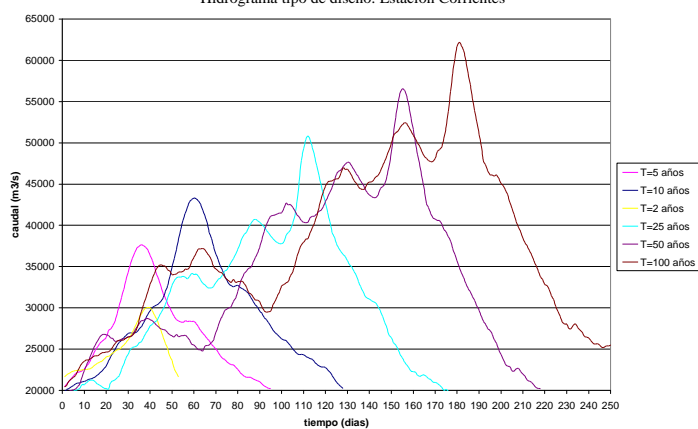


Hidrogramas adimensionales T= 25 años. Estación Corrientes



La Figura siguiente presenta las formas tipo de los hidrogramas de diseño.

Hidrograma tipo de diseño. Estación Corrientes



Selección de crecidas reales con picos del mismo orden de las de diseño

A partir del análisis de todos los hidrogramas con caudales máximos del orden de 30000 m³/s y superior, se seleccionaron crecidas reales que poseen características hidrológicas que permiten asimilarlas a las recurrencias de interés. Para ello se adoptó como parámetro fundamental el caudal máximo de la crecida y en segundo orden su duración por encima del caudal límite adoptado de 20000 m³/s.

La Tabla adjunta presenta las crecidas reales seleccionadas, con su recurrencia asignada

T (años)	Crecida (año hidrológico)
100	1982/83
50	1991/92
25	1997/98
10	1965/66
5	1976/77
2	1973/74 (1º pico)

Por su característica combinada de caudal máximo, volumen y duración la crecida de 1982/83 puede considerarse como la observada asimilable a una recurrencia de 100 años.

5.2.5 Modelación hidrodinámica

5.2.5.1 Introducción

Durante los últimos años, han sido ocupadas zonas en riesgo de inundación y se han construido obras con el fin de protegerlas y desarrollarlas.

En el año 1992 se realizaron estudios para elaborar y trazar Cartas de Riesgo Hídrico. Posteriormente se produjeron crecidas extraordinarias del río Salado con niveles y caudales superiores a los producidos hasta ese año. También se produjo una crecida importante del Río Paraná en el año 1998. Por éste motivo, los resultados obtenidos en dicha oportunidad, referidos al comportamiento de los ríos en la zona, deben ser actualizados.

Ante ésta situación, surge la necesidad de reelaborar las Cartas de Riesgo Hídrico por inundaciones. En éste trabajo deben incluirse los nuevos escenarios, a los efectos de actualizar la base técnica para los planificadores y otros profesionales que deban referirse a la ocupación del espacio geográfico y al uso del suelo.

Las cartas de riesgo hídricos serán trazadas usando la información de niveles de agua calculados con Modelo Hidrodinámico, para distintas crecidas.

5.2.5.2 - Metodología

La metodología empleada es similar a la de estudios anteriores, realizados por el mismo equipo de trabajo. En esta oportunidad se agrega la rama correspondiente al Río Salado desde el puente Mitre hasta la confluencia con el Río Coronda.

Se actualizó el Modelo Matemático Hidrodinámico disponible, para representar las variables hidráulicas de interés; es decir, alturas hidrométricas, caudales y velocidades del agua. En el presente informe de avance se describe la implementación del modelo.

El modelo representa el Río Paraná entre las secciones Estancia Santa Cruz (cercana a la localidad santafesina de San Javier) y la sección Diamante. La presente versión es una actualización de modelos anteriores, tal como se explica más adelante.

En el sistema, el flujo del Río Paraná es muy complejo, debido a la multiplicidad de cauces con sus respectivos valles de inundación existentes, siendo los principales: Río San Javier, cauce principal del Río Paraná, Arroyo Leyes, Arroyo Potrero, Arroyo Ubajay, Río Colastiné, Río Colorado, Río Colastinecito, Laguna Setúbal, Aliviadores, Riacho Santa Fe, Canal de Acceso, Río Coronda y Río Salado, entre otros. En consecuencia, se seleccionó para este estudio el modelo de red de ramas unidimensionales.

El modelo así implementado y calibrado, permite representar las corrientes de agua con una precisión que está en concordancia con los objetivos de este trabajo.

5.2.5.3 Descripción del modelo utilizado

Características generales

El modelo de escurrimiento en red de canales utilizado en este trabajo se basa en las ecuaciones de Saint Venant para flujo impermanente, constituyendo un sistema hiperbólico de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones son discretizadas por medio de un esquema de diferencias finitas de cuatro puntos, implícito. El sistema de ecuaciones, no lineales, se resuelve por el método de Newton-Raphson extendido. Las ecuaciones básicas son la ecuación de continuidad y la ecuación de cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q + LB$$

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q^2}{A} \right] + g \frac{\partial H}{\partial x} = -gI$$

siendo:

- x : distancia a lo largo del canal;
- t : tiempo;
- H : nivel de agua absoluto;
- Q : caudal;
- A : área de escurrimiento en una sección normal;
- q : caudal lateral específico (caudal por unidad de longitud);
- L : intensidad de lluvia neta;
- B : ancho de escurrimiento de una sección recta;
- g : aceleración de la gravedad;
- I : pendiente de fricción.

La pendiente de fricción I se estima por la ecuación de Manning:

$$I = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}} = \frac{Q^2 n^2 B^{4/3}}{A^{8/3}}$$

siendo:

n : coeficiente de rugosidad de Manning;
 R : radio hidráulico.

Las ecuaciones de Saint Venant se fundamentan en las siguientes hipótesis básicas que limitan su aplicabilidad:

- Se considera el medio como continuo, incompresible, homogéneo y newtoniano.
- El único campo de fuerzas actuante es el de la gravedad, que se supone uniforme.
- Es un fenómeno a superficie libre, considerándose despreciables los efectos de resistencia del aire.
- Las características geométricas del sistema son invariables en el tiempo y la alineación y forma del cauce es arbitraria pero sin variaciones bruscas.
- Las componentes de la velocidad transversal a la dirección del escurrimiento son pequeñas frente a la componente longitudinal, es decir, el escurrimiento es unidireccional y el pelo de agua horizontal en la sección transversal.
- La turbulencia está totalmente desarrollada.
- La curvatura de las líneas de corriente es pequeña y la componente vertical de la aceleración es pequeña frente al módulo de la aceleración de la gravedad, es decir se considera una distribución de presiones hidrostática.
- Los efectos resistivos pueden ser cuantificados por medio de leyes de resistencia análogas a las utilizadas para el escurrimiento permanente.
- La pendiente de fondo del canal es moderada.

Las ecuaciones precedentes fueron adaptadas para contemplar tanto el escurrimiento en el cauce principal como en el valle de inundación, bajo la hipótesis de que existe el mismo nivel de agua en ambos y por lo tanto no hay pendiente transversal. Teniendo en cuenta lo anterior, la ecuación de cantidad de movimiento se puede expresar como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Q_p^2}{A_p} + \frac{Q_{i1}^2}{A_{i1}} + \frac{Q_{i2}^2}{A_{i2}} \right] + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAI = 0$$

$$I = \frac{Q|Q|}{\frac{A_p^{8/3}}{n_p^2 B_p^{4/3}} + \frac{A_{i1}^{8/3}}{n_{i1}^2 B_{i1}^{4/3}} + \frac{A_{i2}^{8/3}}{n_{i2}^2 B_{i2}^{4/3}}}$$

dónde los subíndices p e i significan cauce principal y valle de inundación respectivamente.

Configuración del sistema

El modelo esquematiza al sistema por medio de un conjunto de ramas interconectadas. Las ramas se conectan entre sí a través de nodos o uniones internas. Hay dos tipos de nodos:

- a) interno: es el lugar donde se unen 2 o más ramas;
- b) externo: es el lugar donde son especificadas condiciones de borde externas y que pertenece a una sola rama.

Condiciones iniciales, de borde externa e interna

Para resolver las ecuaciones dentro de una región delimitada es necesario conocer las condiciones iniciales y de borde o contorno de las variables dependientes.

- a) Condiciones iniciales: son los valores iniciales de las variables altura y caudal en todas las secciones transversales.
- b) Condiciones de borde externas: como el régimen de escurrimiento es subcrítico corresponde aplicar una condición de borde aguas arriba y otra aguas abajo. Dichas condiciones pueden ser:

$$H - H_b(t) = 0 \quad \text{ó} \quad Q - Q_b(t) = 0$$

Para el borde de aguas abajo, como alternativa puede colocarse también una relación:

$$Q - f(H) = 0, \quad \text{que corresponde a una curva de descarga.}$$

- c) Condición de nodo: en las uniones de ramas se deben cumplir las condiciones de conservación de masa e igualdad de niveles.

La asignación de estas condiciones de nodo es ejecutada automáticamente por el modelo, para lo cual se deben identificar las ramas que convergen a cada nodo, de acuerdo a la esquematización realizada del sistema.

La condición de igualdad de niveles para un nodo k, al cual convergen r ramas, es:

$$H(k,m) = H(k,m+1) ; m = 1, 2, \dots, r-1$$

La condición de conservación de masa se expresa como:

$$\sum_{m=1}^r Q(k,m) = 0$$

Por lo tanto, en una unión interna de r ramas hay 1 condición de continuidad y r-1 condiciones de compatibilidad de alturas, es decir r ecuaciones.

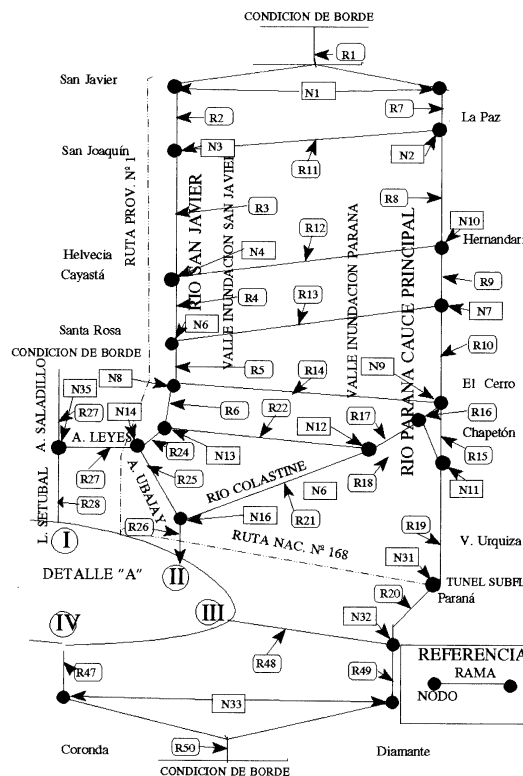
Datos geométricos

Toda la geometría del sistema, es decir, perfiles, ramas de escurrimiento, nodos del sistema, etc., se representa en archivos gráficos de AutoCAD que son leídos directamente por el programa.

Implementación del modelo hidrodinámico

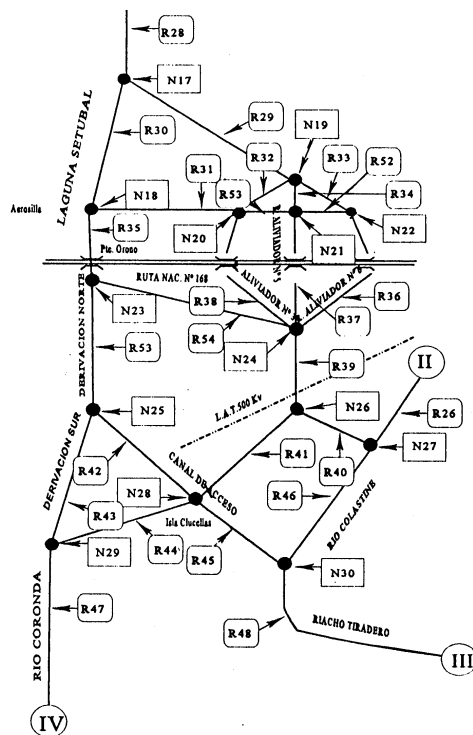
El modelo fue construido sobre la estructura del modelo desarrollado en un estudio anterior de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) sobre el Sistema Leyes Setúbal. Dicho modelo representaba los cauces principales, los valles aluviales y los cursos menores.

Las principales modificaciones se efectuaron para actualizar la topobatimetría de la zona de interés, en los cursos que resultaron afectados por las últimas crecidas extraordinarias. Las figuras siguientes presentan el esquema topológico empleado en el modelo hidrodinámico previo.



ESQUEMA TOPOLOGICO MODELO HIDRODINAMICO
MÚLTIPLES CAUCES RIO PARANA

Esquema topológico.



DETALLE "A"

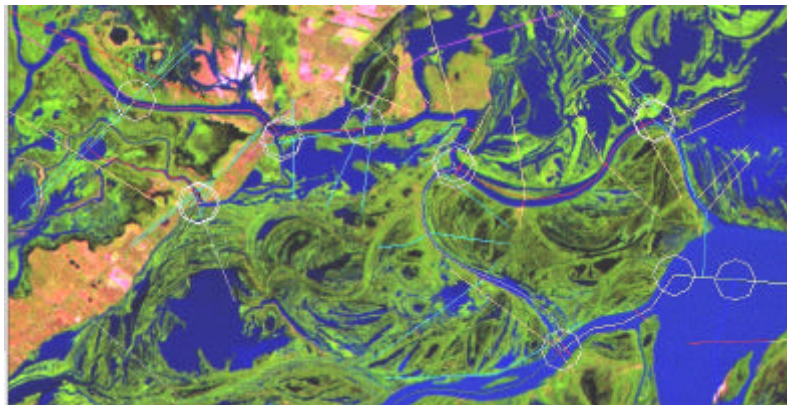
ESQUEMA TOPOLOGICO MODELO HIDRODINAMICO
MÚLTIPLES CAUCES RIO PARANA

Esquema topológico. Detalle "A".

Modificaciones realizadas para el presente trabajo

Los datos necesarios para realizar las modificaciones fueron provistos por el Instituto Nacional del Agua (INA). Los mismos consistieron en perfiles o bien curvas de nivel desde las cuales se elaboraron perfiles. Las principales modificaciones realizadas fueron las siguientes:

1. Incorporación de una nueva rama, correspondiente al Río Salado, desde el Puente Mitre hasta el Río Coronda.
 2. Actualización de perfiles del cauce principal del Río Paraná en la zona del Arroyo Barroso, Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe, Río Coronda y Arroyo Leyes.
- En la imagen siguiente se muestra parcialmente la zona de estudio con los perfiles y ramas modificados, destacándose la zona del Arroyo Leyes. Los octógonos marcan el comienzo de una rama.



Ramas y perfiles de la zona de estudio.

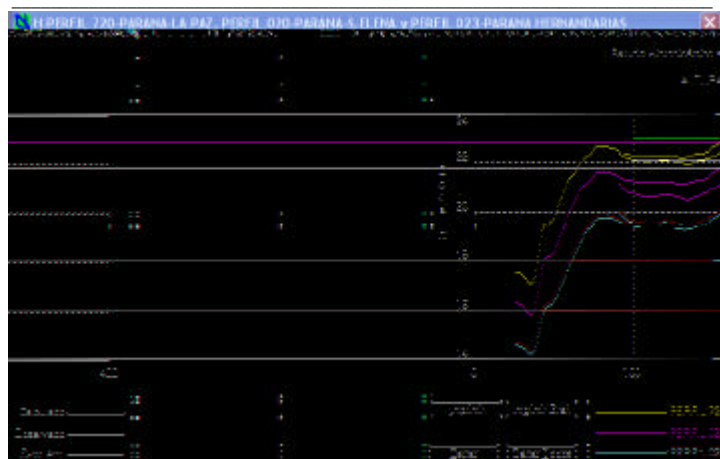
La configuración actual del modelo contiene 59 ramas con 36 nodos y 203 perfiles. Cada perfil representa tanto el cauce principal como la planicie de inundación.

5.2.5.4 Calibración del modelo hidrodinámico **Crecidas analizadas**

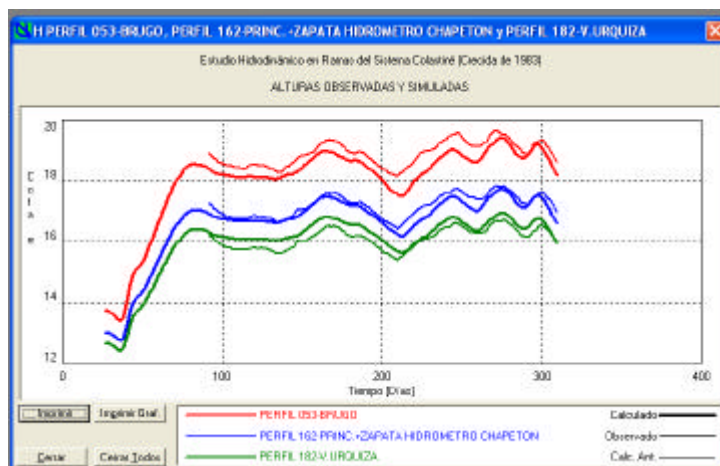
Se realizó la calibración del modelo con la crecida correspondiente al período comprendido entre el 15 de Setiembre de 1982 al 25 de junio de 1983 y con la crecida correspondiente al período comprendido entre el 01 de Mayo de 1992 al 08 de agosto de 1992.

Ambas crecidas poseen características diferentes en lo que respecta a: magnitud de los caudales, permanencia de la onda en el sistema, forma del hidrograma y época de ocurrencia (con distintos estados del sistema, sobre todo en referencia a la vegetación). En consecuencia, los coeficientes de rugosidad de Manning correspondientes a cada una de ellas fueron diferentes, reflejando el comportamiento del sistema en situaciones desiguales.

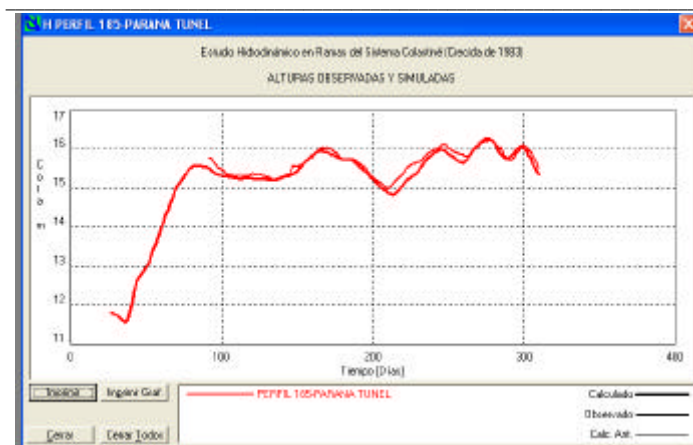
Las figuras siguientes presentan los resultados de dicha calibración para diferentes secciones sobre el Río Paraná y sobre el Río San Javier para la crecida 1982-1983.



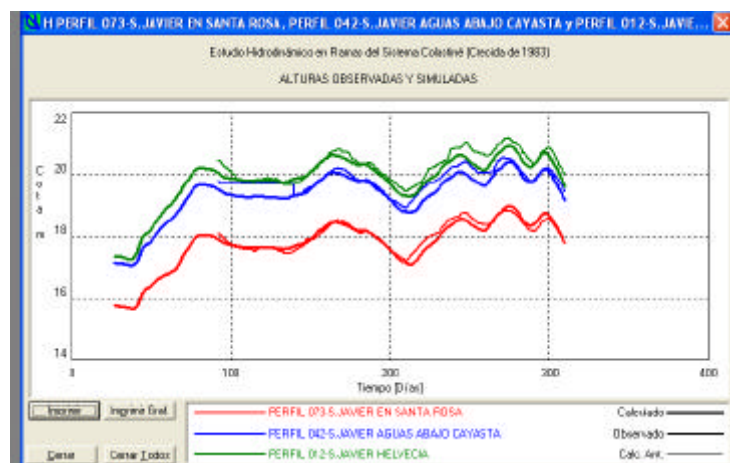
Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1982-1983.



Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1982-1983.



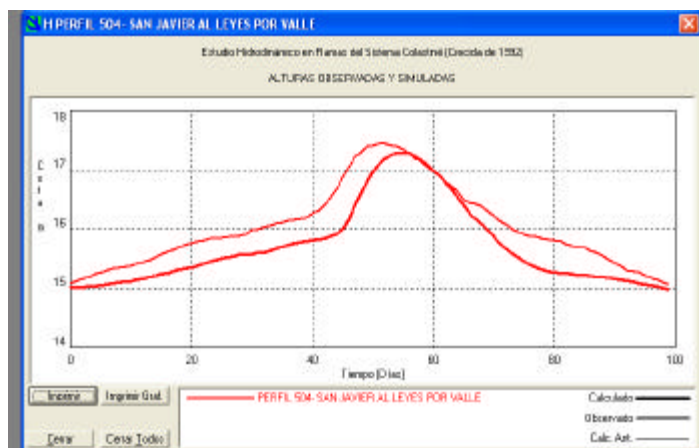
Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1982-1983.



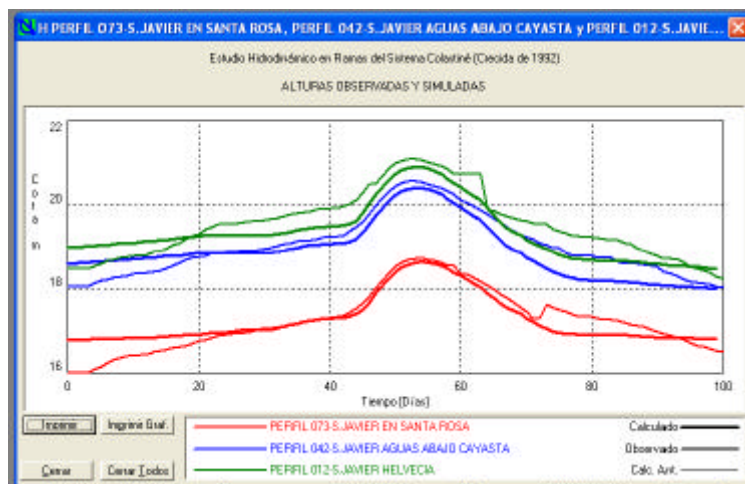
Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1982-1983.

Por su parte, las figuras siguientes ilustran los resultados de la calibración para la crecida de 1992. Las Tablas del Anexo presentan los resultado de caudal Q (m^3/s) y altura H (m IGM) para las secciones correspondientes a los Perfiles ubicados en el Canal de Derivación Norte;

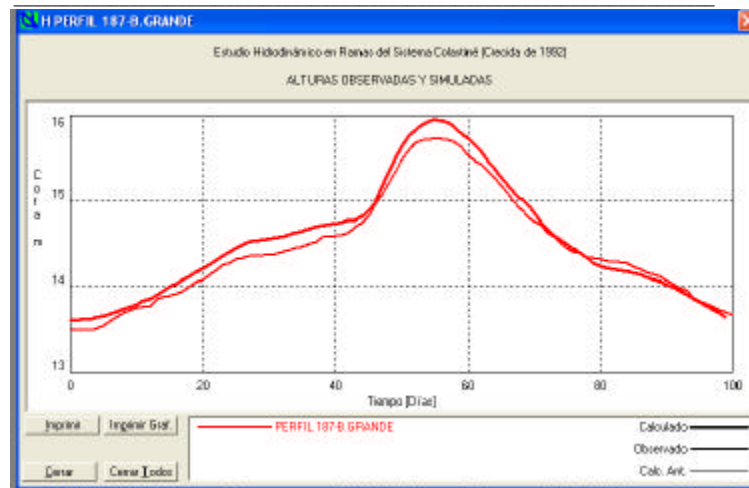
en el Canal de Derivación Sur – Zona de Cuarteles y en el Río Salado Aguas Arriba del Puente Mitre para las crecidas 1982-1983 y 1992, respectivamente.



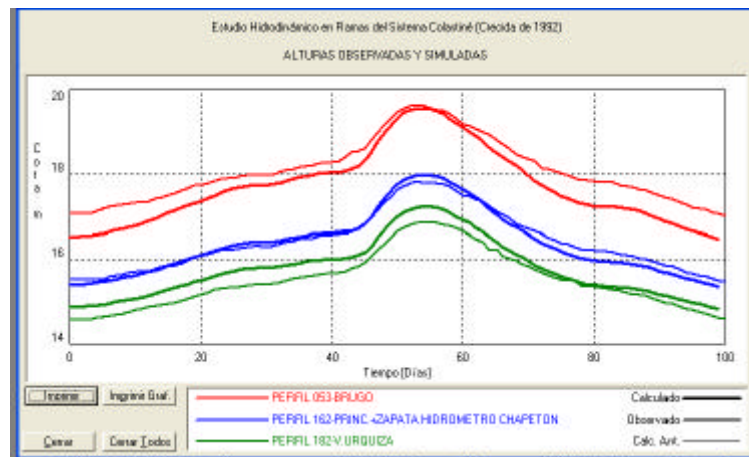
Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1992 (Puente A° Leyes).



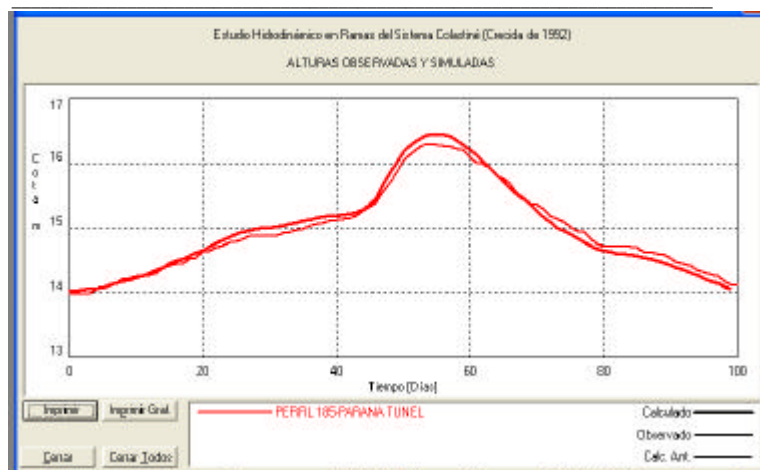
Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1992.



Calibración Modelo Hidrodinámico, Crecida 1992.



. Calibración Modelo Hidrodinámico, Crecida 1992.



Calibración Modelo Hidrodinámico. Crecida 1992.

5.2.5.5 Verificación del modelo hidrodinámico

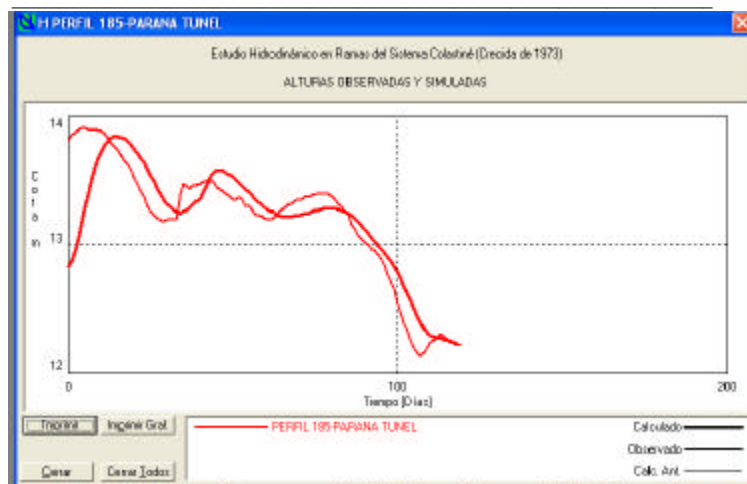
Con el modelo calibrado, se efectuó la verificación de las crecidas extraordinarias del río Paraná en 1998 y las crecidas extraordinarias del río Salado en 1973, 1998 y 2003.

Las crecidas extraordinarias del río Salado correspondieron a los períodos 05 de mayo de 1973 a 31 de agosto de 1973; 31 de enero de 1998 a 14 de junio de 1998 y 01 de febrero de 2003 a 03 de junio de 2003.

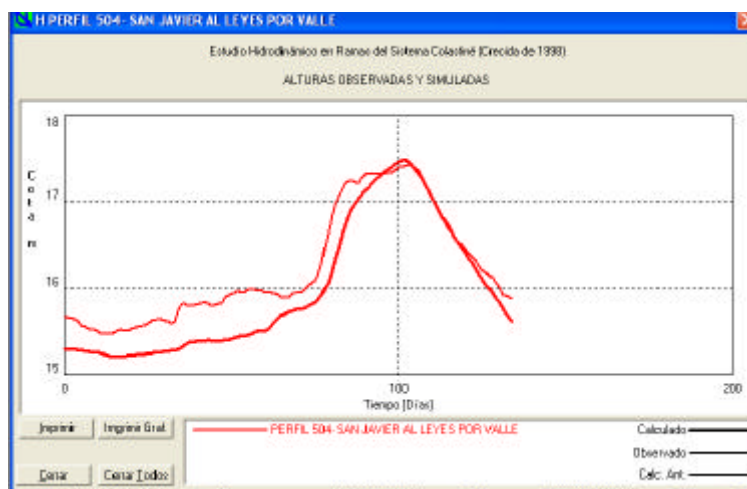
La crecida de 1998 presenta similitudes muy grandes con la de 1982-1983, por lo que se utilizaron los coeficientes calibrados para esta última crecida en su simulación. Además, se hicieron ensayos utilizando los coeficientes de 1992, que mostraron valores de altura de agua, en el pico, 50 cm por debajo de los observados en la escala del Puente A° Leyes, mientras que con los coeficientes de 1983 la concordancia es prácticamente total.

Siguiendo con similares criterios, todas las demás crecidas de explotación responden mejor a los coeficientes de Manning calibrados con la crecida de 1992.

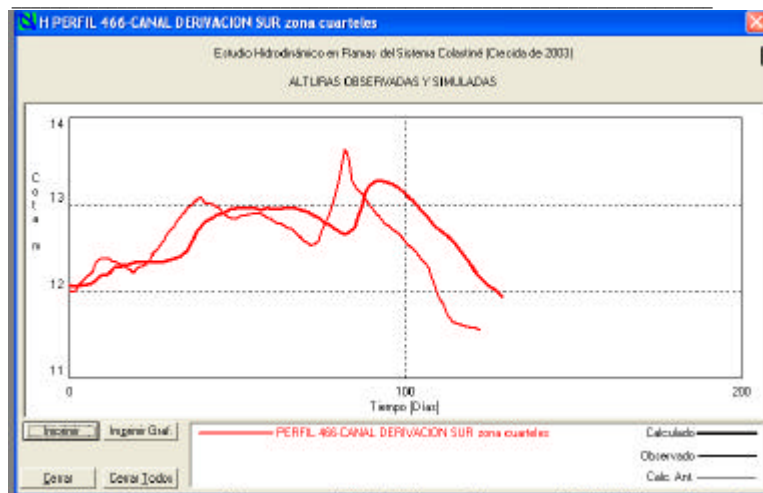
Las Tablas 3, 4 y 5 del Anexo presentan los resultados de Q (m^3/s) y altura H (m IGM) para las crecidas extraordinarias sobre el Río Salado.



Verificación Modelo Hidrodinámico, Crecida 1973.



Verificación Modelo Hidrodinámico, Crecida 1998, Puente A° Leyes



Verificación Modelo Hidrodinámico. Crecida 2003.

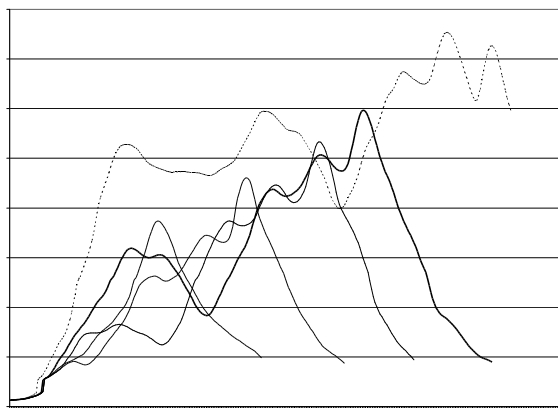
5.2.5.6 Explotación del modelo hidrodinámico **Crecidas de diferentes períodos de retorno**

Con el modelo ya calibrado, se obtuvieron los hidrogramas para crecidas correspondientes a diferentes períodos de recurrencias combinadas del Río Paraná y el Río Salado, según el siguiente esquema:

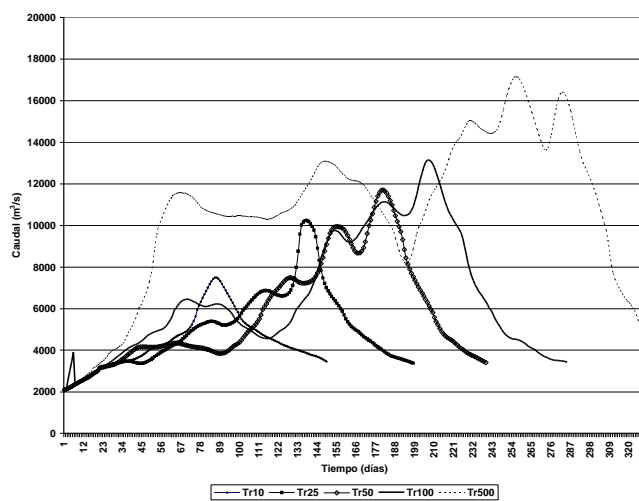
Río Paraná	TR 2	TR 5	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TR 500
Río Salado	TR 2	TR 10	TR 10	TR 10	TR 10	TR 10	TR 10

Las Tablas 6 a 10 del Anexo presentan los resultados de la Explotación del Modelo Hidrodinámico para períodos de recurrencia de 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Las figuras siguientes presentan los resultados para diferentes períodos de retorno en el perfil ubicado en el Canal de Derivación Norte y en el perfil sobre el Canal de Derivación Sur – Zona de Cuarteles respectivamente.



Crecidas para diferentes recurrencias en el Canal de Derivación Norte.



Crecidas para diferentes recurrencias en el Canal de Derivación Sur – Zona de Cuarteles.

Envoltentes de los limnigramas

Como parte de los objetivos previstos, se corrió el modelo matemático para obtener las envoltentes de los limnigramas en todos los perfiles utilizados.

En el Anexo, se presenta la identificación de los Perfiles empleados en el modelo, las envoltentes de altura para crecidas de diferentes períodos de retorno y las envoltentes de altura para crecidas históricas.

6. ELABORACIÓN DE CARTAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

Se realizó el trazado de curvas de riesgo hídrico por inundación utilizando información planialtimétrica e hidrológica actualizada del río Paraná y del río Salado. Las nuevas curvas se encuentran en las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación originadas por la acción conjunta del río Paraná y del río Salado en la ciudad de Santa Fe y zonas aledañas.

Las curvas de riesgo de inundación se clasificaron en dos grupos:

Las que forman las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación “Modeladas o Hipotéticas” son aquellas que se obtuvieron de las crecidas históricas modeladas bajo la topología actual; la información hidrológica utilizada para la definición de los perfiles hídricos en una sección determinada se obtuvo a partir de los resultados de las aplicaciones de los modelos matemáticos hidrodinámicos implementados en el río Paraná y en el río Salado a las crecidas históricas medidas. De esta manera, las denominadas crecidas históricas son variantes de las crecidas de diseño estadísticas, debido a que las condiciones de borde constituyen los caudales y niveles ocurridos históricamente y las áreas de afectación en cada sección, corresponden a las generadas por la intersección entre el nivel de agua calculado y el relieve topográfico en la sección.

El otro grupo, son aquellas que forman las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación para las “Crecidas de Diseño Estadísticas”. Estas curvas de riesgo fueron obtenidas de la aplicación de los modelos matemáticos implementados en los dos sistemas y las condiciones hidrológicas corresponden a caudales obtenidos de los análisis estadísticos definidos para las diferentes frecuencias. En este caso se combinan los caudales de diferentes frecuencias de los dos sistemas hidrológicos implementados y se observan los riesgos de inundación posibles a generarse.

Además de la clasificación mencionada, las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación presentan dos situaciones posibles.

- La curva de afectación real de la crecida, es aquella que encierra el área que realmente se encuentra afectada por inundación, diferenciando el área encerrada por la defensa, la que puede tener altimetría del terreno por debajo del nivel de agua alcanzado y no se inunda porque queda protegido por el terraplén de defensa.
- La curva de afectación potencial de la crecida en un área se produce, cuándo, las cotas topográficas del terreno se encuentran por debajo del nivel de agua alcanzado, no se tienen en cuenta los terraplenes de defensa ni terraplenes interiores de los anillos defendidos. Esta situación se produciría cuando la crecida sobrepasa la cota de coronamiento de los terraplenes de defensa o se produce la rotura del mismo.

Es decir, las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación, tienen trazadas por cada tipo de crecida, dos curvas que representan el límite de afectación real de la crecida histórica y de la crecida de diseño y el límite potencial de la crecida histórica y de la crecida de diseño en la zona protegida por los terraplenes de defensa.

Debido a que las cotas de coronamiento de los terraplenes de defensa son diferentes y son necesarios para la definición de las curvas reales de inundación para cada una de las crecidas analizadas, se definieron las mismas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Terraplenes de defensa del sector de la costa: la cota de coronamiento de los terraplenes varían entre cota 17.30 m y cota 17.80 m, se adoptó una cota media de 17.50 m.
- Terraplenes del sector norte de Guadalupe: la cota de coronamiento de los terraplenes varían entre 16.20 m y 16.9 m se adoptó una cota media de 16.60 m.
- Terraplenes del sector oeste de Santa Fe: existen dos situaciones, el terraplén oeste fase III (en construcción), la cota de coronamiento varía en su longitud y fue tomada de acuerdo al proyecto ejecutivo existente.
Para el terraplén oeste I y II, la cota de coronamiento fue adoptada como 17.50 m, cota correspondiente a la altura del rompeolas. Existe una brecha en el sector dónde se ubica el paso del exferrocarril Mitre, con cota de aproximadamente 16.50 m.
El terraplén que defiende el sector del barrio Varadero Sarsoti, se adoptó una cota de coronamiento media de 16.00 m.
- En el sector de Santo Tomé, el terraplén de defensa se encuentra en construcción, adoptándose una cota media de 17.50 m. Se encuentra un sector sin defensa en la Laguna Bedetti, sobre la Avenida Mitre, donde la altimetría de la calle es menor a la de la defensa y por ejemplo para una crecida P50-S50 se produciría un ingreso de agua hacia la ciudad, otra situación parecida se produce en el norte de la ciudad de Santo Tomé.
- En el sector este de la ciudad de Santa Fe, se adoptó una cota media de 16.50 m para los sectores de la Avenida Mar Argentino y Muelles del Puerto de Santa Fe.
- En el sector de la Avenida 7 Jefes (Costanera Vieja), la cota de la defensa corresponde a 16.77 m.

Se presenta en los planos de Riesgo Hídrico Actualizado, las curvas mencionadas, donde se muestran las curvas de riesgo por inundación de las siguientes situaciones de crecidas históricas modeladas (hipotéticas) y de crecidas de diseño estadísticas, considerando los dos sistemas hidrológicos planteados en forma conjunta (río Paraná y río Salado)

Crecidas históricas modeladas

La definición de las curvas de riesgo hídrico por inundación a partir de la modelación matemática, se debió a la imposibilidad de materializar cartográficamente cada una de las crecidas ocurridas por no disponer de:

- Fotografías aéreas que resulten coincidentes con la formación del pico de las crecidas históricas sobre el área de estudio.
- Registros hidrométricos alcanzados en la situación de interés, en diferentes secciones del área de estudio.
- Marcas relevadas del alcance de las aguas sobre el terreno en el área de estudio.

El trazado de las curvas de riesgo de inundación de las crecidas históricas, entonces, fueron representadas a partir de los resultados de las aplicaciones de los modelos matemáticos ajustados con los niveles hidrométricos de las estaciones limnimétricas existentes en el área de estudio y de datos aforados en diferentes secciones.

Estos resultados pueden diferir o ser no coincidentes con la situación real observada, dado que no se tienen en cuenta para el trazado de las curvas de riesgo por inundación, las condiciones de drenaje existentes en el área, como por ejemplo canales a cielo abierto, conductos pluviales y cunetas que pueden transferir dentro del área protegida, parte de la crecida a otras zonas que por su relieve o morfología no se vería inundada. También no se tuvieron en cuenta los terraplenes de defensa existentes en la época, sólo se utilizaron las actuales defensas construidas y en construcción, como el Tramo III de la Defensa Oeste de la ciudad de Santa Fe y la defensa de la costanera este de Santo Tomé. Este trazado se diferencia del trabajo realizado en el año 1992, debido a que las curvas de riesgo de las crecidas históricas fueron definidas a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas.

Las crecidas representadas matemáticamente, utilizando la topología existente, son:

- **Año 1973** (Su origen corresponde a la acción principal del río Salado).
- **Año 1983** (Su origen corresponde a la acción principal del río Paraná).
- **Año 1992** (Su origen corresponde a la acción principal del río Paraná).
- **Año 1998** (Su origen corresponde a la acción principal de la crecida del río Salado en el mes de febrero y a la acción del río Paraná en el mes de mayo).
- **Año 2003** (Su origen corresponde a la acción principal del río Salado).

Estas crecidas se encuentran representadas gráficamente en las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación, ubicadas en los planos numerados de 1 a 14 en una escala gráfica de 1:10.000, de acuerdo a lo solicitado.

Crecidas de diseño estadísticas

Se confeccionaron las Cartas de Riesgo Hídrico por Inundación para las Crecidas de Diseño Estadísticas de la variable caudal y se combinaron las mismas, de acuerdo al siguiente detalle:

Recurrencia	Río Paraná			Río Salado	
	Tr (años)	Q ^{*1} (m ³ /s)	Hp ^{*2} (m)	Tr (años)	Q ^{*3} (m ³ /s)
	2	27.307	5.27	2	580
	2	27.307	5.27	50	3470
	2	27.307	5.27	100	4110
	5	36.286	6.18	5	1375
	10	43.080	6.97	10	2000
	25	52.060	7.34	10	2000
	50	58.850	7.78	50	3470
	100	65.640	8.18	100	4110

Q^{*1} (m³/s): Caudal en el río Paraná en la sección ruta nacional N° 168

Hp^{*2} (m): Nivel hidrométrico en Puerto Santa Fe obtenido del ajuste realizado

Q^{*3} (m³/s): Caudal en el río Salado en ruta provincial N° 70

Las cartas de riesgo por inundación para estas situaciones hidrológicas en el área de estudio, se encuentran en los planos numerados correspondientes del 15 al 28.

El análisis de crecidas mayores a la de recurrencia de Tr 100 años del sistema del río Salado, produce inundaciones y desbordes que se dirigen hacia el sistema del río Paraná (Laguna Setúbal) aguas arriba de la defensa oeste tramo III. Su representación matemática debe incluir la interrelación entre ambos, generando una mayor complejidad al sistema y no están contempladas en las esquematizaciones producidas.

Estas situaciones ya pueden observarse en las curvas de riesgo potenciales para las crecidas de recurrencias menores como las Tr 50 años Paraná -Tr 50 años Salado, Tr 2 años Paraná - Tr 100 años Salado, Tr 100 años Paraná-Tr 100 años Salado, observándose que la zona comprendida entre el río Salado y el río Paraná en la zona norte del área de estudio, la altimétrica del terreno es inferior a los niveles de agua obtenidos, generándose una pendiente que va de oeste a este (Río Salado a Laguna Setúbal).

Una situación de desbordes produciría la recurrencia Tr 500 Paraná en el sistema Paraná, observándose además, niveles por encima de los terraplenes de defensa actuales.

Reconstitución de las crecidas históricas

Por otra parte, se reconstituyeron las crecidas históricas del año 1992 y del año 2003, Plano N° 29, utilizando información de fotografías aéreas recopiladas.

Se puede observar la crecida del río Paraná producida en el año 1992, obtenida por digitalización de la fotografía aérea tomada 40 días después del caudal pico, teniendo niveles sustancialmente inferiores a los máximos registrados.

La información fotográfica recopilada, utilizada para la definición de la crecida del río Salado ocurrida en abril de 2003, corresponde al 05 de mayo de 2003, una semana después del paso del pico, y muestra una acción combinada de efectos: la generada por niveles máximos de la propia crecida en el cauce principal del río Salado y por el generado a partir del ingreso de parte de la misma a la ciudad de Santa Fe en la zona del hipódromo. También se utilizó registros de marcas de niveles de aguas alcanzado dentro de la ciudad de Santa Fe. Las áreas inundadas resultan menores a las realmente producidas, debido a que para la mencionada fecha, los niveles del río descendieron significativamente.

Análisis de crecidas por caudales fijos

Dado que las curvas de riesgo hídrico mantienen formas simétricas en el sistema del río Salado, las representaciones gráficas de las curvas de riesgo por inundación fueron asociadas a caudales con recurrencias fijas, generalmente mas usados. Por tal motivo, no se presentan en los planos de las cartas de riesgo Hídrico, las curvas de riesgo formada por caudales fijos en la condición de ingreso de aguas arriba en el sistema Salado, para diferentes condiciones de niveles en el puerto de Santa Fe. Se presenta en el Anexo, los niveles alcanzados para las condiciones señaladas en el plan de trabajo, obtenidas de la explotación del modelo matemático. Este planteo fue acordado con la Inspección del Trabajo a través de una nota que hace referencia a lo mencionado.

Las condiciones de borde analizadas corresponden a:

Q_{Salado} (m³/s)= 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 para un

H_p (m)= H_{pTr=5 años}, H_{pTr=50 años}, H_{pTr= 100 años}

7. PROYECTO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Para la implementación del Sistema de Información Geográfica se utilizó el software Arc View 3.2 con su módulo de imágenes y dos extensiones *avx* para transferencia y conversión de archivos *dxf* a *shp* o viceversa y para manejo y control en la visualización de temas.

Este sistema es de gran versatilidad, de fácil manejo, uso extendido, permite al usuario incorporar en un futuro otro tipo de información de su interés, así como modificar sus diferentes temas. Por otra parte permite realizar salidas gráficas a distintas escalas, según la zona que se quiera tratar. Tiene la facilidad de poder intercambiar archivos de formato CAD de uso corriente en el ámbito cartográfico y salir exportando archivos de diversos formatos fotográficos. Permite añadir datos en ficheros de dBASE los que se pueden visualizar, consultar, resumir y organizar geográficamente.

La cartografía descrita en el ítem 4 del presente Informe sirvió como *input* al SIG, la misma fue incorporada georeferenciada como temas de CAD y modificada por capas con archivos de extensión *avl*, o transformada a archivos *.shp* nativos de ArcView.

El presente proyecto GIS denominado *ariesgo.apr* consta de 5 vistas cuyos nombres son:

CRITERIOS DE TRAZADOS DE CURVAS

CURVAS MODELO HISTÓRICAS

CURVAS MODELO TEÓRICAS

IMÁGENES

INUNDACIONES REGISTRADAS

La vista **CURVAS MODELO HISTÓRICAS** contiene 14 máscaras (*Masc1.shp / Masc14.shp*) y 14 recuadros (*P1.shp / P14.shp*) necesarios para la confección de los 14 planos de salida escala 1:10.000 correspondientes a las crecidas históricas modeladas.

Por otra parte se generaron 3 temas de puntos que corresponden a los valores de puntos acotados en toda el área de estudio, los que se denominan: *Stafe.shp*, *La costa.shp* y *Santo tome.shp*. Los mismos se encuentran asociados a tablas con sus correspondientes ID, coordenadas espaciales X, Y y cotas Z. En la impresión de los planos finales en escala 1:10.000 no se muestran los valores de cotas debido a que su alta densidad en algunas zonas dificulta su visualización, pero las mismas pueden ser etiquetadas en caso de salidas gráficas a mayor escala o ser vistas en pantalla.

El tema *Pf.dbf* contiene los Puntos Fijos del I.G.M. y los puntos de referencia topográficos tomados por el Centro Regional Litoral. Este tema se haya asociado a una tabla con información sobre la ubicación en el terreno de cada uno de estos puntos y por medio de un hipervínculo se puede acceder a su correspondiente registro fotográfico. El tema *Bdf.dxf* (texto) contiene los valores de cotas.

Las curvas de riesgo hídrico están representadas por dos temas provenientes de archivos CAD denominados *Fhisto.dxf* (archivo de texto) y *Fhisto.shp* (archivo de líneas). Este último archivo contiene las curvas históricas y potenciales de los años 1973, 1983, 1992, 1998 y 2003, asociadas a una tabla con registros de caudales en los ríos Salado y Paraná y alturas hidrométricas en Puerto Santa Fe y Ruta N°: 70.

El tema *Fhisto.dxf* contiene el nombre de cada curva de riesgo histórica. El tema *Fhisto.shp* esta asociado al archivo *historicas.avl*, el que modifica las propiedades en el trazado de las líneas originales. En la vista se puede consultar en forma interactiva la identificación de cada curva.

La topografía de la zona está discretizada en 2 temas: *Cn.dxf* (textos) y *Cn.shp* (líneas) que contienen las curvas de nivel del área de estudio con equidistancia de 0,50 m. El tema *Cn.shp* esta compuesto por polilíneas continuas acotadas que pueden ser consultadas en la vista en forma interactiva.

Existe además tres temas *Base scit.dxf* (puntos) *Base scit.dxf* (textos) y *Base scit.dxf* (líneas) provenientes del archivo CAD que contiene toda la planimetría existente, ríos, obras de arte, ferrocarriles, terraplenes, nombres de calles y textos en general. El tema *Base scit.dxf* está relacionado del archivo *scit.avl*.

Existe además un tema de puntos llamado *Ptos_igm.dwg* que determina las coordenadas de los cruces de las cartas I.G.M. utilizadas para cubrir el área de estudio.

Finalmente se encuentran desactivados los temas correspondientes a las trazas de los perfiles topobatimétricos utilizados para la modelación *perf_leyes_wgk.sph* , *perfiles aye georeferenciados.dwg* y *perfiles salado completa.dwg* y el tema. *Area de estudio.shp* que identifica a toda el área de estudio.

La vista **CURVAS MODELO TEORICAS** contiene los mismos temas de la vista CURVAS MODELO HISTÓRICAS sólo difiere en los dos temas provenientes de archivos CAD inherentes a la conformación de las curvas de diseño modeladas los que se denominan *Fteor.dxf* (textos) y *Fteor.shp* (líneas). Este último archivo contiene las curvas con distintas recurrencias de crecidas de los ríos Paraná y Salado, las que están asociadas a una tabla que contiene la altura hidrométrica en Puerto Santa Fe y los caudales de los ríos Salado y Paraná. Los planos de salida se numeran del 15 al 28.

El tema *Fteor.dxf* contiene el nombre de cada curva de riesgo teórica. El tema *Fteor.shp* esta asociado al archivo *teoricas.avl*, el que modifica las propiedades en el trazado de las líneas originales. Se pueden consultar en la vista en forma interactiva.

La vista **CRITERIOS DE TRAZADOS DE CURVAS** se creó a fin de poder representar en los 28 planos de salida una referencia en cuarterones identificando las zonas donde se aplicaron diferentes criterios para el trazado de curvas de nivel. Esto se explica detalladamente en el ítem 4 Elaboración de las Cartas Planialtimétricas del presente Informe.

Esta vista contiene 8 temas de polígonos que representan las 8 zonas establecidas (Z1/Z8), 14 temas (P1.shp/P14.shp) que constituyen la grilla de impresión, 3 temas que corresponden a los valores de puntos acotados en toda el área de estudio, (*Stafe.shp*, *La costa.shp* y *Santo tome.shp*), 2 temas que contienen las curvas de nivel (*Cn.dxf* (textos) y *Cn.shp* (líneas)) y los 2 temas correspondiente a la cartografía básica (*Base scit.dxf* (textos) y *Base scit.dxf* (líneas)) todos ellos utilizados en las vistas anteriores.

La información general de zonificación que resulta de esta vista se representa en el Plano N° 30 en escala 1: 50.000.

Los 28 planos que se presentan en escala 1:10.000 corresponden a salidas gráficas del proyecto GIS y contienen la planimetría básica, las curvas de nivel con equidistancia de 0.50 m, áreas urbanas y suburbanas y principales obras de infraestructura vial y de defensa y su correspondiente cuarterón de referencia.

Los primeros 14 planos (Mapa 1 – Mapa 14) contienen además las curvas de crecidas históricas modeladas de los años 1973, 1983, 1992, 1998 y 2003 con la correspondiente especificación de los caudales picos de los ríos Paraná y Salado, y la altura hidrométrica del río Paraná tomada en el Puerto de Santa Fe.

Los planos del 15 al 28 (MT1–15/28 / MT14–28/28) contienen las curvas de crecidas de diseño obtenidas por modelación correspondiente a diferentes recurrencias de crecidas en los ríos Paraná y Salado.

La subdivisión y escala de los 28 planos se realizó de conformidad con el comitente respetando el área de estudio y estando ellos referidos planimetricamente al sistema geodésico oficial de la provincia (WGS84 Sistema Gauss Krügger faja 5) y altimetricamente al IGM.

La vista **IMÁGENES** contiene dos temas uno con un recorte de la imagen del 6-11-2002 correspondiente a niveles de aguas normales y otro con un recorte de la imagen del 15-4-2003 correspondiente a niveles de aguas altas previa a la crecida extraordinaria del río Salado. Estas imágenes sirvieron de apoyo en el trazado de las curvas de nivel y en la representación gráfica de las líneas de inundación, así como marco de referencia al catastro suministrado.

La vista **INUNDACIONES REGISTRADAS** contiene la misma base cartográfica empleada en las vistas **CURVAS MODELOS HISTÓRICAS Y TEÓRICAS** más dos temas con las líneas de inundación registradas en fecha: 05/07/1992 (*Pelo_a 92.shp*) y 05/05/2003 (*Pa05-05-03.shp*), que se obtuvieron de la digitalización de fotografías aéreas.

Esta información se representa en el Plano N° 29 en escala 1: 50.000 que abarca toda el área de estudio.

El presente proyecto denominado **ariesgo.apr** se entrega en formato digital y para su instalación y uso se dan las siguientes recomendaciones:

Toda la información del SIG se encuentra en las carpetas:

COTAS
CURVAS MODELO
EXT32
FOTOS
IMAGENES_SAT
IMPRESIÓN
LÍNEAS DE INUNDACIÓN
RELEVAMIENTOS
SCIT_DIC2004

Es conveniente para el correcto funcionamiento del sistema respetar la estructura mencionada, ubicando dichas carpetas junto con el proyecto **ariesgo.apr** directamente debajo del directorio C:\ÁREAS DE RIESGO

La carpeta **EXT32** contiene tres extensiones que deben ser agregadas al software ArcView ya que no son extensiones default del sistema.

Las extensiones de ArcView usadas, que deben estar activas son:

- DXF Conversión Extensión
- Cad Reader
- Dialog Designer
- Geoprocessing
- Cuadrículas cartográficas y analíticas
- Image Análisis
- JPEG (JFIF) Image Support
- Remember saved projects
- Herramienta Leyenda
- Projection Utility Wizard
- Report Writer
- SantiTools

Para la impresión de los planos de salida del proyecto tal como se los presenta en formato papel se recomienda que el usuario realice los pasos siguientes:

Primeramente debe ubicarse en la vista correspondiente, por ejemplo CURVAS MODELO HISTORICAS y luego en caso de querer imprimir el Plano N°: 2 tildar los temas *P2.shp* y *Masc2.shp*, debiendo permanecer apagados los restantes *P*.shp* y *Masc*.shp* y obviamente estando tildados todos los demás temas que se deseen imprimir (base, curvas de nivel, curvas de riesgo, cotas, etc). El tema *P2.shp* debe estar activo y realizarse un zoom sobre él previo al cierre de la vista. Posteriormente se pasa al icono Mapas y se abre el *Mapa2-Crecidas Históricas* que es el que finalmente se imprime.

8. CONCLUSIONES

Se realizó una Actualización de las Cartas de Delimitación de las Áreas con Riesgo Hídrico de Inundación por origen fluvial en la zona de influencia de la ciudad de Santa Fe. Dentro de los temas actualizados, se estableció nuevos escenarios hidrológicos surgidos a partir de las crecidas de magnitudes superiores a las observadas hasta el año 1991 en los sistemas de los ríos Paraná y Salado, a una mejora en el conocimiento de la forma del relieve a partir de relevamientos topográficos en las áreas donde no se contaba con información altimétrica e incorporación de información altimétrica de trabajos realizados en la zona para el trazado de las curvas de nivel topográficas manteniendo la equidistancias de 0.50 m. Además, se incorporan las trazas de las obras de defensa construidas y proyectadas.

Las curvas de delimitación de riesgo hídrico originadas por las crecidas denominadas históricas, surgen de los resultados calculados por los modelos matemáticos implementados, y sus áreas de afectación pueden diferir de lo históricamente producido, debido a que no se contaba con fotografías aéreas ni vestigios o marcas en el área de estudio de los niveles máximos registrados.

Las crecidas del río Salado con caudales mayores a 4000 m³/s, aguas arriba de la ruta provincial N° 70 pueden producir un derrame de parte de la crecida hacia el sistema de la Laguna Setúbal. Estas situaciones deberán analizarse en detalle, tanto sea las situaciones de desborde y las afectaciones producidas.

Se elaboró junto al estudio, un proyecto de información geográfica, desarrollado con diferentes temas, referido a las cartas de riesgo hídrico, a la información planialtimétrica utilizada, a fotografías aéreas. Podrán añadirse en proyectos futuros, información considerada necesaria para la elaboración de planes de contingencia contra inundación, proporcionando a cada sector urbano o suburbano con potencial riesgo de inundación, las alternativas de evacuación, de albergue y de protección.

Las áreas inundadas delimitadas corresponden a la acción producida por el desborde de los ríos afectados y no consideran el efecto superpuesto de las lluvias locales producidas en las áreas urbanas y suburbanas, las que podrán ser analizadas en proyectos futuros, la vulnerabilidad de cada zona por efecto de inundación de cualquier origen.

No se presentan comentarios referidos a las condiciones de diseño y estructurales de las defensas existentes y de su estado actual en relación al grado de protección que brindan.

La líneas de demarcación de una afectación real o potencial se establece únicamente en función de la comparación entre el nivel de agua y la cota de coronamiento de la defensa.

La influencia de la obra de comunicación vial, ha sido considerada de acuerdo a las condiciones de proyecto, dado que las mismas se encuentran en etapa de construcción (Pte. Autopista Santa Fe - Rosario). Las modificaciones producidas por profundización o por variaciones de las luces correspondientes, en otras secciones pueden modificar los resultados obtenidos en el tramo de río analizado.

9. BIBLIOGRAFÍA

- BANCO MUNDIAL (2000). "Argentina, Gestión de los Recursos Hídricos – Elementos de política para su desarrollo sustentable en el Siglo XXI". Informe Final
- BERTONI, J. C. y otros (2004) "Inundaciones Urbanas en Argentina" GWP-UNC-Arg Cap-Net-CPCNA. Córdoba ISBN N° 987-9406-76-1
- CARDONA, O. D.; (2001); La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. "Una crítica y una Revisión necesaria para la Gestión; Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CEDERI, Universidad de los Andes; Colombia.
- DAVIS, S.A. et.al.(1988). National Economic Development Procedures Manual Urban Flood Damage. Water Resources Support Center. U.S. Army Corps of Engineers. IWR Report 88-R-2. Washington.
- DIRDN-OMM (1994) "Un decenio contra los desastres naturales". OMM N° 799. Ginebra, Suiza
- FERNÁNDEZ, P.; J. AMOROCHO; H. ROBY; J. MAZA Y L. FORNERO (1983) "Planning Installation and Operation of an Event Reporting Data System in an Arid Zone of Argentina" International Technical Conference on the Mitigation of Natural Hazards through Real Time Data Collection Systems and Hydrologic Forecasting W.M.O - NOAA California. Depart. of Water Resources. Sacramento USA.
- FERNÁNDEZ, P.; J. MAZA; J. FERNÁNDEZ Y H. ROBY (1980) (- "Metodología de Estudios Hidrológicos de Cuencas Aluvionales". INCYTH-CRA, (Material de Estudio del Curso Internacional de Hidrología con énfasis en Hidrología Subterránea-CONAPHI)
- HALCROW & PTNERS. (1994) Estudio de regulación del valle aluvial de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay para el control de las inundaciones. Informe Final.
- LITWIN, C. y PAOLI, C., (1993) Prevención y Control de inundaciones: Un proyecto de ley para delimitar el espacio público fluvial, la vía de evacuación de inundaciones y áreas de riesgo hídrico en la República Argentina. Anales I Simposio de Recursos Hídricos Do Cono Sul. Gramado. Brasil.
- INA (2004) "La Cuenca del Río Salado y la Crecida de abril de 2003" Santa Fe. ISBN N° 987-20109-3-5.
- MAZA, J. (1983)- "Obras Civiles de Sistematización de Cuencas". (Traducción e interpretación parcial de bibliografía que se menciona). INCYTH-CRA. (Material de Estudio del Curso Internacional de Hidrología Superficial con énfasis en Hidrología Subterránea - CONAPHI)
- MAZA, J.; P. FERNÁNDEZ; A. VARGAS A.; L. FORNERO; D. TRÍPODI; H. YAÑEZ; M. NÚÑEZ (1995) "Estudios Hidrológicos e Hidráulicos para el Ordenamiento Territorial de una Cuenca". pág. 31 a 44 de la Revista INGENIERIA del AGUA N° 1 Vol. 2 (Valencia, España).
- NACIONES UNIDAS (1977). Directrices para prevención y regulación de las pérdidas debidas a las inundaciones en los Países en Desarrollo. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Recursos Naturales. Serie del Agua N15. New York. USA.
- OWEN, H.J.; WALL, G. (1981). Floodplain Management Handbook. Unites States Water Resources Council. Washington.
- PAGE, G.A. (1980). The Canadian Flood Damage Reduction Program. Disasters. Vol.4, N14. Pergamon Press Ltd. Great Britain.
- PAOLI, C., P. CACIK Y J. BOLZICCO, 1997, "Management of Paraná river floods under increasing uncertainty". Preprints. 13th Conference on Hydrology and Seventh Conference on Climate Variations, Joint Sessions, pp J66-69. 77th AMS Annual Meeting. Long Beach, California, USA. February, 2-7 1997.

- PAOLI, C. (2000) Crecidas e Inundaciones: un problema de Gestión. Simposio "Las inundaciones en la Argentina". Academia Nacional de Geografía y la UNNE. Resistencia, Chaco, 14 al 16 de agosto del 2000. Publicado en Revista del Colegio de Ingenieros de la Prov. de Santa Fe.
- PAOLI, C. SCHREIDER, M. y otros; (2000); El Río Paraná en su tramo medio. Contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un río de llanura; 2 Tomos. Ed. Centro de Ediciones de la UNL; Santa Fe.
- PAOLI, C. y GIACOSA R. (2003). Caracterización del Riesgo Hídrico con relación a las inundaciones y a las crecidas de y lluvias de diseño. Capítulo 2 del libro "Inundaciones en la Región Pampeana", ISBN N° 959-34-0246-8. EDULP, La Plata, Pcia. de Bs. As.
- PENNING-ROWSELL, E. And M. FORDHAM, (1994) Floods across Europe. Hazard assessment, modelling and management. Flood Hazard Research Centre. Middlesex University Press. London. ISBN 1 898253 01 3.
- TUCCI, C., BERTONI, J., C. y otros (2003) "Drenagem Urbana e Inundacoes na América do Sul". OMM-GWP-ABRH (Brasil).
- WORLD BANK (1996) Flood Protection Project. Report No 15354-AR
- COLLINS, Jorge (1986) Aplicación de un modelo hidrodinámico al tramo San Justo – Inali usado como predictor de niveles. INCyTH, CRL.
- FICH- UNL (1995) AFMULTI, Programa de análisis de frecuencia desarrollado por la Cátedra de Hidrometeorología de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral.
- FREIJE ME. (1982) Recopilación y depuración de series de niveles y caudales del río Salado en la Provincia de Santa Fe, Informe técnico N° 17/82.
- GIACOSA, R y otros (1998). Redimensionamiento hidráulico puente sobre el río Salado en autopista Anta Fe – Rosario. Convenio INA – CRL- AUFE S.A.
- INCyTH-CRL (1986) Caracterización hidrológica de la cuenca del río Salado. Informe Final del Proyecto INCyTH – BID 3.1 Volumen 1 y 2. Santa Fe
- INCyTH-CRL (1992) Delimitación de áreas de riesgo hídrico en Santa Fe. Convenio CFI – INCyTH. Informe Final. Tomo 1 y 2.
- PAOLI, C. Y otros. (1998). Estudios hidrológicos y de modelación hidrodinámica. Nueva Conexión Vial Santa Fe – Santo Tomé. Convenio DPV-INA-UNL.

11. ANEXO

Anexo A	
• Planilla de puntos de referencia Unidad I, II y III	A.1
• Monografía de puntos de referencia Unidad I	A.6
• Monografía de puntos de referencia Unidad II	A.27
• Monografía de puntos de referencia Unidad III	A.44
Anexo B	
• Coeficiente de rugosidad del río Salado	B.1
• Coeficiente de rugosidad del río Paraná	B.15
Anexo C	
• Crecidas históricas modeladas del río Salado	C.1
• Crecidas de diseño modeladas del río Salado	C.18
• Crecidas de caudales fijos del río Salado	C.20
• Crecidas históricas modeladas del río Paraná	C.27
• Crecidas de diseño modeladas del río Paraná	C.46
• Análisis de frecuencias de crecidas del río Paraná	C.86

TOMO 2

Cartas de Riesgo Hídrico de Crecidas Históricas Modeladas	Planos N° 1-14
---	----------------

TOMO 3

Cartas de Riesgo Hídrico de Crecidas de Diseño Estadísticas	Planos N° 15-28
Trazas de las crecidas históricas observadas Año 1992 y 2003	Plano N° 29
Plano de zonificación de las curvas de nivel	Plano N° 30

TOMO 4

Libreta de nivelaciones y de control
