

**ANEXO II**  
**OBRAS DE INFRAESTRUCTURA EXISTENTES**  
**EN EL VALLE DEL RÍO SALADO**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ANEXO II.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2 PUENTES FERROVIARIOS Y CARRETEROS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Puente Ruta Provincial N° 70.....	5
2.2 Puente F.C. M.B. (Empalme San Carlos).....	6
2.3 Puente Autopista Santa Fe - Rosario.....	6
2.4 Puentes Ferroviarios F.C.M.B y F.C.B.M.....	8
2.5 Puentes Carretero Santa Fe – Santo Tomé.....	8
2.6 Otras estructuras de cruce sobre el río Salado.....	9
2.7 Resumen de luces de puentes principales.....	10
<b>3 OBRAS DE DEFENSA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Características generales.....	11
3.2 Tramo I.....	13
3.3 Tramo II.....	14
3.4 Tramo III.....	18
<b>4 OBRAS DE DRENAJE PLUVIAL.....</b>	<b>20</b>
<b>5 CONCLUSIONES.....</b>	<b>22</b>

## **1 INTRODUCCIÓN**

Tal como fue descrito y analizado en el Anexo I de este informe, el progresivo desarrollo de la ciudad hacia el Oeste dio lugar a la materialización de una serie de obras de infraestructura urbana y vial, que actualmente se encuentran emplazadas en el valle aluvional del río Salado.

Estas estructuras, compuestas por obras de arte, obras de defensa, puentes carreteros y puentes ferroviarios, entre otras, modifican en mayor o menor medida, las condiciones de escurrimiento del río en su tramo inferior.

Resulta evidente que el emplazamiento de parte de la propia ciudad dentro del valle de inundación del río aparece como el factor de mayor modificación al normal escurrimiento de las aguas y a las condiciones naturales que presenta el río. En efecto, la ciudad se ha desarrollado ocupando zonas que naturalmente fueron ocupadas por desbordes del río durante crecidas extraordinarias históricas, dando lugar a un fuerte incremento del nivel de vulnerabilidad que presentan actualmente estos sectores del casco urbano.

La zona comprendida desde la Av. Gdor. Freyre hacia el río, es una zona que morfológicamente comprende el valle natural de inundación del mismo. Prueba de ello resultan los alcances de inundaciones históricas, comentados en el Anexo anterior, donde los niveles de anegamiento alcanzaron aproximadamente esa zona, en momentos en que no se registraban asentamientos urbanos en la misma.

La necesidad de proteger esta parte del casco urbano frente a nuevos procesos de crecidas, dio lugar a la materialización de obras de defensa longitudinales que abarcan la zona sur y oeste de la ciudad.

Asimismo, el continuo crecimiento urbanístico dio lugar a la necesidad de contar con obras de vinculación que permitieran salvar el límite natural que introduce el propio río, dando lugar a la construcción de diversos puentes, tanto carreteros como ferroviarios. Estos puentes, de acuerdo a su conformación geométrica, producen un obstáculo al libre escurrimiento de las aguas en épocas de crecidas.

Finalmente, la conformación de obras en el entorno del río Salado, se complementa con obras de saneamiento y drenaje pluvial, que fueron requeridas para drenar los excedentes pluviales que se producen directamente en el casco urbano de la ciudad y que no pueden desaguar al río como consecuencia de la interposición de los terraplenes de defensa. Esta circunstancia se verifica durante la ocurrencia de crecidas del río sumadas a lluvias intensas en la ciudad.

Cabe destacar que, en virtud de los antecedentes recopilados para el presente informe, todas las obras existentes en el tramo inferior del río Salado fueron ejecutadas por distintos organismos y, por ende, no presentan un único criterio de diseño.

En virtud de lo expuesto, y considerando que muchas de estas obras tuvieron una incidencia directa o indirecta en el comportamiento registrado por los escurrimientos del río Salado en oportunidad de la crecida del año 2003, resulta importante efectuar una descripción de todas aquellas obras emplazadas en el tramo inferior del río.

## 2 PUENTES FERROVIARIOS Y CARRETEROS

Tal como se mencionó, el tramo inferior del río Salado se emplaza entre las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé. A lo largo de este tramo, de aproximadamente 20 Km de longitud, se han desarrollado distintas obras que lo atraviesan: dos puentes carreteros, uno de los cuales conforma la conexión física entre las dos ciudades y el segundo vincula la ciudad de Santa Fé con la autopista hacia la ciudad de Rosario. Existen también tres obras de puentes ferroviarios, dos de los cuales pertenecen al F.C.B. Mitre y la restante al F.C.M. Belgrano.

Estas obras, tal como se analiza en el Anexo XI del presente informe, producen modificaciones al normal escurrimiento de las aguas, dado que, en muchos casos, sus anchos libres de pasaje resultan sensiblemente inferiores al ancho del valle de inundación.

En efecto, el ancho de expansión del río resulta, en su tramo inferior, del orden de los 1500 m a 2000 m, en tanto que las luces de los puentes que lo atraviesan varían entre un máximo de 1350 metros, correspondiente al puente Carretero a Santo Tomé, hasta un mínimo de 157 metros para el caso del puente de la Autopista.

En las siguientes imágenes se muestran las ubicaciones de las principales obras de cruce existentes en el tramo inferior del río.

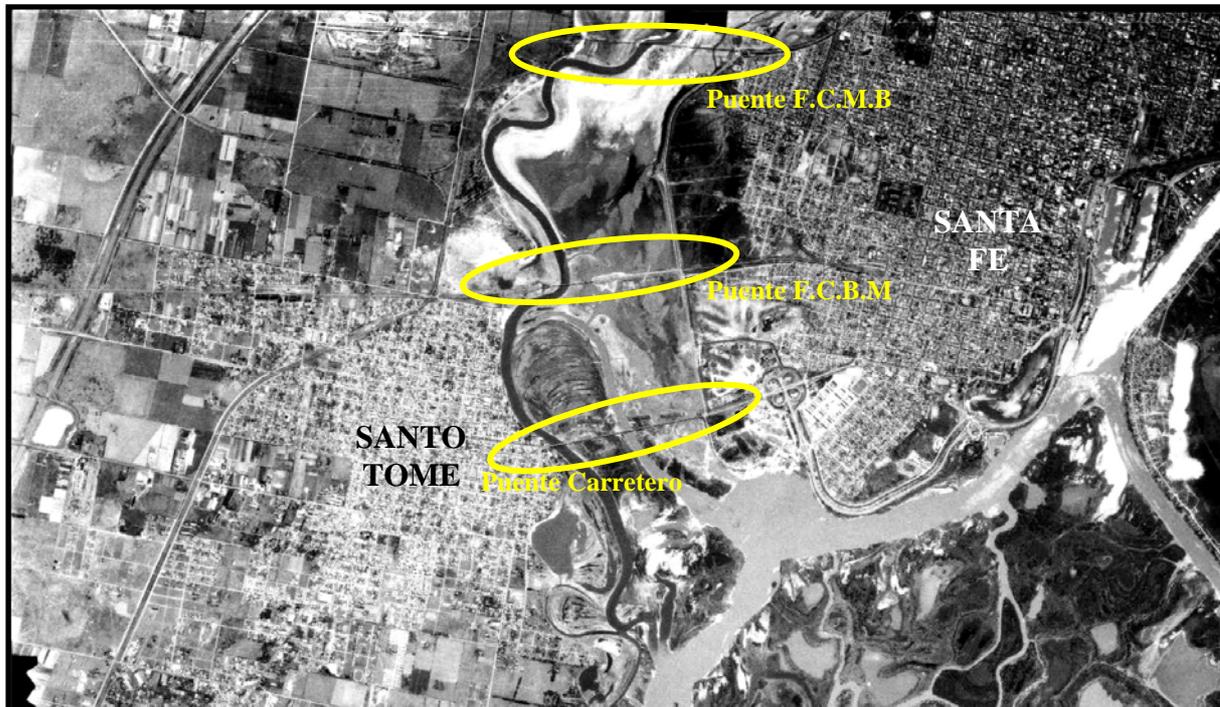


Figura 2.11. Imagen de ubicación de puentes carreteros y ferroviarios

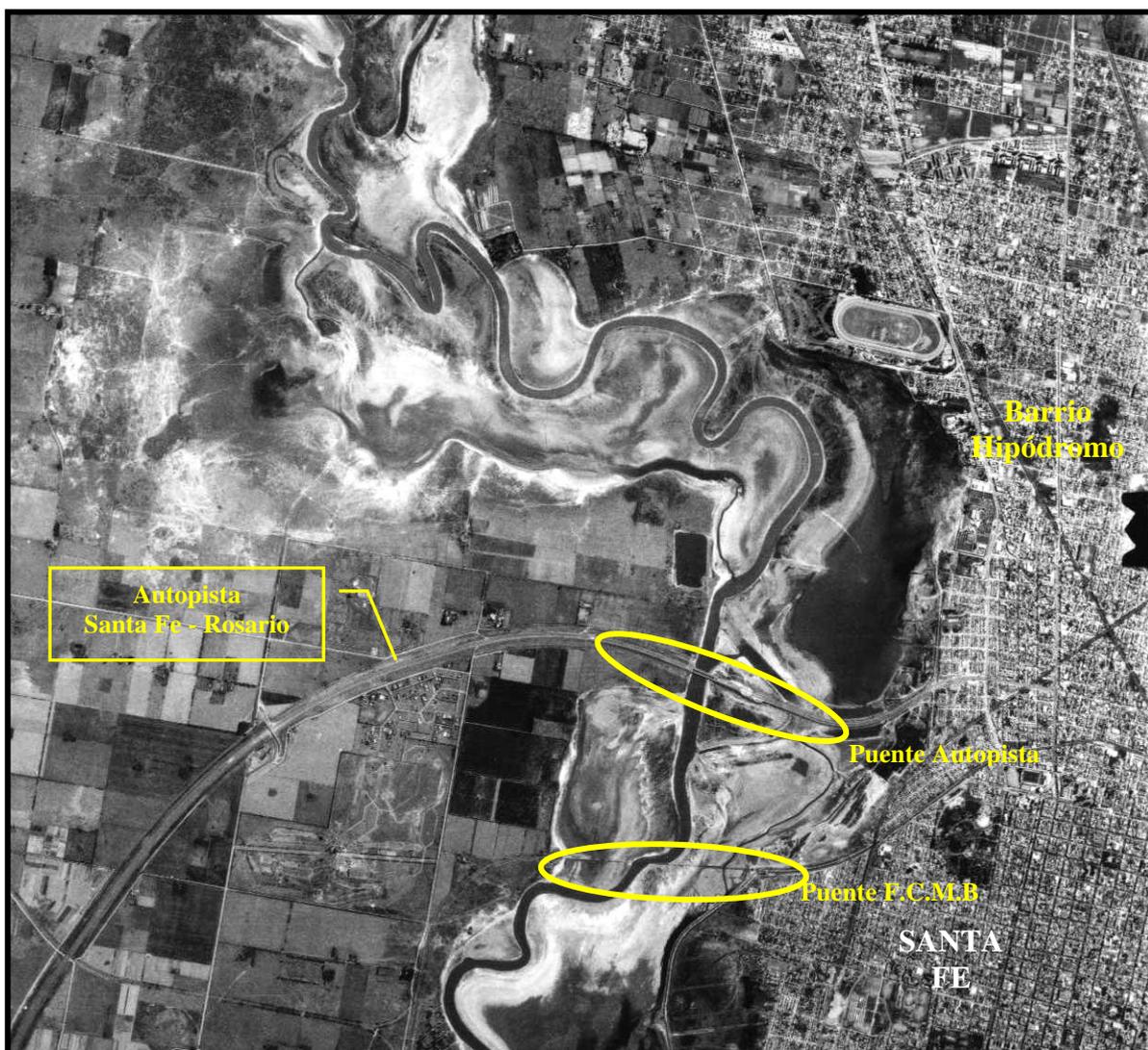


Figura 2.12. Imagen de ubicación de puentes F.C.M.B y Autopista

## 2.1 Puente Ruta Provincial N° 70

Sobre la ruta N° 70, en el tramo que vincula la Ruta Nacional N° 11 y la localidad de Esperanza, se emplazan puentes de cruce sobre el río Salado. Estas obras se conforman de un puente principal y de dos aliviadores laterales, con un ancho libre total de 281,65 m.

Las características básicas de los tres puentes que conforman esta obra son las siguientes:

➤ Puente Aliviador de Margen Izquierda:

Luz total: 46,05 m  
Cantidad de tramos: 3  
Luz por tramo: 15,35 m

➤ Puente Aliviador de Margen Derecha:

Luz total: 75,60 m  
Cantidad de tramos: 5  
Luz por tramo: 15,12 m

➤ Puente Principal:

Luz total: 160,00 m  
Cantidad de tramos: 8  
Luz por tramo: 20,00 m

Los tres tramos mencionados conforman una luz total del puente de 281,45 m. Como dato adicional se puede mencionar que las cotas de fondo de viga del tablero de cada puente resultan de 19,70 m, 19,00 m y 19,90 m, para los aliviadores de margen izquierda y derecha y para el puente principal, respectivamente.

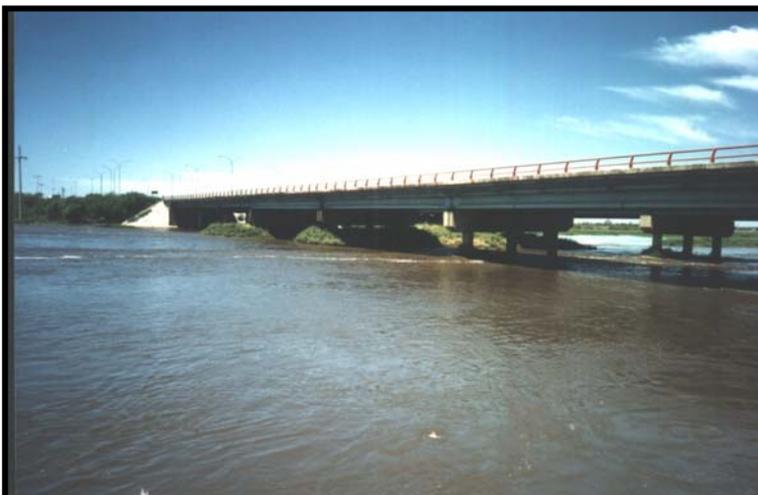
## 2.2 Puente F.C. M.B. (Empalme San Carlos)

A aproximadamente 20 Km aguas abajo del puente anterior, se ubica un puente ferroviario correspondiente al F.C.M.B. El mismo cuenta con una luz total de 540 m

## 2.3 Puente Autopista Santa Fe - Rosario

Esta obra está compuesta por dos puentes, emplazados en forma paralela, con una luz libre de 155 m y un ancho total de 12,1 m cada uno.

La construcción de la autopista, hacia principios de la década del 70, se materializó con una obra de cruce por sobre el río Salado conformada por un único puente de 157 m de luz libre. Dado el ancho natural de expansión del río en esa zona, la diferencia existente respecto de la luz libre del puente, condiciona fuertemente el escurrimiento natural en épocas de crecidas, dando lugar a una fuerte contracción del flujo.



En la fotografía adjunta se observa la condición actual del puente, el cual fue reconstruido posteriormente al pasaje de la crecida del año 1973. En dicha oportunidad, con el pasaje de un caudal máximo del orden de los 2500 m<sup>3</sup>/s, el puente sufrió una severa erosión que dio lugar al colapso de su tablero central.

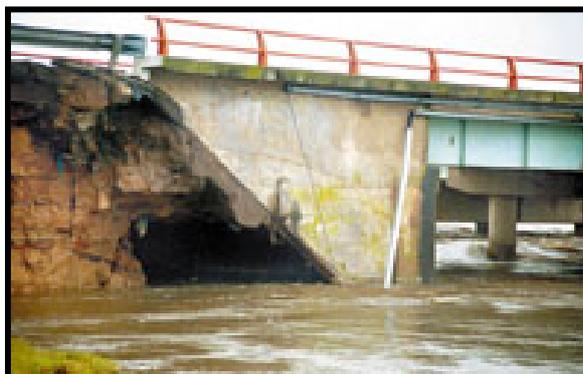
Este hecho demostró, indudablemente, el subdimensionamiento que presentaba el puente respecto de la capacidad requerida para garantizar el pasaje de crecidas de relativa magnitud. En efecto, con la luz libre de proyecto y la cota de fondo del río en esa sección (7,50 m), la sección libre de pasaje resulta del orden de los 500 m<sup>2</sup>. Luego de ocurrida la crecida del año 1973, se pudo relevar una profundización del fondo hasta alcanzar la cota mínima de -4.90 m, con una sección de pasaje que se incrementó en cerca de 3 veces la existente según el diseño de la obra.

A pesar de este hecho, la reconstrucción del puente se realizó manteniendo la misma luz que tenía según el proyecto original, no observándose las consecuencias producidas a partir de la limitación al libre escurrimiento que el mismo generaba.

Es importante mencionar que, durante el proceso constructivo de la autopista, y a los fines de materializar el puente sobre el río Salado, se efectuó una rectificación de un tramo del cauce natural. Este corte del meandro existente sobre la traza de la autopista, tiende a recostarse sobre la margen derecha del curso, produciendo en consecuencia la conformación de una nueva contracción del flujo originada por la tendencia natural del mismo a escurrir hacia la margen izquierda y por la presencia del terraplén de aproximación a la estructura del puente.

La presencia de la estructura, tal como se dijo, generó nuevos procesos erosivos, en particular durante la creciente del año 1998 en la cual se aforaron un total de 2672 m<sup>3</sup>/s.

Asimismo, durante la crecida del año 2003, el puente volvió a sufrir procesos de erosión y descalce, más allá que se constituyó en una barrera artificial al libre escurrimiento de las aguas. En la fotografía adjunta se aprecia una imagen del estado de uno de los estribos del puente posterior al pasaje de la mencionada crecida.



#### **2.4 Puentes Ferroviarios F.C.M.B y F.C.B.M**

Ambos puentes se encuentran aguas abajo del puente de la autopista y aguas arriba del puente carretero a Santo Tomé.

El puente correspondiente a las vías del F.C. Gral. M. Belgrano, presenta una luz libre de 1346 m, en tanto que el correspondiente a las vías del F.C. B. Mitre tenía una luz original de 1200 m. Durante el año 1980 se produjo un redimensionamiento de dicho puente, dando lugar a una reducción de su ancho libre, el cual se encuentra actualmente en 450 m



En la fotografía adjunta se observa el tablero del puente ferroviario correspondiente al Ferrocarril Gral. Mitre, emplazado a aproximadamente 1,5 Km aguas arriba del puente carretero a Santo Tomé.

#### **2.5 Puentes Carretero Santa Fe – Santo Tomé**

Este es el último puente que se emplaza en el tramo final del río Salado, previo a su desembocadura. El mismo está compuesto por una estructura con una luz libre de pasaje de 1370 m y conforma la prolongación, desde la ciudad de Santa Fe de la ruta 11.



En la imagen adjunta se observa una vista del puente carretero que vincula las ciudades de Santa Fe y Santo Tomé

## 2.6 Otras estructuras de cruce sobre el río Salado

Se resumen las características de otra serie de obras de puentes y cruces que se emplazan en la cuenca inferior del río Salado, aguas arriba del puente de la ruta 6.

**Tabla N° 1: Características de obras de cruces aguas arriba de la ruta N° 70**

PUENTE	Tramo	Luz	Pilas		Cota de Viga
			N°	D	
<b>Ruta Prov. N° 39</b>	A° El retobado	99,5 m	6	0,60 m	44,00 m
	Aliviador	90,5 m	6	0,60 m	41,00 m
	Principal	70,0 m	2	s/d	44,10 m
<b>Ruta Prov. N° 2</b>	Principal	103,0 m	4	1 m	38,80 m
<b>FFCC Petronila – San Justo</b>	Alcantarillas laterales (2)	22,6 m	s/d	s/d	37,61/37,65 m
	Aliviadores laterales (2)	119,1 m	20	s/d	37,3 / 37,18 m
	Principal	200,0 m	4	s/d	36,18 m
<b>Ruta Prov. N° 61</b>	Aliviador 1	30,0 m	2	0,40 m	36,85 m
	Aliviador 2	60,0 m	3	0,45 m	36,13 m
	Aliviador 3	45,0 m	2	0,40 m	36,59 m
	Aliviador 4	15,0 m	s/d	s/d	36,50 m
	Principal	62,0 m	s/d	s/d	37,00 m

PUENTE	Tramo	Luz	Pilas		Cota de Viga
			N°	D	
Ruta Prov. N° 62	Aliviador 1	98,0 m	2	0,80 m	30,60 m
	Aliviador 2	94,0 m	2	0,80 m	30,60 m
	Principal	298 m	7	0,80 m	39,60 m
Ruta Prov. N° 80	Principal	70,7 m	2	0,40 m	25,16 m
Ruta Prov. N° 4	Aliviador	91,0 m	17	0,55 m	26,27 m
	Principal	285 m	s/d	s/d	26,45 m
Ruta Prov. N° 6	Aliviador 1	100 m	9	0,50 m	22,80 m
	Aliviador 2	10,0 m	s/d	s/d	22,00 m
	Aliviador 3	10,0 m	s/d	s/d	22,00 m
	Principal	184 m	12	0,50 m	24,00 m

Cabe destacar que en el tramo del río Salado, próximo a su desembocadura, se emplazan también una serie de terraplenes que interfieren parcialmente el escurrimiento, pero que tienen que ser considerados a los fines de describir la totalidad de las obras presentes en el tramo inferior del río Salado.

Entre ellos se destacan:

- Terraplenes y sectores de alivio correspondientes a la ex ruta N° 6
- Terraplén del Puente Mihura.
- Terraplenes del antiguo puente que vinculaba las ciudades de S. Fe y Santo Tomé.

## 2.7 Resumen de luces de puentes principales.

A modo de corolario de la descripción de las obras de cruce existentes en el tramo inferior del río Salado, en la siguiente tabla se resumen las luces libres de los puentes principales ubicados en el entorno de la ciudad de Santa Fe.

**Tabla N° 2: Luces libres de puentes principales**

Puente	Luz libre total
Ruta N° 70	280 m
Empalme San Carlos	540 m
Autopista Santa Fe - Rosario	157 m
F.F.C.C. Gral Belgrano	1346 m

Puente	Luz libre total
F.F.C.C. Gral Mitre	450 m
Puente Carretero a Santo Tomé	1370 m

Teniendo en cuenta que el valle de expansión del río presenta, tal como se dijo, un ancho variable entre 1000 m y 2000 m, claramente las luces libres de los puentes se traducen en fuertes restricciones al normal escurrimiento de las aguas. En particular, se pone de manifiesto la insuficiente luz existente en el puente de la autopista, la cual resulta entre 3 y 9 veces menor que la luz que presentan los puentes emplazados inmediatamente aguas debajo del mismo.

La consecuencia directa de esta restricción del flujo está dada por la formación de un remanso o sobreelevación de la superficie libre, hacia aguas arriba y un incremento de velocidades en la zona del estrechamiento con el consecuente aumento del riesgo de erosión de la estructura.

Ambos efectos se han verificado en el pasaje de las distintas crecidas importantes registradas en el río, en particular en la última del año 2003 donde el efecto de sobreelevación hacia aguas arriba del puente de la autopista alcanzó un valor del orden de los 0,70 a 0.80 m (ver Anexo XI del presente informe). Es importante destacar al respecto que estudios antecedentes que datan del año 1998, efectuados por el INA, recomiendan la ampliación de la luz libre de la mencionada estructura.

### 3 OBRAS DE DEFENSA

#### 3.1 Características generales

Sobre el tramo inferior del río Salado, en la zona adyacente al ejido urbano de la ciudad de Santa Fe, se han emplazado obras de defensa longitudinales cuya misión primaria es la protección del sector oeste del casco urbano frente a crecidas importantes del río Salado. Estas obras persiguen el objetivo, según su concepción primaria, de proteger el tramo del río comprendido entre el Puente Carretero a Santo Tomé hasta el norte de la localidad de Recreo.

En ese sentido, se previó la ejecución de tres tramos bien diferenciados en cuanto a sus longitudes y zonas de emplazamiento (dos de los cuales se encontraban construidos en el momento de la crecida y el tercero no tenía aún definido su proyecto ejecutivo):

- El primer tramo (**Tramo I**), materializado a partir de la construcción del antiguo terraplén Irigoyen, abarca el sector comprendido entre el Puente Carretero a Santo Tomé y el puente de la autopista Rosario – Santa Fe. Este tramo tiene una cota de coronamiento variable entre

16,60 m y 16,80 m, presentando en su parte superior un murete deflector de olas que eleva la cota máxima de la estructura hasta 17,50 m. Este sector se construyó entre los años 1994 y 1997.

- El segundo tramo (**Tramo II**), abarca el sector comprendido entre el puente de la autopista y la calle Gorostiaga, al sur de la infraestructura existente perteneciente al Hipódromo de Las Flores. La cota de coronamiento de este tramo resulta también variable y se emplaza entre 17,25 m y 17,45 m. Al igual que el caso anterior, el sector correspondiente al tramo II se materializó entre los años 1994 y 1997.
- Finalmente, el **tramo III** de defensa, comprende el sector del río entre el Hipódromo Las Flores y un sector de cotas elevadas ubicado al norte de la localidad El Recreo. Los primeros 2200 m aproximadamente de este tramo fueron concebidos como obra de defensa, habiéndose previsto su continuación hasta la localidad mencionada como un proyecto vial que materializa el acceso norte de la ciudad.

En la siguiente figura se observa un esquema de ubicación de los tres tramos señalados, destacándose que del tramo III solo se muestra el primer sector, aguas arriba del Hipódromo de Las Flores.

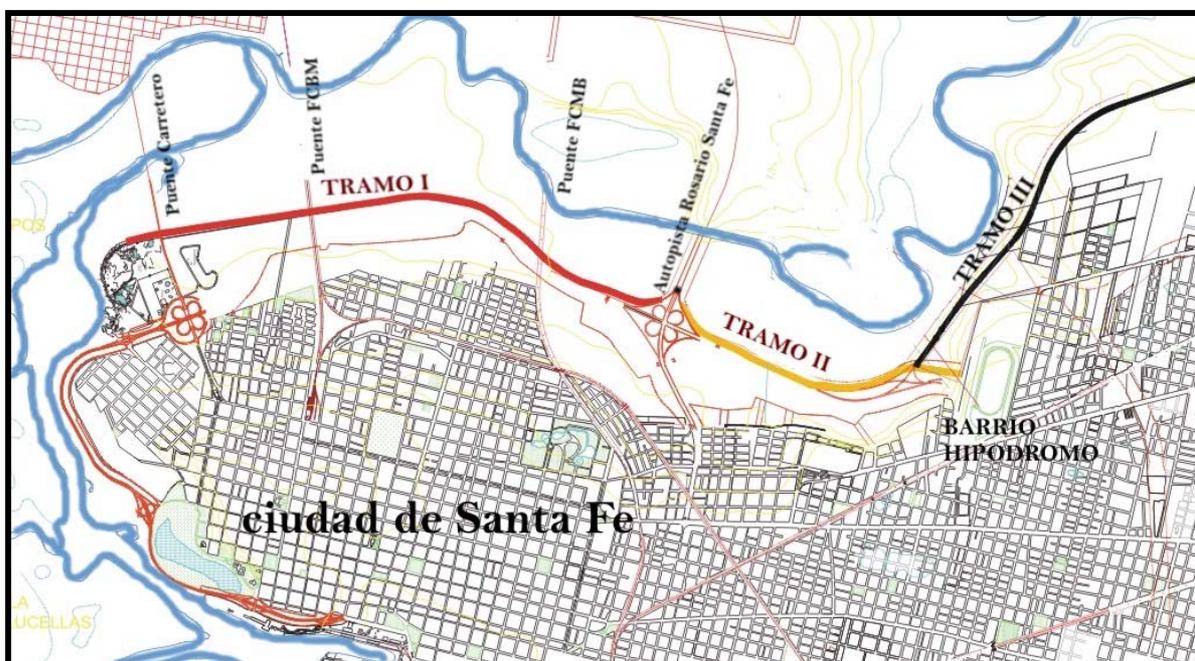


Figura 3.11. Esquema de ubicación de obras de defensa

Tal como se observa en el esquema anterior, la presencia de los tramos de defensa reducen el ancho del valle de inundación, restringiendo la capacidad de conducción del mismo. Las consecuencias de este efecto serán analizadas en el Anexo XI del presente informe.

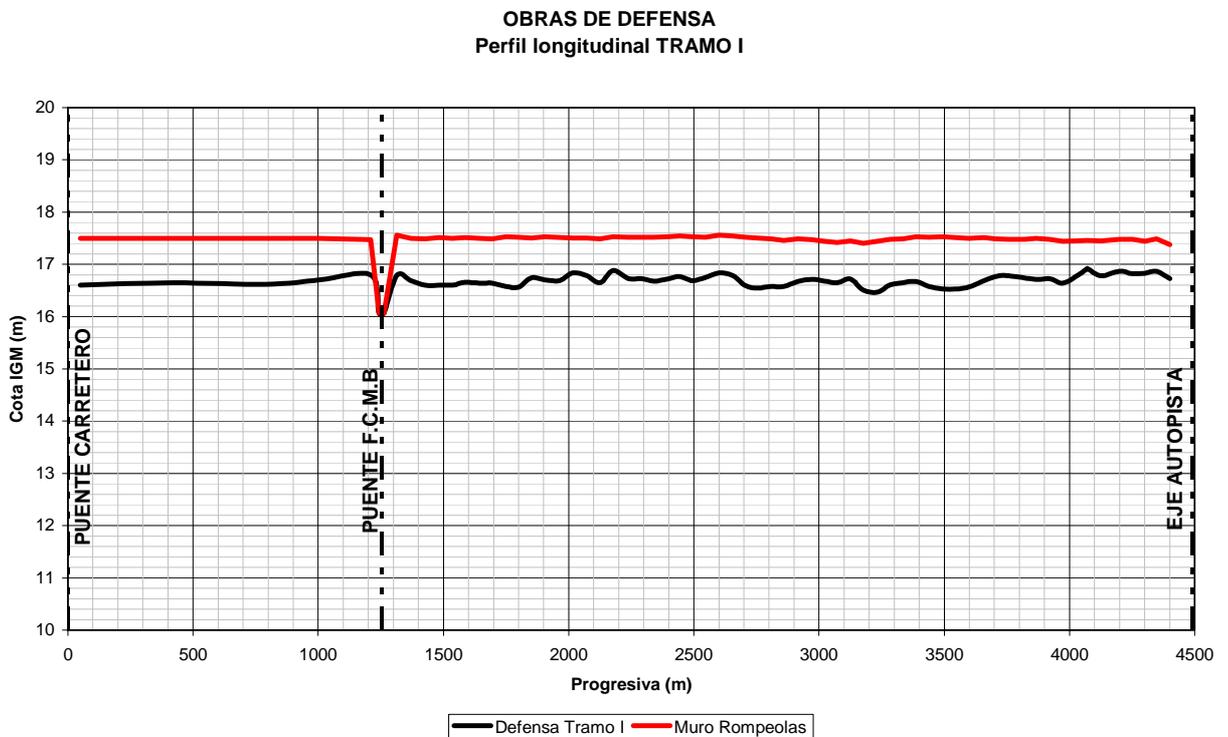
A partir de la descripción general realizada, resulta importante señalar algunos aspectos característicos de los tres tramos en los que se compone, a nivel de proyecto, la defensa oeste de la ciudad de Santa Fe.

### 3.2 Tramo I

Tal como se dijo, este tramo está compuesto por la readecuación del primitivo terraplén Irigoyen y ocupa el sector comprendido entre el puente Carretero y la autopista Rosario Santa Fe.

La cota de coronamiento media de este tramo se emplaza en 16,70 m, habiéndose materializado un muro superior que cumple la función de deflectar el oleaje y cuya cota de coronamiento se encuentra en aproximadamente 17,50 m.

En la siguiente Figura se muestra un perfil longitudinal del tramo I del terraplén de defensa que, como quedó dicho anteriormente, fue construido entre los años 1994 y 1997.



**Figura 3.22 Obra de defensa. Perfil longitudinal del Tramo I**

### 3.3 Tramo II

La descripción de este tramo reviste particular interés en virtud de los objetivos específicos de la presente Pericia. En efecto, por el extremo aguas arriba de este tramo se produjo el ingreso de agua al casco urbano de la ciudad en oportunidad de la crecida del mes de Abril de 2003. Por esta razón, se analizarán los antecedentes existentes respecto del proyecto de este tramo como así también las características geométricas del mismo.

Tal como se señaló anteriormente, el tramo II del terraplén de defensa comprende el sector entre el puente de la Autopista Santa Fe – Rosario y el sector sur del Hipódromo de Las Flores, a la altura de la Calle Gorostiaga.

El proyecto de este tramo, denominado “*Avenida de Circunvalación de la Ciudad de Santa Fe. Tramo Alto Nivel Ruta Nac. N° 11 – Avda. Blas Parera. 2° Sección: Autopista AP01 – Avda. Blas Parera*”, fue desarrollado por la Dirección Provincial de Vialidad y sus antecedentes constan en el “Informe Final. Proyecto Ejecutivo. Obras Hidráulicas” con el mismo título anterior y fechado en Santa Fe, en Febrero de 1996.

En el mencionado informe se resumen los estudios básicos desarrollados para definir la traza del perfil, consignándose que el mismo se desarrollará en el *Valle de Inundación del río Salado*, y estableciéndose, además, que el mismo estará compuesto por “*un terraplén de defensa contra las crecidas del río Salado, y otro que alojará en su coronamiento la obra vial, una multitrocha de dos calzadas separadas. Las trazas se desarrollarán en el valle de inundación del río Salado, entre la autopista AP01 y la continuación de la Calle Gorostiaga*”

Asimismo, el concepto básico del proyecto establece, según el informe anterior, que la Avenida de Circunvalación interceptará los escurrimientos superficiales de origen pluvial, que actualmente descargan al río Salado a través de la estación de bombeo ubicada sobre el terraplén Barranquitas o bien por gravedad utilizando una serie de canales existentes.

A continuación se señalan algunos aspectos importantes recopilados del informe de proyecto antecedente y que se vinculan con la concepción básica de la obra establecida en el mismo:

➤ *Cota de Coronamiento adoptada*

Al respecto el informe señala que la definición de la cota de coronamiento se basó en estudios hidrológicos previos que, según se consigna en el informe, fueron realizados por la ex Empresa Agua y Energía.

***La condición de diseño adoptada fue, en este caso, una crecida del río Paraná de 500 años de recurrencia (con un nivel base en el Puerto de Santa Fe de 16,50 m IGM), a la cual se superpuso una crecida de 2400 m<sup>3</sup>/s del río Salado.***

El nivel obtenido en el proyecto para esa condición resulta de 17,08 m IGM, al cual se le superpuso los efectos de sobreelevación por marea eólica y el ascenso de la ola sobre el talud. Con estos elementos, se estableció la cota definitiva de proyecto en **17,50 m IGM.**

➤ Traza de la Obra

Con relación a la traza prevista en el proyecto ejecutivo del Tramo II, el informe de proyecto señala lo siguiente:

- “La obra de defensa fue proyectada de manera que, en lo posible, sea paralela al eje de proyecto de la avenida Circunvalación”
- “La definición de dicho eje de proyecto compatibilizó las exigencias viales en cuanto a curvas y ángulos permitidos por las reglamentaciones viales y los condicionamientos hidráulicos. Al respecto se alejó la obra lo más posible de los meandros del Río Salado a fin de evitar posibles problemas derivados de futuros cambios en el curso del río”
- **“El final de la defensa es provisorio hasta tanto se continúe con una 3° Sección, ya que en esa zona no se puede efectuar un cierre natural a cota +17,50 m IGM al no existir la misma en el terreno circundante. El cierre se efectuará sobre un muro de mampostería reforzada ubicado sobre el cordón sur de la calle Gorostiaga, inmediatamente al Oeste de la entrada al Hipódromo de Las Flores. La calle Gorostiaga tiene en dicho cierre, una cota de +16,40 mIGM, por lo que deberá, para crecidas mayores a la máxima histórica, realizarse un alteo provisorio de la misma, con bolsas o elementos similares que puedan, una vez finalizado el evento extraordinario, ser retirados para rehabilitar el tránsito en dicha arteria”.**

➤ Cierre de la Defensa

En otro capítulo del informe de proyecto, se hace nuevamente referencia al cierre previsto para el extremo aguas arriba del Tramo II de la defensa longitudinal. En tal sentido se señala lo siguiente:

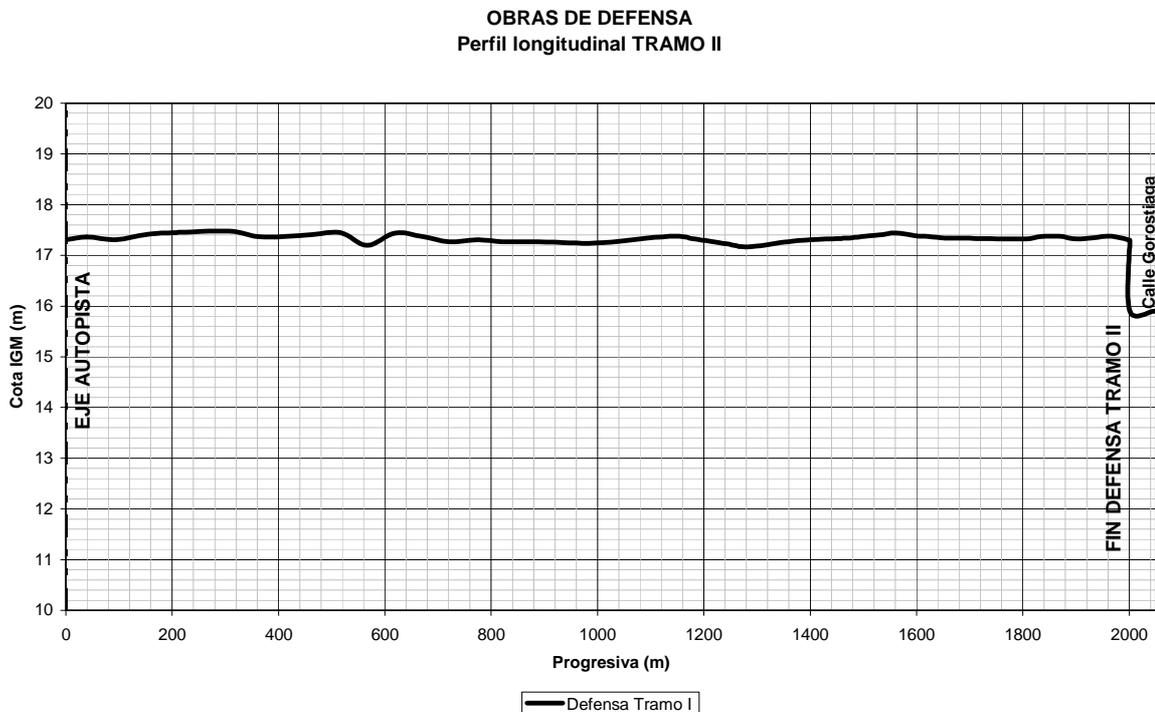
*“En esta etapa, la D.P.V. decidió realizar un cierre provisorio de la defensa dado que el cierre natural a cota +17,50 IGM se verifica en zonas alejadas fuera del área de la 2° Sección de la Avenida de Circunvalación en proyecto. La finalización de la defensa a cota de coronamiento +17,50 se proyectó contra un muro de mampostería reforzada de espesor variable, situado en el cordón sur de la Calle Gorostiaga.*

Posteriormente se hace nuevamente referencia al hecho que la calle Gorostiaga presenta en esa zona una cota media de +16,40 m, razón por la cual se previó, desde el proyecto ejecutivo de la obra, realizar un cierre temporario y provisorio en el caso de la ocurrencia de eventos extraordinarios. Este cierre fue previsto mediante bolsas de arena u otro elemento de contención y las instalaciones del paredón sudeste del Hipódromo de Las Flores. De acuerdo a los conceptos vertidos anteriormente, el terraplén de defensa del tramo II fue concebido y proyectado con un cierre final provisorio que dejaba interrumpida la cota de coronamiento prevista en +17,50 m en un sector aledaño al Hipódromo de la ciudad.

En ese contexto, el terraplén quedaría conformado por una sección transversal trapecial, de 4,00 m de ancho de coronamiento y taludes inclinados 1:3 aguas arriba y 1:2 aguas abajo, con la cota de coronamiento antes mencionada. El extremo final aguas arriba de este terraplén fue previsto en forma provisoria mediante su apoyo en un muro de mampostería reforzada con espesor variable, emplazado exactamente en el extremo sur de la Calle Gorostiaga.

De acuerdo a la información recopilada para la presente pericia, el tramo II se construyó de acuerdo a las pautas previstas en el proyecto ejecutivo de la obra, el cual data del año 1996, en cuanto a cotas de coronamiento, traza y sección final de cierre. En consecuencia, no se había previsto continuar el tramo II hasta alcanzar cotas equivalentes a las máximas de coronamiento definidas para el terraplén, sino que se previó la posibilidad de efectuar cierres provisorios en caso de la ocurrencia de eventos extraordinarios.

En la siguiente Figura se muestra un perfil longitudinal del tramo II:



**Figura 3.33 Obra de defensa. Perfil longitudinal del Tramo II**

Es importante destacar que, con esta concepción de proyecto, con la cual finalmente se materializó la traza y geometría del tramo II, la defensa de la ciudad no se encontraba cerrada en cuanto a los niveles máximos de protección previstos en su diseño.

En ese sentido, el nivel de resguardo adoptado en el diseño, correspondiente a una crecida de 2400 m<sup>3</sup>/s en el río Salado con un nivel de restitución de 16,50 m en la descarga en el río Paraná, se vería notoriamente disminuido en caso que no se lograra materializar, como finalmente ocurrió durante el evento de 2003, un cierre provisorio en la sección de la calle Gorostiaga.

Si bien se entiende, sobre la base de los antecedentes existentes, que la concepción del proyecto preveía una continuación de la obra de defensa a partir de la materialización del tramo III, la conformación de una sección de menor nivel de resguardo determinaba la existencia de un elevado riesgo frente a la posibilidad de sobrepaso de dicha sección. De acuerdo al análisis realizado en el Anexo XI del presente informe, el riesgo de ingreso de agua a la ciudad resulta, para la concepción analizada, del 25 %. Este valor resulta extremadamente elevado si se consideran las consecuencias derivadas de un ingreso masivo y abrupto de los excedentes en el casco urbano de la ciudad.

Del mismo modo, debe destacarse que, si bien no era la pauta de diseño original, la crecida del Salado asociada a un nivel en el hipódromo semejante a la cota de la calle Gorostiaga (15 m aproximadamente) presenta un caudal máximo del orden de los 1700 m<sup>3</sup>/s, con una alta probabilidad de ocurrencia.

Otro aspecto que es importante señalar es que el riesgo de ingreso a la ciudad se ve agravado por la inexistencia de obras de descarga aguas abajo, más allá de las estaciones de bombeo que se describirán en siguientes puntos. En efecto, la conformación de los terraplenes de defensa sur y oeste, conforman en los sectores más bajos de la ciudad, un recinto cerrado del cual no resulta posible drenar excedentes acumulados en el mismo. Estas condiciones no fueron consideradas en el proyecto de la obra o al menos no se desprende de la documentación escrita existente.

Vale decir que en este caso, se ha asumido, desde el proyecto de la obra, un riesgo importante en cuanto a la posibilidad que la estructura fallara, entendiéndose como falla de la misma que no se cumpliera el objetivo primario definido en su concepción que era evitar el ingreso de las aguas durante eventos de crecida de cierta magnitud.

La previsión de producir un cierre de emergencia en la brecha generada por la interrupción del terraplén, también aparece como una medida de elevado riesgo si no se cuenta con esquemas de previsión suficientemente ajustados como para garantizar que dichas acciones se tomen en forma previa a que el agua comience a ingresar en el interior de la ciudad. De hecho, durante el evento de Abril de 2003, las acciones de cierre se comenzaron a ejecutar cuando el flujo ya había sobrepasado la cota mínima de la calle Gorostiaga. Por esta razón, las medidas y trabajos realizados no tuvieron, tal como podía preverse en una condición como esa, la eficacia esperada.

Al hecho anterior se suma la conformación otorgada a la finalización del terraplén del tramo II. Tal como se describió, este terraplén se apoyaba en un muro de mampostería de espesor variable, estructura que no resulta la más adecuada para garantizar la estabilidad de la estructura frente a la

acción de un flujo de relativa velocidad. En efecto, si bien los niveles que debía alcanzar el río para tomar contacto con la parte frontal de este muro eran elevados, la potencial ocurrencia de este evento debió haber sido considerada en el proyecto de la obra a fin de minimizar los riesgos de erosión y socavación del extremo final del muro.

El riesgo mencionado anteriormente también se terminó de configurar durante el evento del 2003, dado que a partir de los elevados niveles alcanzados por el río Salado y la posterior derivación de caudales hacia el interior de la ciudad generó la apertura progresiva de un brecha en el extremo final del terraplén, dando lugar a un ancho de escurrimiento superior a los 100 m, cuando el ancho inicial de la discontinuidad generada en la calle Gorostiaga no superaba los 15 m.

### **3.4 Tramo III**

El tramo III de la obra de defensa comprendía un tramo que materializaría el cierre definitivo de la misma, garantizando el alcance, con estructuras específicamente preparadas para tal fin, un anillo de cierre de la ciudad con cota máxima de 17,50 m.

Según se pudo verificar, el proyecto definitivo de este tramo se realizó en forma posterior al pasaje de la crecida de 2003. Este estudio y proyecto fue realizado por la empresa INCOCIV Consultora. Durante la etapa de recopilación de antecedentes para la presente Pericia, se tuvo acceso al “*Estudio Hidráulico de Defensa Contra Inundaciones del Río Salado. Tramos I, II y III*”, fechado en julio de 2003.

En el mencionado informe se hace un análisis exhaustivo del comportamiento hidráulico del río Salado frente a distintas hipótesis de crecida y con los objetivos básicos de verificar las condiciones de los tramos I y II, así como definir los niveles de proyecto del mencionado tramo III.

De lo antes mencionado se desprende que no existía un proyecto definitivo de obra del tramo III de defensa, si bien se entiende, según consta en el proyecto del tramo II, que la misma tenía una concepción básica, al menos a nivel de anteproyecto.

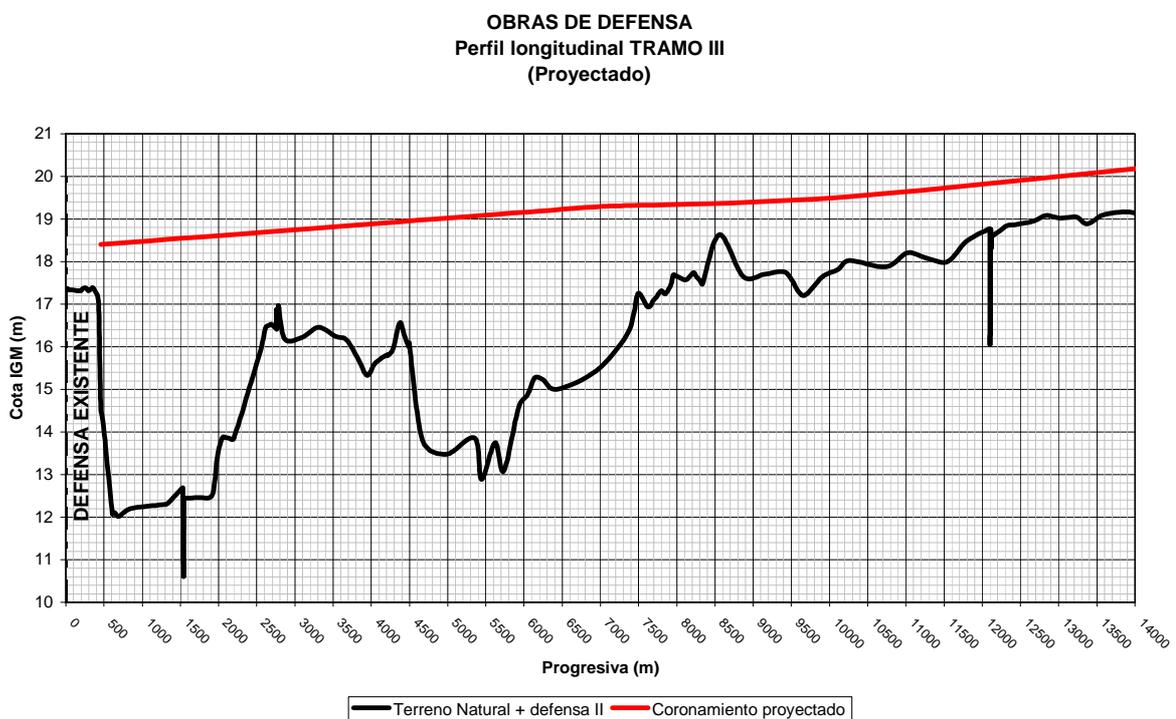
También se ha podido establecer la potencial existencia de variantes alternativas a la traza definitiva del tramo III, con cierres de menor longitud hasta sectores algo más elevados emplazados aguas arriba del Hipódromo. Estas referencias han sido mencionadas en distintos documentos analizados durante el trabajo pericial, aunque debe destacarse que no se tuvo acceso a documentación técnica de proyecto que acredite efectivamente que dichas variantes se encontraban con un desarrollo acorde a un proyecto ejecutivo o constructivo.

Independientemente de la existencia del proyecto ejecutivo definitivo del tramo III o bien de variantes alternativas al mismo, se ha comprobado que no se materializaron obras de cierre aguas arriba de la finalización del tramo II, en la calle Gorostiaga. Tal como se dijo, ese tramo fue construido, en principio, siguiendo las pautas establecidas en el proyecto ejecutivo del año 1996.

En el Anexo XI se analiza la incidencia que pudo haber tenido en el proceso de anegamiento registrado en la ciudad la potencial existencia del tramo III de la obra de defensa.

Este tramo fue concebido como una prolongación del actual tramo II, desde la zona del Hipódromo hasta terrenos elevados emplazados al norte de la localidad El Recreo.

En la siguiente Figura se muestra un perfil longitudinal de la traza del tramo III de defensa en sus primeros 14000 m desde el final del tramo II de la defensa existente.



**Figura 3.43 Obra de defensa. Perfil longitudinal del Tramo III**

Tal como se observa, la línea que marca el coronamiento proyectado define la cota de la defensa y la cota de rasante del acceso Norte previsto para la ciudad. Se destaca que el proyecto de este tramo reformuló las cotas superiores del tramo II, cuya condición al momento de la crecida era la indicada en el gráfico anterior.

Las cotas más bajas que se observan al finalizar la defensa del tramo II, entre las progresivas 500 m y 2000 m, corresponden al terreno natural existente sobre el eje de la traza del tramo III. Dichas cotas son inferiores a las que posee la prolongación de la calle Gorostiaga, la cual presentaba, al pie del muro Terminal, una cota del orden de los 15,00 m.

Teniendo en cuenta los niveles líquidos alcanzados por la crecida del año 2003, el lugar de ingreso de los excedentes a la ciudad y los niveles previstos en el tramo III, se podría concluir, tal como se señalará en el Anexo XI del presente informe, que de haberse construido este tramo las aguas no hubieran ingresado en la forma que lo hicieron al casco urbano de la ciudad.

#### **4 OBRAS DE DRENAJE PLUVIAL**

Los terraplenes de defensa descritos en el punto anterior, particularmente los correspondientes a los tramos I y II, cumplen la misión básica de impedir el ingreso de las aguas del río Salado en épocas de crecida. No obstante, su presencia produce una interferencia física al libre drenaje de los excedentes pluviales que se producen en la zona Oeste de la ciudad.

Por ese motivo, a partir del desarrollo urbano registrado y de la progresiva implementación de las obras de defensa, se fueron diseñando y materializando una serie de obras tendientes a dar salida a los excedentes antes mencionados. Estas obras están compuestas, básicamente por estaciones de bombeo, canales de conducción y lagos de almacenamiento temporario.

Los primeros antecedentes de estas obras son de la década de 1940, donde existían planos de proyecto de las estaciones de bombeo para evacuar las aguas retenidas potencialmente por el antiguo terraplén Irigoyen.

Básicamente, el sistema de descarga se compone de cuatro estaciones de bombeo, tres de las cuales se emplazan entre el puente carretero y el puente de la autopista y la restante al norte del distribuidor de esta última.

La estación de bombeo N° 4 fue rediseñada junto con el proyecto de defensa del tramo II, incorporándose un lago de almacenamiento para laminar los picos de caudales producidos por eventos de tormenta intensos en la zona oeste de la ciudad. Esta estación de bombeo descargará los excedentes al río que confluyen en el denominado lago de almacenamiento 2.

Según el proyecto de esta última estación, la misma constará de cuatro bombas sumergibles con un caudal de diseño de 600 l/s cada una y una bomba adicional de reserva con capacidad para bombear 145 l/s. En virtud de las características de los conductos de impulsión y la altura topográfica del terraplén, las alturas de bombeo requeridas resultan levemente inferiores a los 9 m.

En virtud de los datos mencionados, la estación de bombeo N° 4, la cual resulta, de las cuatro existentes, la más próxima a la zona de ingreso de las aguas durante la crecida del 2003, presenta una capacidad de bombeo instalada de 2,5 m<sup>3</sup>/s. En principio dicha capacidad resulta adecuada, según consta en el proyecto, para erogar los caudales máximos producidos durante eventos de tormenta de cierta intensidad dentro del casco urbano de la ciudad.

Tal como se dijo, el sistema en su conjunto cuenta con dos lagos de almacenamiento, uno emplazado al norte del distribuidor de la autopista y otro al sur de la misma. Se previó la construcción de una estructura de vinculación entre ambos lagos cuando los cotas de éstos superan determinados niveles.

Según las consideraciones efectuadas en el proyecto de las obras, el sistema interconectado permitía absorber, mediante una combinación simultánea de bombeo y almacenamiento, eventos de tormenta de 2 y 5 años de recurrencia.

Las obras mencionadas en este punto resultan complementarias de las obras de defensa del sector Oeste de la ciudad y no constituyen elementos de peso para garantizar el adecuado funcionamiento de las defensas longitudinales. De hecho presentan, como resulta natural, condiciones de diseño asociadas a eventos de tormenta de mayor frecuencia de ocurrencia que los considerados para el diseño de las defensas, resultando por ende, capaces de absorber caudales de menor envergadura.

En virtud de lo expuesto, solo se indican, en el presente informe, las obras de drenaje pluvial a título indicativo ya que las mismas no tuvieron incidencia en el ingreso de las aguas al casco urbano de la ciudad.

Solo merece destacarse que su capacidad de evacuación instalada resulta sensiblemente inferior a la que se hubiera requerido para evacuar los caudales que efectivamente ingresaron a la ciudad a través de la brecha de la calle Gorostiaga. En ese sentido, según estimaciones realizadas, se produjo el ingreso de un caudal de entre 300 m<sup>3</sup>/s y 700 m<sup>3</sup>/s. Considerando el período de ingreso, el volumen ingresado a la ciudad resultó superior a los 4000 Hm<sup>3</sup> durante un solo día de ingreso.

## **5 CONCLUSIONES**

En el presente anexo se ha efectuado una descripción de las principales obras viales, de defensa y de drenaje pluvial existentes en el tramo inferior del río Salado. A partir del análisis realizado y de los principales comentarios efectuado en este Anexo, pueden extraerse las siguientes conclusiones preliminares:

- En el tramo inferior del río Salado, sobre una longitud de aproximadamente 20 Km hasta su desembocadura en el río Paraná, se emplazan una serie de tres puentes ferroviarios y dos puentes carreteros.
- Esos puentes, cuya menor luz libre se encuentra en el correspondiente a la autopista Santa Fe – Rosario (157 m), reducen la capacidad de conducción natural del río, generando fuertes estrechamientos al normal escurrimiento de las aguas en épocas de crecida.
- Según los antecedentes recopilados, el puente de la autopista sufrió sucesivos procesos erosivos durante crecidas registradas en forma previa a la ocurrida en el año 2003. Principalmente, en la crecida del año 1973 se produjo el colapso de su tablero central, volviendo a reconstruirse con una luz semejante a la original. Según se establece en el Anexo XI del presente informe, esta estructura produjo, en oportunidad de la crecida de 2003, una sobreelevación hacia aguas arriba del orden de los 0,70 m a 0,80 m.
- Las obras de defensa existentes en el valle aluvial del río Salado presentaban, al momento de la crecida, dos tramos materializados. Los mismos, tramos I y II, comprendían el sector del río desde el puente Carretero hasta un sector coincidente con la traza de la calle Gorostiaga, al sur del Hipódromo de las Flores. El concepto general manejado en el proyecto de las obras de defensa preveía la construcción de un tercer tramo (tramo III) entre esta última sección y terrenos emplazados al norte de la localidad del El Recreo.
- Los antecedentes existentes demuestran que en el proyecto del tramo II se previó un cierre abrupto y provisorio del mismo en la sección correspondiente a la calle Gorostiaga, no encontrándose antecedentes escritos que permitieran asegurar que existió otra variante original al proyecto mencionado. En ese sentido, el muro que conforma el tramo II de la defensa fue construido según las pautas especificadas en el proyecto ejecutivo del mismo que data del año 1996.
- En el contexto señalado, la obra se previó y construyó con un muro provisorio de cierre, transversal al eje del terraplén, conformado por mampostería reforzada y apoyado en el cordón sur de la calle Gorostiaga. Asimismo, se preveía la necesidad de complementar el cierre hasta cota 17.50 m, mediante una acción de emergencia, en caso de producirse una crecida, a partir de la colocación de bolsas de arena.

- Si bien es factible suponer que esta concepción del proyecto estuvo basada en la hipótesis de una continuación relativamente rápida del tramo III de la defensa, se debe desatacar que la misma presentaba elevados riesgos frente a potenciales crecidas del río en el período previo a la materialización de este último tramo. Este hipotético riesgo, que con la configuración final de la obra (previa al ingreso del agua en Abril del 2003), resultaba del orden del 25 %, aparece como muy elevado para resultar admisible frente a las consecuencias que finalmente se registraron a partir del anegamiento sufrido por el casco urbano de la ciudad.
- Asimismo, se considera que la acción de emergencia prevista para el cierre provisorio del tramo deprimido de la defensa en calle Gorostiaga, no presenta una elevada factibilidad de ejecución si no se cuentan con elementos de preaviso adecuados. En efecto, si bien la construcción de cierres provisorios mediante bolsas de arena resulta una práctica habitual en acciones de emergencia en inundaciones, las mismas resultan dificultosas si se efectúan en forma simultánea con la existencia de escurrimientos a través de la brecha que se desea cerrar.
- El tramo deprimido de la calle Gorostiaga, cuya cota inferior se encontraba en el entorno de los 15 m, resultaba factible de cerrarse (al menos 1 m por encima de su cota original) siempre y cuando el cierre se ejecutara sin escurrimientos de excedentes hacia el interior de la ciudad. Una vez producido el ingreso, el factibilidad del cierre se reduce si no se cuenta con los medios técnicos y logísticos adecuados. Asimismo, considerando que la cota final que alcanzó el río en la zona de ingreso resultó cercana a los 17 m, la brecha de la calle Gorostiaga debió recrecerse cerca de 2 m por encima de su cota original.
- Los elementos antes considerados permiten afirmar que se adoptó una condición de proyecto de elevado riesgo al dejar abierta la defensa Oeste con cotas menores a las previstas en el proyecto y con acciones de emergencia de poca factibilidad de ejecución si no se ejecutan en forma previa al ingreso de las aguas. Este hecho finalmente se registró durante la crecida del año 2003, donde el cierre se comenzó a efectuar cuando las aguas habían superado, en el río Salado, la cota 15 m y, por ende, habían comenzado a ingresar al interior de la ciudad.
- En principio, los medios puestos a disposición para garantizar el cierre no dieron resultados satisfactorios, máxime si se considera la generación de una rotura del extremo norte del terraplen, aumentando el ancho de ingreso del flujo a la ciudad. Estos efectos se podrían haber minimizado de haberse efectuado el cierre de la zona abierta mediante la materialización del tramo III previsto en el proyecto.
- Finalmente, se efectuó en el presente Anexo una descripción de las obras de drenaje, almacenamiento y bombeo existentes en la zona Oeste de la ciudad. La función básica de las mismas es regular los caudales pico producidos durante eventos de tormenta intensos registrados en el propio casco urbano así como permitir su evacuación a través de los terraplenes de defensa. Las capacidades de estos sistemas resultan acordes con las pautas

habituales que rigen el diseño de obras pluviales, considerándose eventos de tormenta asociados a períodos de retorno de 2 a 10 años. Por estos motivos, sus capacidades resultan sustancialmente inferiores a las requeridas para laminar los volúmenes que finalmente ingresaron a la ciudad por la brecha del Hipódromo.