

CAPITULO II

PROBLEMATICA HIDRICA SUPERFICIAL Y CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS OBRAS

1. INTRODUCCION

La necesidad de llevar adelante una política de ordenamiento de los recursos hídricos en el ámbito de la Provincia de Santa Fe conlleva a la formulación de un plan de medidas estructurales y no estructurales el cual incluye obras que, por los montos de inversión que involucra, hace necesaria la gestión por parte del Estado de una fuente de financiamiento para su ejecución.

En el presente capítulo se desarrolla la solución propuesta desde el punto de vista estructural, la cual dadas las características de la problemática involucrada se estima conveniente que sea formulada a través de un Proyecto de Obras que abarque la totalidad de la cuenca hidrográfica del Arroyo Saladillo. A su vez, este proyecto ha sido dividido en 2 subproyectos, que abarcan un total de 3 obras.

La documentación adjunta comprende la identificación y descripción de la problemática hídrica y de las características técnicas de las obras propuestas para la cuenca en análisis. Cabe destacar que se han sintetizado los aspectos relevantes a los fines de evaluar la viabilidad de las obras y cuantificar la inversión que involucran, teniendo en cuenta básicamente los objetivos del presente informe y el gran volumen de información disponible, tanto de estudios básicos como de proyectos. Es así que se ha volcado la mayor parte de la información en cuadros y planos y se presenta un diagnóstico de las áreas con problemas de anegamiento clasificados en rurales, urbanas y ferroviarias, y el impacto que producen las soluciones estructurales propuestas. Asimismo se indican: a nivel de proyecto, los criterios de diseño, cómputo, presupuesto y metodología constructiva; a nivel de subproyecto, la identificación de las obras, estado de avance de los estudios e información básica existente; a nivel de obra, los datos de diseño, cómputos y presupuestos discriminados por ítem de obra.

En todos los casos la información básica utilizada corresponde como mínimo al nivel de prefactibilidad.

Los presupuestos que se presentan en este Capítulo se refieren sólo a los costos de las obras civiles, por lo tanto no incluyen otros costos tales como de expropiaciones, de consultoría, de inspección y aquéllos provenientes de acciones de inversión en el área de divulgación ambiental, de contingencias físicas y de precios.

Por otra parte, se presenta en el Anexo General, una descripción del régimen de precipitaciones, red de drenaje y problemática de las inundaciones de la Provincia de Santa Fe, criterios generales empleados en la elaboración de presupuestos, gráficos y planos generales de la Provincia de Santa Fe, planos tipo de excavación y obras de arte y cuadros resumen vinculados a los costos de obras contratadas en los últimos 3 años por la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de la Provincia de Santa Fe y la Subunidad Provincial de Coordinación de la Emergencia - Santa Fe.

2. IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA HIDRICA SUPERFICIAL DEL AREA DE PROYECTO

En el Capítulo I se ha presentado una descripción general de la cuenca. Sin embargo se estima conveniente el desarrollo de los aspectos físicos estrictamente vinculados a las soluciones estructurales propuestas en el presente Capítulo. Por lo tanto, se describe el relieve, la red de drenaje, una síntesis de la dinámica del escurrimiento superficial para la totalidad de la cuenca y el régimen de precipitaciones.

2.1. RELIEVE Y RED DE DRENAJE

Dentro de la hidrografía de la Provincia, esta cuenca es afluente directo del río Paraná, entre las ciudades de Rosario y Villa Gobernador Galvez.

Posee una red de drenaje jerarquizada en toda su extensión, aunque son visibles sectores de comportamiento endorreico o semicerrados en los sectores superiores de la cuenca, donde se suman las distorsiones y condicionantes introducidas por la acción antrópica.

La cuenca se encuentra ubicada entre los 116 m s.n.m. y 13,8 m.s.n.m. y su pendiente media en cuenca es de 0,60 m/km, si bien en áreas inferiores y afluentes como la Cañada Candelaria se alcanzan valores superiores. El área de aportes es típica de llanura siendo el sentido principal de escurrimiento de Oeste a Este.

El Arroyo Saladillo totaliza una red del orden de los 310 Km. siendo sus principales tributarios el Arroyo Candelaria, las Cañadas de Fuentes, Maldonado y Equiluz y los Canales Principal Sanford y Secundario Arequito.

En general, la red de drenaje troncal posee naturalmente buena capacidad de conducción, pero deben considerarse limitantes de origen antrópico, como por ejemplo la insuficiencia, en muchos casos, de las obras hidráulicas de la red vial y ferroviaria para evacuar los excedentes hídricos.

Las obras de canalización tendientes a aumentar la capacidad de evacuación de excedentes hídricos superficiales del sistema, en muchos casos, no ha respondido a una planificación hídrica. Cabe aclarar al respecto que las canalizaciones de algunas componentes de la red troncal datan de la década del 30, y en general la red de drenaje se encuentra poco intervenida con canalizaciones.

2.2. DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA HIDRICA SUPERFICIAL E IDENTIFICACION DE AREAS-PROBLEMA.

A los fines de llevar a cabo una adecuada formulación de las obras que se identifican, proyectan y evalúan a través del presente estudio se analizó la problemática asociada a las inundaciones de la cuenca que a continuación se sintetiza. Para ello se realizó un análisis de las causas y de los efectos de los anegamientos para luego, en función de los objetivos de este estudio, identificar áreas-problema

2.2.1. DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA HIDRICA SUPERFICIAL

Las causas y los efectos que caracterizan a los problemas vinculados a la presencia de excedentes hídricos -fundamentalmente de tipo superficial- son variados y, normalmente, se presentan interrelacionados. Las causas, en general, obedecen a factores naturales y de tipo antrópico, y los efectos, normalmente se registran de alguna manera u otra en todo el medio ambiente. Dado que las características de dicha problemática es similar a la que se observa, desde un punto de vista conceptual, en otras cuencas de la Provincia, se ha incorporado en un Anexo General una descripción global de la problemática hídrica de la Provincia de Santa Fe que a continuación se sintetiza.

Dentro de los factores naturales desencadenantes de la problemática de las inundaciones se encuentran las precipitaciones registradas en los últimos años siendo este aspecto común a la totalidad de las áreas problema. Los importantes montos precipitados han incrementado los reservorios superficiales y

subterráneos y, por lo tanto, se registran mayores excedentes hídricos superficiales. Esta circunstancia, unida a las características geomorfológicas y de suelo de extensas zonas rurales y áreas urbanas - potencialmente anegables- han determinado que se presenten elevados montos de pérdidas socioeconómicas que históricamente no se presentaban o bien se registraban con una recurrencia muy superior, es decir, con menor frecuencia.

En relación al factor lluvia, los análisis de la variación interanual a través de la media móvil de las precipitaciones ponen en evidencia una tendencia creciente de la magnitud de dicha media, superior a la media histórica de las series completas. Es así que en Estación Bombal la precipitación media anual del período 1933-1987 es de 935 mm; a partir de la década del '70, la media móvil muestra una tendencia a estabilizarse en valores superiores (980 mm) a la media histórica calculada mediante la serie completa, según se muestra en el Gráfico N° 1 adjunto.

Las precipitaciones se producen fundamentalmente en el período Setiembre-Abril. Con respecto a la época del año en que se producen los anegamientos es factible afirmar, a partir de estimaciones efectuadas mediante balances hídricos seriados mensuales (ver Gráficos N° 2 y N° 3 adjuntos) y a partir de las situaciones de emergencia padecidas, lo siguiente:

- Los meses en que con mayor frecuencia se registran excedentes hídricos tanto urbanos como rurales, son Diciembre y Marzo
- Los meses con mayores valores medios de excedentes hídricos son Marzo y Abril, época en que las grandes lluvias encuentra a los sistemas saturados.

La incidencia del factor geomorfológico se analiza más detalladamente en el punto 2.2.2.

Por su parte, existen **factores antrópicos** que conllevan a un agravamiento de esta circunstancia, lo cual se puede sintetizar como uso inadecuado del suelo, tanto urbano como rural, tal como se ha desarrollado en el Anexo General adjunto. Este uso inadecuado se manifiesta a través de: emplazamiento de localidades en áreas con bajo potencial de anegamiento o bien expansión hacia áreas de este tipo tanto rurales como urbanas, impermeabilización de áreas urbanas, trazado y secciones hidráulicas inadecuadas de rutas y ferrocarriles, explotaciones agropecuarias no compatibles con el potencial de uso de los suelos, entre los más destacados.

En cuanto a las **consecuencias en áreas urbanas** es factible mencionar:

- * afectaciones de la infraestructura sanitaria.
- * anegamientos de calles de tierra y pavimentadas
- * afectación de comercios, industrias y servicios
- * afectación de centros educativos, culturales y recreativos
- * cortes de caminos de acceso a las localidades
- * anegamientos de cementerios y de la infraestructura pública
- * afectaciones de viviendas y de edificaciones en general

Con respecto a los **efectos de los anegamientos sobre el medio rural** se puntualiza

- * incomunicación por cortes profundos y consiguientes deterioros de caminos rurales
- * anegamiento de campos productivos
- * falta de piso y/o exceso de humedad que impide o retrasa las tareas de laboreo

Dentro de los problemas que se evidencian con mayor significación durante la ocurrencia de crecidas merece especial mención la afectación que se produce en caminos comunales, rutas provinciales y nacionales en sus secciones de **cruce de la red troncal de desagües**, en los que se observan los siguientes efectos:

- * insuficiencia de sección hidráulica o deficiente ubicación de la obra que produce embalse aguas arriba y/o corte de la vía de comunicación
- * peligro de colapso estructural de la obra existente por obsolescencia o socavación del cauce y/o márgenes.

Además de los problemas expuestos es importante mencionar los que están asociados a las dificultades que se presentan en la gestión de los recursos hídricos de tipo institucional o jurisdiccional - particularmente en la protección contra inundaciones- y el deterioro que se imprime al medio ambiente a través de las descargas de efluentes contaminantes -industriales, cloacales, biocidas- en la red de drenaje.

Finalmente y, como etapa previa a la formulación del plan de obras, se identificaron los problemas de anegamientos para lo cual se analizaron las siguientes áreas-problema

- * Anegamientos en áreas urbanas
- * Anegamientos en áreas rurales
- * Erosión retrogradante del cauce del arroyo Saladillo.

2.2.2. IDENTIFICACION DE ÁREAS PROBLEMA.

2.2.2.1. Anegamientos urbanos

El total de localidades expuestas al anegamiento en la Cuenca del Arroyo Saladillo son 2 (dos), a saber: **Casilda y Fuentes**. La ubicación de las mismas se ha indicado en los Planos No. 2 y No. 3 adjuntos. Ellas representan el 0.8 % del total de localidades de la cuenca.

A modo informativo se mencionan a continuación otras localidades que manifiestan problemas de la misma índole, cuyas soluciones se encuentran en ejecución:

Sanford: esta localidad está ubicada sobre el bajo que dá origen al Arroyo Candelaria y, por esta causa, un 70 % de su casco urbano está sometido a un alto riesgo de anegamiento. La misma cuenta con un canal perimetral que intercepta los excedentes hídricos de áreas rurales que aportan hacia la localidad y los derivan hacia el cauce del mencionado Arroyo, el cual es insuficiente. Ello ha determinado que la Provincia, junto con las obras mencionadas en el punto 2.2.2.2, haya licitado las obras de desague y un terraplén perimetral de defensa del pueblo que, por las razones expuestas, no ha sido incluido en esta presentación.

Villa Gobernador Galvez: la misma está ubicada sobre la costa del Río Paraná y a la vera del Arroyo Saladillo inmediatamente al Sur de la Ciudad de Rosario. Como consecuencia de ello, está afectada por las inundaciones que originan los desbordes de ambos cauces. Mediante el Programa de Rehabilitación para la Emergencia de las Inundaciones del BIRF -PREI- se ha ejecutado la obra de defensa sobre el Río. La última crecida registrada de gran magnitud fue en 1986, en la que se anegaron 1250 has. Mediante la canalización del Tramo II del Arroyo Saladillo, actualmente en ejecución por la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas, y el terraplén de defensa que nace a la altura de los puentes de la Avda. de Circunvalación sobre margen derecha hacia el Oeste, se dará solución a los desbordes del Arroyo para eventos de una recurrencia de 100 años.

Chabas: esta localidad está atravesada por un bajo natural que finalmente desemboca en el Arroyo Candelaria y que recibe los aportes de áreas rurales ubicadas al Oeste. Ello determina que, incrementado por el efecto de la infraestructura de caminos, se registren anegamientos en la misma de significación. Actualmente, se encuentra en ejecución el reacondicionamiento del colector urbano que conducirá los excedentes al Canal Principal Sanford, por lo cual no ha sido incluido en el presente Plan de Obras.

En virtud del volumen de información que se posee y teniendo en cuenta los objetivos del presente Informe, se ha sintetizado la misma en dos tipos de cuadros que han sido confeccionados a partir de documentación secundaria obrante en la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas, del conocimiento que el personal de esta Dirección ha adquirido durante su accionar y del relevamiento del fenómeno obtenido a partir de entrevistas de profundidad realizadas en la segunda etapa en la totalidad de las localidades que habían sido identificadas en la etapa preliminar. Por su parte, se presenta el Plano No. 3 en el cual se han volcado las áreas afectables por problemas de anegamiento

Las fotos Nº 9 y Nº 10 ilustran acerca del anegamiento que padece la localidad de Fuentes, en tanto que en el Cuadro Nº 1 se caracteriza el mismo a través de los siguientes aspectos:

- * Recurrencia del menor evento lluvioso para el cual se hacen evidentes daños.

- * Permanencia y superficie afectada que está asociada a dicho evento.
- * Causas de tipo geomorfológico y antrópicas que determinan la ocurrencia o agravan el fenómeno de anegamiento.
- * Tipo de afectaciones
- * Obras de protección contra inundaciones existentes
- * Recurrencia y tipo de obras de protección previstas.

El Cuadro N° 2 refleja un detalle más pormenorizado de los problemas de anegamiento, con el fin de analizar la ciudad de Casilda como localidad testigo a los efectos de la evaluación de los daños, incluyéndose curvas de afectación-recurrencia de acuerdo a lo desarrollado en el punto Impacto de las Obras adjunto al presente informe. Se incluye, además, el respectivo plano de la Planta Urbana con indicación de áreas anegables, tipo de afectaciones y obras de protección contra inundaciones existentes y previstas (Plano No. 4)

Con respecto a la información que resumen los Planos y Cuadros mencionados es interesante destacar que, al igual que en la totalidad de la Provincia, los anegamientos por precipitaciones se han agudizado en los últimos treinta años fundamentalmente en aquellas localidades que debido a las características de la geomorfología del relieve natural y/o como consecuencia de la acción antrópica tienen una mayor susceptibilidad al anegamiento.

En el Punto 3 (Problemática específica identificada para cada Subproyecto) se amplía la información concerniente a la dinámica del escurrimiento de la zona de emplazamiento de estas localidades.

2.2.2.2. Anegamientos rurales

Los anegamientos rurales se registran en la zona media de la cuenca -Distritos Sanford, Arequito y Chabás-, en la que se presentan subcuencas con bajo potencial de escurrimiento y con depresiones que acumulan excedentes superficiales. No obstante ello, estas zonas brindan altos rendimientos agrícolas, siendo la principal limitante a la producción el anegamiento, razón por la cual, cuentan con canalizaciones muy antiguas. El ciclo húmedo y la intensificación de la explotación agrícola, ha agravado su potencialidad al anegamiento debido al ascenso de sus napas y el deterioro de sus suelos, respectivamente

Las obras existentes son el Canal Principal Sanford y Secundario Arequito que desaguan las zonas de almacenamiento ubicados al sur de la Localidad de Arequito y al Noroeste de la localidad de Sanford, entre las más importantes. Recientemente la Provincia ha contratado las obras de reacondicionamiento de los canales y adecuación de sus obras de arte por lo tanto **no se ha incluido** en el presente informe.

2.2.2.3. Erosión retrogradante del cauce del arroyo Saladillo.

Originariamente el Arroyo Saladillo desembocaba mediante dos cauces, Norte y Sur. En este último se observaban quebradas generadas por causas aún desconocidas, pero que se estiman son de índole geológica.

Sin embargo, a lo largo del tiempo se ha registrado un cambio en la dinámica del escurrimiento debido fundamentalmente a la acción antrópica, destacándose entre las principales CAUSAS las siguientes:

- * ejecución de obras que no tuvieron en cuenta la integridad del problema y que produjeron impactos negativos. Entre dichas obras se destacan las canalizaciones del arroyo y dragados efectuados en el puerto que se encuentra en su desembocadura.
- * explotación agropecuaria intensiva a lo largo de toda la cuenca de aportes lo cual ha incrementado los excedentes superficiales y el proceso erosivo en cuenca.

Actualmente el Brazo Norte ha sido prácticamente abandonado, en tanto que, por el Brazo Sur escurren, mayoritariamente, los caudales del Arroyo. A su vez, se observa en el tramo inferior de este cauce un proceso de erosión retrogradante muy intensivo, que se manifiesta a través del desplazamiento hacia aguas arriba de una cascada -ubicada a los 2.200 m de la desembocadura en el Río Paraná- que tiene un salto de aproximadamente 12 m y una base de alrededor de 65 m (Fotos N° 1 a N° 5).

El fenómeno de retroceso se intensifica con cada crecida del arroyo, en las que los valores de desplazamiento observados han oscilado entre los 40 y 150 m., lo cual pone en serio riesgo puentes de suma importancia en virtud de la jerarquía de las vías de comunicación a las que pertenecen como así también a los terraplenes de defensa que protegen a la Ciudad de Villa Gobernador Galvez de los desbordes del Arroyo, actualmente en ejecución. Es de destacar que dichas vías permiten el ingreso a la zona Sureste de la Ciudad de Rosario. La misma, que es la cabecera del Departamento Rosario y, por su importancia, la segunda de la Argentina, limita al Sur con el tramo inferior del Arroyo Saladillo. Por esta razón ha padecido severos daños en su infraestructura pública y privada ante cada crecida del arroyo.

Cabe destacarse en este aspecto que, otro factor que incide negativamente es el aumento importante de los caudales del Arroyo provocado tanto por los cambios climáticos como por el uso indebido de los suelos. Un índice de ello es que los valores pasaron de los 100 m³/s en la década del '60 a más de 1000 m³/s en la inundación registrada en 1986.

El corrimiento de la cascada implica además de su retroceso la formación de un importante socavón que aumenta el ancho del arroyo.

Aguas arriba de esta cascada, se encuentran emplazados: el Puente Molino Blanco, que la vincula con la Capital Federal a través de la Ruta Nacional N° 9, los puentes de la Avenida de Circunvalación de la Ciudad y el Puente del Ferrocarril Nuevo Central Argentino (Ex-Mitre), en tanto que hacia aguas abajo de la misma, están emplazados los puentes de la Autopista Rosario-San Nicolás, los puentes vial y del Ferrocarril N.C.A. (Ex Mitre) de acceso Sur al puerto de Rosario y al Frigorífico Swift (Fotos N° 6 a N° 8 y Plano N° 3).

3. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE OBRAS

La solución que brinda una respuesta adecuada a la problemática recientemente descrita involucra medidas estructurales y no estructurales. En este informe se proponen las de carácter estructural ingenieril, las cuales se plantean a través de la formulación de subproyectos, de manera tal de permitir una priorización de obras, la ejecución por etapas y tramos siempre sobre la base de las pautas y limitantes establecidas en cada zona.

En su totalidad el proyecto incluye 3 obras, separadas en dos subproyectos a saber:

1. ESTABILIZACIÓN DE LA CASCADA DEL ARROYO SALADILLO.
2. PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES CASILDA Y FUENTES.

La información básica utilizada para la formulación de los mismos comprende, estudios topográficos, hidrológicos, geotécnicos y socioeconómicos, disponibles en el archivo de la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas, y los elaborados durante el presente Programa.

En cada subproyecto se han indicado los estudios disponibles hasta la fecha.

El nivel de avance de las obras de este proyecto es variable, en el caso del subproyecto 1 es PROYECTO EJECUTIVO y en el subproyecto 2, PREFACTIBILIDAD TÉCNICA.

Se describe a continuación cada uno de estos subproyectos, identificándose las obras que comprenden y las memorias descriptiva y técnica.

El Presupuesto de Obra Civil ha sido elaborado sobre la base precios de mercado correspondientes a ofertas presentadas en la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas durante el mes de Abril de 1995 en obras de similares características a las propuestas. Los presupuestos se han discriminado por subproyecto y por obra en su alternativa seleccionada según los cuadros adjuntos al presente informe.

El Presupuesto de Obra Civil para la totalidad de la Cuenca asciende a \$ 7.406.596 . =

3.1. ESTABILIZACION DE LA CASCADA DEL ARROYO SALADILLO.

3.1.1. Memoria Descriptiva.

El arroyo Saladillo en su desembocadura constituye el límite político entre las ciudades de Rosario y Villa Gobernador Galvez, ciudades que por su expansión han ocupado en forma creciente el valle de inundación del mencionado arroyo y reciben por lo tanto, el impacto de las crecidas del mismo. Tal es el caso de las más críticas producidas en los años 1940, 1961, 1966 y 1986.

Las crecidas traen aparejado además el desarrollo de procesos erosivos principalmente sobre las obras de arte y sobre "La Cascada", fenómeno este último de erosión retrogradante en el cauce y márgenes del arroyo, con una caída de aproximadamente 12 m. de altura.

Son diversos los proyectos y obras encaradas a lo largo del tiempo a efectos de controlar el efecto erosivo del agua en crecidas a la vez que atemperar los efectos de las inundaciones en las ciudades vecinas. Todos ellos sin soluciones satisfactorias, a tal punto que en la crecida de 1986 la cascada sufrió un desplazamiento retrogradante de 110 m y de 80 m en la producida en el año 1988.

3.1.2. Memoria técnica.

3.1.2.1. Problemática Específica.

El arroyo Saladillo ha generado a lo largo del tiempo en proximidades a su colector madre (el río Paraná) un salto o cascada no estabilizada por efecto de la erosión retrogradante, que impacta sobre su basamento en ocurrencia de crecidas de significación.

Sobre el salto actual de unos 12 m de altura se produce, en suelos de tipo limo arcillosos, con una pendiente del orden de los 0.60 m/Km y una base de fondo de 65 m aproximadamente, un proceso retrogradante que afecta principalmente a la cota de solera del arroyo y en menor medida a sus taludes. A su vez da origen a una curva de remanso que genera un incremento de velocidades de magnitud en el tramo intermedio aguas arriba de la misma, aumentando la capacidad erosiva, el arrastre de sedimentos y una posterior sedimentación en el tramo aguas abajo hacia su desembocadura.

El incremento de velocidades y poder erosivo, como el retroceso en sí de la cascada pone en peligro inminente la estabilidad de las importantes obras de arte que se ubican en el tramo inmediato aguas arriba de la ubicación actual de la cascada lo cual se ha desarrollado en los puntos 2.2.2.3. y 3.1.4.

3.1.2.2. Objetivos Específicos de las Obras.

El objetivo específico de la obra propuesta es detener el proceso de erosión retrogradante que padece el tramo inferior del arroyo Saladillo descrito en los puntos precedentes y que pone en riesgo de destrucción a importantes obras de infraestructura existentes en la zona sur de la ciudad de Rosario.

3.1.2.3. Factores limitantes o restricciones al marco de soluciones probables

La solución que se propone para controlar la erosión retrogradante es la ejecución de una obra de estabilización, para lo cual se cuenta con un Proyecto Ejecutivo de Obras.

Dado que el proceso de erosión retrogradante genera un contexto físico de emplazamiento de la obra de estabilización de carácter dinámico, dicho proyecto resulta válido hasta una ubicación de avance de la cascada de 500 mts. aguas abajo del Puente Molino Blanco (actualmente la separación entre la cascada y el citado puente es de aproximadamente 600 m). Si en el momento de ejecución

del proyecto que nos ocupa, la distancia entre la cascada y el puente es menor a los citados 500 mts. se deberán realizar ajustes y cambios al proyecto o bien realizar un nuevo proyecto ejecutivo.

Por otra parte, para dar comienzo a las obras de estabilización de la cascada es imprescindible que se hayan finalizado las obras de canalización correspondientes al Tramo II del Arroyo Saladillo, en el sector Puente Molino Blanco-Cascada, actualmente en ejecución.

3.1.2.4. Estudios básicos

El diseño hidráulico y estructural del proyecto de esta rápida se basa en importantes estudios de topografía, geotecnia, geomorfología, de erosión y ero-sedimentación, hidrológicos e incluso con el valioso aporte de un modelo físico desarrollado. Acompañan el Proyecto una total cobertura cartográfica, tanto general como de detalles.

En relación a los estudios básicos realizados durante el desarrollo de las distintas etapas de proyecto, a continuación se detalla:

* **TOPOGRAFIA:** el desplazamiento de la cascada y las erosiones de márgenes del Arroyo Saladillo ocurridas desde el último relevamiento topográfico (1988), obligó a una nueva ejecución planialtimétrica completa de todo el tramo I (desde progr. 0,00 m hasta progr. 2898,16 m. y el desarrollo de 28 perfiles a lo largo del mencionado tramo.

La utilización de estos datos es fundamental para el desarrollo de los modelos físico y matemático y obviamente del Proyecto Ejecutivo en sí.

* **ESTUDIO DE SUELOS:** con la finalidad de establecer las propiedades físico-mecánicas del suelo se realizaron 14 perforaciones, 3 en la zona de la cascada con una profundidad de 20 m cada una y el resto distribuidas en el tramo I (separadas unos 300 m entre sí) con una profundidad de 15 m c/u. En cada perforación y a cada metro aproximadamente se llevó a cabo el Ensayo de Penetración Normal (S.P.T.) y las muestras tomadas fueron sometidas a diferentes ensayos de laboratorio.

* **ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS:** con la finalidad de clarificar y avanzar hacia las complejas características que constituyen el Arroyo Saladillo con su cascada, y como sustento hacia otros estudios básicos, se efectuaron tareas de campo (levantamiento de perfiles geológicos, caracterización sedimentológica y estructural y muestreo de las unidades litoestratigráfica, caracterización sedimentológica y procesos geomorfológicos, etc.) y de gabinete (procesamiento y análisis de los datos de campo, fotointerpretación geomorfológica de fotografías aéreas, etc.).

A través de tales tareas se describieron los materiales geológicos presentes en el tramo I del Arroyo Saladillo y las estructuras de deformación secundaria que los afectan. Además se analizaron las características de los elementos geomorfológicos asociados al tramo y las de los procesos dinámicos que operan en la actualidad.

* **ESTUDIOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS:** con el objeto de determinar los parámetros de diseño de obras y de datos para el cálculo de erosión, se llevaron a cabo estudios hidrológicos e hidráulicos que permitieron conocer detalladamente el funcionamiento hidráulico del tramo en estudio. Para ello, y bajo diferentes condiciones hidráulicas del río Paraná se implementaron, calibraron y explotaron dos modelos matemáticos: uno (hidrodinámico cuasi-bidireccional de celdas) empleado en el tramo II (sector inmediatamente aguas arriba) habida cuenta de la influencia de éste último sobre el tramo I y el otro, en el tramo I (hidrodinámico unidimensional). Ambos tramos pudieron modelarse separadamente dado que la cascada funciona como sección de control del tramo II, permitiendo el desacople del funcionamiento hidráulico con el tramo I.

Además se desarrolló un modelo físico tridimensional (Escala 1 : 45) de la obra propuesta y de los tramos de aproximación y de descarga de la misma, lo que permitió ajustar los parámetros de diseño. Se estima conveniente intensificar los estudios en modelo físico de la metodología constructiva considerada.

3.1.2.5. Planteo y selección de alternativas

El planteo de alternativas efectuado a fin de lograr los objetivos propuestos se basó en las características generales del proceso de erosión que se pueden resumir en:

- fenómeno en desarrollo desde el punto de vista geomorfológico
- resistencia a la erosión en lecho y márgenes relativamente alta en el canal aguas arriba de la cascada.
- magnitud significativa del poder erosivo del flujo después de la caída dado por el ancho de la sección (variable entre 75 m y 110 m, dependiendo de la magnitud de la crecida)
- influencia de los niveles del Río Paraná en los niveles de aguas abajo de la cascada.

A partir de estos análisis se determinó el marco de soluciones probables:

a) Emplazamiento de la obra: en virtud de tratarse de un proceso dinámico se adoptó una sección tentativa de control.

b) Tecnología: se desecharon las alternativas de estabilización de tipo flexibles, adoptándose las del tipo rígido y, dentro de esas, se consideraron como estructuras de control: vertedero y rápida, y como estructuras de disipación: plateas y trampofines

c) Diseño: previo al desarrollo de las alternativas se efectuó un predimensionamiento hidráulico de cada componente de la obra donde se combinaron:

- Estructuras de control:

- i) Tipo vertedero con altura de umbral de 1 m y 0 m.
- ii) Tipo rápida (con base de fondo de: 50 m; 69,4 m; 70 m y 80 m).

- Estructuras disipadoras:

- i) tipo platea horizontal e inclinada
- ii) tipo trampolín dentado ahogado y trampolín con remolino inferior y régimen de superficie.

La ejecución de los Estudios Básicos, el predimensionamiento estructural y la valoración de las diferencias de costos permitieron arribar a una serie de conclusiones que determinaron el desarrollo de dos alternativas de intervención a los fines de la estabilización de la cascada, diferenciadas entre sí, básicamente, por las características de su estructura de control:

ALTERNATIVA I: Rápida con estructura disipadora con régimen de superficie.

ALTERNATIVA II: Vertedero con variantes para la estructura disipadora.

Ambas alternativas fueron desarrolladas para una recurrencia de caudales de diseño de 50 años y fueron verificadas para caudales de 100 años de recurrencia en cuanto a diseño hidráulico y estabilidad estructural. En cada una de ellas se analizaron variantes en función de la propuesta de diversas estructuras de disipación.

La Alternativa I presenta el menor costo, aunque la diferencia en éste de ambas alternativas no es significativa y el daño evitado por cada una de ellas es similar en ambos casos, por lo tanto, a los fines de la selección de la más conveniente, se profundizaron los análisis del funcionamiento de cada una de ellas sobre la base de criterios de optimización básicamente hidráulicos. En este sentido se informa que durante la etapa de Anteproyecto en la cual fueron analizadas las alternativas, se contó con el asesoramiento del Dr. Guertrud ONIPCHENCKO, del Instituto de Investigaciones Científicas de Hidroconstrucciones de Moscú (Rusia). Las conclusiones del asesoramiento brindado por dicho Experto se adjuntan en el Anexo Específico.

En síntesis, las alternativas desarrolladas presentan una serie de particularidades con sus ventajas e inconvenientes, sin embargo y a los fines de expresar los elementos más convincentes que condujeron a seleccionar una de ellas, se menciona a continuación el comportamiento esperable

aguas arriba y aguas abajo de la obra de estabilización de la cascada para cada variante donde se concluye que la rápida con trampolín sumergido es la más aconsejable:

Vertedero con altura de paramento de 1,7 m (ALTERNATIVA II)

* El aumento de tirante aguas arriba en 1,7 m coadyuvará a un mayor humedecimiento del suelo en relación a las condiciones naturales, lo que puede aumentar significativamente la erosión de márgenes.

* Se aumentan las velocidades aguas abajo, lo cual no es deseable.

* Requiere de una obra de evacuación de caudales mínimos que implica mantenimiento para garantizar un correcto funcionamiento.

Rápida con trampolín sumergido (ALTERNATIVA I)

* En esta alternativa, el nivel de aguas arriba es más bajo que en la anterior (evitándose por consiguiente los problemas erosivos de márgenes mencionados en la tal opción), pero correspondientemente, es mayor la velocidad. No obstante y de acuerdo a los cálculos de erosiones generales y a la situación registrada durante la crecida de 1986 (con un caudal al pico de 1.120 m³/seg) se concluye que no existen diferencias sustanciales con las velocidades erosivas esperables aguas arriba entre las alternativas de vertedero y rápida.

* Aguas abajo: con esta variante se crea el régimen de confluencia superficial, en el cual la velocidad en cercanías del fondo es menor, lo que constituye un importante aspecto a considerar

3.1.2.6. Diseño y cómputos de rápida

Esta alternativa consiste en una rápida de 70 m. de base de fondo, un canal de entrada de transición de 30 m., una estructura disipadora de trampolín con remolino inferior y régimen de superficie con cota de solera +3 m. y que culmina en una fosa de erosión a cota +1,50 m. Para la construcción de las obras se prevé la ejecución de un desvío del Arroyo y obras auxiliares con una capacidad de evacuación superior a los 250 m³/s, con terraplenes de protección hasta cota 21,50 m (Recurrencia=5 años). El plazo de ejecución estimado para la obra es de 17 meses.

Las diferentes componentes de la obra asociada a la estabilización de la cascada son las siguientes:

a) Estructura de control: rápida de 70 m de longitud con espesores variables entre 0,50 m y 1 m en la solera y de 0,50 m en los paramentos laterales verticales con una red de tensores activos. El perfil obtenido corresponde a un caudal de 1.900 m³/s mayor que el de diseño (Q=1250 m³/s, R=50 años), ello es dado la escasa flexibilidad de un vertedero de altura de umbral cero para evacuar caudales mayores a los de diseño.

b) Canal de entrada: compuesto por un transición de 30 m de largo (20 m c/fondo rip-rap y 10 m de hormigón) y un canal rectangular de 70 m de base de fondo y 16,5 m de longitud, los taludes laterales con espesor de 0,35 m y 0,50 m y la solera con espesores predominantes de 0,25 m.

c) Estructura de disipación y estabilización del flujo: consiste en un disipador tipo trampolín con remolino inferior y régimen de superficie, cuyo labio se encuentra en cota 6,70 m y su desarrollo alcanza la progresiva 62. La sección de la misma es rectangular de 70 m de base de fondo.

d) Zampeado y transición de salida: tiene una longitud de 65 m. En los primeros 50 m se desarrolla una transición desde un canal de 70 m de base a uno de 80 m con paramentos verticales. El espesor de solera es de 1,0 m en el sector de aguas arriba y de 0,50 m en el resto.

e) Muros de ala y dientes de fondo: en el inicio y el fin de las obras con la finalidad de proteger la estructura de hormigón armado evitando el descalce de la misma.

f) Transiciones de rip-rap en ambos extremos de la obra de 20 m y 10 m de longitud.

g) Sistema de drenaje: a los efectos de disminuir la subpresión detrás de los muros y debajo del zampeado. Se trata de filtros horizontales con combinaciones con tubos de drenajes.

h) Canal de descarga: para encauzar las aguas a la salida de las obras y a fin de orientar el retroceso de la cascada hasta el encuentro con las mismas. Se trata de un canal de 15 m de boca y 3 m de profundidad.

i) Obras para el desvío del Arroyo y obras auxiliares que consisten en: canal de desvío; terraplén de defensa, caminos y obras de arte auxiliares, obras complementarias y reconstrucción final de la obra afectada.

El total de hormigón estructural es cercano a los 6500 m³ y la estructura se afirma con un sistema de tensores activos pretensados dispuestos en malla de 4 x 3 m; 4 x 4 m y 3.5 x 3 m según el sector de la estructura correspondiente.

3.1.3. Presupuesto de Obras Civiles

El monto de obra asciende a \$ 6.538,529, y comprende:

- a) Obras previas
- b) Obras de desvío del curso de agua
- c) Obras de evacuación y restitución al curso mediante rápida.
- d) Ensayos previos e instalación del instrumental de control y seguimiento.

El detalle del cómputo y presupuesto se observa en el Cuadro N° 6.

3.1.4. Impacto de las Obras.

3.1.4.1. Estimación del costo actual y de rehabilitación de las obras de infraestructura en riesgo.

Con el fin de evaluar la infraestructura en riesgo se analizó la situación y características de la misma.

a) Puente Molino Blanco.

Aguas arriba de la ubicación actual de la cascada -aproximadamente a 600 m se encuentra el primer puente sobre el A° Saladillo, denominado puente "Molino Blanco", el cual une el Sur-Este de la ciudad de Rosario con la Ruta Nacional N° 9 a Buenos Aires y el acceso a Villa Gobernador Galvez, entre otros.

Las características del puente existente son las siguientes:

- * Puente de hormigón armado y hormigón pretensado.
- * Oblicuo a 45°.
- * Fundación indirecta.
- * Compuesto de 4 tramos de 25 m cada uno, haciendo una luz total de 100 m.
- * Ancho de calzada de 8,30 m.
- * Con vereda y barandas.

Este puente se terminó de construir en el año 1988 y la Dirección Provincial de Vialidad tiene proyectada la construcción de otro puente de similares características junto al existente a fin de completar el proyecto original de dos manos de circulación con un ancho de calzada de 8,30 m cada una.

Además, a través de la sección de este puente, se realiza el cruce de la infraestructura de

servicios, a saber:

- * Cañería de gas a 4 m del fondo del cauce.
- * Teléfonos - Fibra óptica a 2 m del fondo del cauce.
- * Agua corriente potabilizada.

Por lo tanto, en el momento en que la cascada llegue a la sección de emplazamiento de los puentes la inversión comprometida ascendería a:

SITUACION 1: que no esté construido el nuevo puente.

* Puente existente	\$ 1.315.850
* Infraestructura de servicios	\$ 850.000

Total 1°	\$ 2.165.850

SITUACION 2: que esté construido el nuevo puente.

* Puente a construir por D.P.V.	\$ 1.315.850

Total 2°	\$ 3.481.700

Sin embargo, en el caso de destrucción de estos puentes, las obras de reconstrucción tendrían un valor superior, debido a que la fundación debería realizarse a una profundidad de superior al menos de 12 m por efecto de la erosión, como así también se considera que deberían contar con una luz superior.

A partir de estos supuestos es que el costo de las obras a restaurar sería de aproximadamente:

SITUACION 1°:

* Puentes a construir (1)	\$ 1.891.534
* Infraestructura de servicios	\$ 850.000
* Costo de proyectos	\$ 500.000

Total	\$ 3.241.534

SITUACION 2°:

* Puentes a construir (2)	\$ 3.783.069
* Infraestructura de servicios	\$ 850.000
* Costo de proyectos	\$ 500.000

Total	\$ 5.133.069

b) **Puentes sobre Avenida de Circunvalación:**

A unos 200 m del puente el Molino Blanco y a unos 800 m de la ubicación actual de la cascada se encuentran dos puentes que corresponden a cada una de las manos de circulación de la Avenida de Circunvalación.

Las características de los puentes existentes son las siguientes:

- * Puente de hormigón armado y hormigón pretensado.
- * Recto.
- * Fundación indirecta.
- * Compuesto de 6 tramos de 25 m cada uno, haciendo una luz total de 150 m.
- * Ancho de calzada de 18 m cada uno.
- * Con vereda y barandas.

Por lo tanto en el caso que la erosión retrogradante alcance esta sección la inversión comprometida ascendería a la suma de \$ 6.822.240.-

Consecuentemente, dada la altura de la cascada, las obras de reemplazo tendrían un valor superior, debido a que la fundación debería realizarse a una mayor profundidad -aproximadamente 12m más por efecto de la erosión-, como así también se considera que deberían contar con una luz superior. A partir de estos supuestos es que el costo de las obras a restaurar ascendería aproximadamente a la suma de \$ 7.845.576.-

c) Puente sobre el Ferrocarril Nuevo Central Argentino - Ex Mitre.

Aproximadamente a 1.700 m. aguas arriba de la sección actual de la cascada, se encuentra el Puente del Ex Ferrocarril Mitre que conduce a Buenos Aires. Su longitud es de 50 m y su costo de reposición se estima en \$ 1.250.000.-

d) Terraplenes de defensa de la localidad de Villa Gobernador Galvez.

Inmediatamente aguas arriba de los puentes emplazados en la Avda. de Circunvalación, comienzan los terraplenes de defensa contra inundaciones del Arroyo Saladillo de la Ciudad de Villa Gobernador Galvez sobre margen derecha.

Esta obra, actualmente en ejecución, supone un costo por metro de terraplén compactado de 856 \$/m.

3.1.4.2. Pronóstico de retroceso de la cascada.

Un pronóstico implica la utilización de información y metodologías de evaluación que exceden a los alcances del presente informe. Sin embargo es posible analizar lo sucedido en los últimos años y a partir de ello, arribar a conclusiones.

Durante muchos años la cascada se desplazaba lentamente o prácticamente no lo hacía.

Actualmente se encuentra a 600 metros del puente 'Molino Blanco', siendo los valores de retroceso aproximados de las tres últimas crecidas los siguientes:

AÑO	RETROCESO (m)
1.986	110
1.988	80
1.994	70

Esto pone de manifiesto el aumento verificado en la magnitud y frecuencia de las crecidas del arroyo.

Por otro lado la naturaleza irregular y veloz del fenómeno de erosión retrogradante descrito, junto con la ocurrencia repentina y los daños que causa, muestra claramente la necesidad de actuar en corto plazo para interrumpirlo.

Si se considera que en el período de 1986-1994 el retroceso ha sido del orden de los 480 metros, el valor medio sería del orden de los 70 metros anuales, por lo tanto, es dable esperar que la cascada alcance el primer puente (Molino Blanco) entre los próximos 7 a 8 años, a partir de la fecha actual.

Por otro lado el proyecto ejecutivo que se dispone actualmente es considerado válido por los proyectistas, sólo hasta que la distancia que separa a la cascada del primer puente no sea menor de 500 metros. En el caso que la cascada se encuentre a una distancia menor será necesario redefinir el

proyecto, lo cual se considera probable sólo hasta una distancia de separación mínima Cascada -
Puente del orden de los 200 metros. Como es obvio, en esta situación, la obra deberá tener una
seguridad aún mayor (Mayor Recurrencia de Proyecto) lo que implica un monto de obra superior.

3.2. PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES CASILDA Y FUENTES.

3.2.1 Memoria Descriptiva

Este subproyecto involucra dos localidades que presentan específicamente problemas de anegamiento urbano -Casilda y Fuentes- razón por la cual no se desarrolla sobre un área geográficamente continua.

La ciudad de Casilda es atravesada por el Arroyo Candelaria el cual es afluente directo del arroyo Saladillo (Plano N° 2).

La subcuenca del Arroyo Candelaria aguas arriba de la Progresiva Km 0,00 posee un superficie de 540 km² con una pendiente en cuenca de 0,50-0,70 m/km; esto abarca el Bajo Sanford cuyos desbordes en épocas de abundantes precipitaciones alcanzan el cauce del Arroyo Candelaria.

Es posible observar además, que existe una subcuenca (90 km²) con una gran pendiente superficial, (1-3 m/km) ubicada inmediatamente aguas arriba de la Ciudad y que aporta por margen izquierda al arroyo. Sus caudales pico para distintas recurrencias son similares a los de la subcuenca del Arroyo Candelaria hasta el punto analizado, por darse un fenómeno de superposición de hidrogramas.

En tanto que la localidad de Fuentes sufre el anegamiento periódico de los sectores Norte y Sureste como consecuencia de obras de desagüe insuficientes (escasa capacidad de conducción de los canales y secciones de alcantarillado deficiente) y del aporte de la escorrentía de sectores rurales lindantes.

A continuación se realiza una somera descripción de la infraestructura vial:

IDENTIFICACION	CARACTERISTICAS	LONGITUD
Ruta Nac. No. 33	pavimentada	10 Km.
Ruta Prov. No. 92	pavimentada	8 Km.
Ruta Prov. No. 17-S	pavimentada	5 Km.
Ruta Prov. No. 26	de tierra	3 Km.
Ex FCGB Mitre	1 trocha	10 Km.

3.2.2. Memoria Técnica

3.2.2.1. Problemática Específica.

En relación al punto, resulta conveniente analizar el Plano N° 2 donde se resalta la infraestructura ferroviaria, la red hidrográfica actual, el asentamiento de las poblaciones y división política.

Para describir la situación de anegamiento es necesario discretizar la problemática por localidad:

Casilda: el arroyo Candelaria, tributario principal del arroyo Saladillo, cruza la localidad de Casilda de oeste a este en su extremo sur, de allí que su valle de inundación se desarrolla en ese tramo en una zona plenamente urbanizada. El crecimiento de la planta urbana generó la ocupación de sectores propios del arroyo en situaciones de crecidas. Por otro lado por la ubicación misma de la localidad, todo el sector urbano es receptor natural del escurrimiento que desde sectores rurales vuelcan sus excesos al mencionado arroyo. Este efecto se potencia por el sector norte de la localidad donde las pendientes de escurrimiento superan los 3 m/Km.

El tramo del arroyo bajo análisis presenta una longitud de 8,6 km. En la parte media e inferior de dicho tramo existe una buena sección para el escurrimiento, producto de las canalizaciones efectuadas, que determina un umbral de anegamientos a partir de los 50 años de recurrencia. Sin

embargo, en la parte superior, la sección insuficiente de las obras de arte y del canal actual, determinan problemáticas de anegamiento a partir de crecidas de 5 años de recurrencia.

En este tramo el Arroyo discurre casi paralelo a la Ruta Nacional 33. En el punto de intersección de esta Ruta con el Arroyo, ubicado aguas arriba de la ciudad, existen problemas de cortes de la ruta. Hace pocos años se realizaron obras de ampliación de alcantarillas, pero las mismas no funcionan adecuadamente debido al mal funcionamiento del tramo del canal.

Fuentes: la localidad sufre periódicos anegamientos producto de la escorrenría de sectores rurales superiores, que sumado a la red de caminos comunales produce un aceleramiento y concentración de excedentes hídricos hacia la planta urbana. Es necesaria la adecuación de la red de canales existentes y del sistema de alcantarillas.

En síntesis:

- * Las localidades de Casilda y Fuentes padecen problemas de anegamiento.
- * Se produce el corte de la Ruta Nacional 33 a la altura de la ciudad de Casilda.
- * Se produce el corte del empalme de las Rutas Nac. No. 33 y Prov. No. 92 en la ciudad de Casilda.

3.2.2.2. Objetivos Específicos de las Obras.

- * Evitar inundaciones en áreas urbanas y suburbanas.
- * Mejorar la transitabilidad de la Ruta Nacional 33.
- * Garantizar el acceso a Ruta Provincial N° 92 desde Ruta Nacional N° 33, ciudad de Casilda.
- * Disminuir parcialmente los tiempos y áreas de anegamiento en las zonas rurales adyacentes.

3.2.2.3. Identificación de obras

Las obras que componen el subproyecto son las siguientes:

- a. Protección contra inundaciones Casilda.
- b. Protección contra inundaciones Fuentes.

Para la elaboración del presente Informe Técnico Final se ha tomado como base el desarrollo técnico alcanzado en el Informe Preliminar, complementado con estudios y relevamientos de campo así como también estudios e ingeniería de gabinete, obteniendo como resultado un desarrollo o nivel de prefactibilidad.

3.2.2.4. Nivel de los estudios e información básica existente

La cartografía básica utilizada consta de fotografías aéreas escalas 1:20.000 y 1:50.000, cartas topográficas IGM escalas 1:50.000, 1:100.000 y 1:250.000, imágenes satelitales escalas 1:250.000 y 1:500.000, mapas de suelos de la Provincia de Santa Fe escala 1:500.000, como así también estudios de dinámica hídrica superficial de la cuenca.

En relación a los estudios básicos necesarios, a saber:

TOPOGRAFICOS
HIDROLÓGICOS
GEOTECNICOS
SÓCIO-ECONOMICOS

1000032

Los estudios topográficos se han identificado para cada obra como existentes o faltantes para alcanzar el nivel de proyecto ejecutivo a la fecha, en este sentido, se deben completar los correspondientes a la obra a y realizar todos para la obra b.

Los estudios hidrológicos son parciales en tanto que los geotécnicos deben llevarse a cabo en su totalidad.

Finalmente, con relación a los estudios socioeconómicos, se aclara que los existentes son los elaborados en el informe preliminar del presente Plan de ordenamiento hídrico por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (UNL), razón por la cual deben profundizarse puesto que se hallan a nivel de prefactibilidad.

Las etapas de diseño, cómputos de obra discretizado por ítems, y el presupuesto de obra, han sido elaborados con un desarrollo condicionado por el nivel de estudios básicos alcanzado.

Consecuentemente, el nivel de avance resulta ser:

PREFACTIBILIDAD TECNICA

3.2.2.5. Criterios generales de proyecto

Las recurrencias de proyecto adoptadas están asociadas a eventos lluviosos de los últimos treinta años, es decir, con un período de maximización estadística compatible con la vida útil de las obras planteadas. En el Anexo Especifico se han incorporado las curvas Intensidad-Duración-Recurrencia en uso (Gráfico N° 5).

Recurrencias en áreas urbanas: es de 10 años para la localidad de Fuentes y de 50 para la ciudad de Casilda, debido a que en cada obra los valores se corresponden con el tipo de zona donde se produce el anegamiento, es decir, infraestructura y densidad poblacional en riesgo (urbana o suburbana), tipo y magnitud de obras proyectadas, posibilidades de mantenimiento, etc.

Recurrencias de obras hidráulicas viales o ferroviarias: variables entre 5 y 50 años puesto que en cada obra proyectada los valores de recurrencia se corresponden con el tipo de obra diseñada, es decir, infraestructura de obra en riesgo (alcantarilla tubo o puente pretensado), jerarquía tanto del arroyo como de la vía de comunicación sobre la que se encuentra, posibilidades de mantenimiento, tipo de daño que evitan, etc.

En síntesis:

OBRA	RECURRENCIA (años)
Urbana	10 - 50
Vial	5 - 50

La definición de las trazas de obras se llevó a cabo respetando básicamente la dinámica del escurrimiento superficial, no habiéndose incorporado trasvasamiento de excedentes hídricos de un área a otra.

En algunas obras de excavación menores se utilizaron las cunetas de los caminos como traza de obra. Esto se realizó solo en aquellas situaciones en las que el daño a producir a las explotaciones agropecuarias -al dividir las en dos por la ejecución de la obra- así lo aconsejaba y siempre que el alejamiento del bajo natural no fuera significativo.

Por su parte, las secciones transversales de excavación empleadas para el diseño de las obras se adoptaron de acuerdo a los Planos Tipos que, a manera de ejemplo, se adjuntan en el Anexo General. El primero de ellos refleja el diseño que se emplea en el reacondicionamiento de cauces naturales y de canales de la red troncal. El segundo plano, muestra el tipo de sección y las

dimensiones utilizadas en obras menores en cuanto a su magnitud tales como canales interceptores o colectores. Asimismo, en dicho Anexo se presentan los planos tipo de alcantarillas y puentes que se emplearon para el Cómputo y Presupuesto de las Obras, que son los que normalmente están en uso en la D.P.O.H.

Se destaca que durante la etapa de evaluación de alternativas de diseño se lleva a cabo una **verificación hidráulica** mediante la cual se analiza, en forma conjunta, el cumplimiento de los objetivos planteados en las obras y la modificación que la misma introduce en sectores ubicados aguas abajo.

A modo de ejemplo de la metodología empleada se presentan los resultados obtenidos en un proyecto tipo de reacondicionamiento de un colector, adjuntó al Anexo General.

Dados los objetivos del presente informe, no se ha incluido la **metodología constructiva** de las obras involucradas. Sin embargo al solo efecto de caracterizarlas se incluye la descripción de los principales tipos e ítems de obra intervinientes.

Además se indican a continuación los criterios básicos contemplados.

- * las metodologías constructivas tienen en cuenta el equipamiento compatible con el tipo de obras propuestas que está disponible en la región
- * se contempla la posibilidad de ejecución por tramos o etapas
- * en los proyectos que así se indique las obras deberán estar sujetas a la ejecución de otros proyectos, respetando el criterio básico de ejecución desde aguas abajo hacia aguas arriba.

Excavación de canales: la tarea consiste en ejecutar una excavación de manera de llevar la sección transversal a las dimensiones dadas en los proyectos. Esto implica en la mayoría de los casos propuestos profundizar o ampliar secciones de canales existentes o cauces naturales, para lo cual se replantea la sección de proyecto, perfilándola y se van modificando los anchos de solera y boca, y la profundidad del canal. En el caso de canales nuevos se excava a sección llena.

Las hipótesis de trabajo consideradas son:

- Tanto en canales nuevos (a sección llena) como en los reacondicionamientos, el suelo proveniente de la excavación, se coloca al costado del canal, conformando en un solo ciclo la tarea de excavación y descarga, manteniendo el camino de servicio (banquina), y produciendo cortes en los montículos como mínimo cada 200 m. para asegurar el ingreso al canal de los aporte laterales (espaciamientos).
- En los casos que existan montículos y éstos queden en la zona de excavación, previamente se procede a retirar los mismos considerando corrimiento de montículos acorde a lo indicado en el Plano Tipo No. 1, adjunto en el Anexo General, para reacondicionamiento de canal existente. Se usa la misma máquina excavadora o se recurre a un equipo topador.
- Cuando se trate de obras de canalización menores, de trazas paralelas a carminos y sea factible o necesario, desde el punto de vista hidráulico, el terraplenamiento de la calzada, se procede al desparramo de los montículos acorde al Plano Tipo de Perfil Transversal de Canales No. 2, adjunto al Anexo General.
- El movimiento de las excavadoras es paralelo a la traza de obra siendo el desplazamiento longitudinal del equipo excavador variable con el tipo de obra y condiciones del lugar de trabajo (suelo saturado o no saturado, zona alta o de cañada). Los rendimientos que se obtienen dependen además de las características técnicas de las máquinas (capacidad del balde, alcance de los brazos).
- La excavación puede efectuarse desde una o desde ambas márgenes, dependiendo ello de la sección actual y de proyecto como así también del equipo considerado.
- Puede también en el caso de tratarse de canales de escaso ancho de boca, trabajarse "de frente" o encaballando la excavadora sobre la traza a reacondicionar.

- En el caso de canales de escaso corte o poco profundos, pueden utilizarse equipos no convencionales como motopalas, palas de arrastre con tractor, topadoras, etc., siempre que las napas superficiales permitan su desplazamiento.

- Los equipos de excavación más utilizados en la Provincia son:

- * dragalina tipo Bucyrus de accionar mecánico.
- * dragalina tipo KL o PPM de accionar combinado: mecánico-aire o mecánico-hidráulico.
- * retroexcavadora sobre orugas o neumáticas.
- * motopala
- * pala de arrastre
- * topador
- * motoniveladora
- * zanjadora
- * tractor con retroexcavadora

Obras de arte: se transcriben a continuación algunos criterios establecidos para la ejecución de alcantarillas, submuraciones, protecciones y puente con fundación mediante pilotes a manera de ejemplo. Los Planos Tipo se presentan en el Anexo General.

Durante la etapa de ejecución de estas obras se debe garantizar la transitabilidad del camino o vía férrea de que se trate, salvo en aquellos casos que, expresamente se establezca.

a) Alcantarillas de hormigón armado.

Para la ejecución de estas obras de arte se respetan, básicamente, las reglas del buen arte y las recomendaciones en la ejecución de hormigón armado realizadas por las Normas CIRSOC 201.

Se utiliza, en la mayor parte de los casos un cemento de alta resistencia a los sulfatos (A.R.S.)

La ejecución de las alcantarillas comenzará una vez que se haya alcanzado la sección de proyecto sobre el canal, en la progresiva de ubicación de las mismas. Los tiempos de ejecución de las alcantarillas y canales se prevén de manera que la finalización sea conjunta a los fines que el sistema de drenaje quede funcionando, una vez concluidas las obras sobre los canales. En aquellos casos en que el cronograma de obras lo permite, se ejecutan las obras de arte en forma previa a la excavación del canal. En caso de ejecutarse la obra de excavación previo a la obra de arte, se debe garantizar el libre escurrimiento del agua, sin poner en riesgo la estructura existente.

La cota de fundación se alcanza mediante la combinación de excavación mecánica y manual. Se deben prever sistemas de drenajes alternativos (bombeo, desvío, ejecución de tajamar, etc.) con el objeto de poder ejecutar las fundaciones y posteriormente alcanzar una altura tal, que el agua que circule no afecte las obras en ejecución.

La elaboración del hormigón puede realizarse al pie de obra o en el obrador y transportarlo mediante camiones tipo Mixer.

b) Ampliación y/o submuración de alcantarillas.

Previo a la ampliación, se realizarán las demoliciones de los muros de ala del extremo donde se ejecutarán las obras.

Para las obras de ampliación en hormigón armado se propone la misma metodología constructiva descrita para la ejecución de alcantarillas.

En los casos de ampliación o en los que se modifican en más de 0,50 m las profundidades de los canales, de manera tal de poner en peligro la fundaciones existentes, las mismas se submurarán.

La tarea de submuración consiste en dividir la fundación en un número determinado de tramos. Posteriormente se excavan en forma manual por tramos intermedios a una profundidad que es función de la modificación de la cota de solera proyectada.

Se tienen en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Apuntalamiento de la alcantarilla por debilitamiento temporario de su superficie de fundación.
- Drenaje de la zona de trabajo.

Una vez ejecutada la excavación, se procede a llenar la sección con hormigón Tipo "E", verificando el llenado y compactación hasta alcanzar la cota de fundación originaria.

Una vez que el hormigón colocado haya adquirido una resistencia adecuada, se repiten las tareas en los otros tramos en que fue subdividida la fundación.

c) Protección de la solera de alcantarillas.

En los casos que la cota de solera del canal proyectado sea inferior a la de alcantarillas existentes en valores que, a criterio del proyectista no se pone en riesgo la estructura, no se realiza submuración, sino una protección de la solera con un manto de colchonetas apoyadas sobre geotextil, colocación de losetas o mediante suelo cemento.

Cuando la diferencia entre la cota de proyecto del canal y la de solera de la obra de arte existente sea < 0.20 m, no se realiza protección.

3.2.2.6. Diseño y cómputo de obras

a. Protección contra inundaciones Casilda

a.1. Obras de canalización:

Longitud: 2,5 km
Recurrencia de diseño: 50 años
Base de fondo: 4 m.
Pendiente de fondo: 1.37 m/Km.
Tirante de diseño: 3.80 m.
Caudal de diseño: 130 m³/s.
Volumen de excavación: 40.000 m³

a.2. Obras de arte:

- Se prevé una adecuación de sección de paso existente mediante aliviador consistente en una alcantarilla Tipo A2 recta (L=4 m; H=5,5 m; AC=9 m).
- Construcción de 4 alcantarillas Tipo A2 rectas (L=4x5 m; H=variable; AC=9 m). A tales efectos deben demolerse estructuras preexistentes totalizando 190 m³.
- Ruta Nac. No. 33, se prevé la adecuación de la sección de paso mediante aliviador consistente en una alcantarilla Tipo A2 recta (L=2x5 m; H=6 m.; AC=13 m.).
- Ejecución de protecciones de fondo y taludes con colchonetas en las seis obras mencionadas, totalizando 1.400 m².

a.3. Obras complementarias:

- Construcción de 17.000 m de alambrados.

b. Protección contra inundaciones Fuentes

b.1. Obras de canalización: mejoramiento del actual sistema de drenajes.

Longitud: 2 km
Recurrencia de diseño: 10 años
Base de fondo: 2 m.
Pendiente de fondo: 1 m/Km.

Taludes (z): 1

Volumen de excavación: 8.000 m³

b.2. Obras de arte:

- Caminos comunales: se prevé la construcción de 10 alcantarillas constituidas por 2 hileras de tubos de H°A° de Diam=1 m.

b.3. Obras complementarias:

- Construcción de 4.000 m de alambrados.

3.2.3. Presupuesto de las obras.

Se han elaborado presupuestos discriminados por obras y por subproyectos, los cuales se han volcado en los Cuadros adjuntos.

El monto a que asciende el subproyecto es: \$ 868.067.-

3.2.4. Impacto de las Obras.

Las obras proyectadas tienden a evitar daños asociados a los anegamientos en áreas urbanas y rurales aledañas.

A los efectos de evaluar económicamente las obras propuestas como solución se estimaron afectaciones por anegamiento en cada área urbana problema para la situación actual y con proyecto de obras. Dicha información fue entregada al equipo de trabajo responsable de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral.

El diseño de las obras de la alternativa seleccionada se efectuó para recurrencias variables entre 5 y 50 años para las obras de arte ferroviarias.

El impacto de las obras en las áreas urbanas fue evaluada sobre la base de información de cada planta urbana acorde a lo expresado precedentemente (ver Punto 2.2.2.1. Anegamientos urbanos). En una primera etapa se trabajó sobre información secundaria y, posteriormente, se verificó y amplió la misma a través de entrevistas de profundidad que implicaron la visita a cada una de las localidades afectadas.

A partir de la misma se evaluaron tres tipos de curvas de afectación, a los fines de caracterizar y cuantificar los daños en situación actual en una **localidad testigo: Casilda**, a saber:

- * Superficie afectada y tipo de afectaciones por anegamiento - recurrencia
- * Altura media - recurrencia
- * Permanencia - recurrencia

Estas curvas se determinaron a través de la estimación de tres pares de valores de las variables mencionadas, los que se muestran en el Cuadro N° 2 y en el Plano N° 4.

Para la localidad de Fuentes, se estimaron las afectaciones para la situación actual más frecuente que evidencie daños. Los resultados fueron volcados en el Cuadro No. 1.

En los casos de anegamientos urbanos, se diseñaron las obras para recurrencias variables entre 10 y 50 años, considerándose que, para las mismas se controlan totalmente los daños.

4 ANTECEDENTES CONSULTADOS

4.1. Archivo de la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas

- Proyecto Ejecutivo Tramo I Arroyo Saladillo. Universidad Nacional de Rosario-C.F.I. Santa Fe. 1993-1994.
- Reacondicionamiento Canal Arroyo Candelaria. 1988.
- Reacondicionamiento Canal Interceptor Norte Casilda. 1993.
- Análisis de Alternativas de Proyecto Sistema Sanford-Arequito, Dpto. Caseros. 1992-1993.

4.2. Evaluación técnica, económica, ambiental y urbana a nivel de prefactibilidad del programa de obras propuesto por la Provincia de Santa Fe en la Cuenca del Arroyo Saladillo. Informe Preliminar e Informe Complementario. D.P.O.H. (M.O.SP. y V. Sta. Fe)-F.I.C.H.(UNL) . Marzo -Abril de 1995

4.3. Problemática Hídrica General y Obras Hidráulicas y Viales de la Provincia de Santa Fe. D.P.O.H. - Mayo de 1995

4.4. Problemática Hídrica de los Sistemas Interiores y Obras Hidráulicas de la Provincia de Santa Fe. D.P.O.H. - Mayo de 1995

4.5. Descripción de los aspectos relevantes de la problemática de anegamientos de la Provincia de Santa Fe. Ing. Silvina Tomei . Marzo de 1994

4.6. Estudio Hidrológico de la cuenca del Arroyo Saladillo, Zona Sur. Pcia. de Santa Fe. Ings. Morín Juan, Berli Edgardo, Ferreira Carlos. 1989.

4.7. Estudio hidrológico de una cuenca agrícola con problemas de manejo y ocupación urbana del valle de inundación, Cuenca del A° Saladillo. Pcia. de Santa Fe. Ings. Morín Juan, Ferreira Carlos. 1989.