

OBRA:

**“COLECTOR PRINCIPAL LLERENA –
CUENCA ALDAO – 1ra. ETAPA”.**

OBRA:

“COLECTOR PRINCIPAL LLERENA – CUENCA ALDAO – 1ra. ETAPA”.

MEMORIA DESCRIPTIVA

DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS

En esta primera etapa la presente obra consistirá en la ejecución de un conducto troncal rectangular de 2.70 m x 1.20 m, de HºAº ejecutado in situ de simple y doble vano. Con un primer tramo que se desarrolla en el sector refulado desde la descarga, en la Laguna Setúbal, hasta el Paseo Peatonal de la Costanera Playa Grande de doble vano fundado con pilotes de 5 ml de profundidad, un segundo tramo también de dos vanos cuyo desarrollo se efectúa desde dicho paseo, cruza la Avda. Almte. Brown y prosigue por calle Llerena hasta la intersección con calle Vélez Sarsfield, y un tercer tramo de un solo vano que atraviesa los terrenos del Ferrocarril Gral. Belgrano corre en forma paralela a las vías hasta llegar a Avda. Gral. Paz donde se conecta mediante una cámara de empalme, ubicada del lado oeste de la Avda., al conducto existente doble de Dº 1,00 m.

Se realizarán obras complementarias como es la colocación de caños de HºAº de Dº 0.60 m. , que serán el nexo entre las captaciones a construir y el conducto principal. Además se ejecutarán Bocas de tormenta, Bocas de registro, Troneras de acceso al conducto para futura limpieza y mantenimiento.

Se incluye además la ejecución de una cámara de bombeo entre progresivas 68,30 y 84,90 mts., con la finalidad de evitar el ingreso, mediante la maniobra de compuertas tipo clapeta, de agua de la laguna al conducto en épocas de crecida y que obstaculizaría la normal evacuación de los caudales a desaguar

Se reconstruirán además las condiciones originales de la calzada previas a la ejecución del conducto de HºAº, como así también todas las obras de arte que

estén ubicadas en sectores afectados a esta obra.

Para una segunda etapa se prevé la ejecución del segundo vano inconcluso desde calle Vélez Sarsfield hasta Av. Gral Paz (según los lineamientos estipulados en el Plan Director) y el equipamiento electromecánico faltante en la cámara de bombeo mencionada consistente en la provisión y colocación de las bombas necesarias para la evacuación de los caudales de diseño.

No obstante lo antes mencionado, el conducto de un solo vano tiene la capacidad de drenaje suficiente para descargar el sistema actual de escurrimiento (ver Planilla de Caudales)

OBRA:

“COLECTOR PRINCIPAL LLERENA – CUENCA ALDAO – 1ra. ETAPA”.

INFORME HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO

**PLAN DIRECTOR DE DESAGÜES
PLUVIALES**

I – INTRODUCCIÓN

II – UBICACIÓN GEOGRÁFICA

III – ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN ANTECEDENTE

IV – DINÁMICA HÍDRICA SUPERFICIAL

1- Definición de Areas de Aportes

2- Características Generales

3- Esquema de Funcionamiento Actual

4- Problemática Hídrica Superficial Observada

V – INFORMACIÓN BÁSICA

1- Pluviometría y Pluviografía

2- Niveles Hidrométricos

3- Topografía

VI – HIDROLOGÍA DE PROYECTO

1- Introducción

2- Recurrencia de Diseño

3- Tormenta de Proyecto

3.1- Duración

3.2- Distribución Areal y Temporal

4- Modelación Matemática

4.1- Modelo ARHYMO

4.2- Modelo MOUSE

4.3- Implementación del Modelo

4.3.1- Presentación de Resultados

4.4- Contraste Metodológico. Verificación Hidrológica

4.5- Consideraciones Finales

VII – DISEÑO DE LAS OBRAS DE CONDUCCIÓN – CONDUCTOS Y CANALIZACIONES

1- Diseño Hidráulico

1.1- Consideraciones sobre el diseño de las soleras de los Conductos y/o Canalizaciones

2- Definición de Trazas

3- Captaciones

4- Cordones Cuneta

VIII – DISEÑO ESTRUCTURAL

1- Dimensionamiento

2- Cámaras de Registro

I - INTRODUCCIÓN

En el marco del cumplimiento del convenio entre la Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe y el Instituto Nacional del Agua y del Ambiente (ex INCYTH) se desarrolla el presente Plan Director de Desagües Pluviales de la ciudad de Santa Fe.

El objeto del Plan Director de Desagües Pluviales de la Ciudad de Santa Fe es el de desarrollar en los términos contractuales relevamientos, estudios y proyectos de obras de drenaje de los excedentes hídricos pluviales ocurridos en el área de estudio (Ejido urbano de la ciudad) de aproximadamente 8.000 Has.

El desarrollo de los estudios que componen el Plan se hace bajo una concepción "integral", es decir adecuándose estrictamente a un enfoque de tipo sistémico, considerando a la Ciudad como un Macro Sistema de elevada complejidad en el que interactúan aspectos físicos naturales de la región, en la que está implantada la ciudad, y un conjunto de subsistemas contrastados entre sí como lo son los que corresponden a la infraestructura de servicios públicos tales como los sistemas de desagües pluviales existentes, de cloacas, agua potable, telefonía, energía eléctrica, etc. y por otro los que corresponden a la vida humana en la ciudad que tienen que ver con las actividades económicas, recreativas, sociales, deportivas, etc.

En conclusión se intenta que el proyecto de las obras de drenaje se desarrollen dentro de un marco de Planificación del Crecimiento Urbanístico de la ciudad. Por ejemplo se mantienen estos considerandos en la resolución de descargas finales de desagües pluviales en áreas de asentamientos poblacionales periurbanos, o en la necesidad de reglamentar o normalizar dicho crecimiento de modo de aumentar o preservar los espacios verdes en zonas de la ciudad altamente urbanizadas.

Bajo estos preceptos y considerando aspectos ambientales el Proyecto se

transformará en realidad en un conjunto de obras que corresponden a un SANEAMIENTO HIDRICO URBANO, considerando no sólo los excedentes hídricos ocurridos en la zona del ejido urbano propiamente dicho sino también los provenientes de zonas rurales (P. E. zona Norte de la ciudad).

En los criterios de diseño, se toman en cuenta varios elementos que tienen que ver con el crecimiento demográfico y ocupacional del distrito Santa Fe (p. e. en la definición de porcentajes de áreas permeables e impermeables), tomando como base una Proyección tentativa de 50 años.

Para la realización de los proyectos de las obras se efectúan una serie de estudios relacionados a la topocartografía, hidrología e hidráulica. Por ejemplo y dado que no existe una adecuada y/o completa información de las redes de desagües existentes (planos), se realizan, entre otras tareas de campo, relevamientos planialtimétricos exhaustivos de los conductos existentes, esquina por esquina. Esta información es procesada, analizada y volcada sistemáticamente a archivos bajo soporte computacional (Planos en Autocad).

Las áreas bajas aledañas a los cursos de agua, delineadas por el escurrimiento, son parte de los cursos: toda ocupación que se realice en estas áreas originará posteriormente la adopción de medidas compensatorias onerosas. La preservación de estas áreas de inundación natural es invariablemente la solución más barata para los problemas de inundación. Adicionalmente ofrece otras ventajas colaterales dentro del espacio urbano como creación de áreas verdes, oportunidades de recreación, preservación de los ecosistemas, etc.

La solución de los problemas debe involucrar la adopción de medidas estructurales y no estructurales : las medidas estructurales implican la alteración del medio físico a través de obras de conducción y regulación. Las medidas no estructurales presuponen una convivencia razonable de la población con los problemas.

La adopción de criterios para controlar la generación del escurrimiento por parte de algunos municipios debe ser avalado también por los organismos provinciales y nacionales competentes.

Un Plan de Drenaje por si solo no asegura una solución permanente a todos los problemas del drenaje. Muchas veces se observa que luego de su formulación los planes directores caen en el olvido. Para evitarlo es preciso que desde la Administración Municipal se elaboren los reglamentos y ordenanzas que impongan su aplicación. También es necesario considerar un proceso de fiscalización permanente, de revisión y eventual adaptación periódica.

Para los estudios hidrológicos - hidráulicos de las cuencas hídricas que componen la ciudad se desarrolló un modelo matemático. En este modelo se esquematiza la red de colectores existentes y las corridas realizadas para dicha red en las cuatro primeras cuencas, demostraron claramente las insuficiencias de capacidad de drenaje de los sistemas actuales. Ya sea a nivel de conductos principales y secundarios como a las obras de captación.

Mediante el estudio hidrológico de las distintas cuencas hídricas de la ciudad, se seleccionó una tormenta de diseño asociada a una recurrencia razonable definida contractualmente por el municipio para este tipo de obras de desagüe. Para ello se realizó un análisis racional de los parámetros de diseño, especialmente hidrológicos, que definen el grado de protección de las obras.

La cuestión ambiental es otro principio rector en el desarrollo del Proyecto, y con acuerdo de la Municipalidad de la ciudad de Santa Fe, los criterios de menor impacto ambiental tienen fundamental peso en la definición de las trazas y dimensiones de las obras proyectadas.

Por otro lado y tomando como ejemplo las cuencas urbanas que descargan al Sistema Oeste de Canales interconectados y Estaciones de

bombeo de la ciudad, existen otras limitantes de tipo hidrodinámicas como la propia capacidad de descarga final de este sistema hacia los bañados del Río Salado.

Con todo lo dicho hasta aquí este Plan/Proyecto, conforma respecto a la solución final de los anegamientos de origen pluvial que ocurren en la ciudad, un muy importante "salto" o "escalón" que es necesario y/o conveniente desde un punto de vista técnico-económico "lograrlo" o "pisarlo", dadas las reales capacidades de inversión y/o endeudamiento que tiene y tendrá el Municipio por varios años y las particularidades del cambio climático global.

La existencia del Plan Director de drenaje urbano establece líneas principales de acción y posibilita:

- * Estudiar toda la cuenca hidrográfica y, consecuentemente, llegar a soluciones de mayor alcance en el espacio y en el tiempo.
- * Establecer normas y criterios de proyecto uniformes para toda la cuenca.
- * Identificar áreas a ser preservadas o adquiridas por el poder público antes que sean ocupadas y que sus precios las tornen prohibitivas.
- * Establecer un escalonamiento temporal en la implantación de las medidas necesarias de acuerdo a los roles previstos y a los recursos disponibles.
- * Posibilitar el desarrollo urbano de forma armónica por la articulación del Plan de Drenaje con otros existentes en la región (planes Vial, de Desarrollo Industrial, de Transporte Público, de Servicios Básicos, etc.).
- * Esclarecer a la comunidad en relación al origen y magnitud de los problemas del drenaje urbano y a las formas propuestas para su solución.
- * Dar respaldo técnico a la acción política de tramitación de recursos
- * Privilegiar la adopción de medidas preventivas de menor costo y mayor alcance temporal.

II - UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ciudad de Santa Fe, capital de la Provincia de Santa Fe, está ubicada en el Departamento La Capital, República Argentina, a 60º 42' Longitud Oeste y 31º 38' Latitud Sur. Está situada a la ribera de la confluencia de la desembocadura de los sistemas fluviales del Río Salado y del sistema Setúbal (Río Paraná).

La zona de estudio comprende la totalidad de la ciudad propiamente dicha. Limitada al Norte por límite del distrito Santa Fe, al Oeste por el sistema fluvial del Río Salado, y al Sur y al Este por el sistema fluvial Setúbal.

El propósito de drenar los excedentes de origen pluvial se enfrenta desde un punto de vista físico e hidráulico con una problemática caracterizada por el relieve plano de la ciudad, las periódicas crecidas de los ríos Salado y Paraná y las aguas provenientes de sectores rurales (Norte de la ciudad).

La ciudad presenta zonas de alta densidad poblacional, sectores de baja urbanización y zonas o sectores no urbanizados (Norte y Noroeste).

III - ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN ANTECEDENTE

Con el objeto de disponer de la información antecedente relacionada a los desagües pluviales existentes, servicios públicos (agua, cloacas, telefonía, gas, energía eléctrica, etc) el municipio cedió al Instituto dentro del marco del convenio toda la información que existe tanto en el mismo municipio como en las reparticiones o empresas que corresponden a cada servicio.

El objeto del análisis de la misma se basa por un lado en disponer de la mejor y más actualizada información de los desagües pluviales existentes de modo de conformar una base de conocimientos y datos que se relacionan directamente a la calidad final del diseño de las obras proyectadas. Por otro de conocer al mayor nivel de detalle trazas y dimensiones de todos los servicios públicos (agua, cloacas, telefonía, energía eléctrica, etc) para poder analizar y definir la magnitud de las interferencias en las redes de desagües pluviales de modo de darle a las obras proyectadas una real factibilidad de construcción considerando que se trata en algunos casos de zonas de la ciudad altamente urbanizadas.

IV - DINAMICA HIDRICA SUPERFICIAL

1 - Definición de Areas de Aporte

El análisis de la dinámica hídrica superficial contribuye al conocimiento de un aspecto de la problemática hídrica superficial, cuya comprensión orienta y define los criterios básicos del planteo metodológico para el estudio cuali-cuantitativo de los sistemas hídricos, como así también establecer criterios y pautas de manejo y utilización.

Especialmente se plantean las modalidades de interrelación entre los diferentes componentes de disipación energética en términos hídricos, de acuerdo a sus relaciones espaciales y temporales que conforman la unidad de funcionamiento. Es decir establece un diagnóstico que resulta de la interrelación de los factores relevantes que conforman el espacio físico-geográfico que define la actual dinámica hídrica superficial.

Desde el punto de vista metodológico para este caso es conveniente trabajar con dos niveles de percepción, el primero las fotografías aéreas que contribuyen con el análisis estereoscópico a la identificación de procesos y mecanismos de interrelación a nivel de unidad y el segundo el que corresponde a las tareas de relevamientos de campo.

La llanura, que posee entre otras características una dinámica hídrica compleja, tiene la particularidad de que la inducción de pequeños efectos provocan en el modelado distorsiones o impactos importantes. El área objeto del presente análisis presenta todas características de las zonas llanas, por ello el segundo nivel ha tenido mayor relevancia y constituyó la parte sustancial del presente estudio.

2 - Características Generales

El área estudiada es un espacio geográfico, que desde el punto de vista topográfico es una llanura y desde la óptica de su dinámica implica una

compleja estructura funcional, sometida a patrones evolutivos tan importantes como lo son el Sistema Salado y el Sistema Setúbal.

Para entender su comportamiento, esto es, desde el punto de vista hídrico, se debe interpretar a partir de un nivel evolutivo y éste además, con un alto grado de inducción de origen antrópico. En definitiva es un típico sistema híbrido, es decir la yuxtaposición del sistema natural y artificial.

Al sistema natural, en grandes rasgos, se lo puede dividir en tres subáreas: Este, Central y Oeste. La zona Este es relativamente alta, de suelos bien drenados e influenciada por la dinámica del Sistema Paraná.

La zona Central es un espacio conformado por relictos fluviales, actualmente expresados por bajos de significativa dimensión. Anteriormente existía en esta zona una organización espacial de cuerpos de agua en dirección NO - SE. Observados sus tamaños a través de la interpretación de fotos aéreas, se considera que podrían haber sido posicionamientos del río Salado, Aguiar o similar. En el presente están muy enmascarados por lo que habría que recurrir a estudios específicos de detalle y a antecedentes más acabados sobre el tema para definir sus características.

Lo importante para los objetivos del presente estudio es que en una situación consecuente esta subárea disipaba el flujo superficial en su mayor proporción, con la vegetación natural, por lo que estos bajos actuaban como área de almacenamiento generando en su mayoría cuencas centrípetas con desbordes laminares en la dirección mencionada.

La Zona Oeste es en general relativamente más alta que la anterior, conformada por el albardón (muy tenue) del Río Salado, con la presencia de otro componente que es el valle fluvial, hoy inactivo y ocupado territorialmente.

A medida que se va desarrollando la ocupación poblacional, se produce en primera medida el desmonte y luego una actividad intensiva que provoca

compactación de suelo, sumándose a esto prácticas de labranza caracterizadas por la aplicación de herbicidas, pesticidas y otras clases de productos químicos que disminuyen el nivel de materia orgánica del suelo y por lo tanto se reduce la capacidad de retención de agua. Todas estas prácticas, desde el punto de vista dinámico generan un mayor escurrimiento directo o excesos hídricos en superficie. Actualmente el sistema de drenaje natural de esta zona se encuentra en un estado de transición hacia una situación más desfavorable respecto a la preservación de un perfil hidrológico de suelo bien drenado, ya que si bien predomina la actividad hortícola y ladrillera, el asentamiento urbano es muy importante con una proyección de crecimiento más relevante aún.

Esto genera un esquema de dinámica hídrica superficial geometrizado y funcionando según un sistema de ejes cartesianos, x e y de sentidos encontrados y sumado a ello la característica plana del relieve provoca una baja eficiencia con un funcionamiento actual que obedece a un sistema artificial (cunetas, canales, zanjones, etc), manteniéndose en algunos casos la condición centrípeta de algunos bajos naturales.

3 - Esquema de Funcionamiento Actual

En la actualidad, la estructura específica de escurrimiento, se la puede subdividir en dos subáreas, donde las vías del ferrocarril conforman prácticamente la divisoria física del sistema de desagües excedentes pluviales tanto hacia la laguna Setúbal como hacia el Río Salado. Se identifican entonces las siguientes áreas:

AREA ESTE: superficie tributaria a la Setúbal y

AREA OESTE: superficie tributaria al Salado.

Existe un tercer componente a tener en cuenta que son las "cuencas centrípetas", es decir áreas que no tienen salida a alguno de los sistemas

citados sino que son cuencas cerradas y que por lo general aportan a bajos naturales o son contenidas, en general por el terraplén de las vías del FFCC.

4 - Problemática Hídrica Superficial Observada

Con el desarrollo de las tareas de campo para la definición de las líneas eje de escurrimiento y de la dinámica hídrica superficial actualizada en el Sector Norte se han podido identificar, con la ayuda de información antecedente cedida por la Secretaría de Asuntos Hídricos, aspectos deficientes del comportamiento hidrológico - hidráulico de los sistemas de desagüe actuales o simplemente la inexistencia de ellos, e identificar los problemas de anegamientos transitorios importantes en las cuencas de referencia.

Se identifican y/o describen algunas zonas o lugares con problemas de anegamiento de diversa magnitud observados, que podrían ser de utilidad en la definición de las prioridades del estudio dentro del marco del presente proyecto:

Cuenca ALDAO

- * Pedro de Vega y FFCC
- * Mitre y FFCC (Sur)
- * Alberti y FFCC (Sur)
- * FFCC y Sarmiento (Sur)
- * Necochea entre Lavaisse y FFCC (Sur)
- * M. Candiotti y FFCC (Sur)
- * Alvear y FFCC (Norte)
- * Rivadavia desde Llerena hasta FFCC
- * Mitre e/Aldao y A. Casanello
- * Mitre y Hernandarias
- * Castelli e/Mitre y Lavalle
- * Hernandarias y Lavalle
- * Av. Galicia y Las Heras

Luego de la primer etapa en el relevamiento y posterior definición de las

líneas - eje de escurrimiento de toda el área de estudio se realizó, y así se continuará en el resto de las cuencas, una demarcación de las mismas mucho más detallada y exhaustiva en cada una de las cuencas mencionadas con el objeto de contemplar la dinámica hídrica superficial ante distintas situaciones o eventos. En muchos casos dicho relevamiento se realizó en el preciso momento de la lluvia por tratarse de áreas muy planas y en donde el escurrimiento por calles puede ser deflectado hasta por pequeños obstáculos o más aún por comportamientos diferenciales en uno y otro caso o situación.

De modo que luego de realizar el relevamiento detallado de todas las cuencas mencionadas se procedió a ajustar los límites de las mismas resultando aquellas que se observan en el Plano correspondiente.

V - INFORMACIÓN BÁSICA

1 - Pluviometría y Pluviografía

Para realizar los estudios hidrológicos en cuencas urbanas de pequeñas o medianas dimensiones se necesita disponer de una caracterización estadística de las precipitaciones con períodos de corta duración.

Dado que los datos básicos para estos estudios son los registros pluviográficos y no se disponen de series confiables de la ciudad de Santa Fe, se trabajó con información de Paraná (Entre Ríos), en función de haberse demostrado una alta correlación en las series pluviométricas de ambas ciudades. Los resultados se presentan en el cuadro siguiente (A. y EE, 1991):

Precipitaciones Máximas Anuales

Serie Paraná (INTA)						Serie Santa Fe				
R	Días					Días				
(años)	1	2	3	4	7	1	2	3	4	7
2	88	106	117	124	148	84	102	113	120	139
5	123	150	165	173	206	114	145	156	166	195
10	147	179	196	205	245	134	173	185	197	232
25	176	216	236	247	294	160	208	222	236	278
50	198	243	266	277	330	178	235	249	265	313

Se dispuso también, de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (I-D-F) calculadas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) con información existente desde 1964 proveniente de su Estación Agropecuaria Experimental de Paraná. En la próxima página se adjunta copia de la misma.

Además, pudieron contrastarse las curvas I-D-F de ésta estación con la de otras localidades, comprobándose que, para la recurrencia de diseño a adoptar, no existen en general variaciones de gran magnitud. Se adjunta copia de las mismas a continuación.

En fecha más reciente, el Dpto. de Hidrología de la Dirección Provincial de Hidráulica de Entre Ríos, confeccionó también curvas I-D-F para su ciudad capital, aplicando la distribución estadística de extremos de Gumbel a series anuales de valores de intensidades máximas precipitadas en distintos intervalos de tiempo .

Dado que estas últimas curvas involucran series pluviográficas de mayor extensión (1964 a 1989) y, siendo, además, frecuente también su uso por personal de la Municipalidad de Santa Fe, las mismas fueron adoptadas para el proyecto de las redes de drenaje de esta ciudad. Se adjunta copia de las mismas a continuación.

2 - Niveles Hidrométricos

La Ciudad de Santa Fe se ve periódicamente afectada por las crecidas de los Ríos Salado (Oeste de la ciudad) y por las fluctuaciones de las crecidas extraordinarias del sistema Paraná. Estos efectos perjudiciales se ven multiplicados cuando ocurren simultáneamente excedentes pluviales importantes junto a las crecidas.

Esto implica, no sólo que las aguas de lluvia no puedan escurrir naturalmente hacia el río, sino que se produzcan entradas de agua del río hacia la ciudad por los conductos de desagüe, inundando las zonas de influencia.

El presente proyecto no contempla el diseño de estaciones de bombeo pero se deben considerar para los distintos sectores de descarga de las cuencas

urbanas las condiciones hidrométricas de descarga ya que obviamente fijan los niveles base de los drenajes urbanos.

3 - Topocartografía

Con el fin de disponer de un plano temático base para la definición posterior de las cuencas o áreas de aporte en todo el Distrito, se utilizó, a pedido de la Municipalidad, un plano base catastral digitalizado, cedido por la Secretaría de Planeamiento de la Municipalidad de Santa Fe. El mismo fue actualizado y completado en el sector Norte mediante la digitalización de la base cartográfica que contiene infraestructura tal como caminos, cunetas, cuerpos de agua, etc., de forma tal de definir posteriormente la dinámica hídrica superficial de la Ciudad a partir de un plano homogéneo respecto a la cantidad y calidad de la información básica y temática . La superficie de estudio es de aproximadamente 8.000 has tal como se mencionara anteriormente, y luego se fue completando con otra información temática útil como cotas de esquinas y curvas de nivel.

Esta información planialtimétrica se obtuvo de cartas catastrales y de toda otra información proveniente de los proyectos sectoriales desarrollados hasta el día de la fecha y que fuera suministrada por el Municipio.

Finalmente se volcaron a este plano, los detalles planialtimétricos de todas las obras de desagües pluviales existentes y proyectados por la Municipalidad para el año 1996 y 1997, cedidos por la Secretaría de Asuntos Hídricos. Se agregaron además datos de proyectos de obras de desagües realizados por la Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de la Provincia de Santa Fe.

Como ya se mencionara, en los Archivos bajo AUTOCAD existentes, se conformó un único archivo con información actualizada respecto a elementos básicos que componen una ciudad.

A continuación fueron volcados al Plano todas las cotas IGM

correspondientes a esquinas, provenientes de las planchetas Esc. 1:5.000 y las curvas de nivel, conformando el Plano N° A.1.1.

Para realizar las tareas de campo con el fin de definir la dinámica hídrica (líneas de escurrimiento, badenes, etc.) urbanas y periurbanas, se volcó al plano original la red de desagües pluviales existentes, incluyendo los correspondientes diámetros, obteniéndose como resultado un Plano en Esc. 1:10.000 actualizado que fue dividido en tres sectores : Norte, Centro y Sur.

En los planos de desagües entregados por el Municipio no están demarcadas las bocas de tormenta, cámaras de registro, etc.. Esto implicó la necesidad de realizar su levantamiento en campo para posteriormente volcarlas en soporte computacional completando el plano base en Esc. 1:2.500.

Se destaca además que las correcciones realizadas y/o ajustes en el plano base original por sectores se refieren también a errores de tipo planialtimétricos , como por ejemplo un amanzanamiento irreal respecto al trazado de calles.

Con las fotografías aéreas Esc. 1:5.000 del año 1992 se realizó un FOTOMOSAICO semicontrolado con el fin de realizar la dinámica hídrica superficial en las zonas periurbanas y/o rurales de influencia directa (escurrimientos que ingresan al éjido urbano especialmente en las zonas Norte y Noroeste).

Con fotografías aéreas Esc. 1:10.000 se conformaron los pares para la identificación y caracterización hidrológica de las áreas en las zonas urbana y periurbana, información necesaria en el proceso de simulación de los escurrimientos superficiales de excedentes pluviales.

Esta tarea se ha desarrollado por toda la ciudad y se realizó en forma similar pero en otra escala y/o detalle para cada cuenca proyectada hasta el momento. Se conforma un fotomosaico para cada cuenca en Esc. 1:2.600 y a través de él se obtiene información planimétrica de las calles para el posterior

diseño de las obras . Se determinan manzana por manzana los porcentajes de áreas impermeables (edificios, pavimentos, casas, etc.) y las permeables (plazas, patios, etc.).

Esta información es directamente utilizada para definir los parámetros hidrológicos para la modelación matemática. Su determinación conforma una tarea clave ya que se debe realizar con mucho criterio y cuidado y atendiendo además al futuro crecimiento o modificación de las mismas áreas por efecto del crecimiento urbano

.
A partir de los estudios y/o relevamientos topográficos cedidos por el municipio, se procedió a realizar la verificación en campo de las cotas de referencia o puntos fijos utilizados por el municipio en el estudio y proyecto de las obras de desagües pluviales que realiza. Luego, con dicha información topográfica se procedió a la verificación y posterior volcado a plano Esc. 1:5.000, intensificando los ajustes en las curvas de nivel de toda la ciudad, en especial en la zona Norte de la ciudad, área plana con ligera pendiente general de Oeste a Este y con escaso grado de urbanización.

Se realizó una nivelación geométrica de control con el fin de disponer de una red de puntos fijos de cota conocida, materializadas en la calle con pintura de color rojo, cuyas cotas fueron y serán permanentemente relacionadas a las cotas de proyecto y obra cedidas por el municipio para cada área o cuenca. Por ejemplo se realizaron varias relaciones entre las cotas (IGM) de I.N.C. y T.H. y aquellas correspondientes al sistema de alcantarillas del sistema de canales y estaciones de bombeo del sector Oeste. Del mismo modo se hará con el resto de las cuencas a medida que se avance con las mismas.

La tarea topográfica continúa metodológicamente con el relevamiento de detalle y posterior procesamiento de la información planialtimétrica de las calles en donde existen obras de desagües pluviales.

Se relevaron, además todos aquellos elementos considerados de importancia para el estudio: conductos, cámaras de inspección, bocas o

cámaras de captación etc. y de cada uno de ellos, sus diámetros, cotas de fondo, dimensionamientos etc.

Luego de definidas hidrológicamente las trazas o calles colectoras proyectadas y constatadas las interferencias con la traza de los principales servicios públicos se procedió a realizar la tercer etapa de relevamiento de detalle específico para el desarrollo del Proyecto Ejecutivo de las obras prediseñadas.

El relevamiento de detalle consistió en la realización de perfiles transversales. Para la realización de cada perfil se tomaron cinco (5) puntos :

- Línea de edificación
- Cordón cuneta
- Eje de calle (o vía de F.F.C.C.)
- Cordón cuneta
- Línea de edificación

Con los perfiles transversales se efectuó el trazado de perfiles longitudinales, cuyo origen de progresiva en cada sector se ubica en la desembocadura.

Toda la información planimétrica de obras existentes y de calles colectoras procesadas fue procesada y depurada y posteriormente volcada a los planos correspondientes bajo soporte computacional AUTOCAD.

VI - HIDROLOGÍA DE PROYECTO

1- Introducción

El objetivo de los estudios hidrológicos es la obtención de caudales máximos e hidrogramas que brinden información adecuada para el diseño hidráulico de canales, conductos, reservorios y obras complementarias.

Debido a que los distintos tramos de cálculo de las conducciones no presentan registros de caudales, para obtener uno de diseño a través de la extrapolación de éstos, se requirió la metodología de obtener el caudal de diseño a través de la modelación matemática de la cuenca con una lluvia o tormenta de proyecto.

2 - Recurrencia de Diseño

Al diseñar obras de drenaje se debe contemplar, por un lado, los daños probables a las propiedades, el riesgo a la salubridad y los inconvenientes a la población y, por el otro, el costo del sistema propuesto. Dado que una evaluación precisa de este tipo de afectación es dificultosa e insume una mayor cantidad de tiempo, se utilizaron como guía los resultados obtenidos en proyectos de diferentes ciudades, y las recurrencias recomendadas por distintos autores y aplicadas en otros proyectos (Referencias bibliográficas).

De acuerdo con Davis, H. : "Handbook of Applied Hydraulics" los rangos de recurrencia más comúnmente utilizados en las oficinas de ingeniería de los Estados Unidos son las siguientes : desagües de tormenta en áreas residenciales, entre 2 y 5 años, en áreas comerciales y de alto valor, entre 5 y 10 años, para protección de crecidas, 50 años o más.

Se consideraron también los siguientes antecedentes de obras proyectadas en el país :

* Estudio y Proyecto Integral del Sistema de Desagües Pluviales
Municipalidad de Lomas de Zamora, Prov. de Buenos Aires (ODISA - ETI);

se utilizó una recurrencia de 2 años.

* Proyecto del Sistema de Desagües Pluviales en la ciudad de Formosa (CFI - ADE INTERCONSULT, 1984) el proyecto se desarrolló utilizando una lluvia de diseño de 2 años de recurrencia.

* Estudio y Proyecto Desagües Pluviales. Municipalidad de Concepción del Uruguay, Entre Ríos (Agua y Energía Eléctrica, 1986); se utilizó una lluvia de diseño de 2 años de recurrencia.

* Estudio y Proyecto de Saneamiento urbano. Municipalidad de Pehuajó, Pcia. de Buenos Aires (Agua y Energía Eléctrica, 1989); se utilizó una tormenta de 2 años de recurrencia.

* Proyecto ejecutivo Obras de Reconstrucción Av. 7 Jefes de la ciudad de Santa Fe, obras de drenaje urbano (INCOCIF S.R.L. - SUB.C.E. Santa Fe - Bco. Mundial, 1993); se utilizó una lluvia de diseño con 2 años de recurrencia.

Teniendo presente los antecedentes bibliográficos y de proyectos mencionados, y de acuerdo a lo solicitado por la Dirección de Ingeniería de la Secretaria de Asuntos Hídricos de la Municipalidad de Santa Fe se adoptó para las cuencas hasta aquí proyectadas, una recurrencia de 2 años.

3 - Tormenta de Proyecto

Para el análisis de las diferentes tormentas se consideraron las curvas I-D-F de la ciudad de Paraná, de acuerdo con lo expuesto en el Capítulo V del presente informe

Estas curvas pueden ser ajustadas mediante ecuaciones de la forma :

$$I \{ \text{mm} / \text{hora} \} = a / \{ d(\text{min}) + b \}^c$$

Si bien esta es una información muy importante para la asignación de recurrencias a intensidades máximas de diferentes intervalos de tiempo, nada se indica respecto a la distribución temporal y espacial de las tormentas.

Esta situación lleva a la necesidad de adoptar tormentas sintéticas para lo cual la bibliografía proporciona diferentes metodologías basadas generalmente en el ajuste a datos medidos de distintas zonas (método de Huff, método de Chicago, etc.).

Debe quedar claro que las tormentas reales que se producen, si bien tendrán formas "parecidas" a la tormenta sintética, presentarán intensidades máximas en cada intervalo considerado cuya probabilidad y recurrencia no es uniforme mientras que la tormenta sintética es una "síntesis estadística" que tiene la misma recurrencia para todas sus duraciones. A las tormentas reales se les puede asignar diferentes recurrencias según las duraciones consideradas.

3.1 - Duración

El criterio adoptado para la duración de la tormenta del proyecto es considerar aquello que produzca la situación más desfavorable en la sección de control hidrológico de cada subcuenca. En general, esta se produce cuando toda la superficie de la misma aporta su escorrentía a la sección de cálculo; es decir, cuando la duración de la precipitación excede al tiempo de concentración del área de estudio.

Para la ciudad de Santa Fe, en donde las superficies de las diferentes cuencas urbanas rara vez exceden las 300 has., se ha adoptado una duración de la lluvia de dos horas.

3.2 - Distribución Areal y Temporal

Los eventos lluviosos ocurridos en una cuenca, debido a muchos factores, varían a lo largo y ancho de la misma. Esta variación tiene importancia cuanto más grande sea la cuenca y los desniveles comienzan a ser importantes.

Debido a que en el presente estudio, la ciudad se ha dividido en distintas subcuencas y éstas no poseen un desarrollo significativo se considera que la variación espacial de las precipitaciones es despreciable. No obstante, en aquellos casos particulares en que las superficies sean de mayor importancia (zonas rurales del Norte de la ciudad), para contemplar el efecto del decrecimiento de la precipitación media sobre un área en función del tamaño de ésta se empleará el método de Wallingford.

Este considera que el porcentaje de abatimiento areal ARF se obtiene según la expresión :

$$ARF = 1 - F_1 * t^{-F_2}$$

donde : ARF : factor de reducción areal.

 t : duración de la precipitación, en horas.

F_1 y F_2 : funciones del área considerada; en este caso :

$$F_1 = 0,0394 * A^{0,354}$$

$$F_2 = 0,4 - 0,0208 * (4,6 - \ln A); A < 25 \text{ km}^2.$$

$$F_2 = 0,4 - 0,003832 * (4,6 - \ln A)^2; A \geq 25 \text{ km}^2.$$

 A = área sobre la que se produce el abatimiento, en km^2 .

Para realizar la distribución temporal de las precipitaciones de diseño fue adoptado el método de Chicago, que es uno de los más difundidos y se basa en preservar, para cada intervalo de tiempo, la intensidad máxima proporcionada por las curvas I-D-F.

El paso de tiempo seleccionado es de 5 minutos. En realidad, cuando se estudian áreas muy pequeñas ($t_c < 10 \text{ min}$) lo deseable sería trabajar con pasos de tiempo menores, 1 o 2 minutos, pero, generalmente, los registros disponibles no permiten analizar con precisión este intervalo de tiempo. Aún

más, los registros pluviográficos en tambor de rotación diaria pueden resultar imprecisos para determinar la precipitación en 5 min cuando las lluvias son de gran intensidad.

Dado que la posición de la intensidad máxima de la precipitación con respecto al inicio de la tormenta es otro factor importante se ha adoptado, en función de estudios realizados por este Instituto (ref. bibliográfica Nº 11), un valor medio del índice de posición del pico (r) de 0,30. O sea :

$$r = t_p / t = 0,30.$$

donde :

t_p = tiempo que transcurre entre el inicio de la tormenta y el momento en que se produce la máxima intensidad.

t = duración total de la tormenta.

Este valor de r adoptado, que permite centrar el pico del hietograma en el primer tercio, guarda similitud también con aquellos dados por la bibliografía y empleados en el diseño de la tormenta de proyecto para otras ciudades del mundo, tales como :

- Chicago : 0,375 (Keifer y Chu, 1975).
- Cincinatti : 0,325 (Preul y Papadakis, 1973).
- Gauhati (India) : 0,40 (Bandyopadhyay, 1972).

Con todas estas consideraciones se aplicó el modelo Chicmet que contiene las formulaciones básicas del método de Chicago para las recurrencias solicitadas (2 y 5 años). Los resultados se muestran en la Tabla Nº 5 y en las Figuras Nº 1 y 2 del ANEXO I

.

Con el objeto de completar el desarrollo del tema de referencia se agregan algunas consideraciones :

* Dentro del marco del cumplimiento de cláusulas contractuales el municipio definió a través de notario de la Dirección de Ingeniería de la Secretaría de Asuntos Hídricos que las curvas Intensidad - Duración -

Recurrencia a ser utilizados sean las correspondientes a los confeccionados por el Departamento de Hidrología de Obras Hidráulicas e Hidrología de la provincia de Entre Ríos (R. A.).

*** Luego y como ya se mencionara, a través de la Nota del día 06/10/1997 de la mencionada Dirección se definieron las recurrencias de diseño para las distintas cuencas, ellas son :**

T = 5 años para las cuencas PESPA, CRUZR y LAGO.

T = 2 años para las restantes.

*** En aquellas cuencas donde se utiliza T = 2 años se hace la verificación para T = 5 años (cálculo de caudales) y en los restantes directamente se desarrolla el estudio hasta Proyecto Ejecutivo para T = 5 años.**

4 - Modelación Matemática

Como refuerzo metodológico para la evaluación de volúmenes escurridos en tiempo y espacio en las áreas bajo estudio ante la ocurrencia de un evento lluvioso, se modelaron las cuencas a través de 2 modelos, a saber : ARHYMO y MOUSE.

Estos modelos, en función de desarrollos matemáticos y/o semiempíricos, simulan el comportamiento y la respuesta de la cuenca bajo el ingreso al área de una lluvia real y/o ficticia (de proyecto) dando como resultado caudales de aporte de la o las áreas consideradas.

Básicamente consisten en las siguientes etapas :

a) Evaluación de pérdidas de precipitación mediante distintos parámetros (abstracción inicial, almacenamiento por depresiones, infiltración, etc.). El input (ingreso) es un hietograma de tormenta (observado, para simulación y calibración) y/o generado (de diseño), y el output (salida) es una

distribución de la precipitación efectiva.

b) Transformación de precipitación efectiva en escurrimiento, el cual da la respuesta de la cuenca a la precipitación efectiva. Conociendo la función impulso de respuesta de la cuenca o el hidrograma unitario instantáneo (H.U.I.) el flujo de salida puede ser determinado por convolución de la distribución de la precipitación efectiva con el H.U.I.. Esta transformación también puede efectuarse con los métodos "tiempo - área" (líneas isocronas) o "reservorio no lineal".

c) Traslado de esos escurrimientos a lo largo de los canales o conducciones, con la adición de hidrogramas concurrentes en las distintas cuencas. Estos traslados pueden realizarse por los siguientes métodos : tiempo de traslado variable, onda cinemática u onda dinámica.

Tanto este modelo como el Mouse fueron elegidos básicamente porque es aconsejable para obtener un buen resultado por parte del modelista, utilizar aquellas herramientas matemáticas que se tenga mayor experiencia en su uso. Es por esta razón que se utilizaron los modelos mencionados.

4.1 - Modelo ARHYMO. Descripción

***Fundamentación Teórica.**

Este modelo se lo puede clasificar como :

Lineal : porque en todos los fenómenos hidrológicos que simula hace uso de la propiedad de proporcionalidad y de superposición de los procesos lineales.

Parámetro concentrado : trata a una cuenca o subcuenca como unidad y en consecuencia los parámetros que la caracterizan no varían de un punto a otro (representado por valores medios).

Considera Eventos Aislados : no posee la capacidad de recuperar la

infiltración de una tormenta a otra.

Invariabilidad en el tiempo : durante el tiempo de simulación, los parámetros que intervienen en el proceso no varían.

De Caja Negra o Empírica : realiza la transformación lluvia caudal sin haber una correlación con la física, además los cálculos intermedios no son presentados.

***Cálculo de la Precipitación Efectiva**

El modelo considera la participación en la formación de la respuesta (hidrograma de salida) de dos áreas, una permeable y la otra impermeable. La precipitación efectiva en las áreas permeables es calculada a través de la metodología del U. S. Soil Conservation Service. Para las cuencas en estudio se calcula con la formulación propuesta por el modelo aplicando para cada subcuenca el valor estimado del parámetro CN (obtenidos de tablas ampliamente conocidas).

La tasa de infiltración dependerá de la condición de humedad del suelo y de sus características. La capacidad de infiltración inicial depende de la condición de humedad antecedente, en tanto el suelo se torne más y más saturado, ella disminuirá.

Cuando la capacidad de precipitación supere la capacidad de infiltración, el exceso de lluvia ingresará en las depresiones hasta llenarlas y desde ese momento el modelo empieza a calcular escurrimiento, en el intervalo de tiempo siguiente la respectiva intensidad de precipitación será comparada con la nueva capacidad de infiltración, y así sucesivamente.

El espacio impermeabilizado de la cuenca, puede ser dividido en una parte directamente conectada al sistema de drenaje y otra que no lo está. Estas en el proyecto actual, fueron medidas a través de un estudio sobre las

fotografías aéreas, midiendo en cada una de las subcuencas su área impermeable y calculando el respectivo porcentaje.

Las porciones impermeables no directamente conectadas circulan por las áreas permeables antes de alcanzar el sistema de drenaje.

Es usual considerar que, excepto por las pérdidas iniciales debidas a salpicadura y almacenamiento en depresiones, la lluvia en áreas impermeables se transformará en caudal en forma completa. En consecuencia aquí habrá contribución al escurrimiento aún si las tormentas son pequeñas.

La distribución de precipitación efectiva para la zona impermeable directamente conectada es obtenida después de deducir el almacenamiento por depresiones.

***Cálculo de Hidrogramas**

En cuencas urbanas, el hidrograma de escurrimiento es producido por la convolución del hietograma de precipitación efectiva y el hidrograma unitario instantáneo, asimilado a un único embalse lineal.

La simulación se produce de tal manera que la precipitación efectiva producida por la porción impermeable de la cuenca es convolucionada con el hidrograma unitario instantáneo de la parte impermeable produciendo un hidrograma de escurrimiento que se suma al proveniente de la porción permeable, producido de manera similar con la precipitación efectiva caída sobre la parte permeable.

Para los parámetros necesarios para el cálculo se usó la opción de calcularlos por la formulación que posee el modelo.

***Tránsito de Hidrograma**

Se utiliza el método hidrológico basado en la ecuación de continuidad, denominada tiempo de tránsito variable.

***Esquematización del Modelo**

Para facilitar al modelista la interpretación numérica de la cuenca física, se efectúa un paso intermedio entre esta última y el modelo.

A través de un diagrama de bloque se va graficando cada una de las cuencas, indicando en que forma se van adicionando y/o efectuando el procedimiento de traslado en los distintos conductos.

A partir de esto, se facilita la ejecución del archivo a ejecutar por el modelo, conteniendo este los comandos necesarios para obtener la simulación buscada.

En este archivo, se identifican claramente cada subcuenca y tramo de los conductos existentes y/o proyectados, generando a través del programa de modelación un resultado en donde se imprime cada hidrograma de subcuenca y tramo, pudiendo de esta manera diseñar hidráulicamente (o verificar en caso de conductos existentes) el sistema de drenaje con los caudales picos obtenidos.

4.2 - . Modelo MOUSE - Descripción

El nombre "mouse" deriva de la contracción de las palabras Modelling Urban Sewer Systems. Su estructura es modular y comprende :

- Un módulo para el cálculo del escurrimiento superficial (o transformación lluvia - caudal).

- Un módulo para el cálculo del flujo en conductos cerrados y canales (propagación $Q \rightarrow Q$).
- Un módulo para análisis, manejo y control del escurrimiento a tiempo real.
- Un módulo con interfase Autocad para digitalización y presentación de resultados.

*** Cálculo del escurrimiento superficial**

La transformación lluvia - escorrentía puede hacerse mediante cinco opciones distintas :

- * Módulo de escurrimiento superficial "A" : basado en el método tiempo - área.
- * Modelo de escurrimiento superficial "B" : o modelo de reservorio no lineal.
- * Modelo de escurrimiento superficial NAM : Esta denominación proviene de la abreviación de la expresión danesa "modelo de precipitación - escorrentía".

Existen dos tipos de modelos NAM : uno, general, que permite simulara las fases completas de los procesos hidrológicos que generan tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo, y permite la simulación continua de los procesos en largos períodos de tiempo. El otro, sólo simula el escurrimiento superficial proveniente de las porciones impermeables de la cuenca y tiene en cuenta, además, el agua de infiltración que puede incorporarse a los conductos de drenaje pluvial o cloacales. Aquí también podemos distinguir dos tipos de modelos : NAM "A" y NAM "B".

*** Modelo de flujo de conductos. Consideraciones Teóricas.**

Permite la simulación unidimensional del flujo en una red de conductos superficie libre y/o presión, y combinaciones de esos estados. Son consideradas las ecuaciones de continuidad y de cantidad de movimiento, conocidas también como ecuaciones completas de Saint Venant para flujo inpermanente. En función de la selección que se haga de algunos de los términos componentes de la misma se pueden establecer tres niveles de resolución en estos módulos de propagación :

- Aproximación a la onda cinemática : En la descripción del flujo son considerados solamente las fuerzas de fricción y gravitacionales. No resuelve correctamente los problemas derivados de los efectos de remanso y de presión. Resulta apropiado para conducciones con pendientes considerables y sin remansos aguas abajo.

- Aproximación a la onda difusiva : Además de las fuerzas anteriormente mencionadas, se incluyen a las fuerzas derivadas del gradiente de presión. Permite, entonces, considerar al sistema con condiciones de borde aguas abajo y así simular efectos de remanso.

- Aproximación a la onda dinámica : Se incluyen, además de las anteriores, a las fuerzas inerciales para la resolución de las ecuaciones. Esto permite caracterizar en forma más precisa las condiciones del flujo, aún cuando existan fenómenos de presión (conductos en carga) y de remanso. La diferencia con la situación anterior es que la onda dinámica es mejor para el cálculo de los cambios rápidos en el flujo, por ejemplo, niveles hidrométricos, aguas abajo, creciendo más o menos rápidamente en el sistema.

Elementos descriptivos del modelo de flujo en conductos :

- Nodos : La red de conductos pluviales se materializa seleccionando puntos denominados nodos que se identifican por : sus coordenadas (x,y), cota de fondo y del terreno natural, y ϕ . Pueden ser nodos : bocas de registro, estructuras (se incorpora en su definición área en planta y en corte) y salidas finales o externas.

- Conductos : Su posición queda definida al asociarles dos nodos consecutivos de coordenadas conocidas. Pueden ser conducciones cerradas o abiertas, presentando secciones de escurrimiento típicas o arbitrarias.

- Funciones : Permiten describir algunos componente físicos de los sistemas de desagües (además de conducciones). Ellas son : vertederos, plantas de bombeo, dispositivos de regulación (por ejemplo : válvulas de no retorno, etc.).

- Estructuras de control : En el caso de sistemas de desagües pluviales (o de plantas de tratamientos, etc.) que operan a tiempo real pueden considerarse los

siguientes elementos :

- Compuertas rectangulares con clapeta de fondo regulables.
- Vvertederos con crestas móviles.

4.3 - . Implementación del Modelo

Para la implementación del modelo en las cuatro cuencas se obtuvieron como ya se mencionara los parámetros hidrológicos a partir de las tareas de topocartografía, es decir, porcentaje de áreas permeables e impermeables, sección y pendiente de conductos existentes, superficie de cada subcuenca de aporte, etc.

Con toda la información se procedió al armado de los modelos para la simulación de la situación actual que define la situación de las redes existentes, comprobándose de este modo las áreas con déficit de drenaje descriptos anteriormente.

Posteriormente se procedió a definir desde un punto de vista hidrológico la traza de las calles colectoras, luego se ajustó el esquema de discretización en subcuencas y se realiza las corridas definitivas para $T = 2$ y T

= 5 estableciéndose las diferencias entre los caudales de los conductos actuales, y los caudales para $T = 2$ años y $T = 5$ años.

En algunas situaciones fue necesario, para la traza de los conductos proyectadas, subdivididas y/o modificar límites de subcuencas para que la discretización obtenida se adapte al nuevo esquema y sea representado correctamente por el modelo. Esta situación se ha presentado en muy pocas oportunidades, dado que la subdivisión inicial era elevada.

4.3.1 - Presentación de Resultados

Los resultados del cálculo de los caudales de escurrimiento en la Cuenca de estudio ALDAO, se presentan en la Tabla Nro. 4.

En esta tabla se observa por tramo además de los caudales las dimensiones existentes y de proyecto. La diferencia de caudal para $T = 5$ años y $T = 2$ años indica el caudal que escurre por calle con una lluvia de recurrencia igual a 5 años.

Por otro lado en la Tabla 4.1 se observan los caudales para $T = 2$ años y $T = 5$ años y las superficies de aporte para cada subcuenca.

4.4 - Contraste Metodológico. Verificación Hidrológica

Se utilizó el ARHYMO como modelo base y se realizó el contraste metodológico en la cuenca ALDAO realizando corridas con el modelo Mouse.

Este último modelo permite la modelación hidrodinámica del flujo a través de las conducciones existentes y proyectadas. Se puede así verificar el funcionamiento de los mismos a superficie libre o a presión.

De las simulaciones realizadas en el modelo Mouse en la cuenca ALDAO en situaciones de funcionamiento a presión se pudo confirmar que las líneas

piezométricas no alcanzan el nivel del terreno natural en ninguno de los tramos verificados.

Por otro lado se realizó una comparación de los hidrogramas obtenidos con el Modelo ARHYMO en similares puntos que los presentados para las salidas del Modelo MOUSE. De toda esta comparación se puede aseverar que existe una muy buena similitud o congruencia de las principales características de los hidrogramas producidos por uno y otro modelo en los distintos puntos de la cuenca seleccionados para su contraste.

Se concluye que los resultados del cálculo de los caudales de escurrimiento son satisfactorios respecto a la metodología utilizada y a los criterios de diseño adoptados.

4.5 - Consideraciones Finales.

De acuerdo a recurrencias recomendadas por distintos autores y aplicadas en estos proyectos (referencias bibliográficas), a las características topográficas generales de la ciudad, y a cuestiones referidas a la factibilidad económica de las obras a proyectar; el Municipio definió una recurrencia de diseño de 2 y 5 años. “La recurrencia es el tiempo medio durante el cual se espera que la lluvia planteada sea igualada o superada una vez”

La duración total de la tormenta es de 2 horas y la precipitación se ha discretizado en intervalos de tiempo de 5 minutos con un pico ubicado en el primer tercio de la duración total de la lluvia, es decir a los 40 minutos de comenzada la lluvia y con una intensidad máxima para ese pico de 150 mm/hs. La lluvia así distribuida (hietog5rama) en el tiempo nos da una intensidad media para 2 años de recurrencia y duración total de 2 horas de aproximadamente 25 mm/hs y para 5 años de recurrencia de 41 mm/hs.

Se discretiza cada 5 minutos porque los tiempos de llegada del agua a las bocas de tormenta están en ese orden.

VII - DISEÑO DE LAS OBRAS DE CONDUCCION - CONDUCTOS Y CANALIZACIONES

1 - Diseño Hidráulico

Para lograr un buen diseño se efectuó un número importante de corridas con el Modelo Matemático con distintas dimensiones de los mismos.

Previamente se procedió a definir las distintas pendientes existentes en las calles, tomando las medias entre distintos puntos, haciendo consideración que todos los puntos de los perfiles longitudinales queden por encima de una recta trazada entre los quiebres más pronunciados de dicho perfil.

Tras numerosas corridas se llegó al diseño (Ver Tabla Nro. 4) que se considera adecuado; que prevé una revancha considerable de altura. Ello posibilitará una capacidad de los conductos mayor a los calculados.

La Tabla 4, muestran el resumen de los resultados de las distintas corridas con el diseño definitivo en los distintos tramos, indicando a continuación el caudal máximo logrado para cada sector.

Además como ya se mencionara se observan, la altura de los conductos (por diferencia la revancha); el ancho, el caudal de los conductos trabajando a pleno y el diámetro correspondiente.

En el caso de conductos existentes, se efectuó la verificación de su funcionamiento con la tormenta de proyecto propuesta.

Existen casos en que el caudal de diseño ($T = 2$ años) supera en un mínimo porcentaje a la suma de los caudales de los conductos existentes y/o proyectados. En estos casos se adoptó como criterio no aumentar la sección del conducto proyectado para no incidir en el presupuesto de la obra sobre la base del criterio de que el caudal que no es tomado en este tramo puede ser transferido por el cordón cuneta y captado en el tramo siguiente sin provocar

problemas de anegamiento dado su escaso volumen.

Los conductos a ejecutar, se han previsto realizar con caños circulares de hormigón armado prefabricados, debido a su menor costo en relación a las obras construidas "in situ" y a la economía en el tiempo de ejecución de los mismos.

Esto se realizará en los tramos en que se verifiquen que el caudal a transportar no exceda la capacidad de conducción de los tamaños comerciales habituales (hasta 1,20 mts de diámetro); y la tapada mínima necesaria para este tipo de estructuras.

Existen tramos donde no se verifica lo anterior, es decir los caños de hormigón armado son insuficientes en su capacidad de conducción o no puede contarse con las tapadas mínimas necesarias. En estos casos se ha previsto la ejecución de conductos rectangulares cerrados en hormigón armado.

Estos conductos rectangulares de dimensiones variables tienen como ventaja, poder diseñarse para cualquier caudal de proyecto y en ciertas condiciones (por no contar con tapada) su losa superior podrá ser utilizada como superficie de rodamiento para el tránsito vehicular.

Con respecto a la ubicación planimétrica de los conductos principales estas se definieron en función del espacio disponible en las calles colectoras proyectados.

Respecto a los parámetros hidrometeorológicos tomados en cuenta para el diseño hidráulico de las obras, el Municipio, dentro del marco del Convenio suscrito con el Instituto Nacional de Ciencias y Técnicas Hídricas, adoptó una determinada recurrencia no elevada (2 años) para fijar la tormenta de diseño. Las dimensiones de las obras que componen el Plan/Proyecto que se obtienen indican en muchos casos aumentos de hasta nueve o diez veces (900 % a 1.000 %) la capacidad de las conducciones existentes, las que además son permanente y sistemáticamente mejoradas por obras que realiza la

Municipalidad.

Además las dimensiones de las obras ocupan, en casi la totalidad de las cuencas estudiadas y proyectadas hasta aquí, todo el espacio disponible de las calles colectoras proyectadas considerando la existencia de todos los sistemas de servicios públicos (agua, cloaca, energía eléctrica, telefonía, etc.).

En el presente proyecto se ha contemplado, los materiales principales y la mano de obra que se han estimado necesarios para la ejecución de una colectora cloacal paralela al conducto pluvial, en unidad global, para los casos en que el conducto interfiera la colectora existente.

Si durante la excavación para la ejecución de los conductos se encuentran conexiones domiciliarias de cloacas, se deberá salvar dicha contingencia modificando las conexiones de manera de que las mismas sean reubicadas de manera de no interferir, en lo posible, el conducto de desagüe.

Se detallan a continuación algunas particularidades tenidas en cuenta respecto al diseño hidráulico de las soluciones hidrológicas definidas para evitar los anegamientos de origen pluvial en la cuenca de estudio y dentro del marco conceptual del plan Director:

* Cuenca ALDAO: Las particularidades mas importantes de esta cuenca de 250 has. a los efectos del presente estudio están representadas por la alta o intensa urbanización, en la que se identifica una red de drenaje existente con dos grandes bloques o subcuenca uno Norte y otro Sur, los que confluyen al colector principal sobre calle Aldao en la intersección con Av. Gral. Paz, el que descarga finalmente a la Laguna Setúbal. Tanto el bloque Norte como el Sur presentan marcadas insuficiencias de drenaje. En el sector Norte hay calles como por ejemplo Hernandarias y Mitre en las que distintas esquinas de las mismas permanecen inundadas luego de una lluvia por varias horas, a pesar que es este sector la intensidad de la red de drenaje actual es muy alta en la cual casi todas las calles tienen conductos de desagües pluviales. En el sector Sur cuyo colector principal está representado por un doble conducto circular a

un lado y otro de las vías del FF.CC. desde calle Rivadavia hasta Av. Gral. Paz, presenta importantes problemas puntuales de anegamientos ya descriptos en el presente informe. Una particularidad puntual aunque muy destacable es la existencia de una especie de bloque hidráulico luego de la confluencia (Av. Gral. Paz y Aldao) de los conductos principales existentes del sector Norte y Sur que se desarrollan en sus tramos finales por las calles A. Casanello y Güemes y por Av. Gral. Paz respectivamente.

El exhaustivo Relevamiento planialtimétrico realizado en la cuenca nos ha permitido conocer la real capacidad de drenaje del Sistema actual para afrontar los excedentes de origen pluvial para la Recurrencia de diseño adoptada. Bajo los preceptos del presente Plan Director y tomando en cuenta las capacidades e inconvenientes del sistema actual detallados en forma general más arriba, se diseñó entonces, en sector Norte un conjunto de colectores y subcolectores con un conducto principal que se desarrolla por calle J.P.López desde R. de Siria hasta el lado Oeste de las vías del FF.CC. y desde allí hasta descargar al conducto principal de calle Aldao en forma paralela a las vías. Se logra de este modo incrementar la capacidad de drenaje de todo el sector Norte, evitando el Nudo o punto particular mencionado. Siguiendo el mismo criterio de evitar puntos críticos o nudos y descomprimir el conducto principal de Aldao para aprovechar su importante capacidad de drenaje se diseñó un colector principal y subcolectores paralelo a las vías del FF.CC. por el lado Sur hasta calle Llerena y desde allí hasta desembocar en la Laguna Setúbal, completando esto con la destrucción total del conducto de conexión actual de dirección Norte-Sur sobre Av. Gral. Paz del lado Oeste. De este modo la red queda dividida en dos grandes bloques que descargan finalmente en forma independiente, obteniéndose la capacidad de drenaje total de la cuenca para la Recurrencia de diseño adoptada.

Nuevamente en esta cuenca se debería además contemplar la posibilidad de materializar medidas no estructurales como por ejemplo manteniendo o en lo posible aumentando los espacios verdes de modo que las capacidades de diseño del presente proyecto no sufran deterioros en el futuro por la deficiencia o inexistencia de una concepción de planificación racional de la

urbanización.

1.1 - Consideraciones Sobre el Diseño de las Solera de los Conductos y/o Canalizaciones .

En general las distintas subcuencas de drenaje de la ciudad presentan una muy baja pendiente topográfica.

Esta situación se agrava aún más (para el proyecto de conductos de desagüe) por las limitaciones que se presentan en las desembocaduras de los mismos reservorios o niveles hidrométricos con altas cotas de inundación prefijadas. No respetar estas cotas finales de desagüe implicaría que los conductos proyectados, en ciertos momentos, funcionen sumergidos (ahogados).

Los conductos proyectados a medida que se desarrollan hacia aguas abajo - atravesando las distintas subcuencas - incrementan su capacidad hidráulica de conducción para permitir el transporte de los distintos caudales parciales generados a lo largo de su recorrido.

Generalmente, la pendiente longitudinal está limitada, en primer lugar por su valor final (cota reservorio y/o nivel hidrométrico) y por su desarrollo aproximándose a la de la calzada actual (excepto algunas particularidades). Es por esto, que el incremento de su capacidad de conducción se logra a través de un aumento de su sección (base y/o altura).

En lo relativo a los incrementos de altura existen dos criterios para efectuar la transición :

a) Realizar un salto en la solera, manteniendo el intradós de ambas secciones con idéntica cota.

Esto permite que el conducto con una sección mayor tenga una óptima eficiencia hidráulica para el caudal que fue diseñado.

Su principal desventaja, es que este salto en la solera genera una

disminución importante de la pendiente longitudinal disponible (que de por sí es bastante escasa) generando, en consecuencia, secciones de mayores dimensiones para ese caudal de proyecto.

b) Mantener la solera de los distintos conductos sin saltos.

En este caso, una variación en la altura de los mismos implicaría considerar una zona de transición. Esta zona poseerá entonces tabiques de mayor altura que los obtenidos por el diseño hidráulico, disminuyendo dicha altura gradualmente hacia aguas arriba.

Esto permite que la losa superior del conducto, que en su mayoría es utilizada como parte de la calzada de rodamiento, no presente una discontinuidad abrupta.

El método de obtención de los caudales de proyecto considera un ingreso de los mismos en forma puntual en los diversos tramos. En la realidad, dicho ingreso se realiza por múltiples puntos (B.T) distribuidos a lo largo del mismo. Por este motivo, la sección de mayores dimensiones en el inicio del tramo, no trabajará, hidráulicamente, con el caudal del proyecto, lo que hace que en dicha zona no se presenten problemas hidráulicos (conducciones ahogadas). Además, el hecho de disponer de una zona de transición (aguas arriba del sector de cambio de sección) permitiría absorber probables perturbaciones hidráulicas que disminuyan su eficiencia.

En general, este último criterio permite obtener una economía porque las conducciones proyectadas resultan con dimensiones menores, reduciéndose de esta manera el presupuesto de la obra.

2 - Definición de Trazas.

Tal como se mencionara anteriormente se definieron en primer lugar desde el punto de vista hidrológico (pendiente y sección) las calles colectoras y un prediseño de los conductos. Esta información fue contrastada en primer

lugar con aquella que provenía de las trazas y cotas y/o tapadas de los conductos de agua potable y cloacas, telefonía, energía eléctrica, etc.. Como se mencionara anteriormente se trabajó con toda la información básica cedida por la Municipalidad dentro del marco de los términos contractuales, que para el caso de la información de servicios públicos existe un cronograma de entrega por parte del Municipio.

Esta información materializada a través de planos fue corroborada por este equipo de trabajo de modo de evitar o provocar el menor costo o la menor interferencia con las redes de servicios públicos existentes.

De todos modos como la información existente de los servicios públicos (agua, cloacas, energía eléctrica, telefonía, etc.) suministrada por los distintos organismos y/o empresas al Municipio y luego cedidas a este equipo de trabajo, por un lado no cubre el área total de la ciudad y por otro dada la naturaleza de las mencionadas redes es imposible a lo largo de su trazado verificar toda la información suministrada en los planos respectivos, por lo que se concluye que como criterio constructivo a medida que se vayan ejecutando todas y cada una de las obras proyectadas en el presente Plan Director se deben realizar en el momento del "replanteo de obra" los sondeos respectivos de las redes de servicios y materializar las modificaciones o adaptaciones que sean necesarias realizar a las obras de desagües pluviales diseñadas.

3 - Captaciones

Las captaciones son las estructuras fundamentales de un sistema de drenaje, pues de su buen funcionamiento depende la eficiencia del mismo.

Hay dos aspectos esenciales en el proyecto de captaciones o sumideros : su forma y su ubicación, ello influye en el rendimiento del sistema.

Para el presente proyecto se ha previsto la instalación de sumideros

ventana los cuales deben ser complementados con la ejecución de cordones cuneta en los lugares donde no hay, y/o practicarles una "llamada" a los existentes, para facilitar la entrada del agua.

El mismo consiste en una abertura a manera de ventana practicada en la cara vertical del cordón, generalmente deprimida con respecto a la cuneta, con una altura de la misma de 0,18 mts y longitudes variables en módulos de 1,00 mts para lograr capacidad hidráulica de acuerdo a los volúmenes a captar, que para este caso todas las cámaras son de 5 mts.

El sumidero se complementa con : un canal lateral de descarga para longitudes de los mismos mayores a 1,00 mts; una cámara de colección y una tubería de conexión con el colector principal.

En cuanto a la tubería de conexión de los sumideros con el colector principal, se proyecta la utilización de caños de hormigón armado de 600 mm de diámetro; esto de manera de compatibilizar las salidas de los sumideros con las dimensiones mínimas de los colectores principales.

En cuanto a su ubicación, existe un razonamiento fundamental y es; colocarlos donde la capacidad de drenaje superficial es insuficiente, además evitar un escurrimiento prolongado que pueda ocasionar daños en calles u otros perjuicios.

Se seleccionaron los puntos de captación tras un estudio de las líneas de escurrimiento; como regla general se ubicaron captaciones en puntos bajos o depresiones, en cierres de subcuencas de aporte y en lo posible antes de cruces de calle.

4.- Cordones Cuneta.

Es de mencionar que diseñar un proyecto de drenaje urbano sin la posterior pavimentación de las calles implicaría un riesgo ya que no se podría

asegurar la correcta captación de las aguas en los sitios previstos., así como tampoco que los volúmenes de agua sean los esperados en cada lugar.

Lo anterior nos ha llevado a decir que en las calles donde no exista ningún tipo de pavimento, se proyecta la construcción de cordones cuneta; de esa manera se elimina la movilidad de los escurrimientos y se asegura que cada tramo conduzca lo calculado.

En principio sería la pavimentación total de las calles lo que nos asegura el correcto funcionamiento del sistema, pero como una primera etapa, considerando el factor económico, se proyecta solamente la ejecución de los cordones cuneta en todo el desarrollo de los conductos principales de desagüe y sobre todas las captaciones.

Esto también nos asegura el correcto funcionamiento del sistema, aunque es de esperar un mayor arrastre de material sólido hacia los conductos, cuya solución consiste en mantener una limpieza periódica.

En los planos denominados PLANIALTIMETRIAS también se indican las calles en donde se prevé realizar cordones cuneta. No es el caso de las cuatro cuencas proyectadas hasta aquí.

VIII - DISEÑO ESTRUCTURAL

Como se manifiesta anteriormente, se ha previsto diseñar los conductos en caños circulares de hormigón armado, en los tramos que verifiquen que no exceda su capacidad hidráulica y presentan tapada mayor a la mínima. Para los demás se proyectan , conductos rectangulares de Hormigón Armado, y canales trapeciales a cielo abierto.

La traza de los conductos se desarrolla por vereda, y/o calzada.

Los conductos rectangulares de hormigón armado presentan

dimensiones variables de acuerdo a lo establecido en el diseño hidráulico, realizado el cálculo estructural de los mismos, se confeccionan las planillas con las armaduras y dobladuras de hierro por tramo, por colector y por cuenca proyectada.

1 - Dimensionamiento

Para realizar el dimensionamiento estructural de los conductos se han tenido en cuenta las siguientes cargas de cálculo :

Tapada de Suelo: De la definición planialtimétrica del conducto de desagüe y del dimensionamiento hidráulico del mismo, ha quedado definida una tapada de suelo promedio de 0.40 mtrs para las conducciones circulares.

Se ha tomado un peso específico del suelo de 1,8 t/m³. Peso de la estructura: Como predimensionamiento de la estructura se consideró un peso específico del hormigón armado de 2,4 t/m³.

Empuje de suelo: Para el cálculo se considera el método simplificado para Muros de Sosténimiento, según Terzagui y Peck; donde el valor de empuje se obtiene como

$$P_h = 1/2 k_h \cdot H^2$$
 considerando; $k_h = 1,55 \text{ t/m}^2 \cdot \text{m}$ coef. para suelo limo-arcilloso.

en donde H: máxima altura del suelo.

Sobrecarga : Para el cálculo de las estructuras para cruce de calles, se ha considerado una sobrecarga reglamentaria de la D.P.V. correspondiente a una aplanadora A-20 con un coeficiente de impacto de 1,3 y para los conductos bajo vereda se consideró una sobrecarga constituida por un vehículo liviano.

2 - Cámaras de Registro

Las cámaras de registro son, conjuntamente con las captaciones, las estructuras que complementan el buen funcionamiento de un sistema de drenaje.

La ubicación de las mismas en los conductos subterráneos ha sido

prevista en base a los criterios de colocarlas en todo quiebre del conducto , tanto altimétrico como de alineación, en cada ingreso a las conexiones de las captaciones y como máximo a una distancia de 0.50 mtrs entre cámaras.

Estos criterios obedecen a facilitar la limpieza de los mismos en caso de obstrucciones.

Se ha previsto que las dimensiones de las cámaras sean variables, función de mayor sección de conducto que llega a la misma, partiendo de una dimensión mínima de 0,1 mtr de lado.

Cuando en coincidencia con las cámaras de registro se produzca el cambio de tramo correspondiente a distintos diámetros, puede haberse previsto en el proyecto un salto, producido de la diferencia entre ambos diámetros, de manera tal de respetar la tapada mínima.