



SEMINARIO
CAMINOS RURALES
16 Y 17 DE MAYO
PALACIO DE LAS AGUAS CORRIENTES
BUENOS AIRES

HIDROLOGIA, HIDRAULICA Y DRENAJE

ORGANIZA



Asociación Argentina de Carreteras

AUSPICIA



Ministerio de Transporte
Presidencia de la Nación



INTRODUCCION

- Los investigadores G. Keller y J. Sherar de USA, avalados por el patrimonio en su país de un millón de kilómetros de caminos rurales –en su mayor parte no pavimentados-, nos sugieren que “tres de los aspectos más importantes en el diseño de caminos son: **drenaje, drenaje y drenaje**”.
- La hidrología estudia las precipitaciones pluviales, la hidráulica desarrolla la conducción del agua y el drenaje estudia lo relativo a la preservación de la infraestructura del camino en cuanto hace al manejo del agua de lluvia que accede a la zona del camino procedente de los campos linderos y la que cae sobre la calzada del camino.



INTRODUCCION

- En primer lugar se debe analizar la información hidrológica y meteorológica del área en estudio, las características del suelo, las pendientes de la cuenca, etc., para llegar a la estimación de los caudales de las cuencas generadas por el camino, luego al diseño de las obras transversales al mismo (alcantarillas, badenes, puentes) pasando antes por aspectos estadísticos para estimar la tormenta de diseño para los 25, 50 ó 100 años según la característica de la obra de drenaje transversal; al diseño de las cunetas longitudinales.
- Luego está el tratamiento topográfico y diseño de la rasante de los caminos que también incide en el factor hidráulico y en otros factores de la conservación.

RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES

■ A modo de ejemplo, comenzaremos con la descripción de los recursos hídricos superficiales de la provincia de Corrientes, deteniéndonos en una cuenca particular que es la vinculada con el Río Miriñay, cuyo caudal se determinó para ser utilizado en el proyecto de un puente en la autovía Ruta 14, sobre el que se exponen fotos en periodos de estiaje y de crecientes extraordinarias.

- Fundamentalmente las precipitaciones pluviales, asociadas al relieve superficial generan áreas denominadas cuencas, que van generando en su zona más baja zanjones, arroyos, que desembocan en ríos que finalmente son afluentes de ríos de gran caudal definitorios, en muchos casos, del nombre de la cuenca.

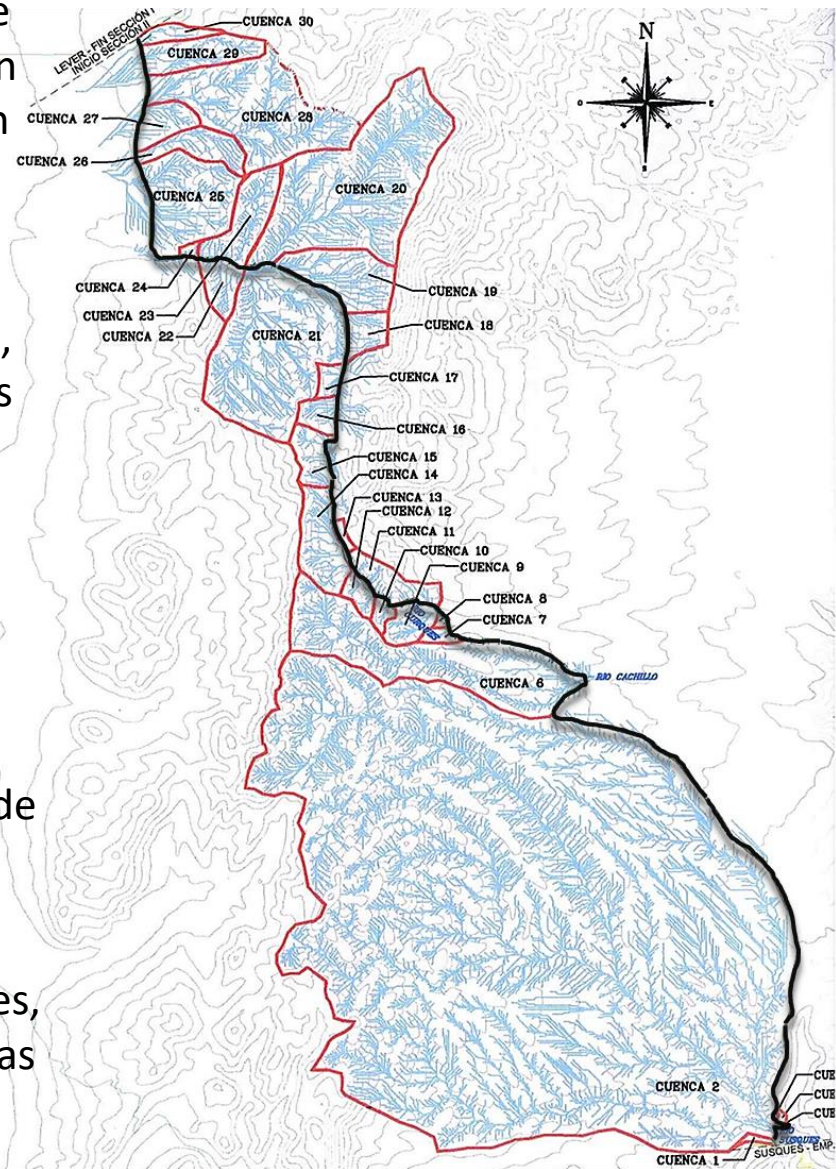


PROYECTO HIDRÁULICO DE UN CAMINO

Las tareas iniciales del proyecto de un camino concluyen con la definición de su traza. Sobre ella, representada en

trazo grueso en la lámina, desarrollamos el estudio hidráulico donde se generan 30 cuencas. Este estudio comprende determinar los caudales que inciden en la obra de cierre. Es decir, por la sola presencia del camino, si no se incorporaran alcantarillas y se diseñaran cunetas longitudinales, se produciría un embalse cuyo efecto repercutiría en inundaciones en los campos linderos.

- Se trata de un tramo de camino de unos 60km de longitud. En base a las curvas de nivel se definen las cuencas. En este caso, la de mayor superficie de aporte de agua es la 'Cuenca 2', que genera la necesidad de un puente, mientras que la magnitud de las demás requieren proyectos de alcantarillas.
- Este abordaje nos lleva a integrarnos con el camino rural y su drenaje, las obras de cunetas longitudinales, alcantarillas y badenes; la conservación de las mismas con reglas prácticas para su cometido, concluyendo con una introducción al diseño de las obras de drenaje.





Ejemplo

PUENTE SOBRE EL RIO MIRIÑAY

- Volviendo sobre el tema del Rio Miriñay, en el límite de los Departamentos Curuzú Cuatiá y Paso de los Libres, con fotos tomadas en el desarrollo de la construcción de la autovía Ruta 14 en ocasión de una creciente extraordinaria del mismo y la imposibilidad de su derrame en el Rio Uruguay, que también estaba en creciente extraordinaria.
- En la foto superior se encuentra el Rio Miriñay en periodo de estiaje. Mientras que en la foto inferior se encuentra en periodo de creciente.





PUENTE SOBRE EL RIO MIRIÑAY





DATOS QUE ILUSTRAN SOBRE EL DIMENSIONAMIENTO DE PUENTE Y ALCANTARILLAS Y LA TORMENTA DE DISEÑO

- El caudal de diseño del puente, considerando una recurrencia de 100 años, fue de $3.438 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y la velocidad del agua de $2,29 \text{ m/seg.}$, valores concordantes con la sección hidráulica diseñada; esto fue posible por la información de registros de lluvias, de caudales de ríos y estadísticas obrantes en la provincia.
- Es importante mencionar que si el agua llegara al nivel de las vigas, ocurriría el colapso de la estructura y su desmoronamiento, hecho que no ocurrió, en base al diseño fundamentado en los cálculos y proyecciones probabilísticas adoptadas.
- En cuanto a las alcantarillas diremos que el proyecto hidráulico determinó cinco cuencas de aporte con los siguientes valores de derrame máximo (DM) y capacidad de descarga (CD) de las alcantarillas proyectadas, considerando 25 años de posibilidad de la tormenta de diseño.

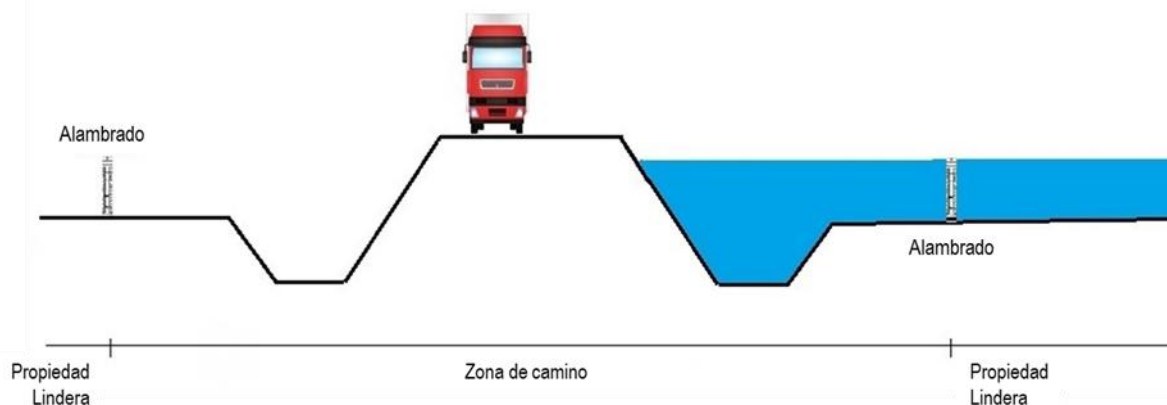
Cuenca N°	DM m^3/s	CD m^3/s	N° Alcantarillas
4	52,21	810,42	9
5	15,82	357,45	3
6	15,88	26,80	2
7	68,71	263,25	4
8	22,84	416,04	9



EL CAMINO Y EL DRENAJE

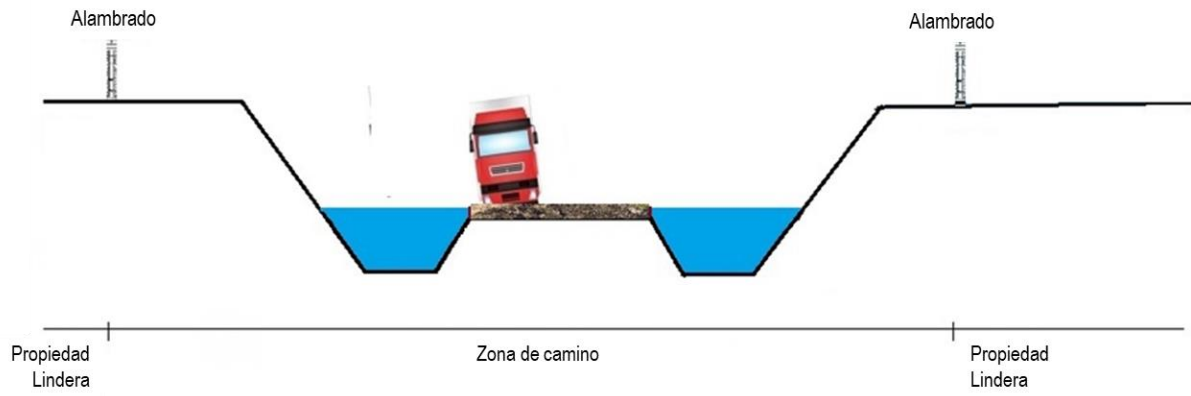
- El libre escurrimiento de las aguas de lluvia se ve alterado por la necesaria construcción del camino, que actúa en un caso como Embalse y en otro como Canal.
- En el caso de embalse genera la inundación del campo lindero como se muestra en el esquema siguiente, donde se representa que el acceso del agua de lluvia accede transversalmente de derecha a izquierda, concordante con la topografía zonal.

Efecto Embalse

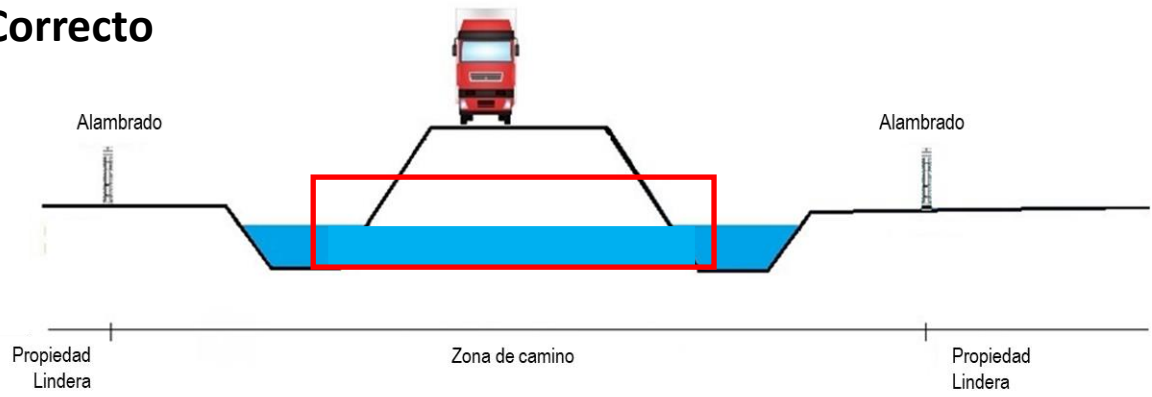


EL CAMINO Y EL DRENAJE

Efecto Canal



Camino Correcto



CUNETAS

- Las cunetas o drenes longitudinales de los caminos son zanjas longitudinales revestidas o sin revestir abiertas en el terreno, ubicadas a ambos lados o a un solo lado del camino, con el objeto de captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial, proveniente de los campos linderos y de la lluvia que cae sobre la calzada del camino.
- Que sean revestidas o no dependen de la velocidad de escurrimiento, dada por las pendientes y de las características del suelo en relación a la posibilidad de erosión.
- La forma y tamaño de la sección transversal de las mismas, vendrán determinadas por el caudal a evacuar.



Cuneta de desagüe longitudinal



ALCANTARILLAS



Alcantarilla transversal de sección múltiple

- Por definición, en nuestro país las distintas reparticiones viales adoptan por convención límites de luz entre apoyos para diferenciar entre alcantarillas y puentes. Para el caso de la Dirección de Vialidad Nacional, alcantarillas son aquellas cuya luz es menor o igual a 7 metros, mientras que para Vialidad Provincia de Buenos Aires, por ejemplo, alcantarillas son las obras de arte con luces menores a 5 metros.
- La función de estos elementos es la de evacuar el flujo superficial proveniente de cursos naturales o artificiales que interceptan el camino rural, como así también dar alivio al caudal de agua que conducen las cunetas de desagüe.
- La descarga de agua de las cunetas se efectuará por medio de alcantarillas transversales al camino, con la inclinación según la pendiente transversal del terreno natural, u otras consideraciones de diseño.
- La ubicación óptima de las alcantarillas depende de su alineamiento y pendiente, a fin de garantizar el paso libre del flujo sin que afecte su estabilidad.
- El espaciamiento de las alcantarillas vendrá definido por el estudio de las cuencas generadas y por la topografía que incide en el proyecto en general.



BADENES

- Son estructuras aptas cuando el nivel de la rasante del camino coincide con el nivel del fondo del cauce del curso natural o del fondo de la cuneta de drenaje que intercepta su alineamiento.
- El badén tiene la ventaja que permite dejar pasar flujo de sólidos que se presentan esporádicamente, y con mayor intensidad durante periodos lluviosos
- Otra ventaja, es que dada su construcción simple, puede utilizarse para la emergencia cuando no ha sido posible el emplazamiento de una alcantarilla



Badén en periodo de estiaje



CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE

- A continuación se desarrollan las tareas de mantenimiento que deberán efectuarse en cada una de las estructuras de drenaje de los caminos.

MANTENIMIENTO EN CUNETAS

- Las tareas asociadas a la conservación de las cunetas parten de una inspección exhaustiva antes y después de los periodos de lluvias, debiendo hacerse un listado de las observaciones como zonas de erosión, marcas dejadas por los escurrimientos, zonas con desbordes, daños estructurales producidos, necesidades de proyectar revestimientos en algunas zonas como así también retardadores o saltos para disminuir la erosión.



Cuneta de desagüe longitudinal

CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE

- La conservación de la alcantarilla está influenciada principalmente por la presencia de material sólido de arrastre, y por desperdicios que son arrastrados por la corriente y se suelen acumular en las cabeceras de las mismas, reduciendo la sección hidráulica y provocando inundaciones de las cunetas, erosiones que llegan a afectar la obra básica del camino y provocar lagrimones, cárcavas y hasta desmoronamientos.
- Ha de tenerse en cuenta la posible socavación a la salida de la alcantarilla, hecho que ocurre cuando la velocidad del flujo a la salida es alta. Esta patología requerirá tareas de conservación adecuada a fin de disminuir la velocidad de entrada.



Alcantarilla transversal con fuerte erosión en taludes de cabecera



Alcantarilla con alto proceso de erosión



INTRODUCCION AL DISEÑO

- El objetivo principal en el diseño hidráulico de una obra de drenaje transversal al camino es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo sólido que eventualmente transportan los cursos naturales y las cunetas, y conducirlos adecuadamente, sin causar daño al camino y a la propiedad adyacente.
- Esta introducción nos lleva a reiterar algunos conceptos y definiciones:
- **Hidrología**, es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre.
- Incluye el siguiente listado de abordaje:
 - Las precipitaciones.
 - La escorrentía.
 - La humedad del suelo.
 - La evapotranspiración
- Su aplicación está dada en la determinación de los caudales de diseño de las obras de drenaje



INTRODUCCION AL DISEÑO

- El primer factor a considerar para el citado diseño hidráulico de las obras de drenaje se refiere al tamaño de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado estará en función de:
 - Las condiciones climáticas.
 - La topografía.
 - Las condiciones fisiográficas
 - El tipo de cobertura vegetal.
 - El tipo de manejo del suelo (prácticas agrícolas).
 - La capacidad de almacenamiento.

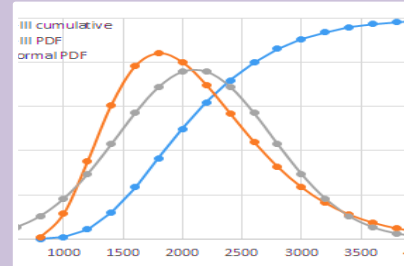
- El segundo factor radica en el estudio de campo asociado al reconocimiento y estudio de todas las cuencas y/o micro cuencas hidrográficas, cuyos cursos naturales de drenaje interceptan el camino.

- El tercer factor es poder contar con registros a lo largo del mayor tiempo con la información hidrológica y/o hidrometeorológica básica.

- Un elemento a definir en el diseño es la selección del Periodo de Retorno (T) que es el tiempo promedio en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años. Para la estimación de las frecuencias de las precipitaciones, intensidades o caudales máximos, para diferentes periodos de retorno, se aplican modelos probabilísticos con diversas funciones de distribución, como ser:

Modelos Probabilísticos

- Distribución Normal
- Log Normal 2 Parámetros
- Log Normal 3 Parámetros
- Distribución Gamma 2 Parámetros
- Distribución Gamma 3 Parámetros
- Distribución Log Pearson Tipo III
- Distribución Gumbel



- Otros de los conceptos es la determinación de la Tormenta de Diseño, que es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico.
- Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas I-D-F) son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno.



- Otro concepto es el Tiempo de Concentración, que es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.
- También, está el Hietograma de Diseño que estudia la distribución en el tiempo de las tormentas observadas; tiene a su vez una metodología denominada Método del Bloque Alterno.
- Así llegamos a la Estimación de Caudales, donde existen algunas metodologías que mencionamos a continuación:
 - Método IILA
 - Método Racional
 - Método Racional Modificado
 - Hidrograma Unitario
- Ahora bien, pasando a los hechos prácticos diremos que muchas veces se carecen de los datos necesarios para abordar la metodología con los cálculos detallados antes, datos que dependen de aportes de muchos años de observaciones, y debemos ingeniarnos entonces, recorriendo la zona de emplazamiento de la obra de drenaje, observando marcas de crecientes, consultando a los pobladores sobre los daños o marcas que hayan visualizado en el terreno (construcciones, redes eléctricas, etc.), y como el nivel del agua es horizontal, se pueden ir descartando datos erróneos de los mismos pobladores. Así llegamos a establecer la altura máxima del agua, asociada al diseño del tirante hidráulico y finalmente a establecer la sección hidráulica que debe tener la obra de drenaje a proyectar.



CONCLUSIONES

- Para diseñar adecuadamente el camino que asegure poder sacar la producción rural en tiempo y en calidad, debemos preguntarnos sobre como están evolucionando las condiciones hidráulicas que definen los caudales.
- O sea, cómo evolucionan las condiciones ambientales, climáticas, fisiográficas, el tipo de manejo del suelo, las prácticas agrícolas
- Si evolucionan hacia una mayor precipitación pluvial, a un menor almacenamiento de agua en el suelo y a una mayor escorrentía ante el aumento de impermeabilización del suelo, todo ello se traducirá en un aumento de los caudales que alimentan las cunetas de desagüe, en adición al agua proveniente de la calzada del camino.
- Ello crea la necesidad de proyectar cada vez mayores cunetas, lo que generaría la ampliación de la zona de camino en desmedro de las superficies de las propiedades linderas productivas.
- Consecuentemente la obra básica del terraplén del camino se hace cada vez de mayor volumen, lo que requiere la necesidad de la explotación de más yacimientos de suelos aptos para caminos, finalizando en obras con alta inversión inicial y mayores costos de mantenimiento.
- Esta es una realidad muy preocupante que se está observando en crecimiento cada año, vinculado al cambio climático y las sucesivas inundaciones.