

TRAZADO A PARTIR DE LA TRAYECTORIA.  
EJEMPLOS CON PROGRAMAS ESPECÍFICOS:  
*AutoTURN*

**Autor/Ponente**

**Luis Ramos Alcázar**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Director General de Estudios y Soluciones Informáticas de Ingeniería, S.L.

## TRAZADO A PARTIR DE LA TRAYECTORIA. EJEMPLOS CON PROGRAMAS ESPECÍFICOS: *AutoTURN*

### 1.- Introducción.

Los avances en las herramientas informáticas de apoyo al diseño geométrico de carreteras no se reflejan a veces en los textos normativos, como es el caso del diseño de nudos viarios.

La normativa estatal vigente (con una antigüedad de casi medio siglo) establece a la hora de definir los bordes de la calzada en intersecciones una geometría basada en arcos circulares de uno o tres centros. Su justificación, totalmente válida en su momento, la podemos encontrar en el siguiente párrafo:

“El borde de la intersección debe trazarse de forma que las ruedas interiores del vehículo pasen como mínimo a 0,50 m del mismo. Como la forma exacta de la trayectoria de las ruedas es complicada, se prefiere aproximarla mediante una curva circular tangente a los bordes de las calzadas, o bien en algunos casos mediante curvas de tres centros que se adapten mejor a la trayectoria”. “Los radios de estas curvas dependen del vehículo tipo y del ángulo que forman las alineaciones”.

Se trata de modelos, contrastados con los conocimientos teóricos y prácticos de la época y puestos a disposición de una comunidad de proyectistas en función de los recursos disponibles para su ejecución.

Actualmente nos planteamos si se podría mejorar el modelo anterior, acercando la geometría de los bordes de la intersección al espacio realmente barrido por el cuerpo del vehículo tipo siguiendo una trayectoria definida, referida al centro del eje director de éste.

Parece ser que con los programas informáticos que hay actualmente en el mercado si es posible.

## 2.- El programa AutoTURN.

AutoTURN es un programa desarrollado por la empresa canadiense Transoft Solutions Inc., basado en la plataforma CAD, que simula maniobras de giro de vehículos a bajas velocidades y puede ser utilizado en el diseño de intersecciones, estacionamientos, áreas de carga y descarga, etc.

AutoTURN calcula la posición y la orientación del vehículo a medida que el usuario lo dirige a través de maniobras o sigue una trayectoria predeterminada. Dicha trayectoria está vinculada al centro del eje director del vehículo y es generada por AutoTURN o preestablecida con las herramientas del CAD.

Las simulaciones generadas con AutoTURN están basadas en un proceso puramente numérico. Permite la toma en consideración del rozamiento movilizado por los neumáticos y de la pendiente transversal de la vía.

Desde 1995 Transoft Solutions ha llevado a cabo una serie de investigaciones encaminadas a contrastar la validez y exactitud de las simulaciones obtenidas con AutoTURN así como para perfeccionar en el modelo los comportamientos de los vehículos al realizar diferentes maniobras.

El más reciente se ha llevado a cabo con la Bundeswehr University de Munich, y consiste en un ensayo a escala natural instalando varios GPS en los vehículos de prueba para comparar las simulaciones de AutoTURN con las áreas de barrido reales de aquellos.

Muchas Administraciones de carreteras de los países desarrollados utilizan AutoTURN. En particular, la AASHTO norteamericana y la Austroads australiana han utilizado AutoTURN para la publicación de sus últimas plantillas de giro de vehículos.

Todos los vehículos que vienen con el programa se han generado siguiendo publicaciones oficiales.

## 3.- Elementos del diseño de intersecciones.

Convenimos en que:

“la función y tipo de las carreteras dentro de la red determinará la clase de intersección”; y

“el trazado de los diferentes elementos de la intersección debe resolver los movimientos de los vehículos y ofrecer una adecuada visibilidad” (ahora también diríamos seguridad para insistir en este concepto), por lo que “deberán considerarse las **trayectorias** de los vehículos y las distancias de visibilidad necesarias, que a su vez dependerán del **tipo de vehículo** y de su velocidad”.

Todo ya estaba dicho desde hace tiempo y no ha perdido validez.

Interesa detenerse sobre los dos elementos comentados y resaltados en negrilla en el texto.

### 3.1.- El tipo de vehículo

Para definir un vehículo, a fin de poder obtener el área de barrido de sus maniobras, se debe disponer de los siguientes datos:

- Las dimensiones externas de cada parte del vehículo y su separación. (¿Las esquinas son redondeadas?)
- La posición de los pivotes de giro y el tipo de conexión entre las partes del vehículo.
- El número de ejes, su composición, anchura y distancia entre ellos.
- El radio mínimo de giro.
- El ángulo máximo de la dirección del eje director.
- El ángulo máximo de giro de los remolques.
- El tiempo para realizar un giro completo del volante.
- Si algún otro eje es articulado.
- Relación de giro entre el eje director y el eje trasero, si este también es articulado.

El radio mínimo de giro está relacionado con el ángulo máximo de la dirección del eje director y la “batalla” o distancia entre los dos ejes de la parte tractora del vehículo. El radio mínimo de giro se tendrá en cuenta en las trayectorias para movimientos a baja velocidad, por debajo de 15 km/h.

El tiempo necesario para efectuar un giro completo del volante afecta a la trayectoria seguida por un vehículo. Transoft Solutions ha realizado ensayos para medir este tiempo en condiciones de circulación reales. Por lo general se acepta y establece como patrón un tiempo de 6 segundos para todos los vehículos. Sin embargo, si obligamos al vehículo a moverse por una trayectoria predefinida entonces este parámetro no tiene relevancia.

En la figura 1 se muestran las trayectorias obtenidas con el programa AutoTURN con la herramienta *Generar Ruta en Esquina* para un furgón tipo, realizando un giro de 100gon con radio de 5.0 m, a velocidad de 15 km/h, considerando dos tiempos de giro del volante: 6 y 8 s respectivamente,. También se muestra una trayectoria formada por dos alineaciones rectas que se cortan en ángulo de 100gon conectadas con un radio de 5.0 m y sendas clotoides de longitud 7.75 m.

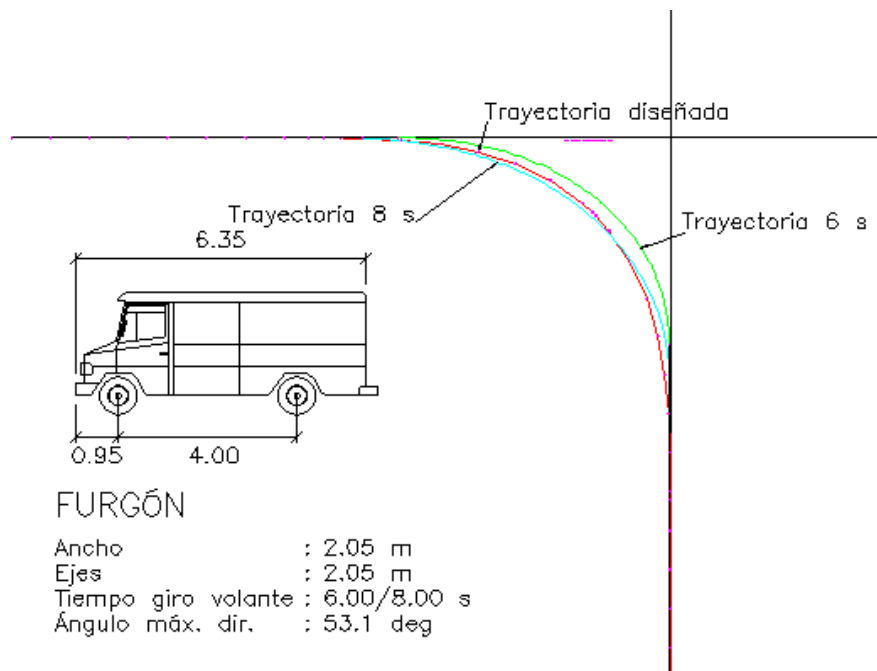


Figura 1

### 3.2.- La trayectoria

Una intersección ocupa espacio, tiene que tener visibilidad, y los movimientos deben hacerse fácilmente. Todo ello para asegurar la seguridad de los vehículos y peatones que transiten por ella y el correcto aprovechamiento de los recursos (suelo, tiempo, combustible).

Por la singularidad de estos elementos es conveniente plantear el diseño de las intersecciones sin simplificaciones, a partir de las posibilidades de las herramientas de las que se dispone actualmente, y dedicar un poco más de tiempo a definir las trayectorias referidas al punto central del eje director del vehículo tipo que se haya designado.

Establecidos el vehículo tipo con el que se diseña la intersección y las velocidades para cada movimiento (lo que determinará si la intersección es canalizada o no), se tendrán los radios adecuados para las trayectorias de los vehículos. Llegados a este punto se puede obtener el área de barrido del cuerpo del vehículo para cada movimiento.

En la figura 2 se presenta el esquema de una intersección en T sin canalizar, con carriles en la vía principal de 3.5 m y de 3.0 m en la vía secundaria. Los bordes de la calzada en la intersección se han diseñado con un arco circular de 9 m de radio. También se observa la trayectoria definida para el giro a derecha, desde la vía principal a la secundaria, de un furgón para una velocidad de 15 km/h. Esta trayectoria es la misma que la utilizada en el apartado anterior.

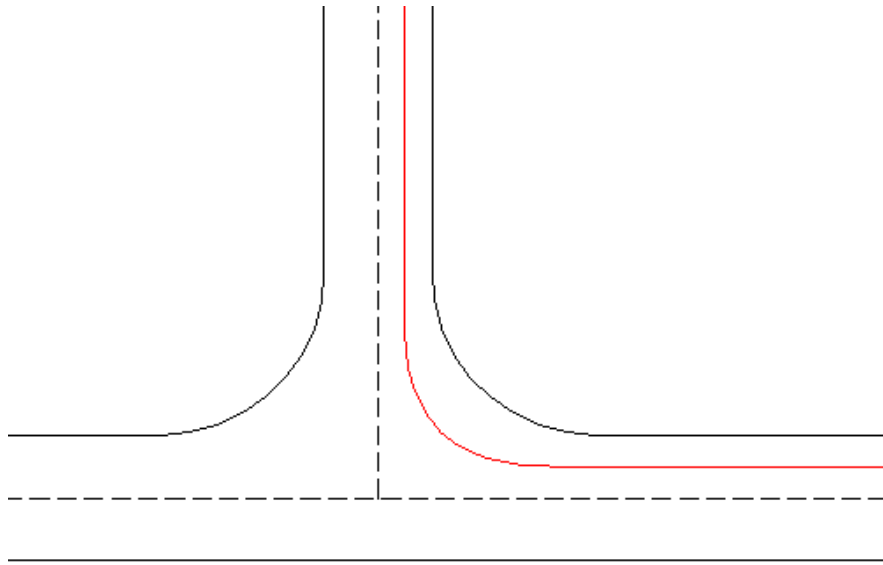


Figura 2

En la figura 3 se muestra la envolvente estricta del cuerpo del furgón con un resguardo de 0,5 m, al moverse siguiendo la trayectoria comentada, obtenida con el programa AutoTURN.

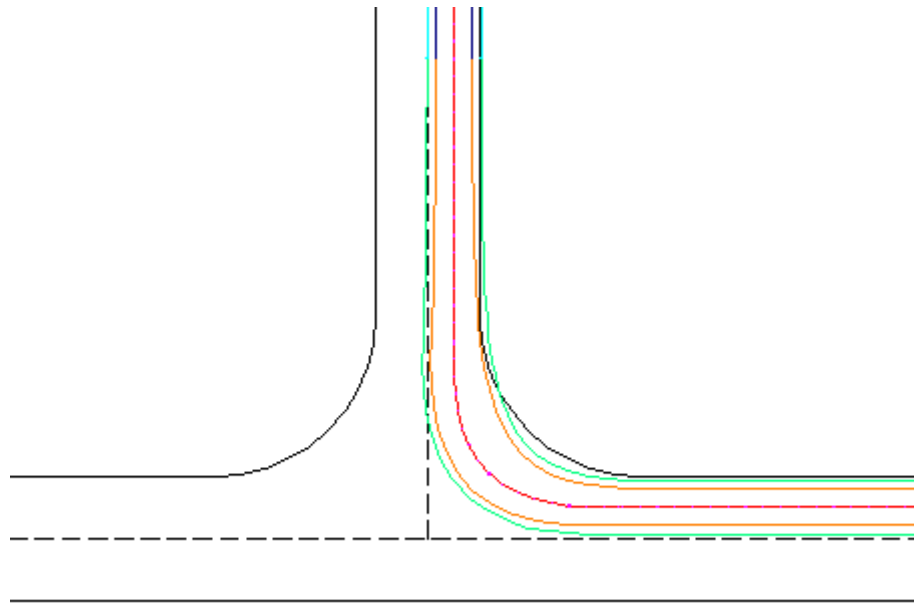


Figura 3

En la figura 4 se muestra la trayectoria que debe seguir el furgón (referida al centro del eje director) para que la envolvente del furgón coincida con el borde de la intersección, con un resguardo de 0,5 m. Esta trayectoria se ha obtenido con la herramienta *Colocar Simulación Paralela* del programa AutoTURN.

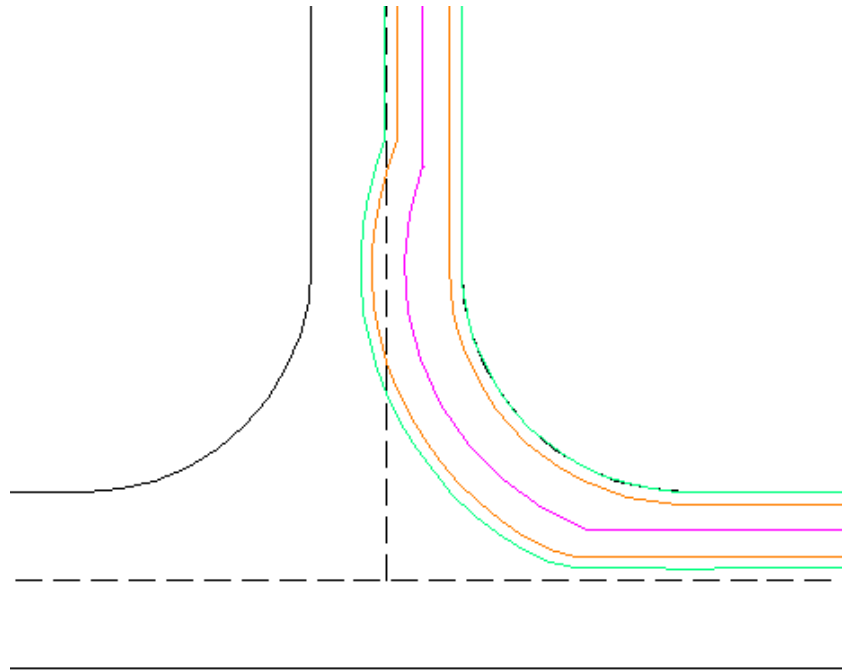
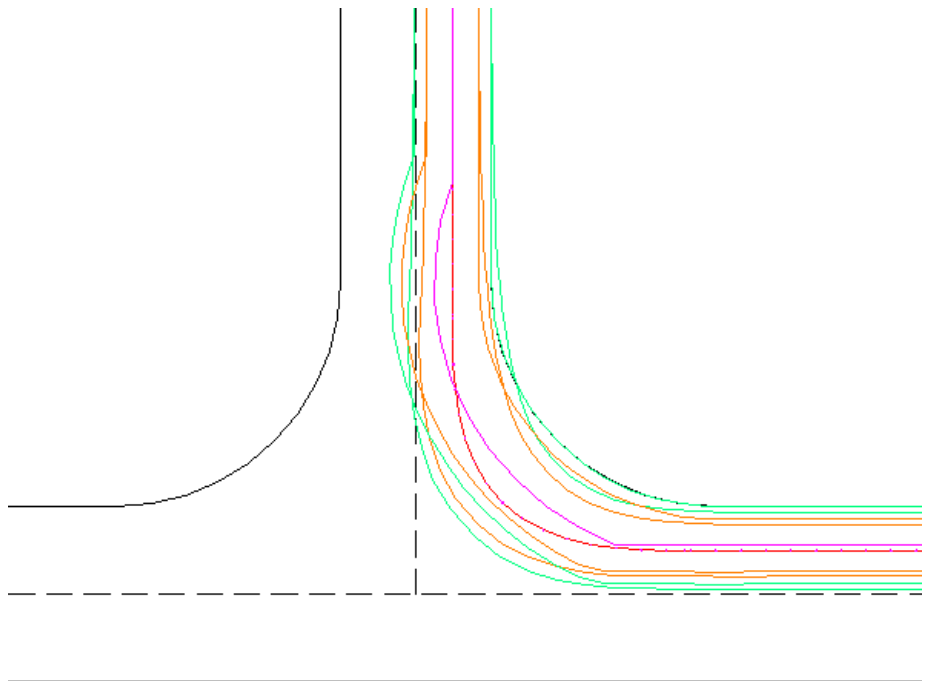


Figura 4

Finalmente en la figura 5 se superponen las trayectorias y envolventes de ambas simulaciones.



## Figura 5

A primera vista se puede apreciar que:

- El espacio ocupado por la simulación de la figura 3 es menor.
- El furgón invade menos el carril opuesto de la carretera secundaria en la simulación de la figura 3.
- La maniobra del conductor en la simulación de la figura 3 parece más sencilla.

### 4.- Práctica del diseño de intersecciones a partir de la trayectoria.

A continuación se van a exponer dos ejemplos de cómo se realizaría el diseño de una intersección a partir de las áreas de barrido generadas por el programa AutoTURN. Se parte de la definición de las trayectorias referidas al centro del eje director del vehículo tipo. Se utilizará un programa de trazado de ejes para el correcto encaje de las alineaciones que componen las trayectorias.

En el caso del programa AutoTURN, al trabajar éste en un CAD (AutoCAD o MicroStation), será necesario convertir los ejes de trazado en objetos nativos del CAD (polilínea o smartline) para poder procesar las simulaciones.

#### 4.1.- Intersección en T sin canalizar para un vehículo articulado.

Esta configuración podría corresponder al acceso de una vía de servicio a una explotación agrícola.

La anchura del carril en la vía prioritaria es de 3,50 m y en la vía secundaria de 3,00 m.

El vehículo articulado está compuesto por una cabeza tractora y un semirremolque, con longitud total de 16,50 m y una anchura máxima de 2,55 m correspondiente al semi-remolque.

Serán unos movimientos a velocidad baja (15 km/h) por lo que los radios de las trayectorias serán el radio mínimo

de giro del vehículo. En este caso 6,0 m. Igualmente, para tener la mínima ocupación, se usarán clotoides de longitud 8,49 m, la mínima admisible para ese radio.

El trazado de todas las trayectorias es simple, formado por dos alineaciones rectas unidas con un arco circular y curvas de transición.

La distancia de las alineaciones rectas de las trayectorias a los bordes exteriores de ambas calzadas será igual a la mitad de la anchura máxima del vehículo más el resguardo de 0,50 m, es decir 1,775 m. Esto quiere decir que el vehículo no estará centrado en los carriles y que en la vía secundaria incluso rebasa la línea central.

En la figura 6 se muestran las 4 trayectorias.

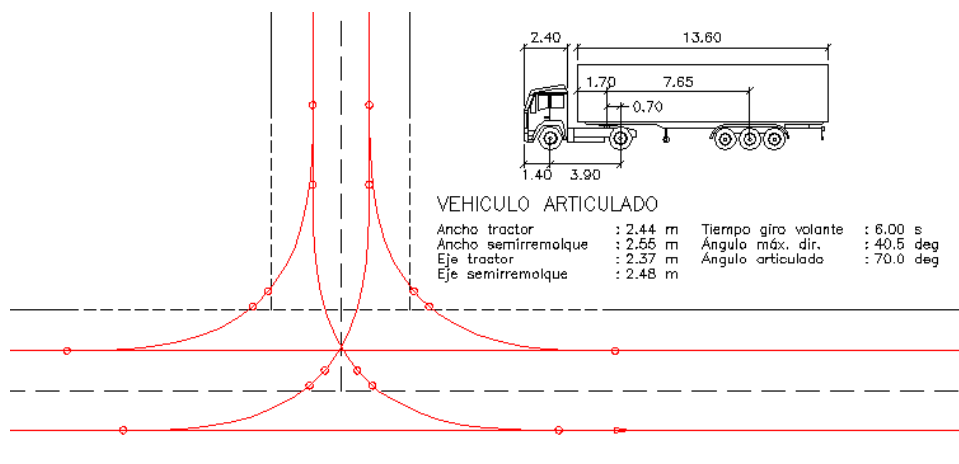


Figura 6

En la figura 7 se observan las área barridas por el cuerpo del vehículo en los cuatro movimientos un resguardo de 0,50 m, utilizando las herramientas de AutoTURN *Seleccionar Ruta Activa y Colocar Simulación*.

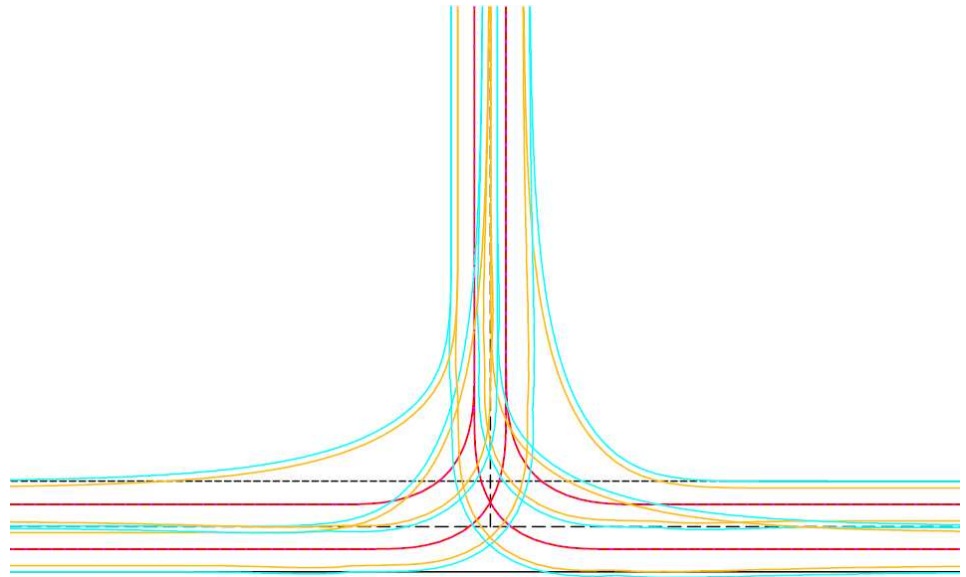
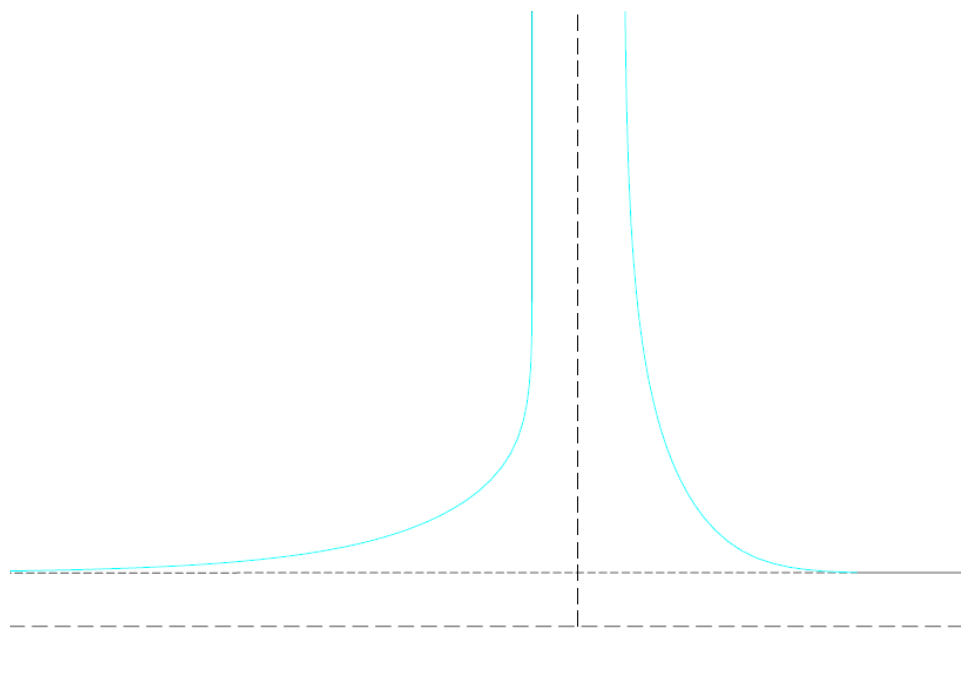


Figura 7

Se observa cómo los bordes exteriores de los giros a la derecha no son simétricos respecto de las bisectrices de los ejes de ambas vías.

Por último con una edición con las herramientas del CAD se obtiene la configuración de los ramales de la intersección (figura 8).



## Figura 8

### 4.2.- Intersección en T canalizada con lágrima central para un furgón.

Como se ha podido intuir tras la lectura del primer ejemplo, la mayor complicación puede venir de la definición de las trayectorias para los diferentes movimientos. La generación de las envolventes y su edición para obtener la configuración final de la intersección, como se ha visto, no entrañan problema alguno.

Se parte de dos vías con características similares a las del primer ejemplo. La anchura del furgón es de 2.05 m.

Se plantea realizar los trazados para una configuración de mínima ocupación. Los pasos serían:

- Determinación de las dimensiones y ángulos del triángulo donde se inscribe la lágrima.

La base del triángulo se sitúa en el borde del carril de la vía principal pero el vértice opuesto a la base no estará sobre el eje de la vía secundaria, sino a 1,0 m de él y a la izquierda según se acerca a la intersección.

El ángulo del vértice agudo del triángulo es de 30 gon.

El borde de la calzada de la vía principal más próximo a la lágrima, queda dividido por los lados del triángulo que se unen en su vértice agudo, y por la línea de separación de los sentidos de circulación de la vía secundaria, en dos segmentos: la longitud del que primero se encuentra (en el sentido de circulación correspondiente al citado borde) debe ser el 50% de la del otro.

El lado de la izquierda (visto desde el vértice agudo) es de 10 m.

- Trazado de las trayectorias de los movimientos de giro a izquierda (para la mínima ocupación):

Se plantean con sendas curvas en S, en las que el primer arco (giro a izquierda) se hará con el radio de giro mínimo y longitudes de clotoides mínimas; y el segundo arco (giro a derecha) se formará con dos clotoides de vértice de longitud mínima en función del ángulo entre las tangentes.

La tangente en el punto de inflexión de la curva en S será paralela al lado adyacente del triángulo donde se inscribe la lágrima.

Con estos datos se obtiene la distancia entre vértices de las curvas en S.

Las alineaciones rectas de entrada y salida de las curvas en S se sitúan centradas sobre el carril de la vía principal y a 1,525 m de los bordes exteriores de la vía secundaria.

- Trazado de las trayectorias de los movimientos de giro a la derecha:

Se constituirán mediante un solo arco (pudiendo llegar a desaparecer) con sus clotoides conectando con las mismas alineaciones rectas de las trayectorias de giro a la izquierda.

Se intentará compartir también una clotoide si fuera posible, pero siempre que dichas curvas sean más exteriores que las de las trayectorias de los giros a izquierda, con respecto al triángulo de la lágrima.

En la figura 9 se muestra la disposición del triángulo de la lágrima y las 4 trayectorias.

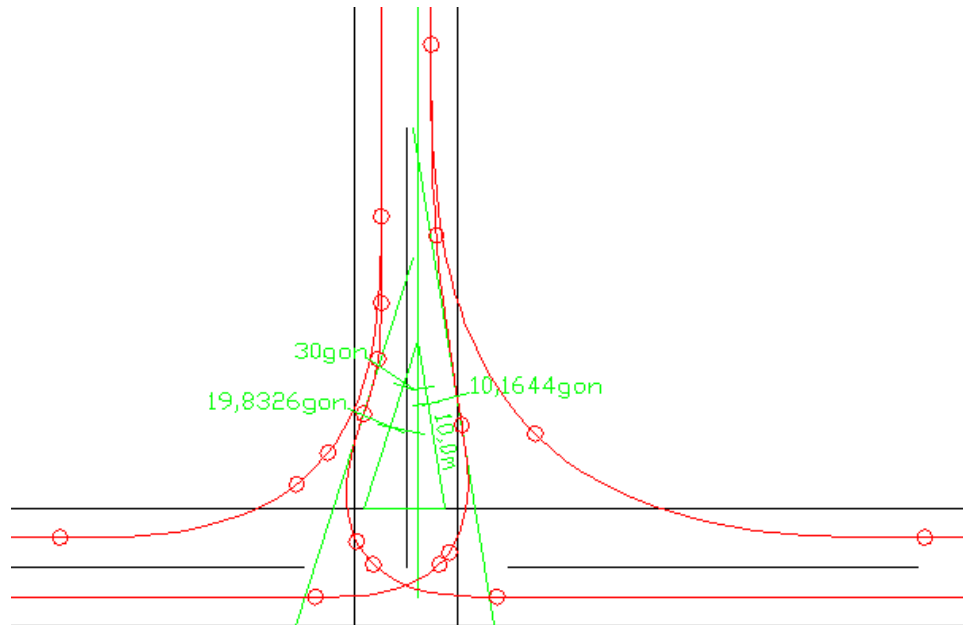


Figura 9

En la figura 10 se observan las área barridas por el cuerpo del vehículo en los cuatro movimientos, con un resguardo de 0,50 m, utilizando las herramientas de AutoTURN *Seleccionar Ruta Activa y Colocar Simulación.*

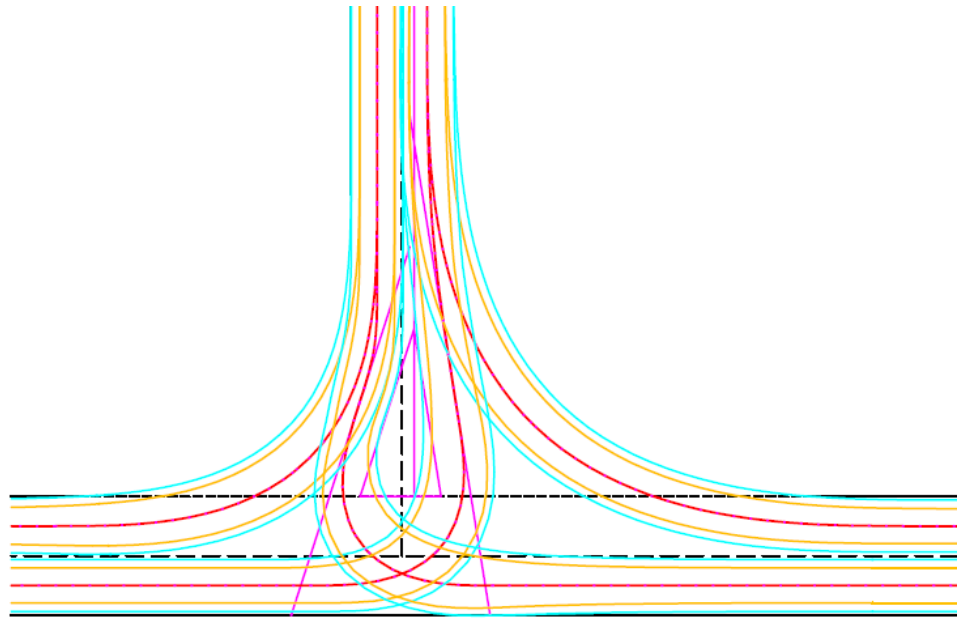


Figura 10

Se observa cómo los bordes exteriores de los giros a la derecha no son simétricos respecto de las bisectrices de los ejes de ambas vías.

Por último con una edición con las herramientas del CAD se obtiene la configuración de los ramales de la intersección y la forma de la lágrima central (figura 11).

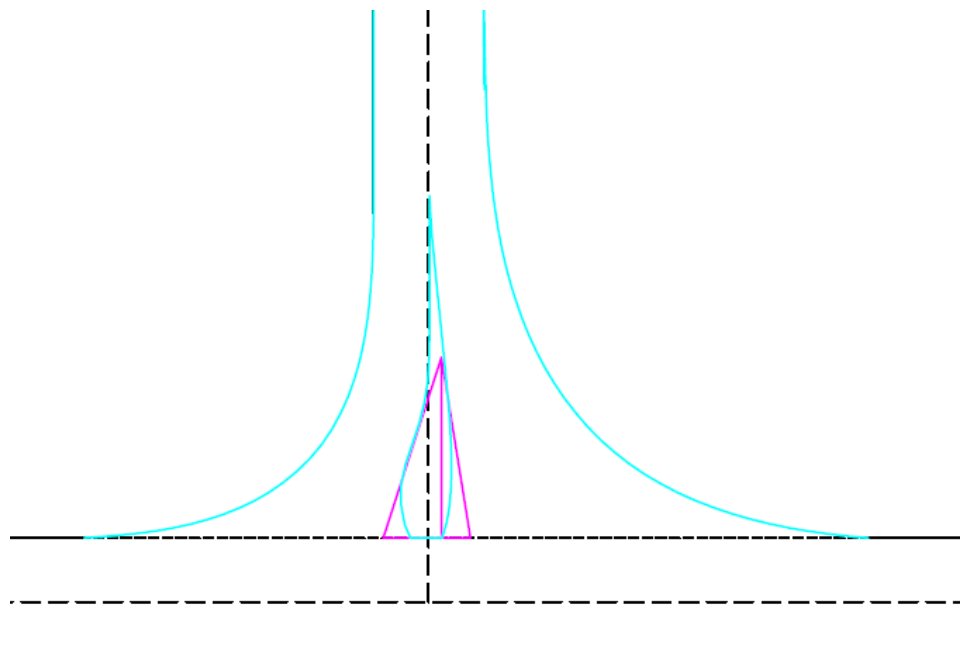


Figura 11

## CONCLUSIONES

Con la evolución de las herramientas informáticas de apoyo a la ingeniería, en particular los programas actuales de simulación de maniobras de vehículos, se puede hacer un planteamiento más genuino del diseño de intersecciones en vías de carreteras.

El procedimiento de definición del trazado de bordes e isletas de las intersecciones a partir de las envolventes de los vehículos siguiendo una trayectoria referida al centro del eje director se ha probado que da resultados más realistas sin excesiva complicación adicional.

Las características del vehículo tipo y la trayectoria de éste en cada movimiento de giro para una velocidad establecida serán los factores determinantes de la geometría final de la intersección.

De cara a los programas informáticos, sería conveniente una correcta inclusión en ellos de los parámetros y características de los vehículos.

Sería deseable que los programas informáticos estuviesen suficientemente contrastados, por ejemplo con ensayos. Cosa por otro lado evidente para la pertinente homologación de estos.

El método presentado no implica problema adicional alguno a la hora del replanteo en obra de la solución obtenida, toda vez que a partir del CAD se pueden obtener de forma inmediata listados de coordenadas de las curvas obtenidas para los bordes de carriles e isletas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kraemer, C. y otros: Ingeniería de Carreteras (Vol. I). McGraw-Hill 2003. ISBN 84-481-3988-7.
- Manual del usuario de AutoTURN versión 5.1. Transoft Solutions Inc. 2007.