ELEMENTOS TEÓRICOS A TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIO SEMIDIRECCIONAL EN LA ENTRADA A VARADERO

Ing. Orlando Santos Pérez[1], Ing. Homero Morciego Esquivel[1], MSc. Ing. Manuel Pedroso Martínez[1], Arq. Vivian Villazón González[2].

1. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.

2. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, San Vicente Final, Pueblo Nuevo, Matanzas, Cuba.

CD de Monografías 2016
(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Resumen

La investigación tiene como objetivo explicar los elementos teóricos a tener en cuenta para el diseño de un intercambio semidireccional en la entrada a Varadero. Los valores del crecimiento de la economía turística actual y prevista en el futuro, impactan en la capacidad de alojamiento del tránsito que se verá excedida por el incremento de la intensidad del mismo, por lo que se hace necesario determinar una solución eficiente a aplicar en el momento futuro crítico en dicho punto de la red vial nacional. Es importante destacar que las intersecciones a nivel son muy comunes, tanto en zonas urbanas como rurales. Esto es debido a que la ejecución es más sencilla y menos costosa que la de intersecciones a desnivel; además de que el empleo de intersecciones a desnivel es justificable solo para niveles de tráfico que no puedan ser solventados por soluciones a nivel, o para condiciones de seguridad vial que desencadenen un alto nivel de accidentalidad como sucede en el polo turístico. Se aborda la terminología referente al tema, las clasificaciones y los elementos generales a evaluar en el diseño de intercambios semidireccionales en locaciones de composición similar a la del caso de estudio.

Palabras claves*: diseño, intercambio semidireccional, Varadero.*

El transporte constituye una actividad fundamental en el correcto funcionamiento de la actividad económica y el desarrollo de una nación, al asegurar la movilidad de personas, mercancías, equipos y demás elementos de vital importancia para la producción y distribución de bienes y servicios. La infraestructura vial constituye la parte física necesaria para la adecuada operación del transporte terrestre, permitiendo la circulación en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo con niveles adecuados de seguridad y comodidad.

Un área propensa a generar conflictos dentro de la infraestructura vial son las intersecciones, definidas como el lugar donde confluyen dos o más vías y que permiten la mezcla de las corrientes vehiculares que provienen de diferentes orígenes y buscan diferentes destinos.

Una intersección es definida como un área donde dos o más vías se asocian o se cruzan, denominándosele ramas a las extensiones de dichas vías desde la intersección (Brockenbrough & Boedecker, 2004). Al entrecruzarse los flujos que circulan por las vías confluyentes en una intersección, se generan los puntos de conflicto, los cuales, producto del cruce entre trayectorias de diferentes vías, son de paso obligado para más de una corriente vehicular.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

El cruce entre vías de alto nivel de tráfico se puede solucionar con una intersección a nivel o con una intersección a desnivel. Las intersecciones a nivel simples son aquellas en donde las características del tránsito no ameritan ningún trabajo especial más que el de nivelar las carreteras que convergen, redondear las esquinas y facilitar la visibilidad, para permitir que los vehículos pasen de un lado a otro. Cuando los volúmenes de tránsito y la importancia de los caminos lo ameritan, se hace uso de intersecciones canalizadas, permitiendo encauzar los vehículos de manera que al usuario no se le presenten varias decisiones al mismo tiempo. Por su parte, las intersecciones a desnivel se utilizan para separar los puntos de conflictos de las corrientes vehiculares en el espacio y el tiempo, cuando el índice de accidentes de tránsito o la probabilidad de ocurrencia de los mismos muestran que los volúmenes son demasiado altos para que coexistan al mismo nivel, por lo que se sugiere entonces que el intercambio se realice en un nivel diferente, convirtiéndolas en casi ininterrumpidas.

El diseño de las intersecciones de una carretera debe corresponder a su función, buscando satisfacer las necesidades de los vehículos que confluyen en dicha área de encuentro, así como al tipo de vías que se intersectan, la clasificación vehicular, el tipo de control de accesos, la velocidad y la preferencia de paso.

Las intersecciones permiten la circulación vehicular desde diferentes accesos, que al ingresar al área de intercambio se pueden encontrar simultáneamente, lo que implica un peligro potencial de colisión. Según lo establecido por la normativa de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO, por sus siglas en inglés) en el Manual de diseño geométrico para calles y carreteras (AASHTO, 2011), el objetivo principal del diseño de una intersección es ¨reducir la gravedad de los posibles conflictos entre vehículos, autobuses, camiones, bicicletas, peatones, y las instalaciones, al tiempo que se procura la comodidad, la facilidad y comodidad de las personas que la atraviesan.¨

La construcción de una intersección a desnivel se justifica en términos de la seguridad vial en la intersección y los conflictos de tránsito que en esta se presentan, debiéndose lograr un análisis equilibrado entre accidentalidad y costo, que permita evaluar y hacer una comparación de las pérdidas humanas y materiales causadas por accidentes de tráfico, contra el costo por concepto de construcción y mantenimiento de dicho paso a desnivel. Ello permite justificar un cambio de intersección a nivel por una a desnivel, pero no supone una herramienta técnica preventiva, sino un análisis socio-económico, que involucra variables de costo y beneficio.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Intersecciones a desnivel.

Una intersección a desnivel – conocida también como paso a desnivel o intercambio- se define como un sistema de interconexión de carreteras en conjunción con uno o más niveles separados que proveen el movimiento de tráfico entre dos o más carreteras en niveles diferentes. (Brockenbrough & Boedecker, 2004) Los intercambios son utilizados en carreteras por donde circulan flujos vehiculares de gran intensidad, dónde el control de acceso es importante, específicamente en localizaciones puntuales en que las maniobras de cruce y cambio de dirección no pueden ser solventadas por una intersección a nivel.

Las intersecciones a desnivel son aquellas donde los conflictos de tránsito prácticamente desaparecen y quedan únicamente aquellos donde el impacto en un accidente de tránsito es mínimo. (Mendoza Sánchez, Quesada Bermúdez, & Trejo Trejo, 2016) Al separar y conjugar las corrientes vehiculares según su origen y destino, respectivamente, las intersecciones a desnivel minimizan tanto los índices de accidentalidad como la cuantía de los daños en los siniestros ocurridos.

Un paso a desnivel es la zona en la que dos o más carreteras se cruzan a distinto nivel para el desarrollo de todos los movimientos posibles de cambio de una carretera a otra, con el mínimo de puntos de conflicto posible. (Suárez y Pantoja, 2005) Los pasos a desnivel se construyen para aumentar la capacidad o el nivel de servicio de intersecciones importantes, con altos volúmenes de tránsito y condiciones de seguridad insuficientes, así como para mantener las características funcionales de un itinerario sin intersecciones a nivel, es decir, sin interrupciones por convergencia de otros flujos vehiculares. Por ello, las intersecciones a desnivel son las de mayor capacidad vial, reduciendo el número de conflictos de manera directa al separar los flujos en diferentes niveles por medio de vías inferiores o superiores, usando estructuras tales como puentes, túneles y viaductos.

También puede describirse como un conjunto de ramales que se proyecta para facilitar el paso del tránsito entre carreteras que se cruzan en niveles diferentes (Mora Castañeda, 2010) El término se aplica ampliamente para describir un cruce de carreteras en el cual no se interrumpe el flujo directo del tráfico en uno o más ramales. El volumen de tránsito que atraviesa una intersección a desnivel puede aproximarse o ser igual a la suma de las capacidades de los caminos que se cruzan, permitiendo así el tránsito directo de cada uno de los flujos vehiculares sin interrupción. Si la intersección está provista de ramas de conexión para el tránsito que va a dar vuelta y de dispositivos adecuados para que los vehículos aumenten o disminuyan su velocidad en los carriles de tránsito directo, todo el

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

tránsito puede circular a través de la intersección, con poca o ninguna interferencia, lográndose así las condiciones de operación que dan lugar al flujo ininterrumpido.

En el mundo existen novedosas soluciones para disminuir los problemas que se presentan en las intersecciones viales, pero muchas de estas soluciones representan grandes inversiones, convirtiéndose en alternativas poco comunes para el caso de países en vía de desarrollo.

Tipos de Intersecciones a desnivel.

Las intersecciones a desnivel se clasifican similarmente a las intersecciones a nivel; su tipo y formas pueden ser muy variadas, aunque principalmente corresponde a si los flujos vehiculares están total o parcialmente separados. En el primer caso, todos los intercambios están separados en dos niveles, aunque pueden presentarse casos de tres o hasta cuatro; en el segundo, sólo se separa un camino a desnivel y el otro es controlado mediante señalamientos.

Otro elemento importante a tener en cuenta para agrupar las intersecciones a desnivel es la cantidad de ramas que confluyen en el nudo, pudiendo comúnmente clasificarse como intersecciones de tres y cuatro ramas.

Intercambios de tres ramas.

En este tipo de intersecciones a desnivel, la unión entre dos de las ramas puede constituir una vía principal que se pudiera mantener a nivel, y la unión de estas con la tercera una vía secundaria que la cruza solamente a desnivel. Si por la intensidad de los flujos vehiculares las tres conexiones tuvieran el mismo rango, como es el caso del origen o la terminación de una autopista en otra, se consideran principales todos los sentidos de circulación. En el primer caso, los movimientos permitidos son los siguientes:

- Dos de paso, correspondientes a la vía principal de mayor intensidad de tráfico (AZUL-AMARILLO-recto), cuya continuidad se mantiene a nivel.
- Dos giros a la derecha, correspondientes a la divergencia desde el flujo principal hacia el secundario (AZUL-derecha), y a la convergencia desde el flujo secundario hacia el principal (ROJO-derecha), que se resuelven mediante ramales directos.
- Dos giros a la izquierda, correspondientes a la divergencia desde el flujo principal hacia el secundario (AMARILLO-izquierda), y a la convergencia desde el flujo secundario hacia el principal (ROJO-izquierda), que se resuelven mediante ramales

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

de lazo, dando lugar a un enlace trompeta, o mediante ramales semidirectos, dando lugar a un enlace semidireccional.

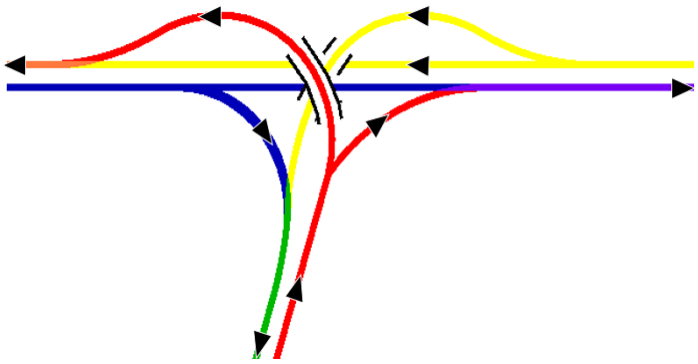


Figura 1. *Movimientos permitidos. Fuente: Elaboración propia.*

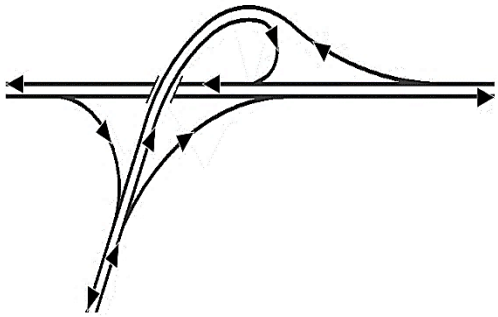
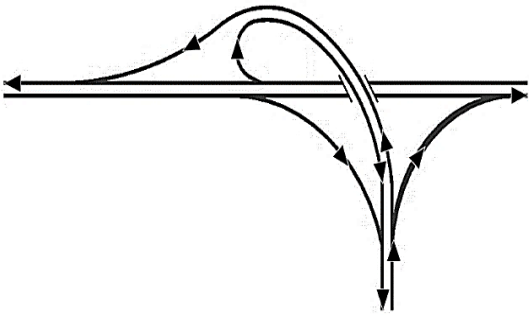
En cambio, si las tres ramas tienen una importancia parecida, ya no hay tráfico de paso, sino giros de una a otra rama, bifurcándose cada rama en dos ramales en las proximidades del enlace, confluyendo dos ramales en cada rama una vez superada el área del intercambio. Como todos los ramales son de tipo directo, se denomina el enlace como direccional.

Las intersecciones entre carreteras del tipo **T** e **Y** que por sus condiciones necesiten el diseño a desnivel, usualmente son solucionados con trompetas, dependiendo fundamentalmente del espacio disponible para el desarrollo de los ramales en lazo, y la necesidad de sostener la velocidad durante el paso por el intercambio. Un diseño de flujo continuo es requerido donde se intersectan dos flujos que por su intensidad se consideran principales. Los intercambios direccionales, aunque se consideran el tipo de intercambio más costoso, permiten que la incorporación de vehículos de un flujo principal a otro, sea relativamente más rápida, fluida y segura.

Tabla 1. Esquemas de flujos vehiculares para intercambios de tres ramas.

Trompeta
Combina un ramal semidirecto para uno de los giros de izquierda, con un ramal en lazopara el otro. Su empleo es ampliamente difundido al unir una autopista con una carretera de menor categoría que no la cruce, así como en el origen o terminación de una autopista en otra, presentando como inconveniente la reducción de velocidad que necesariamente se debe efectuar en el ramal en lazo, lo que conlleva la disposición de un carril de cambio de velocidad. También se recomienda que el acceso de la vía secundaria al enlace se realice mediante una sucesión de curvas de inflexión contraria de radios decrecientes, de manera que se logre una adecuada disminución de velocidad.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

	
Fuente: Elaboración propia.	Fuente: Elaboración propia.

Para evitar entradas en sentido contrario a la vía principal, es necesario que el ramal semidirecto y el ramal en lazo, en el tramo en el que van contiguos, estén separados físicamente por una barrera de seguridad. (Ministerio de Fomento, 2012) Tanto la señalización horizontal como la vertical son de vital importancia para indicar las posibles trayectorias a seguir por los usuarios una vez incorporados a una estructura vial tan compleja como son los intercambios.

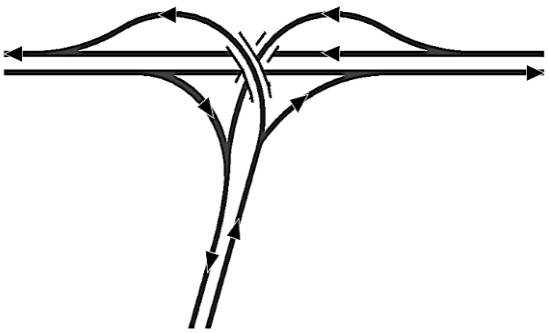
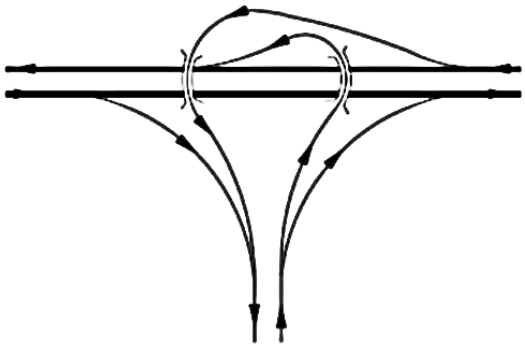
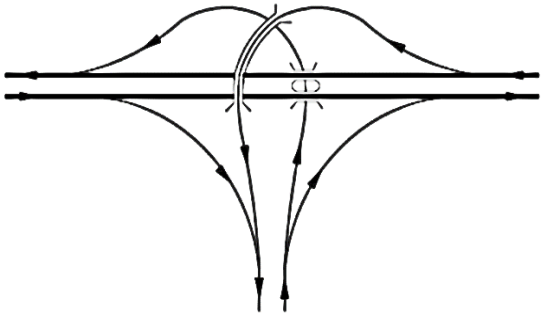
Se pueden diferenciar dos tipos de trompetas según el giro al que se asigne el ramal en lazo, aunque generalmente es al de menor intensidad, alojando entonces el ramal semidirecto el giro a la izquierda desde la vía principal hacia la secundaria. De asignar el ramal en lazo al giro de izquierda desde la vía principal hacia la secundaria, el ramal semidirecto alojaría el giro a la izquierda desde la vía secundaria hacia la principal.

Si la implantación de la vía secundaria es oblicua, puede resultar conveniente que el desarrollo angular del ramal en lazo sea el menor. (Ministerio de Fomento, 2012) De esta forma, los radios de las curvas del ramal en lazo serán menores, y la trayectoria de los vehículos por él también lo serán, volviendo el diseño más flexible, aunque con el inconveniente de la reducción de velocidad.

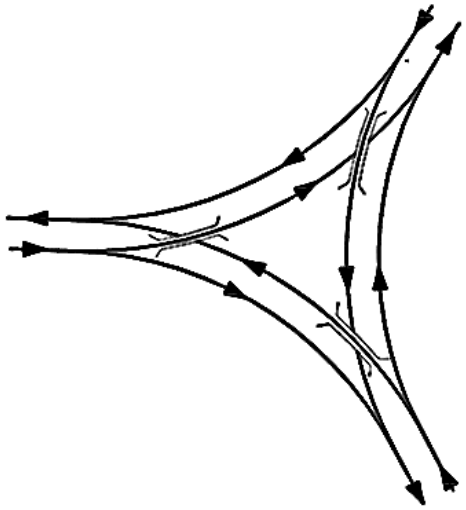
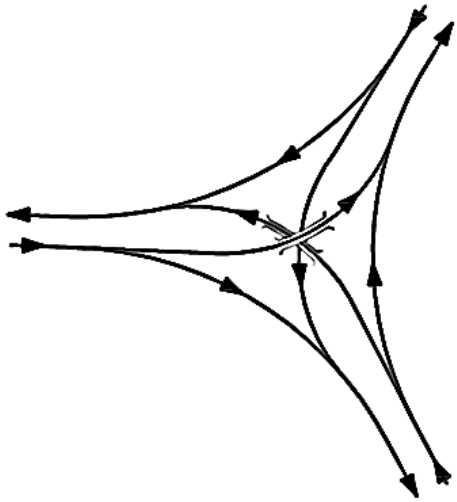
Semidireccional

En este tipo de intercambio se resuelven los giros a la izquierda mediante ramales semidireccionales. La diferencia entre el intercambio semidireccional y el direccional se encuentra en que en el primero se mantiene a nivel la vía de mayor intensidad de tráfico, incorporándose a desnivel los ramales de giro de izquierda tanto para divergencia de la vía principal a la secundaria, como para la convergencia desde la vía secundaria hacia la principal, en el sentido correspondiente.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

 Se combinan las tres obras de paso en una sola en planta, pero con tres niveles. Fuente: Elaboración propia.	En locaciones donde por la evolución del entorno se prevea la prolongación de la vía secundaria, y un enlace de tres ramas con una sola obra de paso evolucione a un enlace en diamante, para resolver los giros a la izquierda se pueden emplear dos ramales semidirectos que se crucen a nivel. (Ministerio de Fomento, 2012)Una mejor solución es resolver el cruce de los ramales semidirectos mediante una glorieta, dando origen al enlace denominado en media pesa, o recurrir a más de una obra de paso, generándose tres configuraciones fundamentales.
 Ramales semidirectos independientes. Fuente: Elaboración propia.	 Los ramales semidirectos se cruzan a desnivel. Fuente: Elaboración propia.
Direccional	
En este tipo de intercambio todas las ramas poseen la misma prioridad. En cada una de ellas, al acercarse al enlace, los flujos se segregan en un giro a la derecha y otro a la izquierda, ambos mediante ramales directos que se bifurcan del tronco y terminan en las dos ramas restantes. Luego entonces, al alejarse del enlace, el tronco se forma por la confluencia de dos ramales directos procedentes de las otras dos ramas: un giro de izquierda y un giro de derecha. Para vías de igual categoría e intensidades de tráfico similares, la solución varía entre intercambios semidireccionales o direccionales, siendo útil para la decisión una evaluación rigurosa de costos de construcción.	

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

	
Con tres obras de paso separadas y esviadas. Fuente: Elaboración propia.	Con una sola obra de paso de tres niveles en planta. Fuente: Elaboración propia.

Justificación del empleo de intersecciones a desnivel.

Según (Nobell, 2002) el tipo adecuado de intersección a desnivel, así como su proyecto general, depende de factores como el volumen horario de proyecto, el carácter y composición del tráfico, la velocidad de proyecto, la topografía, el derecho de vía disponible y el costo. La evaluación funcional del desarrollo del tráfico en una intersección, así como los índices de accidentalidad generados, son puntos de partida en la consideración de solucionar con un intercambio el cruce entre vías.

En general, una intersección solucionada a diferentes niveles requiere inversiones importantes, por lo que su diseño y construcción deben justificarse en términos de seguridad y fluidez para los usuarios, por razones como:

- Funcionalidad: Debido a la limitación en el control total de accesos que caracteriza a autopistas y vías de primer orden, en muchas ocasiones se requiere en el cruce de estas con otras carreteras la construcción de intersecciones a desnivel que permitan la coexistencia de los flujos en sendos ramales y el intercambio dinámico de vehículos de una vía a otra con la menor probabilidad de ocurrencia de accidentes.

- Capacidad: Si la capacidad es insuficiente en una intersección entre vías, una alternativa por considerar en el estudio de factibilidad, es separar niveles, incluso si existieran alternativas posibles a nivel. Muchos proyectos sólo tienen el objetivo

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

inmediato de corregir las deficiencias observadas en la explotación, o de prolongar la vida útil de una infraestructura viaria. Aun cuando estos objetivos son legítimos y respetables, no conviene perder de vista cómo el desarrollo de la red que afecta al nudo, la evolución de la circulación y los cambios en el comportamiento de los usuarios pueden afectar a la fluidez y a la seguridad. Si se comprende el presente y se diseña para el futuro, anticipándose a los cambios en la funcionalidad de la vía, se puede evitar llevar a cabo mejoras que pronto quedarían obsoletas o inadecuadas (Ministerio de Fomento, 2012) Incluso cuando una intersección pudiera canalizarse o rediseñarse como rotonda, es necesario evaluar de antemano el período de vida útil de la solución a implementar con respecto a la inversión que conlleva, lo cual podría indicar como mejor alternativa la de optar por una intersección a desnivel.

- Seguridad: Puede ser la seguridad, unida a otras razones, uno de los motivos para construir un enlace y no una intersección. La accidentalidad en un cruce entre carreteras viene dada por la cantidad de puntos de conflicto que en ella se generen debido al entrecruzamiento entre vehículos. Al separar niveles, según la configuración de intercambio a diseñar, se disminuyen en gran medida los puntos críticos entre flujos, lo que deviene en seguridad de los usuarios y comodidad en la circulación.

- Factibilidad: Presuponiendo las elevadas inversiones que por regla general implica la construcción de una intersección a desnivel, se hace necesario dentro del estudio de factibilidad, una vez decidido que es esa la solución idónea, el análisis de una posible ejecución por etapas, teniendo en cuenta que de haberse hecho necesario un reordenamiento de tal magnitud, es porque los flujos vehiculares poseen altos valores de intensidad.

Ventajas del empleo de intersecciones a desnivel semidireccionales.

Un nudo formado entre carreteras intersectadas en forma de Y, si se decide solucionar con un intercambio direccional, debe hacerse mediante un diseño que permita a los vehículos mantener una velocidad relativamente alta al maniobrar en las rampas. (Brockenbrough & Boedecker, 2004)Debido a las limitantes del emplazamiento de los nudos viales que se han de solucionar separando niveles, por existencia de instalaciones de interés social o económico, se hace necesario lograr un diseño acorde a la disponibilidad superficial, logrando que la intersección sea capaz de responder a las demandas de capacidad vial, niveles de servicio y velocidad de operación, a la vez que se integren al entorno y su morfología característica.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Los cruces de tres ramas deben ser considerados solamente cuando la futura expansión para el cuadrante sin usar es imposible o muy improbable. Esto es atribuible en parte al hecho de que los intercambios de tres ramas son muy difíciles de ampliar o modificar en el futuro. (AASHTO, 2001) Dada la dificultad de reordenamiento futuro en los ramales de acceso a los nudos de tres ramas, es aconsejable lograr las óptimas condiciones de fluidez en las vías confluyentes y en el propio nudo, a través de la correcta aplicación de criterios de diseño sostenibles, dando lugar al flujo ininterrumpido de vehículos y erradicando así las probabilidades de congestionamiento y colapso del intercambio y sus accesos.

Entre las ventajas del uso de ramales semidireccionales se encuentra la posibilidad de alojamiento de intensidades que rebasan la capacidad de un ramal en lazo, debido a que en este tipo de ramal la velocidad de operación es la más elevada al no tener radios de giro pequeños. Por otra parte, si los ramales semidirectos se cruzan a desnivel, el enlace resulta bastante compacto, lográndose la unificación de la mayor cantidad de elementos en un área menor en planta, permitiendo una mayor incorporación de la intersección al entorno si este fuera restringido.

Aunque resulta satisfactoria la implementación de una solución de este tipo, vale señalar que, si se emplea solamente una obra de paso, el cruce de los dos ramales semidirectos para girar a la izquierda limita la capacidad vial, por lo que se haría necesario o bien el empleo de dos obras de paso, o de una a tres niveles, uno para la vía principal y dos para sendos ramales de giro de izquierda.

Normativas que rigen el diseño de intersecciones a desnivel.

En Cuba, las intersecciones a desnivel se diseñan a partir de normativas foráneas, por cuanto no existe una norma cubana a tales efectos. La NC 53-131:1984 establece las características geométricas de las intersecciones a nivel, pero al no tener en cuenta la incorporación de ramales elevados al nudo, no es aplicable a intercambios. Es por ello que, en empresas dedicadas al diseño de obras viales, como la Empresa de Proyectos para Obras del Transporte, se emplean metodologías de diseño derivadas de normas británicas, españolas, francesas y estadounidenses.

Los criterios de diseño para el predimensionamiento de los elementos que conforman el modelo de intersecciones a desnivel semidireccionales, se encuentran recogidos en la publicación ¨Nudos de carreteras. Normativas y tendencias actuales¨, compilación de ponencias del curso desarrollado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, de conjunto con la Asociación Española de la Carretera,

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

entre los días 21 y 23 de noviembre de 2001, a cargo del Sr. Pau Nobell Rodríguez, profesor de dicha institución académica.

En dicho compendio se relacionan los elementos que caracterizan tanto a las intersecciones a nivel como los intercambios viales, las buenas prácticas en su proyección y la amplia gama de tecnologías disponibles en el mercado para ejecutarlas.

Tipologías constructivas empleadas en intercambios.

En el mundo son varios los tipos de estructuras empleados para separar los niveles en cruces entre carreteras o entre una carretera y una vía férrea. La solución a emplear depende de factores como la topografía y geología del terreno, las distancias a salvar para el correcto funcionamiento del paso inferior, y el presupuesto con que se cuenta para acometer la obra, entre otros. Por otra parte, es necesario evaluar la incidencia de la decisión a tomar sobre los rasgos geométricos del nudo y las carreteras en sentido general.

Existen dos tipos claramente definidos para dar solución a la separación de niveles: uno en el que los ramales que interconectan las vías, así como la vía superior, se encuentran elevados sobre estructuras metálicas o de hormigón armado o pretensado, y el segundo en que la pendiente de los ramales de interconexión se soluciona con movimiento de tierra, y el paso superior con las estructuras antes mencionadas. La opción a emplear depende inicialmente del factor económico, debido a que la construcción de explanaciones –según las condiciones del terreno- pudiera resultar más económica que la fabricación de elementos de hormigón o metálicos, aunque existen casos en que, dada la topografía, es más conveniente el empleo de estructuras por los grandes volúmenes de tierra que habría que excavar o colocar en relleno para obtener las cotas de rasante en los aproches del paso superior. Por otra parte, se encuentra el factor estético, el cual debe considerarse en intercambios que por su ubicación necesiten proyectar una imagen agradable a los transeúntes. Tal es el caso del nudo de entrada a Varadero, el cual, al encontrarse en la entrada a la península homónima, se convertiría en la imagen de bienvenida a tan importante polo turístico. Por tal motivo, sería elocuente evaluar el empleo de estructuras de hormigón tanto para elevar los ramales como para sostener el paso a desnivel de la carretera superior, puesto que así se estaría dotando al intercambio de mayor transparencia y articulación visual con el entorno, además de permitir un drenaje más satisfactorio y brindar una mayor visibilidad a los usuarios desde cualquiera de sus ramales.

Los enlaces con ramales direcciones pueden requerir estructuras de grandes longitudes, con luces de cierta importancia, en donde lo normal es, además, que tengan su planta curva. Las secciones en cajón, tanto de hormigón pretensado como mixtas, resuelven bien los

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

problemas de materialización de una plataforma resistente que sigue un trazado en planta complicado. (Nobell, 2002) En los enlaces con ramales direccionales pueden darse varios casos de estructuras de separación de niveles, desde puentes de planta curva con apoyos puntuales para ocupar poco sitio en las medianas, hasta estructuras de gran longitud y planta en curva o esviada. Debido a esto, los tipos de tableros de puente empleados en las estructuras de enlaces abarcan todas las morfologías de los puentes de luces medias.

- **Estructuras de hormigón armado.**

Según (Nobell, 2002), para luces de hasta 12 metros, las estructuras de hormigón armado para obras de paso de carreteras son una alternativa interesante. A partir de esta dimensión el criterio que condiciona el diseño es el estado límite de servicio de deformaciones, lo que obliga a peraltos de gran magnitud. De esta forma, las estructuras suelen ser esquemas tipo marco cerrado de 6 o 7 metros de luz libre, a partir de cuyo valor es recomendable recurrir al empleo de pórticos.

- **Estructuras de hormigón prefabricadas.**

Existen tres opciones para la separación de niveles en intercambios viales mediante el empleo de elementos prefabricados de hormigón: vigas a tope, vigas separadas de sección artesa, y piezas monoviga. (Nobell, 2002) El empleo de vigas doble T posicionadas a tope resulta una variante de elevadísimo costo en la actualidad, por lo que no se emplea, aunque el empleo de vigas T invertidas dispuestas a tope mediante el contacto de sus alas inferiores, conforman una plataforma de rodadura al vertérseles en los huecos hormigón *in situ*, consiguiéndose puentes de losa con elementos prefabricados embebidos que por demás tienen un buen aspecto arquitectónico si se rematan bien sus bordes. En este caso, el peralto máximo de los elementos prefabricados que se producen en España y otros países de la unión europea, es de 60 centímetros, con los que se pueden alcanzar luces de hasta 16,00 metros, según los criterios de diseño vigentes para dicha tecnología.

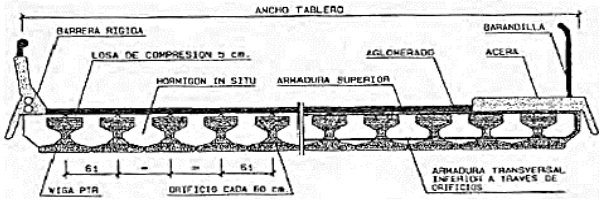


Figura 2. *Sección transversal de tablero tipo losa con vigas T invertidas a tope.*
Fuente: Nudos de carreteras. Normativas y tendencias actuales.

En segundo lugar, las vigas separadas de sección artesa, una vez hormigonada su losa superior, conforman tableros nervados de sección cajón enlazados por un forjado, los cuales

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

se pueden emplear para luces cercanas a los 40 metros. Según (Nobell, 2002), el uso de vigas en artesa, permite configurar puentes de cualquier longitud como sucesión de vanos isostáticos apoyados entre estribos extremos y pilas intermedias. La sección transversal se configura como un tablero nervado, donde cada viga en artesa se separa

transversalmente entre 5 y 7 metros, siendo lo más usual un espaciamiento promedio de 6 metros, del cual depende el peralto total de la viga y la losa juntos, el cual varía de la decimoquinta a la decimoséptima parte de la luz. De esta forma, es fácil formar plataformas de varios anchos, contando con 2, 3 ó 4 vigas sobre las que se hormigona *in situ*, sobre pre-losas, una losa superior que constituye la cabeza de compresión del puente y su plataforma de rodadura, cuyos espesores suman por lo general 25 centímetros. Las vigas llevan un diafragma en los apoyos por lo que se dispone un solo neopreno en sus extremos, lo que refleja que no se empotran a torsión, haciendo que estructuralmente se comporten peor, pero evitando a su vez complicaciones en el proceso constructivo.

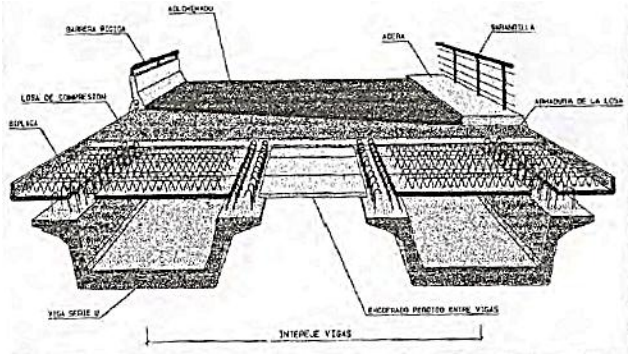


Figura 3. *Perspectiva de tablero de viga en artesa.*
Fuente: Nudos de carreteras. Normativas y tendencias actuales.

Por último, las piezas monoviga están formadas por una única artesa y losa superior de hormigón, cuyo aspecto exterior es el de una losa cajón con voladizos. El principio de funcionamiento de esta tipología está basado en llevar al límite las vigas artesas, ensanchando su fondo hasta 4,50 metros aproximadamente y manteniendo constante o variando su peralto, completando plataformas viales de hasta 12,00 metros con sendos voladizos de hasta 3,75 metros, que se hormigonan *in situ* sobre pre-losas prefabricadas dispuestas sobre la gran viga artesa, que llega a alcanzar un peso de 140t/m. Según (Nobell, 2002) longitudinalmente se conforman como auténticas estructuras continuas, donde la respuesta frente a los momentos flectores negativos se logra, en la mayoría de los casos, con barras pasivas de refuerzo alojadas en la losa superior.

En el caso de diseñarse peraltos constantes, las luces a salvar llegan a los 40 metros, mientras para peraltos variables se alcanzan los 60 metros. Mediante el empleo de una sola

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

viga, se pueden lograr plataformas de 12 metros de ancho, que se puede aumentar adosando más vigas al proyecto. Las grandes monovigas artesas prefabricadas que dan lugar a esta solución, son de hormigón pretensado con armaduras pretesadas, pudiéndose estas complementar con tendones de armaduras postesadas alojados en vainas.

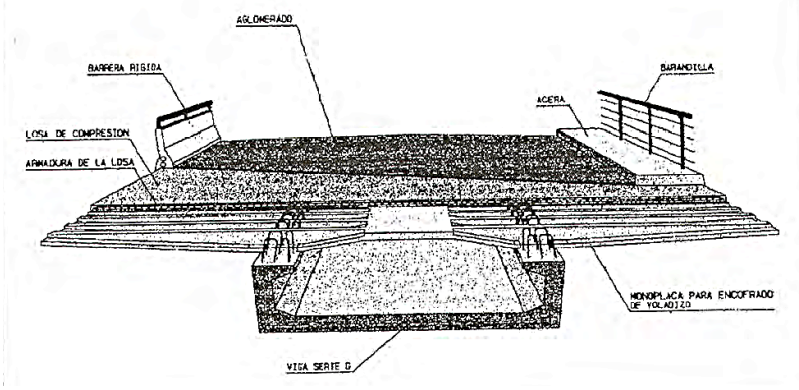


Figura 4. *Perspectiva de tablero monoviga.*
Fuente: Nudos de carreteras. Normativas y tendencias actuales.

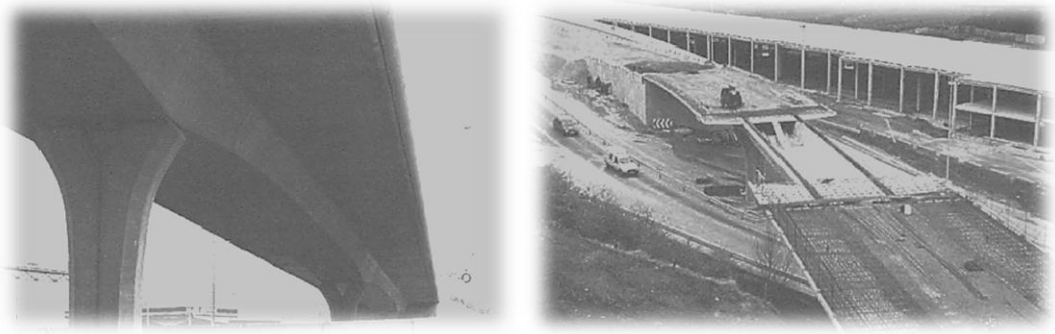


Figura 5. *Tablero monoviga continuo. Durante la ejecución se observan las pre-losas.*
Fuente: Nudos de carreteras. Normativas y tendencias actuales.

Estudio de casos de intersecciones a desnivel proyectadas en Cuba.

- **Intercambios proyectados en la Autopista Nacional.**

La Autopista Nacional, constituye el mayor proyecto vial de todos los tiempos realizado en el país, por su extensión y por los requerimientos técnicos que exigió, previendo su extensión desde Pinar del Río hasta Guantánamo. Está destinada a satisfacer las necesidades de los recorridos a grandes distancias, de modo que estos se efectúen en un mínimo de tiempo y con el máximo de seguridad. Para ello, en su proyecto inicial se previeron cruces con otras vías a distintos niveles, cercas a ambos lados que impidan animales en la vía, separador central para evitar el deslumbramiento de los conductores que

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

vienen en sentido contrario y por supuesto, un completo sistema de señalización. (de las Cuevas Toraya, 2001)

Esta importante vía de envergadura nacional fue proyectada de acuerdo con las normas vigentes a nivel internacional, con una velocidad de diseño para la mayor parte de su recorrido de 140 km por hora y un ancho de carriles de 3.75 metros, 5,00 metros de separador central y paseos a ambos lados de 3.50 metros, de los cuales 3,00 metros son pavimentados. Tiene una extensión de 267.7 km, y se construyó con 8 carriles de la salida de la Capital hasta el km 32; el resto con 6 hasta Santa Clara. A partir del año 1990, esta monumental obra tuvo que detenerse dada la drástica disminución del comercio nacional con el Campo Socialista y principalmente con la URSS, debido al proceso de reordenamiento económico que devino en período especial, durante el cual el combustible se redujo de 13 millones de toneladas a cuatro, lo que obligó a reajustar los planes constructivos y uno de los más afectados resultó el de los viales.

Según el proyecto original de la Autopista Nacional, esta se extendería a lo largo de todo el país con un total de 1026,40 kilómetros de recorrido, y estaría prevista de 94 pasos a desnivel y 83 intercambios en toda su extensión, concentrándose en su mayoría en los tramos de Pinar del Río a La Habana y de La Habana a Santa Clara.

Figura 6. *Salida de la Habana, a entroncar con la Autopista Habana a Pinar del Río. Fuente: 500 Años de Construcción en Cuba.*

Como modelo general, los intercambios sobre la autopista están constituidos por puentes de vigas apoyados sobre pórticos de cuatro columnas para los pasos superiores, que se extienden al ancho del tablero, el cual comprende los dos carriles de circulación para cada sentido por separado, además de pretiles y defensas a ambos lados, mientras los ramales fueron originados mediante movimiento de tierra. En sentido general, los intercambios se ubicaron en cruces de la nueva vía con caminos existentes, por lo que la topografía del terreno fue poco aprovechada, dando lugar a los excesivos movimientos de tierra que ascendieron como promedio a 130 000 m^3 por kilómetro de vía, de los cuales 22 000 m^3 correspondieron a la incorporación de base pétrea. De esta forma, en casi la totalidad de los

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

intercambios y pasos a desnivel se generaron estribos abiertos, condición que conllevó a la incorporación de dos luces adicionales en cada uno, para salvar la inclinación del material de relleno, el cual se encuentra contenido en la mayoría de los casos por losas de hormigón fundidas *in situ*, con el objetivo de brindarle mayor estabilidad.

Intercambios proyectados en la carretera Guanajay-Mariel.

Como estrategia económica nacional, la zona de desarrollo del Mariel ha devenido epicentro del desarrollo mercantil cubano con el traslado a esa región del puerto de La Habana. Debido a la importancia que embiste la infraestructura vial que conecta ese territorio con la capital, las inversiones estatales han dado un giro hacia su adecuación a las futuras condiciones del tráfico. De esta forma, la Empresa de Proyectos para Obras del Transporte (EPOT) lleva a cabo el redimensionamiento de los principales accesos y las vías que a ellos confluyen, con el objetivo de aumentar la oferta y mejorar las condiciones de funcionamiento vial que impondrá el desarrollo económico de la zona. Para ello se han de diseñar nuevas intersecciones tanto a nivel como a desnivel, llevando a cabo un complicado proceso que consiste tanto en la modificación de variantes existentes como en la proyección de nuevas soluciones. Tal es el caso de la obra ubicada en el municipio Mariel, provincia Artemisa, en la carretera Nodarse-Quiebra Hacha, en el poblado de Rio Hondo. El objetivo de la Inversión –denominada Intersección No.1- es la de canalizar el tráfico del flujo vehicular hacia o desde la Carretera Nodarse-Quiebra Hacha al Vial Angosta; el que estructura la zona A-6 de Desarrollo del Mariel. Con la construcción de la intersección se logra la comunicación desde el resto del municipio con el área del Nudo Ferroviario, la Terminal Intermodal y el área de Vista del Mar. Tomando como referencia los parámetros técnicos del vial Angosta, se ha diseñado la intersección a nivel canalizada con una velocidad de diseño de 40 km/h, con un ancho de calzada de 14,00 m, con carriles de 3,50 m y parterres y aceras de 1,50 m.

Por otra parte, el intercambio tipo trébol parcial ubicado en el cruce entre la carretera Guanajay-Mariel y la Circunvalación Zayas, constituyendo la primera la vía principal. Se propone así incorporar un ramal en lazo correspondiente al giro de izquierda desde la vía principal hacia la secundaria, lo que permitirá una mayor movilidad dentro del nudo y mayor accesibilidad a los objetivos económicos ubicados en ese sentido de la circunvalante.

Modelo de intersección a desnivel semidireccional.

El modelo de intersección a desnivel semidireccional, propiamente dicho, no ha sido definido de forma categórica en las bibliografías referentes al tema, por lo que, para la confección del mismo, el autor ha analizado los componentes generales de casos de estudio

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

tanto nacionales como extranjeros, distinguiéndose como elementos conformantes los siguientes:

- Los ramales.
- Las estructuras de separación de niveles.
- Las obras de drenaje.
- Las pasarelas o pasos peatonales.
- El alumbrado en todos los niveles y ramales de interconexión.
- El tratamiento paisajístico en el interior y los alrededores del intercambio.
- La señalización horizontal y vertical, así como la colocación de dispositivos de control y seguridad vial.

Cada uno de estos elementos constituye por separado un objeto dentro del proyecto, por cuanto la documentación técnica para su diseño específico se debe elaborar según la fase a la que corresponda. En el caso de la Solución Conceptual de intersección a desnivel semidireccional, se tendrá en cuenta el predimensionamiento de los ramales, las estructuras de separación de niveles, y la posible ubicación de pasarelas peatonales.

Con el fin de brindar al usuario de la vía la información necesaria para que se desenvuelva de forma segura dentro de los flujos vehiculares, es necesario definir la proyección, construcción, colocación y conservación de la señalización en cualquiera de sus modalidades, incluyendo los dispositivos de control en los puntos que por sus características los requieran. Esto, sin embargo, se debe definir en etapas posteriores del proyecto.

Por otra parte, se hace indispensable la ejecución de un proyecto de iluminación, que permita a los usuarios nocturnos hacer uso de la señalética colocada, incluso cuando en su mayoría actúen con el propio alumbrado de los vehículos. Este caso, al igual que el tratamiento paisajístico, es un elemento cuyo diseño corresponde a especialistas en sendas materias integrados a los Ingenieros Civiles en los equipos de proyecto.

La Ingeniería de Tránsito. Principios y objetivos.

La Ingeniería de Tránsito es la rama de la ingeniería que se ocupa de estudiar las características de los cinco elementos fundamentales de tránsito: el conductor, el peatón, el vehículo, la vía y el medio ambiente, así como las relaciones entre esos elementos.

Su definición más completa es: “La rama de la Ingeniería que trata del planeamiento de calles, carreteras y caminos, y las zonas anexas a ellos; del proyecto de sus características geométricas y de la circulación del tránsito, así como de la interacción de todos sus

(c) 2016, Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

elementos, con vista a transportar personas y cosas, de forma segura, económica y cómoda" (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994)

El desarrollo del tránsito y la capacidad de adaptación de las carreteras a sus condiciones, son aspectos indispensables a tener en cuenta al planificar la vialidad de un país, provincia o región. De esta forma, se hace necesario evaluar el crecimiento demográfico, las tendencias al aumento en el número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra. El progresivo aumento del tránsito es uno de los factores más importantes en el crecimiento y transformación de un centro urbano y de una región, por lo que los elementos inherentes a la circulación de vehículos por carreteras deben estar presentes en toda programación urbanística y en toda planificación de política económica. El personal capacitado a los efectos del diseño vial, debe no solo encontrar la mejor solución al menor costo posible, sino que también debe desarrollar eficientemente acciones a largo plazo, que tiendan a mejorar las condiciones del tránsito sin imponer restricciones innecesarias al mismo.

Corrientes vehiculares.

Se define como el conjunto de vehículos que circulan por una calzada en una dirección y en el mismo sentido. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994) Por lo general se generan corrientes de una o varias filas, las cuales poseen características diferentes, fundamentalmente debido a la restricción de velocidad por los vehículos que transitan al frente de la fila, y la posibilidad de efectuar maniobras de adelantamiento.

Las propiedades de las corrientes vehiculares son difícilmente definibles, debido a la variabilidad de la circulación de los vehículos dentro de cada una de ellas, cuyos movimientos están condicionados por sus características funcionales, la interacción entre ellos, las restricciones que impone la vía, las regulaciones del tránsito y el entorno, además de las decisiones individuales de los conductores.

Volúmenes de tránsito.

Se define **volumen de tránsito** como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un período determinado. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994) Los **volúmenes de tránsito** según el intervalo de observación en los estudios de campo, se pueden agrupar en **absolutos o totales, promedio diarios** y **horarios.** Los **absolutos o totales** aforan el número total de vehículos que pasan por la estación de observación durante un lapso de tiempo determinado, definiéndose para períodos de un año, un mes, una semana, un día,

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

una hora e inferior a una hora, el **tránsito anual (TA), mensual (TM), semanal (TS), diario (TD), horario (TH) y la tasa de flujo (q),** respectivamente**.** Aunque los períodos se establecen de forma natural y no cronológica -de forma tal que la única condición sea la continuidad de las unidades muestrales de tiempo- resulta muy útil en la práctica hacerlos coincidir, con el fin de conocer la secuencia temporal de variación del tráfico. De esta forma, al efectuar un aforo durante 365 días seguidos, si comenzara el primer día del año (1ro de enero) se puede graficar el comportamiento del tránsito durante el año, lo que sirve como referencia para análisis de tráfico consiguientes.

Los **volúmenes de tránsito promedio diario (TPD)**, son el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor que un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del período. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994) Si la observación se realiza durante un año, un mes o una semana, se generan los tránsitos promedio diarios anual, mensual y semanal, respectivamente, siendo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) el más empleado en la caracterización del tráfico que circula por una carretera, y su predicción al futuro.

Entre los **volúmenes de tránsito horarios**, dependiendo de la hora seleccionada, se pueden mencionar el **máximo anual (VHMA); de máxima demanda (VHMD); décimo (10VH), vigésimo (20VH), trigésimo anual (30VH);** y **de proyecto (VHP)**. El **VHMD** es un marcador de gran empleo en la determinación de la oferta y demanda de las carreteras, siendo el máximo número de vehículos que pasan por un punto de una calzada durante sesenta minutos consecutivos, con respecto a todas las horas del mismo día.

En sentido general, los volúmenes de tránsito se emplean a los efectos de la ingeniería de tránsito en el análisis de capacidad y niveles de servicio, la caracterización de flujos vehiculares, la zonificación de velocidades, la evaluación de la necesidad de dispositivos de control, y el estudio de estacionamientos. Por otra parte, la información derivada del procesamiento de los datos de volúmenes de tráfico, es la base para el diseño de las carreteras y las intersecciones entre ellas, y son decisivos en la determinación de cambios de solución de diseño tanto en unas como en las otras.

Capacidad vial.

La capacidad de una vía es la máxima cantidad horaria de vehículos que razonablemente se pueda esperar que crucen una sección de un carril o calzada bajo condiciones prevalecientes de la carretera, el tráfico y los dispositivos de control. (Roess et al, 2004) Aunque en este concepto se refiera la máxima cantidad de vehículos en una hora, por regla general se emplea la tasa de flujo correspondiente a 15 minutos. Como condiciones

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

prevalecientes de la vía se refiere a sus características geométricas, tales como ancho de carril, cantidad y separación entre ellos, condiciones de la superficie de rodadura de la vía, y los elementos del trazado en planta y perfil, tales como rampas, pendientes y distancias de visibilidad. Como condiciones del tránsito se refiere a los aspectos relativos a las corrientes vehiculares, como intensidad, velocidad, composición vehicular, probabilidad de estacionamiento de vehículos e intensidad de flujo peatonal, los cuales han de conjugarse en aras de lograr un flujo ininterrumpido sin interferencias de otras corrientes vehiculares que se entrecrucen o la existencia de flujo peatonal dentro de los carriles de circulación. En ambos casos, las condiciones han de variarse necesariamente si se pretende exceder los valores existentes de capacidad en una vía en particular.

Niveles de servicio.

El concepto de nivel de servicio fue dado a conocer en el *Highway Capacity Manual* del año 1965, como una conveniente forma de describir la calidad general de las operaciones en una carretera con condiciones del tráfico, la vía y los dispositivos de control definidas. (Roess et al, 2004) Estableciendo una escala desde la A hasta la F, la terminología para describir la calidad operacional en carreteras ha devenido una importante herramienta en la explicación de problemas complejos del tráfico por los especialistas en la materia, tanto a funcionarios como al público en general.

Se define como nivel de servicio a una medida de calidad que describe las condiciones operacionales dentro de un flujo de tráfico, tomando como medida de las condiciones del servicio la velocidad y el tiempo de viaje, la libertad para maniobrar, las interrupciones de tráfico, y el confort y conveniencia. (Transportation Research Board, 2000) Basado en los elementos a evaluar, se puede afirmar que los niveles de servicio son un reflejo de la oferta vial de una carretera, es decir, de su potencial de respuesta a la demanda impuesta por la capacidad vial derivada del tráfico presente y futuro.

Según la Norma Cubana 53-118:1984, se define el nivel de servicio como cualquiera de las posibles combinaciones de operación que puedan ocurrir sobre una carretera, cuando esta acomoda determinados volúmenes de tránsito. El nivel de servicio de una vía en un momento determinado, constituye una medida cuantitativa que describe las condiciones de operación de los flujos vehiculares y su percepción por los conductores y pasajeros.

Existe un criterio unificado para describir las características de los flujos vehiculares en los diferentes niveles de servicio, las cuales se van tornando más críticas en cuanto se avanza desde la A hasta la F. De esta forma, el nivel **A** corresponde al flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación. Aun en el nivel

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

B existe un flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito. Para el nivel **C** el flujo se mantiene en una zona estable, pero muchos conductores comienzan a sentir restricciones para seleccionar libremente su propia velocidad. Ya para el nivel **D** comienza a acercarse el flujo inestable y los conductores tienen poca libertad para maniobrar. El nivel **E** se caracteriza por el flujo inestable, pudiendo llegar a suceder pequeños embotellamientos. Por último, el nivel **F** llega al flujo forzado, dando lugar a la congestión de tránsito.

De este concepto se deriva el de volumen de servicio, el cual dicha normativa establece en correspondencia con cada nivel de servicio, definiéndolo como el número máximo de vehículos que pueden pasar por una sección de vía por hora, en un sentido para carreteras de carriles múltiples, o en los dos sentidos para carreteras de dos o tres carriles, tomando en cuenta las condiciones prevalecientes del tránsito y la vía, mientras las condiciones límites de operación fijadas para el nivel de servicio seleccionado se mantengan.

Velocidad.

Se define velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994) Para un vehículo visto de forma independiente, la velocidad representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros por hora (km/h), y se puede expresar como una función lineal de la distancia y el tiempo siempre que se mantenga constante.

La velocidad es uno de los factores más importantes a considerar por un conductor para seleccionar rutas alternativas o formas de transportación. Los conductores evalúan el valor de una carretera en cuanto al movimiento de personas y bienes por su conveniencia y economía, las cuales están directamente relacionadas con la velocidad. (AASHTO, 2001) La minimización de las demoras consiste el factor primario a considerar en la elección de una ruta para enlazar el origen y destino de un viaje dado, la cual se obtiene de forma simple al lograr un valor de velocidad determinado, sostenerlo en el tiempo y hacer que garantice la seguridad. Para los conductores la velocidad es un indicador de la calidad de su viaje, basados en la libertad de conservar de manera uniforme el valor deseado para dicho parámetro.

A los fines del diseño de carreteras, las velocidades a emplear son, mayormente, la velocidad de diseño y de operación, caracterizando cada una de forma diferente las condiciones en que se desarrolla el flujo vehicular por las redes de carreteras.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

La **velocidad de diseño**, es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 1994) Su valor es propenso a ser variable durante el transcurso de la carretera, debido a los cambios abruptos en la topografía, aunque mantener su valor constante es conveniente, aún más cuando no es tan alto, puesto que el aumento del costo de la obra es muy superior respecto a los ahorros de tiempo que presupone una mayor rapidez.

La velocidad de diseño se selecciona para determinar varios parámetros geométricos de las carreteras. La velocidad de diseño asumida debe tener un valor lógico respecto a la topografía, la velocidad de operación antecedente, el uso del terreno adyacente y la clasificación funcional de la vía. (AASHTO, 2001) Los elementos proyectados en planta, perfil y secciones transversales para una carretera, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancias de visibilidad, superelevaciones, ancho de carriles, y gálibos horizontales y verticales en puentes y pasos a desnivel, entre otros, dependen de la velocidad de diseño establecida para cada proyecto en particular. Una variación en la velocidad de diseño, presupone una variación en cada uno de los parámetros geométricos de la vía, por lo que se puede afirmar que, para iguales condiciones de topografía, emplazamiento, densidad de tráfico y demás factores, con solo variar la velocidad de proyecto se generan infinidades de soluciones geométricas para la misma carretera.

La **velocidad de operación** es a la cual se pueden observar a los conductores operando sus vehículos durante las condiciones del flujo libre. El percentil 85 de la distribución de velocidades observadas es la medida más frecuentemente usada como velocidad de operación, asociada con una situación particular o rasgo geométrico. (AASHTO, 2001) Independientemente de la velocidad para la que ha sido diseñada la carretera, la velocidad de operación da una medida de la calidad de servicio que brinda la vía a los usuarios, pudiendo llegar a ser muy parecida a la velocidad de diseño, siempre que las condiciones de flujo y la garantía de la seguridad de circulación lo permitan; o mucho más baja que esta, dependiendo del nivel de servicio en que se encuentre la vía para el momento en estudio.

Proyección futura de la demanda de tráfico.

El diseño geométrico de nuevas carreteras o mejoras a las carreteras existentes normalmente no debe ser basado en los volúmenes de tráfico actuales, sino que debe considerar los volúmenes de tráfico futuros esperados para la carretera. Una carretera debe diseñarse para acomodar el volumen de tráfico que es probable que ocurra dentro de su

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

período de vida. (AASHTO, 2001) La vida útil de una carretera es muy difícil de estimar, debido a que cada segmento de la misma posee elementos de diferente composición y función, lo que conlleva a un deterioro y régimen de explotación que acotan el tiempo de óptimo funcionamiento para cada parte de la infraestructura vial. De esta forma, es necesario conjugar el tiempo que demorará en aumentar la cantidad de vehículos de forma tal que la velocidad de operación sea tan baja que prácticamente no permita el flujo, dando lugar al congestionamiento o bien en puntos localizados de la vía, o en su totalidad; esto sin duda llevará a la fatiga de la estructura de pavimento, al serle impuestas cargas sostenidas y en un alto número de repeticiones, que se traduzcan en una carga por ejes equivalentes superior a la pronosticada en el diseño.

En un sentido práctico, el volumen de tráfico de diseño debe ser un valor que pueda estimarse con exactitud razonable. Muchos ingenieros de carreteras creen que el período de diseño máximo se encuentra entre 15 y 24 años, por lo que un período de diseño de 20 años es ampliamente empleado. El tráfico normalmente no puede ser previsto con precisión alguna más allá de este período en una carretera específica debido a los cambios probables en la economía regional general, población, y desarrollo de las zonas aledañas a lo largo de la carretera, el cual no puede predecirse con ningún grado de convicción. (AASHTO, 2001) Una vez definidos el período de análisis y el de diseño, se cotejan los valores de los parámetros que impactan el desarrollo progresivo de las corrientes vehiculares, tales como el crecimiento previsto de la economía, ya sea a nivel nacional, o a nivel regional en zonas de especial desarrollo en una rama, tal como es el caso de Varadero y su papel en el turismo. Por ello, en el análisis de proyección al futuro de la intensidad de los flujos vehiculares, se ha empleado en primera instancia el desarrollo del turismo en el polo, y en un segundo momento el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) a precios constantes.

Vehículo de diseño.

Los vehículos de diseño son vehículos automotores seleccionados, con el peso, dimensiones y características de operación usadas al establecer los controles de diseño para acomodar los vehículos de las clases diseñadas. Para los propósitos del diseño geométricos, cada vehículo de diseño tiene mayores dimensiones físicas y mayores radios de giro mínimos que casi todos los vehículos de su clase. (AASHTO, 2001) Estos se emplean dentro del proceso de dimensionamiento de carreteras para determinar el diseño de características críticas tales como radios en las intersecciones y radio de ramales de giro. Según la NC 853:2012. ¨Carreteras rurales. Trazado directo¨, las dimensiones del vehículo de diseño abarcan las de todos los vehículos que transitan regularmente por las carreteras del país. Para su mejor estudio y empleo, los vehículos de diseño se han clasificado en 4

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

tipos generales, denominados **vehículos de pasajeros, camiones, buses** y **vehículos recreacionales**. Según la *American Asociation of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, por sus siglas en inglés), la clase **vehículos de pasajeros** incluye compactos y subcompactos, más todos los vehículos livianos y camiones livianos de reparto (furgonetas y camionetas); la clase **camiones** incluye los camiones de unidad única, buses articulados y camiones o tractor-camiones con semirremolques en combinación con remolques completos; la clase **buses** incluye los buses de unidad única , buses articulados, y buses escolares, la clase **vehículos recreacionales** incluye vehículos de pasajeros o casas rodantes tractoras que tiran remolques o botes.

Solución Conceptual: interfase de la documentación técnica del proyecto.

La Solución Conceptual surge como interfase de la documentación técnica de proyecto en el **Decreto 327/2015 ¨Reglamento del proceso inversionista¨**, ubicándose secuencialmente entre las fases de **Ideas Preliminares** –basada en índices de proyectos similares, siendo aplicable solo en los Estudios de Oportunidad- e **Ingeniería Básica** o **Proyecto de Ingeniería Básica.**

Las **Soluciones Conceptuales** constituyen la primera etapa del proyecto, partiendo de la tarea de proyección y otras informaciones iniciales entregadas por el inversionista, y se elaboran en coordinación o consulta con este y otros sujetos del proceso inversionista. Según el articulado del documento, esta nueva interfase constituye la primera respuesta a la solicitud del inversionista para las alternativas de la inversión. Su alcance incluye el desarrollo del planeamiento, zonificación, funcionalidad, tecnología, energía y completamiento de la programación técnica de necesidades, de acuerdo con el alcance de la solicitud y la información entregada por el inversionista. La documentación escrita y gráfica de las soluciones conceptuales o proyecto técnico, se expone de forma esquemática o muy elemental, pero clara y precisa, mediante croquis o dibujos a escala y cálculos que fundamenten las soluciones de ingeniería adoptadas y formuladas. Permite la evaluación técnica preliminar de las soluciones fundamentales de la inversión. Constituye un primer nivel de aproximación y de precisión del presupuesto estimado en la tarea de proyección, por lo que su documentación sirve de base al inversionista para los estudios de prefactibilidad y establece las ideas rectoras de la configuración que posteriormente es desarrollada por los proyectistas.

Debido a las coincidencias entre el alcance de la fase de Ideas Conceptuales según la Resolución 91/2006 ¨Indicaciones para el proceso inversionista¨, y el de la interfase de Soluciones Conceptuales según el Decreto 327/2015 ¨Reglamento del proceso

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

inversionista¨, se puede afirmar que la segunda suplanta a la primera sin ocasionar variaciones notables en el resultado final de la documentación técnica del proyecto. De esta forma, el estudio de soluciones similares de acuerdo al tipo de proyecto a ejecutar, se segrega en una nueva fase a la que se le ha llamado Ideas Preliminares, en la cual se hace un análisis de los elementos generales que pudieran servir como punto de partida para la elaboración de Soluciones Conceptuales.

Análisis comparativo de las fases del proyecto según la Resolución 91/2006 y el Decreto 327/2015.

Resolución 91/2006: ¨Indicaciones para el proceso inversionista¨	Decreto 327/2015: ¨Reglamento del proceso inversionista¨
Etapas de proyecto. El proyecto define técnica y económicamente la inversión y la divide en etapas con diferente alcance y contenido, según las características y complejidad de la inversión o de sus partes, pudiéndose fusionar entre ellas, llegando a un proyecto de un grado o también denominado proyecto técnico – ejecutivo.	
<u>Artículo 60</u> **Ideas Conceptuales** para las inversiones de obras de arquitectura e ingeniería y de **Ingeniería Conceptual** para las inversiones de obras industriales y tecnológicas. **Anteproyecto** o **Ingeniería Básica.**	**<u>Artículo 70.1</u>** **Ideas Preliminares**, que se realizan a partir de índices de proyectos similares, con un margen de fiabilidad de hasta 30%, utilizándose solo en los Estudios de Oportunidad. **Soluciones Conceptuales** o **Proyecto Técnico** para todas las inversiones constructivas de montaje, con consideración de la arquitectura y de la ingeniería conceptual, con un margen de fiabilidad de hasta 20%, por lo que se utiliza en los Estudios de Prefactibilidad. **Ingeniería Básica** o **Proyecto de Ingeniería Básica**, con un margen de fiabilidad de hasta 10%, por lo que se utiliza en los Estudios de Factibilidad. **Proyecto Ejecutivo** o **Ingeniería de**

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Proyecto Ejecutivo o **Ingeniería de Detalle.**	**Detalle**, por el cual se ejecuta la inversión.

Caracterización de la zona de emplazamiento.

Para analizar las características físicas existentes en la zona, se toman como base los planos topográficos y otros documentos sobre el Intercambio, en el cual se observan las características topográficas, cultivos, edificaciones, condiciones geotécnicas, hidrología y redes técnicas existentes, a partir de las cuales se evalúan aproximadamente las diversas afectaciones posibles.

La península de Varadero, con una extensión de 30 km de extensión de los cuales 22 km ubicados al norte son de playas, se encuentra ubicada en la costa norte de la provincia de Matanzas, limitando al norte con el estrecho de La Florida, al sur con la bahía de Cárdenas, al este con la Cayería Sabana Camagüey, y al oeste con la bahía de Matanzas. Su principal renglón económico es el desarrollo del turismo y la mayor fuerza laboral de la región está en función del mismo. Luego de haberse dragado el Canal de Paso Malo, el único acceso por tierra a la península quedó establecido sobre un puente bascular, el cual la conecta con la localidad de Santa Marta, donde a escasos metros del puente se encuentra la parcela de emplazamiento del nudo de entrada a Varadero, en los 23°07'53" de latitud Norte, y los 81°07'17" de longitud Oeste. El área del nudo se encuentra restringida por la presencia de obras civiles tales como el Anfiteatro de Varadero, el Instituto Preuniversitario Urbano ¨Martin Klein Schiller¨ y la pista del aeropuerto de Varadero, actualmente en desuso.

Se localiza sobre una estructura geológica neoplatafórmica transgresivo-litoral, constituida por rocas marinas del período del Cuaternario en la época del Pleistoceno, por lo que la columna estratigráfica de la zona posee la configuración típica del cuaternario marino cubano. La litología existente es prácticamente homogénea, aflorando en ella la roca calcarenita de color amarillo crema, dureza baja, granulometría media, y textura porosa y con presencia de oquedades, presumiblemente debido a la recristalización y el agrietamiento.

Las rocas calizas organógenas de la Formación Jaimanitas y las calcarenitas de la Formación Varadero constituyen el substrato sobre el que se depositaron los sedimentos sueltos que hoy yacen en la superficie del territorio, sobre los que se encuentra una fina capa vegetal de entre 5 y 20 centímetros de espesor. La característica principal del suelo de la zona es su escaso grado de evolución, por encontrarse en una zona geológica muy joven. El suelo que sostiene la zona de enclave del nudo actual es de tipo arenoso, y se despliega por toda la franja norte, sirviendo de sostén a la faja del complejo de vegetación costera.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Existe una capa ingeniero-geológica formada por la roca calcarenita de color amarillo crema y dureza baja, que clasifica como un macizo rocoso regular y yace a una profundidad que oscila entre 5 y 20 centímetros, los correspondientes a la capa vegetal. Los valores de las propiedades físico-mecánicas obtenidas a través de los ensayos de laboratorio realizados por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, se pueden apreciar en el Anexo 1. A los efectos del diseño de un intercambio vial, la resistencia del suelo se hace necesaria en la evaluación dos aspectos fundamentales: la selección y diseño del tipo de cimentación a emplear para soportar las estructuras de separación de niveles, y el dimensionamiento de la estructura del pavimento de los ramales a nivel.

Los vientos predominantes son los alisios del noreste, y su temperatura media anual se encuentra en valores próximos a los 25°C, fluctuando desde 21,5°C en los meses de enero y febrero, hasta 27,5°C en los meses de julio y agosto. La precipitación media anual oscila entre 800 y 1000 mm, distribuida temporalmente en un período lluvioso de mayo a octubre en el que se pueden reportar entre 600-800 mm, y otro poco lluvioso, en el que se registran valores inferiores a 200mm. En los meses restantes del año, las precipitaciones son de poca frecuencia e intensidad. Tanto para la determinación del impacto de la carga de viento en las estructuras separadoras de niveles, como para el cálculo del factor de mojado como nivel de exposición de las mismas a la lluvia, se hace necesario conocer estos datos, los que influyen en la selección de elementos geométricos de los elementos tales como recubrimientos y cuantías de acero, que permitan soportar las tensiones provocadas en la estructura y salvaguardar de la corrosión a las barras de refuerzo.

El escurrimiento de las aguas superficiales se efectúa de forma muy rápida fundamentalmente debido a la pendiente del terreno –cuya cota máxima es 5.20 m, cota mínima de 2.70 m, y cota de inundación por intensas lluvias o por penetración del mar por debajo de 1. 00 m–y a la capacidad de infiltración de la roca dada por su porosidad. El nivel freático, dada la cercanía al mar, coincide con el nivel medio del mar (NMM) y fluctúa según la marea. Estas condiciones son de necesaria consideración en el diseño geométrico de la carretera y el intercambio, por cuanto el drenaje debe estar garantizado en todo proyecto vial. Además, las condiciones de humedad en el suelo determinan las soluciones técnicas respecto a las cimentaciones de las estructuras con el fin de asegurar su durabilidad.

La flora se caracteriza por la presencia de manigua costera, cocoteros, uvas caletas, y bosque de mangle asociado a un suelo hidromórfico del tipo pantanoso costero con un visible grado de degradación por las acciones antrópicas. En tal entorno, se ha de contextualizar la solución de intercambio con un tratamiento paisajístico que establezca

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

nexos con la vegetación autóctona de la zona, a la vez que brinde una imagen exótica y acogedora de Varadero a sus visitantes nacionales y foráneos.

Soluciones constructivas diseñadas anteriormente.

La carretera que une actualmente la ciudad de Matanzas con Varadero, fue ejecutada alrededor del año 1948, fecha en la cual se acometió la ejecución de una intersección donde concurrían dicho vial y la antigua carretera que enlazaba a Cárdenas con la península. El diseño original contó con cuatro carriles para la vía en dirección a Varadero y dos carriles para las vías dirigidas a Matanzas y a Cárdenas. Los giros a la derecha se realizaban de forma directa, mientras los giros a la izquierda se efectuaban bordeando la isleta central, con obligación de ceder el paso a los giros de izquierda que se encontraran realizando la operación mientras el vehículo con tales intenciones se acercaba a la intersección.

Figura 7. *Intersección a nivel sin canalizar en el nudo de entrada a Varadero.*
Fuente: Archivo Histórico de la Ciudad de Matanzas.

Figura 8. *Intersección a nivel con*

A la altura del año 1998, debido a que la intersección anteriormente ejecutada se había explotado sin modificaciones por casi medio siglo, se decidió mantener las derechas libres como hasta el momento, establecer como flujo directo con control mediante semáforo al de los vehículos que salían de Varadero hacia Cárdenas, debido a la concentración de servicios dirigidos al turismo que se encontraban y se proyectaba que se encontrarían en el futuro en la zona entre tales origen y destino; mientras tanto, los giros de izquierda desde Matanzas hacia Varadero y desde Cárdenas aMatanzas, se canalizaron por dentro

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

ramales de canalización para giros de izquierda. Fuente: Google Earth.

de la isleta central de la otrora intersección, controlados también por semáforos.

Bibliografía

AASHTO. (2001). A policy on geometric design of highways and streets (4th ed.). Washington, D.C.: American Assosiation of State Highway and Transportation Officials.

Brockenbrough, R. L., &Boedecker, K. J. (2004). Highway Engineering Handbook. Minneapolis, Minnesota: Editorial McGraw-Hill.

Cal y Mayor Reyes Spíndola, R. y James Cárdenas Grisales. (1994). Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones (7ma ed.). México, D.F.: Editorial Alfaomega.

de las Cuevas Toraya, J. (2001). 500 años de Construcciones en Cuba (1ra ed.). Madrid: DV Chavín, Servicios Gráficos y Editoriales, SL.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"

ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Mendoza Sánchez, J. F., Quesada Bermúdez, F. M., & Trejo Trejo, J. A. (17 de enero de 2016). publicaciones@imt.mx. Obtenido de http://www.imt.mx

Ministerio de Fomento. (2012). Guía de nudos viarios (1ra ed.). Madrid: Ministerio de Fomento.

Ministerio dos Transportes. (2005) Manual de Projeto de Interseçoes. (2ª Edição). Río de Janeiro: Instituto de Resquisas Rodoviarias.

Mora Castañeda, D. L. (2010). Estado del arte en el análisis del comportamiento de las intersecciones viales tipo diamante. Bucaramanga, Colombia: Editora Universidad Industrial de Santander.

Nobell, P. (2002). Nudos de carreteras. Normativas y tendencias actuales. Barcelona, España: Editorial Hermes Gráficos.

Oficina Nacional de Normalización. (2012). NC 853. Categorización técnica y características geométricas del trazado directo. La Habana: NC.

Oficina Nacional de Normalización. (1984). NC 53-118. Vías con flujo ininterrumpido. Métodos de cálculo de las capacidades, volúmenes y niveles de servicio. La Habana: NC.

Roess, R. P., Prassas, E. S., &McShane, W. R. (2004). Traffic Engineering (3ra ed.). New Jersey: Editorial Pearson Prentice Hall.

Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual. Washington, DC: National Academy of Sciences.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X