

Asociación Cruzada Vial

INFORME

Evaluación de la Ingeniería de Tránsito Aplicada en el Proyecto Intercambio Vial a Desnivel Benavides.

PRESENTACIÓN

La Asociación Cruzada Vial promueve la gestión eficiente del tránsito para aminorar la congestión vehicular y la inseguridad vial. Así mismo, brinda asesorías técnicas en temas de diseño vial, ingeniería de tránsito, y seguridad vial. Con estos fines, se realizó una evaluación independiente del estudio de Tránsito y el diseño vial que presenta “Vías Nuevas de Lima” para el intercambio vial de la Avenida Benavides con la Panamericana Sur. La evaluación fue conducida por un colaborador con la Asociación Cruzada Vial especializado en el tema y cuyos comentarios escribe él mismo en el presente informe.

Sobre el Autor

David Fairlie es un ingeniero peruano, graduado de la carrera de ingeniería civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en el año 2006. Ese mismo año emigró al estado de Connecticut, en los Estados Unidos y recibió capacitación en el campo de la ingeniería de tránsito.

Durante cuatro años brindó sus servicios profesionales al Estado de Connecticut como ingeniero de transportes en la División de Ingeniería y Operaciones de Tránsito del Connecticut Department of Transportation (CT-DOT). Las funciones que tuvo durante su empleo con el CT-DOT incluían, entre otras:

- Diseñar semáforos nuevos e implementar mejoras a semáforos existentes.
- Optimizar la programación, fases, detección vehicular y coordinación de semáforos para agilizar el flujo vehicular en las calles y carreteras Estatales.
- Revisar los estudios de impacto vial de las empresas de construcción que buscaban la aprobación de alguna obra, y asegurar que las medidas de mitigación para el tráfico generado sean adecuadas y que cumplan con los estándares de diseño vigentes.
- Atender las solicitudes de los oficiales del estado (Senadores, Representantes Públicos, Alcaldes, etc.) y del público en general, que requieren atención del Departamento de Transporte e iniciar las acciones de ingeniería apropiadas del caso y brindar una respuesta oficial como representante del Departamento de Transporte.
- Llevar a cabo Asesorías en seguridad vial de las vías e intersecciones que presenten una alta incidencia de accidentes y evaluar las condiciones de señalización, líneas visuales, características geométricas que pudiesen ser mejoradas para corregir el problema e iniciar las medidas correctivas necesarias.
- Preparar estudios del “Antes y Después” de los lugares en donde se implementaron mejoras de seguridad vial en todo el Estado de Connecticut para evaluar la eficacia de dichas mejoras.

En el año 2010 el Ingeniero Fairlie se trasladó a la zona de Atlanta, en el estado de Georgia, y aceptó trabajar en el sector privado para la firma de ingeniería Moreland Altobelli Associates, Inc. (MAAI) en donde se desempeña como Ingeniero de Tránsito y para la cual trabaja hasta la fecha de hoy. Las funciones que lleva a cabo en MAAI son, entre otras, las siguientes:

- Desarrollar alternativas viables para la construcción de obras de infraestructura vial, analizar cada alternativa, compararlas, y formular recomendaciones en base a los resultados obtenidos. Específicamente el ingeniero Fairlie hizo este trabajo para el intercambio vial de la interestatal I-285 y la Ashford Dunwoody Road, el cual fue el primer intercambio del tipo Diamante Divergente en el Estado de Georgia y uno de los primeros de su tipo en construirse en los EEUU. Subsecuentemente el Ing. Fairlie ha brindado sus servicios en el diseño de otros dos intercambios viales del tipo diamante divergente en el estado de Georgia.
- Preparar estudios de capacidad para carreteras, análisis de capacidad para rampas de salida o de ingreso a carreteras, y análisis de flujo vehicular entrecruzados en diferentes vías del estado de Georgia.
- Preparar informes para justificar la construcción de intercambios viales y solicitar la aprobación del Departamento de Transporte de Georgia (GDOT).

Por su experiencia lograda, se considera que el ingeniero Fairlie tiene las credenciales requeridas para hacer una evaluación cualitativa adecuada e imparcial del Proyecto IVD Benavides.

Introducción

En Noviembre del año 2014 un grupo de residentes del distrito limeño de Santiago de Surco buscó la ayuda técnica de la Asociación Cruzada Vial para evaluar la viabilidad de un proyecto que la empresa Odebrecht, a través de la concesionaria vial Rutas de Lima, propone construir en los alrededores del Puente Benavides como parte del Proyecto Vías Nuevas de Lima. Entre otras cosas el proyecto propone restringir permanentemente el flujo del tránsito a un solo sentido en varias calles y avenidas, lo cual provocó la preocupación de los residentes de la zona.

Los residentes de la zona afectada obtuvieron de la empresa Odebrecht, quien está a cargo del diseño y ejecución de la obra, un documento titulado **Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides**, en adelante denominado en este informe como “**el estudio de Odebrecht**”. Posteriormente, los residentes de la zona entregaron este documento a la Asociación Cruzada Vial para ser evaluado independientemente, con el objetivo de verificar la correcta aplicación de los aspectos técnicos y comentar al respecto.

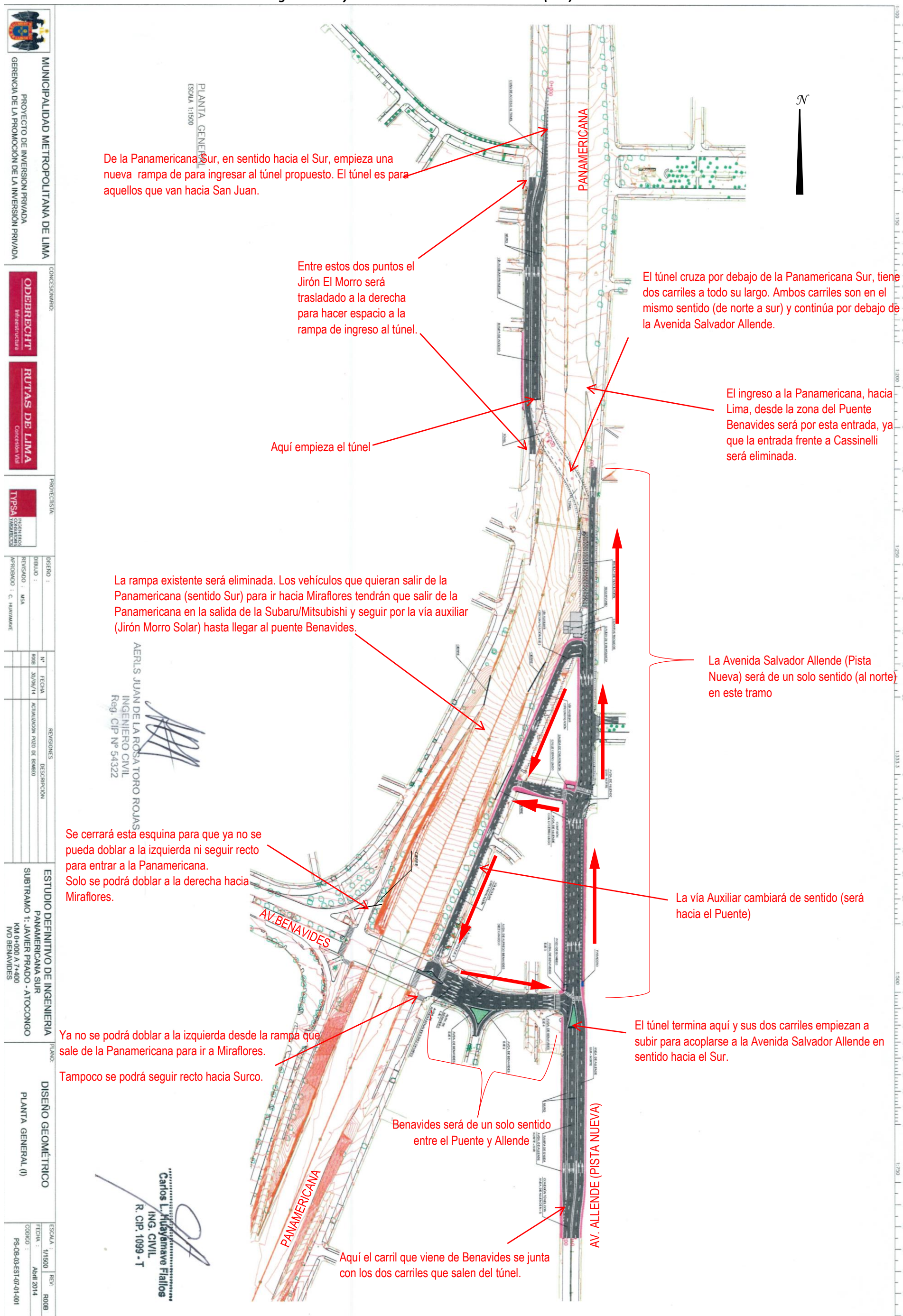
El proyecto propuesto tiene como finalidad mejorar el flujo vehicular en el actual intercambio vial de la carretera Panamericana Sur y la Avenida Alfredo Benavides en el distrito de Santiago de Surco y denominado Intercambio Vial a Desnivel (IVD) Benavides. Según la información y la data contenida en el estudio de Odebrecht, la mayor causa de la congestión que se produce en la zona del estudio es el volumen de vehículos que necesitan girar a la izquierda en las dos intersecciones del intercambio vial y en la intersección de la Avenida Benavides con la Avenida Salvador Allende (también conocida como Pista Nueva). Por ello, el proyecto intenta trasladar por medio de rutas alternas a los vehículos que giran a la izquierda en las tres intersecciones. Para lograr esto el proyecto propone la construcción de un túnel que empieza en la Panamericana sur, en sentido hacia el sur, 500 metros antes de llegar al puente Benavides y que termina 800 metros más al sur en la avenida Salvador Allende (conocida como Pista Nueva) también en sentido sur. Además propone construir carriles adicionales en algunas calles y avenidas, restringir el tránsito en ciertos tramos para que el flujo sea en un solo sentido, instalar nuevos semáforos en algunas calles, entre otras medidas. La Figura 1: Proyecto “Intercambio Vial a Desnivel (IVD) Benavides” es un plano provisto en el estudio de Odebrecht, que muestra el área total de la obra. Al plano se le han añadido anotaciones en rojo para ayudar al lector a interpretar lo que ahí se muestra.

El estudio de Odebrecht incluye los resultados del estudio de Tránsito. Este estudio muestra cómo se espera que el proyecto mejore las condiciones del tránsito de la zona. Así mismo incluye una descripción de la metodología utilizada para obtener dichos resultados y toda la información que se usó para llevar a cabo los análisis. Además, incluye planos que muestran la geometría del diseño vial propuesto para el proyecto, la ubicación y diseño de señales de tránsito y el diseño y programación de los semáforos en las intersecciones dentro del proyecto.

El presente informe ha sido preparado para presentar las observaciones que se hicieron al revisar el estudio de Odebrecht. Se ha tenido cuidado en mantener un lenguaje claro, evitando en lo posible terminologías técnicas, para que pueda ser entendido por cualquier persona que no tenga una educación formal en temas de ingeniería de tránsito.

En el presente informe **solo se evaluará y determinará la validez del análisis de tránsito y el diseño vial del proyecto**. No se hará comentarios sobre el diseño de pavimentos, el costo del proyecto, el estudio de impacto ambiental, el diseño estructural, ni ningún otro aspecto que no sea de ingeniería de tránsito y/o seguridad vial.

Figura 1: Proyecto "Intercambio Vial a Desnivel (IVD) Benavides"

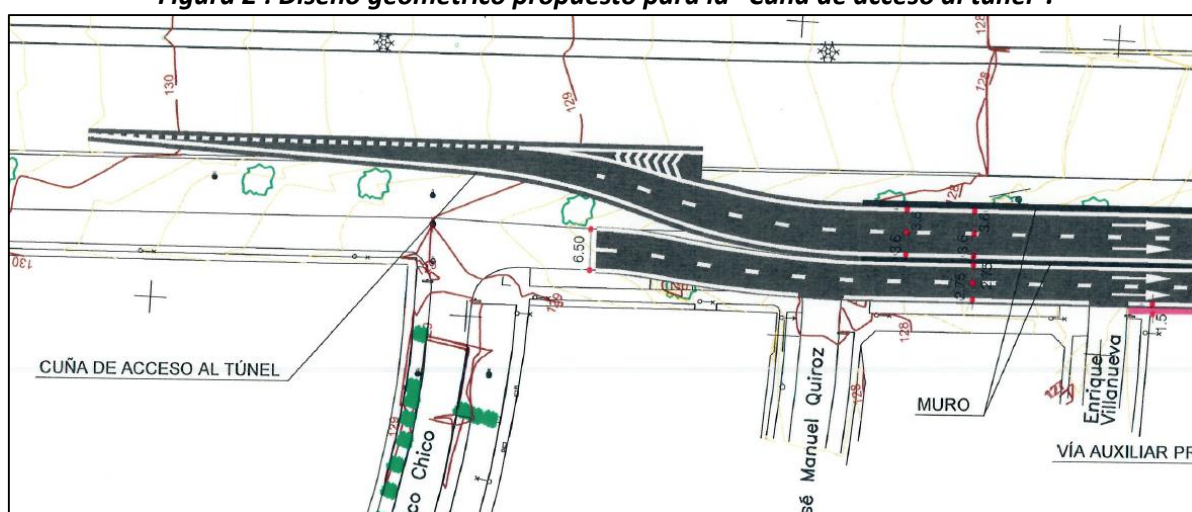


Comentarios

1 Sobre el túnel propuesto

Según la información brindada en el estudio de Odebrecht, el proyecto propone la construcción de un túnel de dos carriles en un solo sentido que diverge de la Carretera Panamericana Sur (en sentido Sur). El diseño geométrico del túnel se describe en el estudio de Odebrecht a través de varios planos. La Figura 2 muestra el diseño de la entrada del túnel que propone el proyecto. El área señalada en la figura como “cuña de acceso al túnel” es la entrada al túnel que nacería del carril de la derecha de la Carretera Panamericana Sur, en sentido hacia el sur. Los dos carriles de la vía auxiliar de la Panamericana serían trasladados hacia la derecha, como muestra la figura, para que ese espacio pueda caber la bajada de dos carriles que entra hacia el túnel subterráneo.

Figura 2 : Diseño geométrico propuesto para la “Cuña de acceso al túnel”.



Fuente: *Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)*

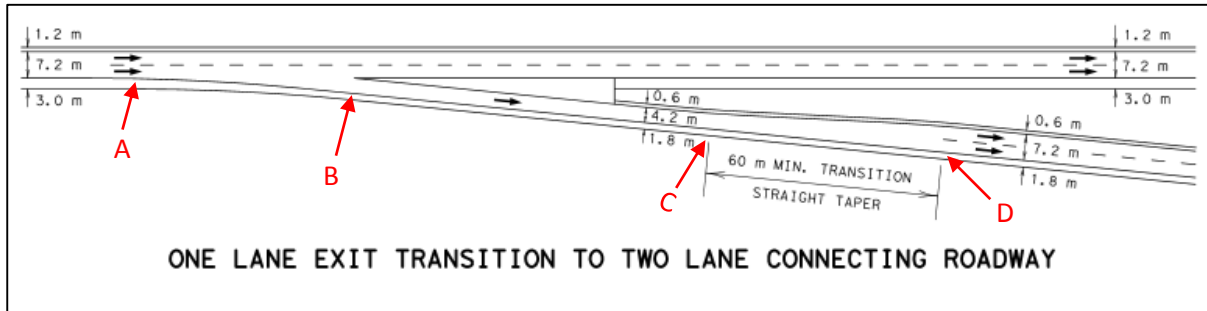
Se menciona en el estudio de Odebrecht que los aspectos de diseño del túnel cumplen con la normativa y con las indicaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). AASHTO es una organización que determina y publica los estándares, especificaciones técnicas, protocolos de ensayo, y pautas para el diseño y construcción de carreteras. A pesar de su nombre, AASHTO no solo determina estándares para autopistas, sino también para el transporte aéreo, férreo, fluvial, marítimo, transporte público y diseño de puentes y estructuras de acero.

A pesar que el estudio de Odebrecht indica que los aspectos de diseño del túnel cumplen con la normativa y con las indicaciones AASHTO esa afirmación parece no ser correcta. Luego de revisar la geometría del desvío para entrar al túnel y la normativa AASHTO para ese tipo de instalaciones se encontraron deficiencias que invalidan dicha afirmación. A continuación se detalla el por qué:

1.1 Sobre Diseño geométrico de la transición de la Panamericana Sur al Túnel propuesto:

Las pautas de AASHTO para rampas de salida (divergentes) de dos carriles contemplan diferentes tipos de diseño. Para rampas de salida de dos carriles, uno de los diseños que se sugieren es el que se muestra en la Figura 3.

Figura 3: Pautas AASHTO para diseño de rampas de salidas con dos carriles.



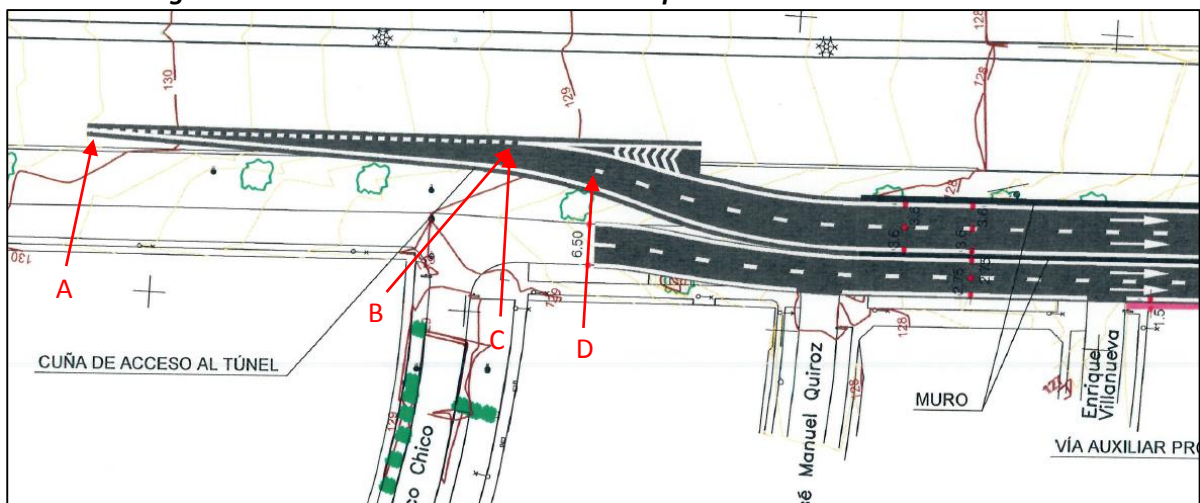
Fuente: <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/rdw/3-32m.pdf>

La ilustración de AASHTO (Figura 3) muestra una vía principal de cuyo carril derecho diverge una salida de un solo carril. Los puntos A, B, C, y D son puntos clave que han sido añadidos para simplificar la explicación.

En la Figura 3 se muestra cómo, desde el punto "A", empieza a aumentar el ancho del carril derecho de la vía principal. El carril derecho aumenta de ancho hasta el punto "B", de donde diverge un carril de salida de 4.2 metros de ancho. La vía divergente mantiene esos 4.2 metros de ancho hasta el punto "C". A partir del punto "C" el carril de la divergente aumenta su ancho a lo largo de un tramo denominado "Transición" hasta llegar al punto "D" en donde alcanza el ancho suficiente para dos carriles (7.2 metros). La longitud mínima del tramo C-D es 60m.

El diseño propuesto para la "cuña de acceso al túnel" no cumple las características de este tipo de salida. Al igual que en la figura de AASHTO, el punto "A" es el punto en donde empieza a aumentar el ancho del carril derecho de la Panamericana y el punto "B" es el punto de donde diverge el carril que va hacia el túnel. Sin embargo, la longitud B-C no existe ya que inmediatamente el ancho del carril de salida empieza a aumentar haciendo que el punto "B" y "C" estén en el mismo lugar. Luego, el tramo C-D (el tramo de transición) parece ser menos de 10 metros, lo cual está muy por debajo de los 60 metros mínimos requeridos por AASHTO.

Figura 4: Ilustración de la ubicación de los puntos clave del diseño AASHTO.



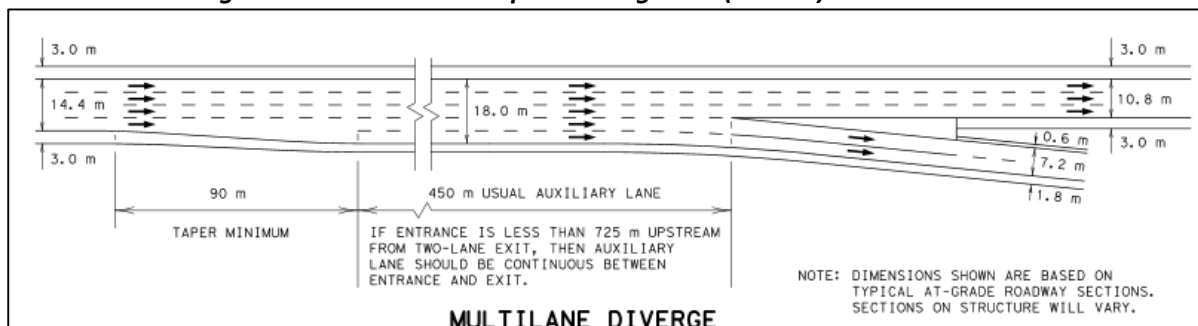
Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

Además, el diseño AASHTO mostrado en la parte superior de la Figura 3 es utilizado para salidas de autopistas hacia una intersección y se hace cuando se requieren dos o más carriles para almacenar a los vehículos mientras esperan para cruzar una intersección al final de la rampa de salida. Por lo tanto,

este diseño no sería adecuado para desviar vehículos hacia un túnel de dos carriles ya que el flujo de ingreso sería limitado por la capacidad que brinda un solo carril. Es decir, no se aprovecharía la capacidad de flujo libre que brindarían los dos carriles del túnel.

Otra opción que presenta AASHTO es la mostrada en la Figura 5. En esta opción la vía principal pierde un carril luego de la garganta de la vía divergente. Además se provee un tramo de transición mínimo de 90 metros (Taper minimum) seguido de un carril auxiliar de 450 metros.

Figura 5: Pautas AASHTO para divergentes (salidas) de dos carriles.



Fuente: <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/rdw/3-35m.pdf>

Las condiciones para el diseño mostrado en la Figura 5 (una carretera de 5 carriles con una salida hacia una vía de 2 carriles) son exactamente las mismas que tendría la entrada al túnel propuesto. Sin embargo, el diseño propuesto para la cuña de ingreso al túnel tampoco se adhiere a esta pauta. No obstante, en la página 33 del TOMO I del estudio de Odebrecht se dice textualmente: *“La cuña de deceleración (sic) cumple con la longitud normativa”*.

No queda claro a qué norma se refiere el estudio de Odebrecht ya que ninguna de las normas AASHTO consultadas permiten una transición (llámese cuña) con las características que se muestran en los planos provistos.

1.2 Sobre el análisis del funcionamiento del túnel

En el TOMO I, página 48 del documento de Odebrecht, se indica que la metodología aplicada para el análisis del funcionamiento del túnel propuesto fue el del Manual de Capacidad para secciones multicarril. Sin embargo, no se ha demostrado mediante análisis que el diseño de la *cuña de acceso al túnel* realmente permita un ingreso fluido de vehículos.

Como se explicó anteriormente, debido a que la entrada al túnel parte desde **un solo carril** de la Panamericana Sur, **la capacidad de la vía dentro del túnel será limitada por la capacidad de ese carril**. Además, el carril de la Panamericana que ingresa al túnel no sería exclusivo para ingresar al túnel, también podría ser utilizado por conductores que deseen continuar en la Panamericana en sentido sur. Por lo tanto, la cuña de entrada al túnel no permitiría que se aproveche totalmente la capacidad de los dos carriles propuestos a lo largo del túnel.

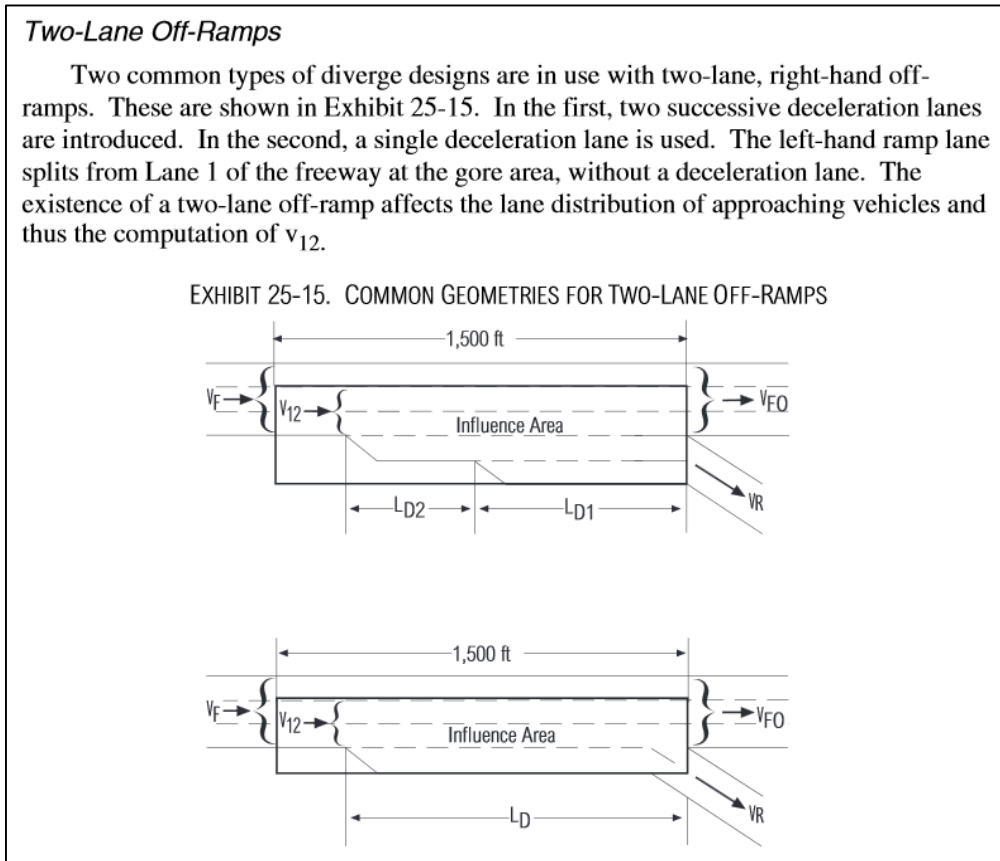
Para poder utilizar la capacidad total de los dos carriles dentro del túnel, sería necesario adoptar el diseño recomendado por AASHTO en la Figura 5 y llevar a cabo el análisis que el Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual) recomienda para **zonas de divergencia y/o rampas de salida**.

La metodología del Highway Capacity Manual para zonas de divergencia y/o rampas de salida es la que se utiliza para pronosticar si el diseño de una rampa de salida funcionará adecuadamente. El resultado indica si se tendrá facilidad o dificultad para salir de una vía y entrar a otra a través de una

rampa, cuña, o una bifurcación. Sin embargo la metodología del Highway Capacity Manual **requiere que el área de divergencia y su tramo de transición correspondiente, sean diseñados de acuerdo a las pautas AASHTO anteriormente descritas.**

En la Figura 6 se muestran los dos tipos de diseño que comúnmente se utilizan para una rampa de salida de dos carriles, una vía expresa, autopista, o carretera de varios carriles. Nótese cómo ambas alternativas incluyen por lo menos un carril de desaceleración en anticipación a la salida.

Figura 6 : Analisis de rampas de salida según el Hlgway Capacity Manual 2000



Fuente: <http://www.webpages.uidaho.edu/ce578/Course%20materials/hcm2k25.pdf> (página 17).

Ya que el diseño que se propone para el ingreso al túnel no coincide con ninguno de los dos tipos comunes de diseño, no cuenta con los elementos necesarios para poder realizar el análisis y verificar su correcto funcionamiento. Es decir, en el diseño que se propone no existen las longitudes L_D , L_{D1} , y L_{D2} mostrados en la figura, las cuales son las variables de las formulas del HCM para realizar el análisis.

1.3 Conclusión sobre el análisis del túnel y el diseño de su rampa de ingreso

Luego de lo anteriormente expuesto se puede concluir que el análisis presentado que determina el correcto funcionamiento del túnel bajo las condiciones de tránsito esperadas no es correcto. El análisis realizado asume que los vehículos no tendrán dificultad en ingresar al túnel. Sin embargo el diseño que se presenta para la rampa de ingreso no cumple con las normas establecidas por AASHTO para vías de esas características. El diseño de la rampa de ingreso al túnel solo permite ingresar al túnel a través de un carril cuyo uso es compartido entre los vehículos que desean ingresar al túnel y aquellos que desean continuar su camino hacia el sur por la Panamericana. Por lo tanto, **la afirmación de que el túnel tendrá la capacidad para servir al volumen vehicular anticipado no tiene un fundamento técnico aceptable.**

2 Sobre el Análisis en SYNCHRO 7.

En varias secciones del estudio de Odebrecht se describe el análisis que se llevó a cabo para determinar el nivel de mejora en el flujo del tránsito vehicular luego de ser ejecutado el proyecto. El análisis se hizo utilizando un software llamado SYNCHRO (versión 7). SYNCHRO es el software universalmente aceptado para analizar y pronosticar la calidad del flujo vehicular a través de una red de vías con o sin semáforos en sus intersecciones. Sirve también para determinar la programación de semáforos más eficiente, para obtener los parámetros de coordinación de semáforos que más beneficie al flujo e inclusive para calcular la longitud de carriles necesaria que albergue y contenga completamente a la cola de vehículos que pueda generar una intersección.

Existen otros softwares con los que puede hacerse este tipo de análisis y cada uno tiene ventajas y desventajas sobre el otro. SYNCHRO funciona muy bien para analizar redes en donde las intersecciones están separadas 125 metros o más, pero si las intersecciones a analizar están muy próximas entre sí los resultados pueden no ser del todo confiables. En esos casos puede ser necesario hacer una evaluación adicional más detallada.

Para las condiciones de la zona del proyecto, en donde las intersecciones están muy próximas una de la otra y los volúmenes vehiculares son grandes, es necesario verificar los resultados de SYNCHRO a través de algún programa que haga simulaciones animadas de tránsito. Uno de esos programas es SimTraffic, el cual convenientemente forma parte del paquete "Synchro Studio" que incluye también SYNCHRO. Sin embargo, en el documento de Odebrecht no se hace mención al uso de SimTraffic, ni se indica si se utilizó algún otro programa de simulación para verificar los resultados de SYNCHRO.

Al margen del uso de SimTraffic o algún otro software equivalente, durante la inspección del estudio de Odebrecht se identificaron varios errores en el análisis de SYNCHRO que necesitan ser aclarados y/o corregidos, ya que el análisis, tal como fue presentado, no tiene validez pues los errores encontrados afectan los resultados significativamente. A continuación se presentan los errores y deficiencias que se identificaron al revisar los análisis presentados:

2.1 La coordinación de los semáforos del intercambio Panamericana Sur/Benavides

En la página 46 del TOMO I se indica que una de las condiciones impuestas para modelar el funcionamiento del intercambio vial en el año 2014 es el *funcionamiento del sistema semafórico en dos fases coordinadas en las dos intersecciones que lo configuran*. Sin embargo, el informe generado por SYNCHRO que se muestra en la página 195 y 196 del TOMO III indica que las dos intersecciones no funcionan de manera coordinada si no que están gobernadas por el mismo controlador. Controlar ambas intersecciones con el mismo controlador de la forma mostrada imposibilita un funcionamiento óptimo y coordinado de los movimientos en cada intersección. Se podrían obtener mejores resultados si ambas intersecciones fuesen gobernadas por controladores coordinados. En todo caso, no se puede afirmar que dos intersecciones gobernadas por un mismo controlador funcionarán de manera coordinada.

2.2 El factor hora pico y el efecto que tiene en el análisis

En la página 46 del TOMO I también se indica que en los modelos de análisis se aplicó un **factor hora pico de 0.98**. El factor hora pico es una medida de dispersión estadística que indica cómo se distribuye el volumen vehicular durante la hora pico. Si el volumen fluye de manera homogénea durante los 60 minutos de la hora pico, es decir si la razón de flujo (en vehículos por minuto) es constante, entonces el factor hora pico tendría un valor de 1.00. Sin embargo debido a que durante la hora pico hay momentos en que la razón de flujo se incrementa y otros en las que disminuye, el valor hora pico

siempre adopta un valor menor a 1.00. Por lo tanto, en un análisis de tránsito, mientras mayor sea el factor hora pico, más sencillo será obtener resultados y niveles de servicio aceptables.

El factor hora pico predeterminado en el software de SYNCHRO es **0.92** pues es el valor recomendado por la metodología del **Highway Capacity Manual** en su edición 2000 (HCM2000) para situaciones en las que no se cuenta con la data para determinar el valor real del factor hora pico. Si se decide modificar este valor debe tenerse la data que lo justifique. En el documento de Odebrecht no han incluido detalles sobre el cálculo del factor hora pico y por lo tanto no se puede justificar que se haya incrementado el valor predeterminado de 0.92 a 0.98.

Cuando se hacen comparaciones de funcionamiento entre una alternativa y otra, o cuando se compara el funcionamiento del proyecto con el funcionamiento de las condiciones actuales, es de suma importancia mantener constantes ciertas variables en todos los análisis. Una de ellas es el factor hora pico. Si bien **para el análisis del proyecto propuesto se utilizó un factor hora pico de 0.98** tal como se indica en la memoria descriptiva, **el factor hora pico que se utilizó en el análisis de las condiciones existentes fue 0.92**, lo cual favorece a los resultados del proyecto propuesto ante el resultado del análisis las condiciones existentes.

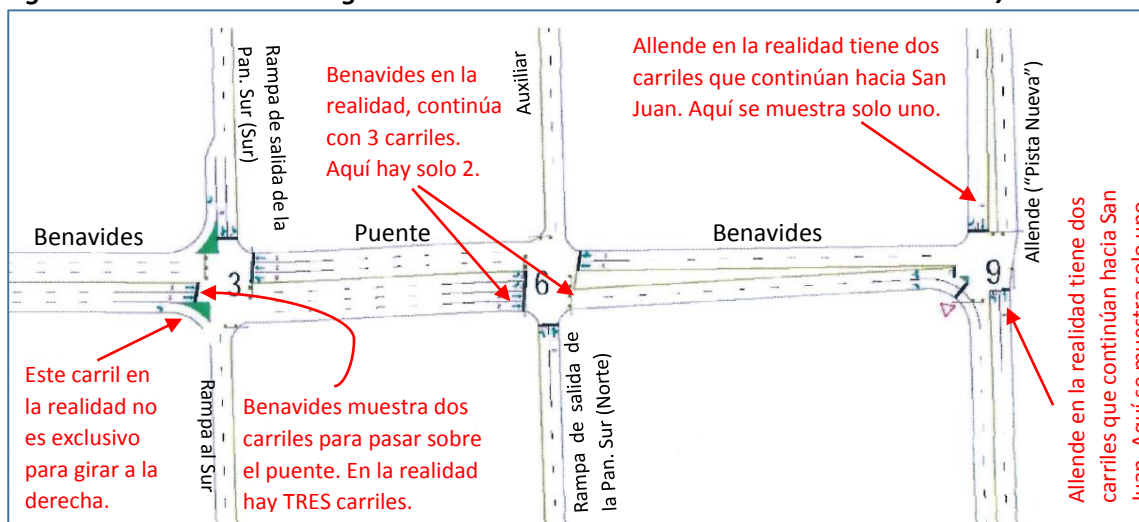
2.3 La modelación de la red vial en SYNCHRO

El estudio de Odebrecht incluye capturas de pantalla de SYNCHRO, así como los reportes de los resultados del análisis que SYNCHRO genera cuando se analiza un modelo. Al observar esta información se notaron varias discordancias entre lo que se modeló en SYNCHRO para el análisis y lo que se muestra los planos del proyecto. Las discrepancias encontradas en muchos casos favorecerían a los resultados del análisis para el proyecto, tal como se expone a continuación:

2.3.1 La geometría del modelo SYNCHRO para la situación actual

La Avenida Benavides, en sentido Este (de Miraflores hacia surco) llega actualmente al puente Benavides con **tres carriles**. Los tres carriles continúan para pasar sobre el puente, pero el carril de la derecha sirve también para girar a la derecha e ingresar a la Panamericana hacia el Sur. Sin embargo, en la captura de pantalla incluida en la página 35 del TOMO IV del documento de Odebrecht (ver Figura 7) se puede apreciar que en esta intersección la Avenida Benavides se modeló de manera incorrecta ya que se le asignaron solo dos carriles para pasar hacia el puente y un carril exclusivo para girar a la derecha hacia la Panamericana en sentido Sur.

Figura 7 : Modelación de la geometría actual en el intercambio Panamericana Sur/Benavides



Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

Esta asignación de carriles, al tener un carril menos para el movimiento recto en sentido este, afectaría negativamente el resultado del análisis del funcionamiento actual de la intersección.

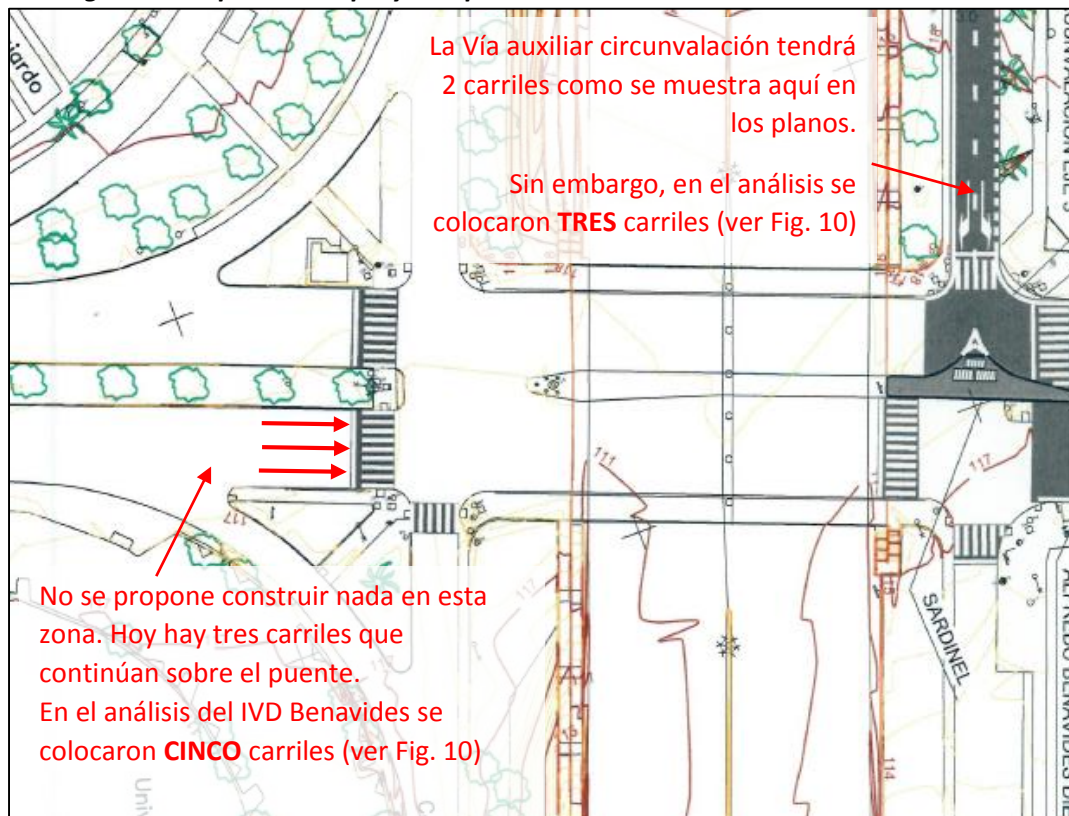
Adicionalmente, la intersección de la Avenida Benavides con la rampa de salida de la Panamericana en sentido Norte ha sido modelada en SYNCHRO con solo dos carriles en la Avenida Benavides en sentido Oeste, cuando en realidad esta avenida cuenta con tres carriles en el sentido Oeste. Un número de carriles inferior resulta en una capacidad y nivel de servicio inferior a la real.

Finalmente, la intersección de la Avenida Allende con la Avenida Benavides (ver Figura 7), ha sido modelada con una asignación de carriles errónea pues a la avenida Allende se le asignó un solo carril para el movimiento recto en ambos sentidos (norte y sur) con un carril exclusivo para girar a la derecha en sentido sur y uno para girar a la izquierda en sentido norte, cuando en realidad la Avenida Allende cuenta con dos carriles en cada sentido, uno exclusivo para seguir recto y uno de uso compartido (para seguir recto o para girar a la derecha o izquierda hacia Benavides). Esta asignación errónea de carriles afectaría los resultados del análisis negativamente y mostraría una capacidad y un nivel de servicio inferiores a los que se experimentarían en la realidad.

2.3.2 Geometría en el modelo SYNCHRO del proyecto propuesto

Los planos incluidos en el estudio de Odebrecht muestran la geometría y la asignación de carriles propuesta para las intersecciones afectadas por el proyecto IVD Benavides. En el plano correspondiente al área de la intersección de Benavides con las rampas de entrada y salida en el sentido Sur de la Panamericana se puede apreciar que el proyecto no propone ningún cambio para el tramo de la avenida Benavides al Oeste de la intersección (ver Figura 8). De hecho, el plano no muestra detalle de ningún cambio en la geometría o asignación de carriles sobre el puente Benavides o al Oeste del puente. Sin embargo, tal como se puede apreciar en la Figura 10, en el análisis de SYNCHRO del proyecto se muestran dos carriles adicionales en el sentido Este de la Avenida Benavides (frente a la Universidad Ricardo Palma), es decir un total de cuatro carriles en sentido Este exclusivos para cruzar hacia el puente, y un carril exclusivo para doblar a la derecha hacia la Panamericana en sentido Sur. En el estudio de Odebrecht no se menciona que el proyecto ampliará la avenida Benavides al Oeste del puente. Estos dos carriles adicionales favorecen los resultados del análisis del proyecto, más aún cuando el análisis de la situación actual se hizo con menos carriles de los que existen en la zona en estudio.

Figura 8: Propuesta del proyecto para la sección al Oeste del Puente Benavides.



Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

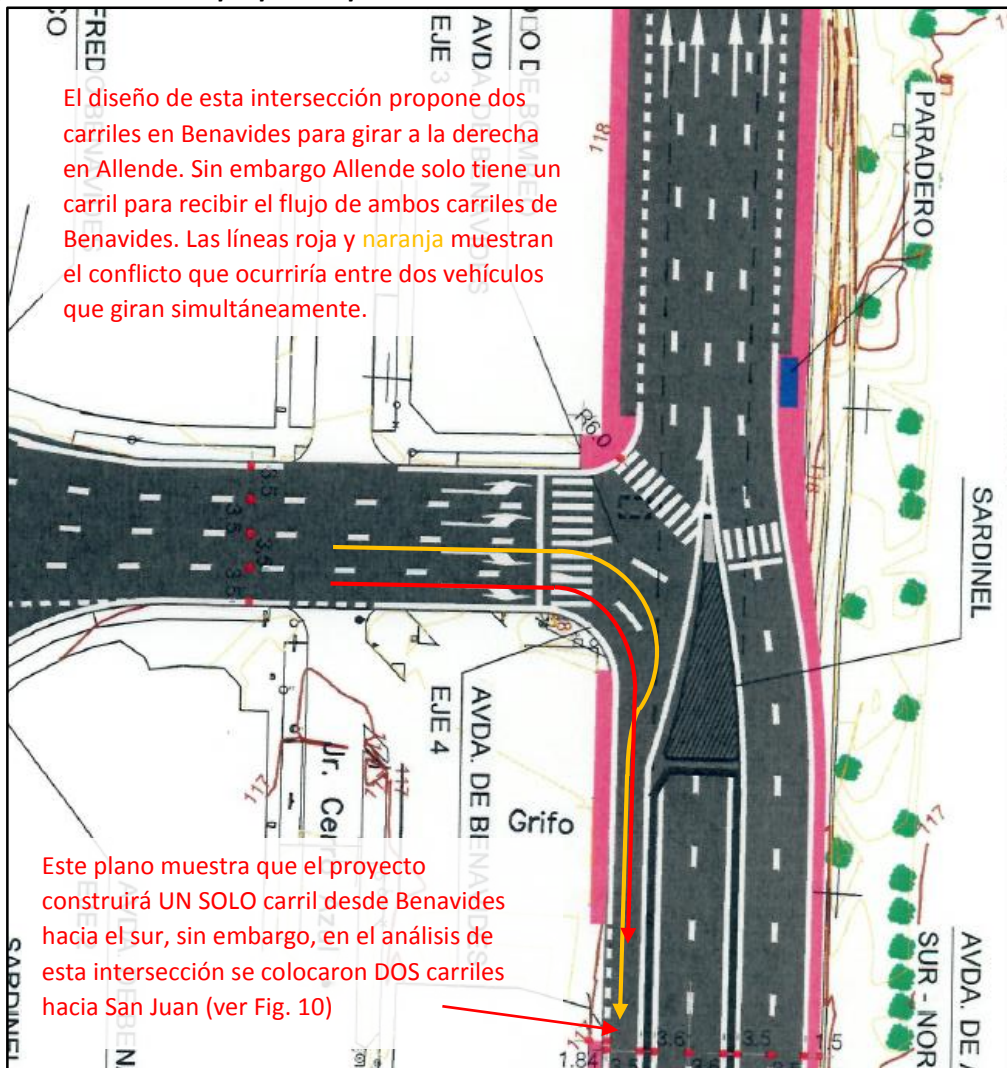
También puede apreciarse, comparando la Figura 8 con la Figura 10, que el proyecto propone solo dos carriles en la Vía auxiliar Circunvalación (ver Figura 8) y sin embargo, en el análisis de SYNCHRO (Figura 10) se muestran tres carriles, uno exclusivo para girar a la derecha, uno compartido para girar a la derecha o a la izquierda, y uno exclusivo para girar a la izquierda. Lo cual favorece a los resultados del análisis para el proyecto.

2.3.3 La intersección de Benavides con Allende.

Para la intersección de las avenidas Allende y Benavides, el proyecto propone la geometría mostrada en la Figura 8. Sin embargo, la geometría analizada en SYNCHRO, mostrada en la Figura 9, es diferente:

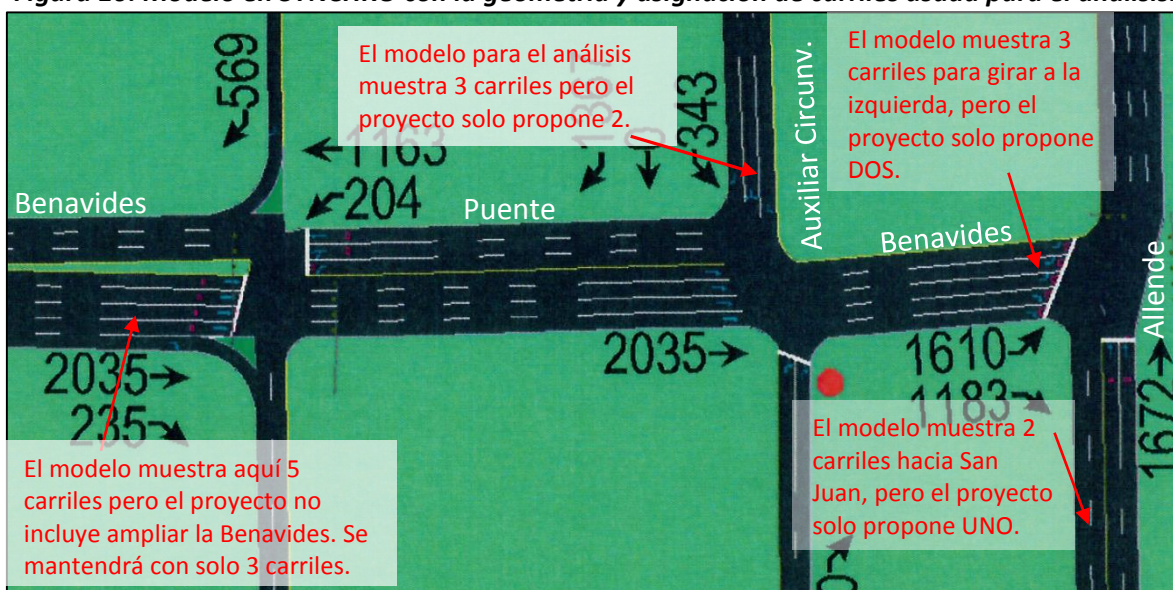
En la Figura 8 se muestra que la Av. Benavides llega con cuatro carriles a la intersección con Allende. Dos de los cuatro carriles son para girar a la izquierda hacia Allende en sentido norte y los otros dos son exclusivos para doblar a la derecha hacia Allende en sentido Sur. Luego, Allende en sentido sur cuenta con solo un carril en el tramo que va desde la Avenida Benavides hasta la salida del túnel propuesto. Mientras tanto, la misma intersección ha sido modelada en SYNCHRO con cinco carriles en la Avenida Benavides, tres exclusivos para girar a la izquierda y dos exclusivos para el giro a la derecha en Allende. Luego, El tramo de Allende en sentido Sur, desde Benavides hacia San Juan, ha sido modelado con dos carriles en lugar de solo uno como se muestra en los planos.

Figura 9: Geometría propuesta para la intersección de la Av. Allende con la Av. Benavides



Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

Figura 10: Modelo en SYNCHRO con la geometría y asignación de carriles usada para el análisis.



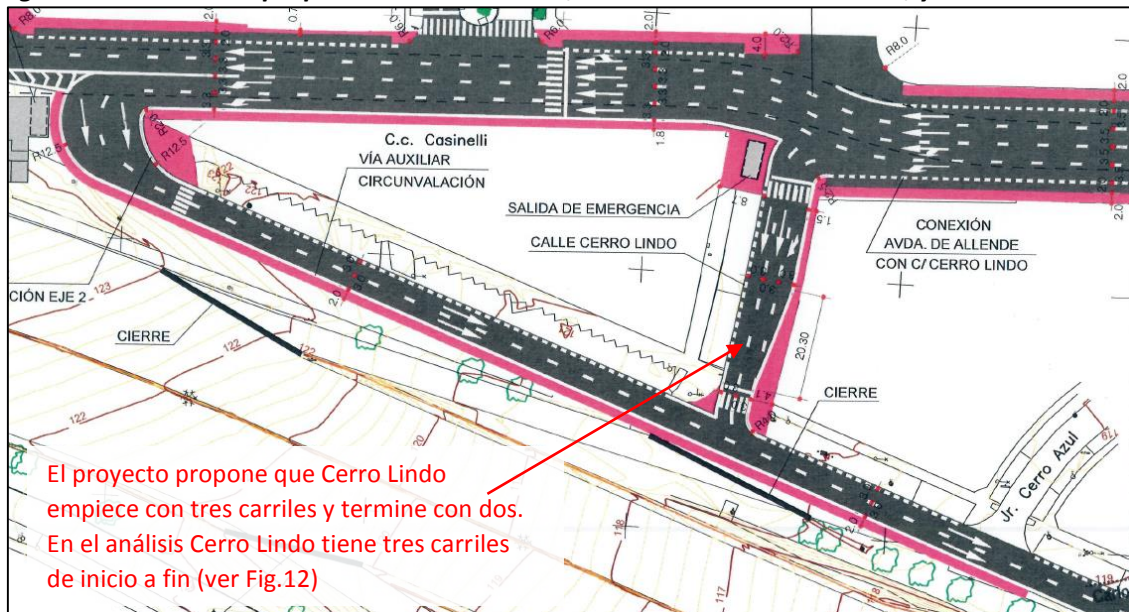
Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

En la práctica poner un solo carril en Allende para recibir a los dos carriles que giran a la derecha desde Benavides, causaría un cuello de botella. Los vehículos en los dos carriles que giran a la derecha tendrían que competir por ingresar a un solo carril en Allende. La fricción que esto causaría en el flujo vehicular sería igual o peor que si solo se proporcionara un carril de giro a la derecha.

2.3.4 Otras discrepancias entre los planos y el modelo en SYNCHRO

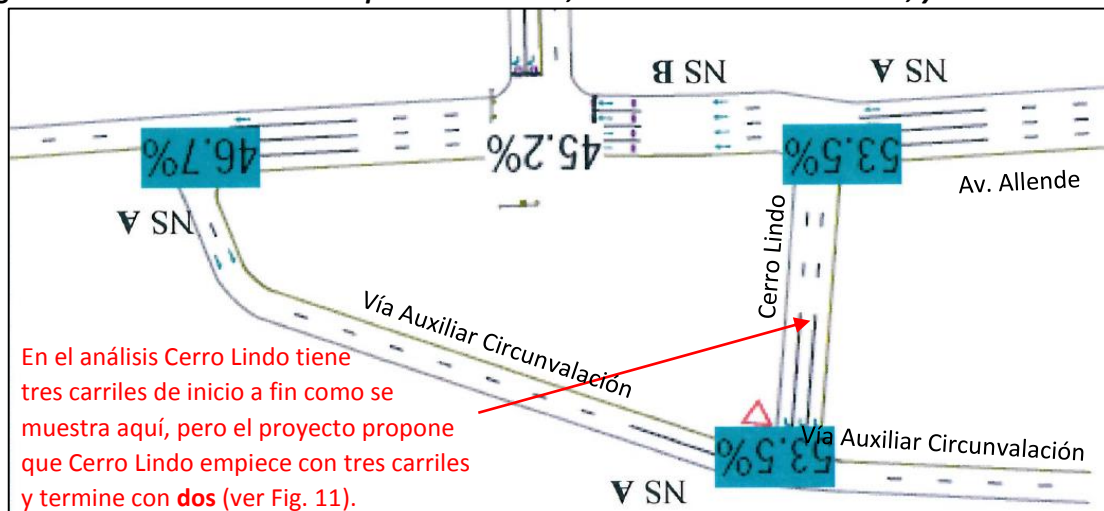
Otra diferencia entre la geometría mostrada en los planos del proyecto propuesto y la geometría utilizada en el modelo para el análisis ocurre en la intersección de la Calle Cerro Lindo con la Vía Auxiliar Circunvalación. En este caso, según los planos y la memoria descriptiva del proyecto, la Calle Cerro Lindo tendrá dos carriles en su intersección con la Vía Auxiliar Circunvalación (ver Figura 11). Sin embargo, en el análisis de SYNCHRO se han considerado tres carriles para Cerro Lindo en su intersección con la Vía Auxiliar Circunvalación, tal como puede verse en la Figura 12.

Figura 11: Geometría propuesta en Cerro Lindo, Vía auxiliar Circunvalación, y Avenida Allende.



Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

Figura 12: Geometría analizada para Cerro Lindo, Vía Auxiliar Circunvalación, y Avenida Allende.



Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

2.4 Los Resultados del Análisis en SYNCHRO

Para entender los resultados de los análisis de tránsito es necesario explicar lo que significa “Nivel de Servicio” en el contexto de la ingeniería de tránsito.

El nivel de servicio es una calificación que se le da a las instalaciones viales (llámense intersecciones, corredores, avenidas, calles, carreteras, rampas, etc.) la cual describe su desempeño y la capacidad que tiene para mantener un tránsito fluido. La designación que se utiliza es una escala que va desde la A hasta la F (A, B, C, D, E, y F) y que es análoga con las calificaciones en el sistema educativo de los Estados Unidos, es decir, tiene el mismo significado que las notas que se dan en los colegios, en donde una “A” es un 20, una “D” es un 11 y una “F” es un 05 o menos.

Normalmente, para que un proyecto vial sea aprobado, se debe demostrar que el proyecto brindará un nivel de servicio “A” o “B” cuando sea inaugurado. Un nivel de servicio “C” es aceptable para la inauguración si solo ocurre en ciertas zonas del proyecto. Por ejemplo: Una avenida de 5 kilómetros en donde hay 25 intersecciones presenta problemas de congestión (Nivel de Servicio “E” ó “F”) y se propone un proyecto para aliviar el problema. Si cuatro de las 25 intersecciones presentan un Nivel de Servicio “C” cuando la obra se inaugura, pero el resto obtienen Nivel de Servicio “A” o “B”, entonces es aceptable tener “C” en esas 4 intersecciones.

Así mismo, la práctica común al analizar obras de infraestructura vial, es que se requiera que la obra llegue al final de su vida útil (30 a 40 años) con un nivel de servicio “D” en el peor de los casos. Una obra que al cabo de su vida útil (30 años) presente un nivel de servicio “F”, aunque solo sea en una de 25 intersecciones, sería inaceptable. Para la vida media podrían aceptarse hasta niveles de servicio “D” para algunas instalaciones, si se demuestra que al final de su vida útil estas no llegarán a ser “F” o “E”.

Cuando se analiza una intersección, el nivel de servicio está directamente relacionado con la demora que les causa la intersección a los conductores. Es decir, si la velocidad máxima permitida en una avenida es 30 km/h, los autos que transitan por ahí deberían demorarse 2 minutos en recorrer 1 Kilómetro. Pero, si en ese kilómetro hay una intersección, algunos conductores tendrán suerte y les tocará la luz verde, a otros les tocará luz roja, y otros quizás tendrán que bajar la velocidad al llegar a la intersección. Al final, a algunos conductores les tomará 2 minutos recorrer ese kilómetro (los que no tuvieron que parar) pero a otros les tomará 3 minutos, a otros 2.5 y a otros les tomará 7 minutos. Entonces, si uno calcula el promedio del tiempo que se demoraron todos los conductores en recorrer ese kilómetro y le resta los 2 minutos que normalmente toma recorrerlo sin obstáculos, habrá obtenido la demora promedio causada por la intersección y **la demora promedio es lo que se utiliza para obtener el Nivel de Servicio**. La Tabla 1 muestra la demora promedio, en segundos, que le corresponde a cada nivel de servicio:

Tabla 1: Nivel de servicio para intersecciones:

Nivel de Servicio	Demora Promedio (en segundos)
A	0s a 10s
B	10.1s a 20s
C	20.1s a 35s
D	35.1s a 55s
E	55.1s a 80s
F	Más de 80s

Para hacer un estudio de tránsito se debe hacer un pronóstico estadístico y obtener un valor aproximado del volumen vehicular que transitará por la zona hacia el final de la vida útil del proyecto.

Típicamente un proyecto vial tiene una vida útil de por lo menos 30 o 35 años. Esto no significa que el proyecto ya no servirá o colapsará al cabo de su vida útil. Significa que, al final de su vida útil necesitará una nueva inversión para hacerle mantenimiento, reparaciones, y quizás algunas mejoras.

Por eso, para garantizar que la obra seguirá funcionando de manera satisfactoria por varios años antes que empiece a requerir reparaciones, se hace un análisis de tránsito para las condiciones que se espera existan en al final de la vida útil del proyecto y también al llegar a su vida media. El proyecto del Intercambio Vial a Desnivel Benavides ha sido analizado para determinar su funcionamiento en el año 2024 (10 años) y en el año 2034 (20 años). En el documento de Odebrecht se presentan los resultados del análisis en SYNCHRO para los años 2014, 2024 y 2034 con tablas que muestran los Niveles de Servicio esperados para varias intersecciones afectadas por el proyecto.

La Tabla 2 presenta los resultados del nivel de servicio para algunas maniobras (movimientos) que pueden hacerse con la geometría actual y que se podrán seguir haciendo cuando el proyecto se construya.

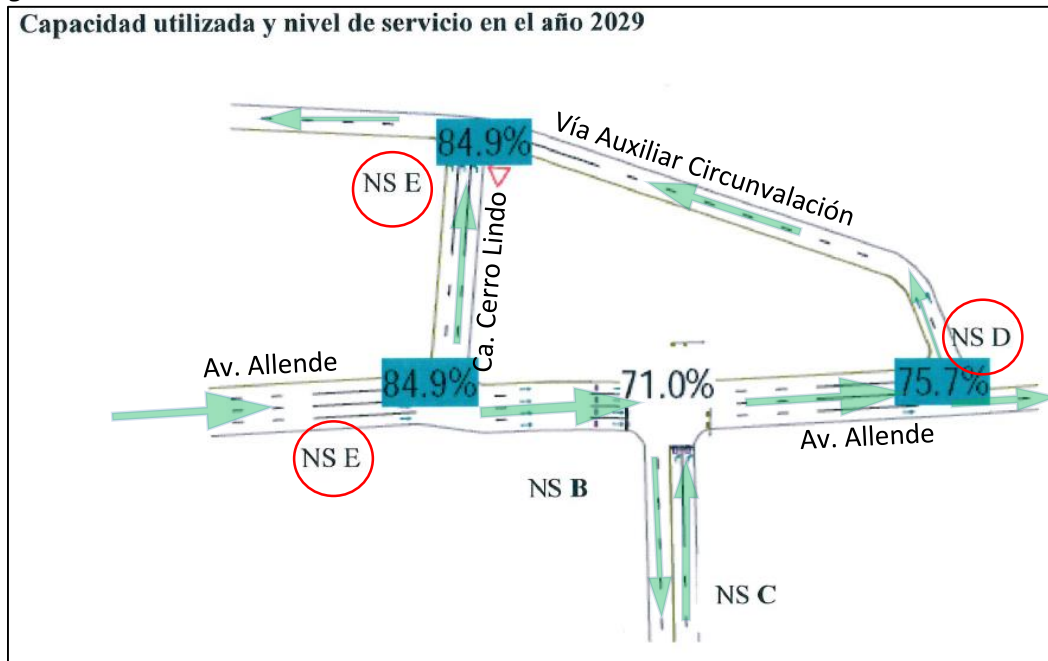
Tabla 2: Resultados de los Análisis SYNCHRO en el Documento de Odebrecht

Movimiento	Demora (sg.) Actual	Demora (sg.) Propuesta 2014	Demora (sg.) Propuesta 2024	Demora (sg.) Propuesta 2034
Benavides O-Puente	F	C	E	F
Benavides O-PS(S)	F	A	A	A
Puente-PS(S)	F	A	B	B
Puente-Benavides O	B	A	A	A
PS(N)-Benavides O	F	A	A	A
Puente-Benavides E	F	C	E	F
PS(S)-Benavides E	F	C	E	F
Benavides-Allende N	D	B	D	F
Benavides-Allende S	D	A	A	B
Allende(S)-Allende N	C	B	D	F

Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

Aún con el proyecto propuesto y a pesar de los errores en la elaboración del análisis, los cuales favorecerían a los resultados para el proyecto propuesto, el nivel de servicio se deteriora a “D” y peor que “D” en la mitad de los movimientos evaluados (cuatro de los ocho mostrados). Los mismos cuatro movimientos presentan nivel de servicio “F” para el año 2034 (menos de 20 años luego de inaugurada la obra). **Estos resultados no deberían ser aceptables bajo ningún criterio.**

El proyecto también propone cambios en varias intersecciones en los alrededores del Centro Comercial Cassinelli. En la Figura 13 se muestran los niveles de servicio obtenidos para el año 2029, (en 15 años) y se aprecia que ya tres de las cuatro intersecciones mostradas presentan niveles de servicio “D” y peores, inclusive las intersecciones de Allende con Cerro Lindo y Allende con la Vía Auxiliar Circunvalación son intersecciones en las que no hay conflictos entre vehículos pues ambas, Cerro Lindo y la Vía Auxiliar Circunvalación, son afluentes de Allende y todas las vías, incluyendo Allende, son de un solo sentido, tal como indican las flechas verdes en la Figura 13.

Figura 13: Resultados del Nivel de Servicio Para las Intersecciones Cerca del C.C. Cassinelli.

Fuente: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

2.5 Conclusiones sobre el Análisis de tránsito:

De estas observaciones se puede concluir que el estudio de tránsito que se ha realizado para el Proyecto IVD Benavides tiene demasiados errores, irregularidades y fallas como para poder obtener de él conclusiones válidas con respecto a la performance de la propuesta. Los errores encontrados suspicazmente mejoran los resultados del análisis para el proyecto IVD Benavides y desfavorecen a los resultados del análisis para las condiciones actuales.

Aún si se aceptaran los resultados del análisis como correctos, los niveles de servicio obtenidos para el proyecto IVD Benavides son marginalmente aceptables para el análisis bajo las condiciones actuales, e inadmisibles (niveles de servicio "D" e inferiores) para los volúmenes de tráfico proyectados a tan solo 10 o 15 años en el futuro.

3 Sobre el diseño y la programación de semáforos

El Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, el cual es emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), dedica su Capítulo 5 completo a normar el diseño y la instalación de semáforos. Es la orden del MTC que todo semáforo que se instale en el territorio nacional debe cumplir con las normas descritas en el manual al pie de la letra.

Las normas contenidas en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito tienen como finalidad mantener la uniformidad en todo aspecto (color, forma, tamaño, diseño, etc.) de la señales de tránsito, de los semáforos, de las marcas en el pavimento, y todo dispositivo que regule el tránsito y/o brinde información relevante para los usuarios de las vías. La importancia de muchas de las normas radica en mantener una red vial segura y que no sea peligrosa para la vida ni la integridad física de sus usuarios. A pesar de ello, en Lima, y en todo el país existen instalaciones que han sido diseñadas irresponsablemente, violando las normas establecidas por el MTC, y poniendo en peligro la vida de las personas que utilizan las vías y, en muchos casos, causando accidentes.

Lamentablemente, los semáforos propuestos y mostrados en los planos incluidos en el Tomo IX del *Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides* no están exentos de violaciones a las normas del MTC y también incluyen elementos que no están contemplados en el manual y que por lo tanto no están permitidos.

Al margen del incumplimiento de algunas normas, **la programación de los semáforos que serían instalados como parte de este proyecto es sumamente ineficiente**. Los semáforos propuestos utilizan una tecnología anacrónica e inaceptable para una ciudad del siglo XXI. La ineficiencia de estos semáforos causaría congestión, grandes pérdidas de tiempo, consumo innecesario de gasolina y generación excesiva de emisiones contaminantes. Todo esto podría evitarse fácilmente si se instalasen semáforos del tipo que se vienen utilizando en otros países desde hace más de 30 años.

A continuación, se detallan las normas que se han obviado en los semáforos propuestos así como una explicación breve sobre cómo deberían funcionar los semáforos para gestionar mejor el flujo vehicular de la zona:

3.1 El número de caras de semáforo

Se denomina “cara de semáforo” a la parte frontal de un semáforo, que contiene las indicaciones que un conductor debe observar al llegar a una intersección. Lo típico es que una cara de semáforo tenga tres lentes circulares: rojo, ámbar, y verde; pero puede tener cuatro o cinco lentes si el semáforo está provisto de indicaciones de flecha para los giros a la izquierda o derecha. Si una vía cuenta con múltiples carriles al llegar a una intersección semaforizada, es recomendable que se instalen 3 o 4 caras de semáforos que muestren simultáneamente la indicación que le corresponde a esa vía. Esto se hace para dar mayor énfasis a la intersección y asegurar que los conductores vean la indicación del semáforo. De igual modo, si una vía de un solo carril llega a una intersección semaforizada debe haber como mínimo dos caras de semáforo que muestren la indicación. Esta norma está descrita en el inciso 5.2.1.4.2 del Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor, de la sección que describe cómo deben ser las indicaciones de un semáforo. Textualmente dice lo siguiente:

5.2.1.4.2. NÚMERO

Debe haber un mínimo de dos caras para cada punto de aproximación o acceso del tránsito vehicular a la intersección. Estas pueden ser suplementadas con semáforos peatonales donde éstos sean requeridos, lo cuales se ubicarán a cada lado del paso peatonal.

Las dos o más caras de semáforos **adecuadamente instaladas** les permitirán a los conductores observar prácticamente en todo momento al menos una indicación, aunque uno de los semáforos sea obstruido momentáneamente por camiones y autobuses, **y representa un factor de seguridad** en caso de resplandor del sol del día, de luz excesiva por anuncios luminosos durante la noche o cuando se funda algún bombillo.

La necesidad de instalar más de dos caras por acceso a la intersección o aproximación dependerá de las condiciones locales especiales, tales como número de canales, necesidad de indicaciones direccionales o de giro, configuración de la intersección, isletas para canalización etc.

A pesar de que la norma es clara, en los planos de semaforización contenidos en el documento de Odebrecht para la intersección de la Avenida Benavides con la Avenida Allende (mostrada en la Figura 14) se muestra que la Avenida Allende, en el sentido de San Juan hacia Surco, solo contará con una cara de semáforo para controlar el flujo vehicular.

Figura 14: Ubicación de semáforos propuestos para la intersección Benavides/Allende

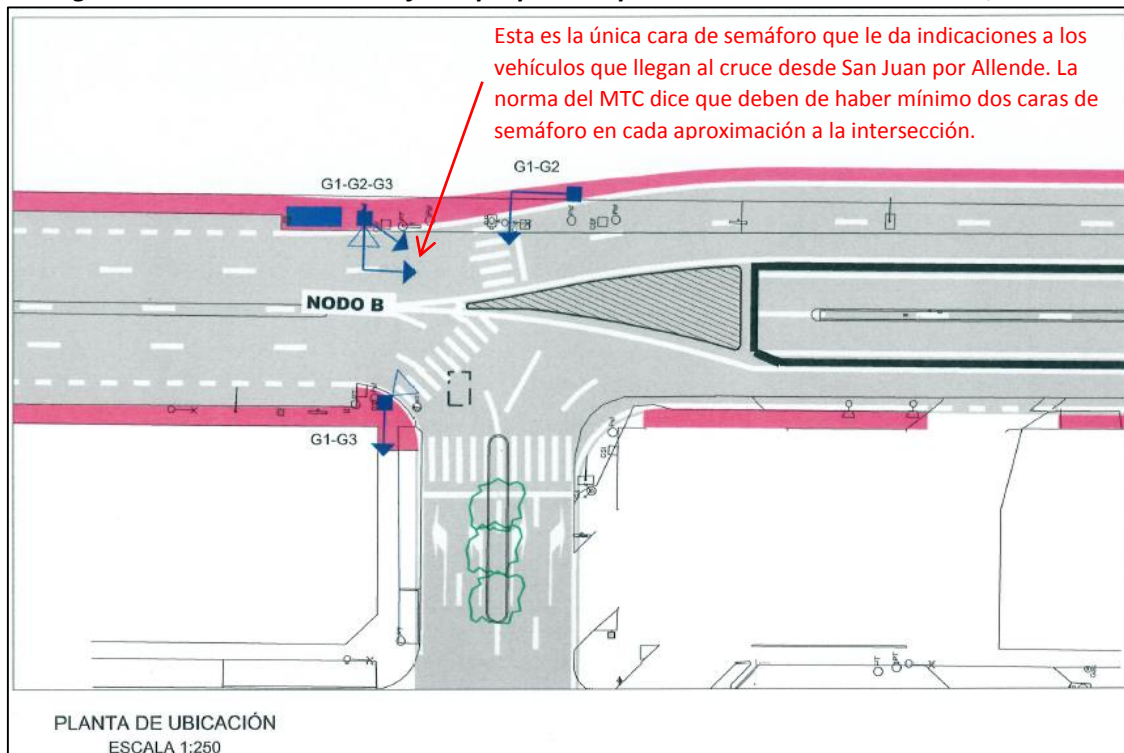


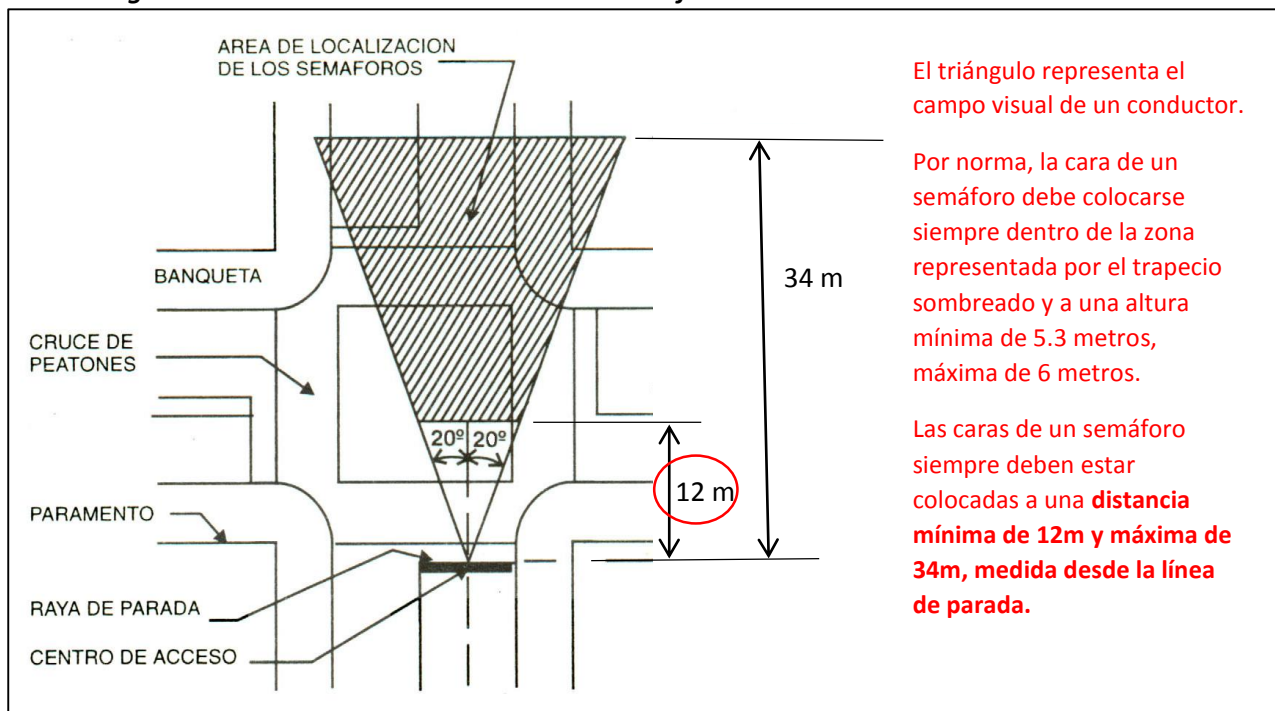
Grafico Original: Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)

Además de indicar el número de caras de semáforo que deben colocarse, el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor también indica la ubicación transversal y la altura a la que debe colocarse el semáforo. Todo semáforo debe colocarse a una altura mínima de 5.30 metros, de lo contrario podría ser obstruido por algún vehículo de altura suficiente o podría ser impactado por un vehículo. Así mismo, debe colocarse a una altura máxima de 6.00 metros, de lo contrario los conductores tendrían que hacer un esfuerzo para mirar las indicaciones del semáforo y podrían distraerse de lo que ocurre frente a su vehículo en la intersección. La ubicación transversal también es importante. Un semáforo debe estar colocado de tal manera que se encuentre siempre dentro del cono visual del conductor cuando éste está con la mirada atenta hacia lo que ocurre delante de su vehículo. Si un conductor está mirando la indicación de un semáforo ubicado en un sitio que le

requiera girar la cabeza, podría no darse cuenta que un peatón esta delante de su vehículo cuando el semáforo le indica que siga la marcha.

El Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor incluye el siguiente diagrama (Figura 15) para ilustrar dónde deben colocarse las caras de un semáforo en una intersección:

Figura 15: Localización de las caras de un semáforo de acuerdo al Manual del MTC



Fuente: Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor en Calles y Carreteras (MTC)

A pesar que el manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor es claro en este aspecto, el diseño propuesto para los semáforos en la zona no cumplen con la norma en tanto a su ubicación. Ubicar semáforos de una manera distinta a la indicada en el Manual puede causar, y ha causado, accidentes entre vehículos y atropellos a peatones.

La Figura 16 es la sección del plano de semáforos que se incluye en el estudio de Odebrecht, en donde se muestra dónde serán instalados los equipos del semáforo. En este caso se trata de la intersección de la Avenida Benavides con la Vía Auxiliar Circunvalación y la rampa de salida de la Panamericana, en sentido norte, hacia el Puente Benavides.

Como se puede observar en la Figura 16, en la aproximación que llega desde la Panamericana el semáforo propuesto no está ubicado dentro del cono de visibilidad del conductor. Además, el semáforo estaría ubicado a una distancia de aproximadamente 6 metros delante de la línea de parada.

Como se muestra en la Figura 15, la distancia mínima a la que debe colocarse un semáforo es 12 metros delante de la línea de parada.

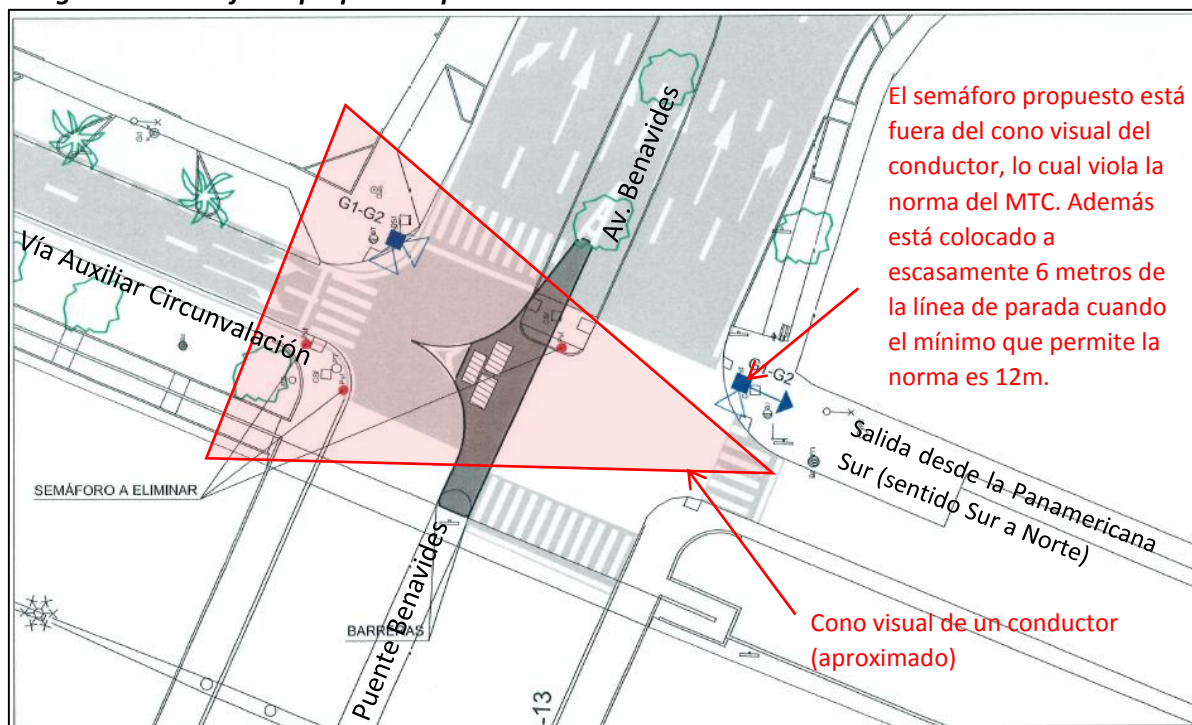
Figura 16: Semáforos propuestos para el cruce de Benavides con la Vía Auxiliar Circunvalación

Grafico original: *Estudio Definitivo de Ingeniería Obra Obligatoria: Intercambio a Desnivel Benavides (Odebrecht)*

3.2 Tiempo de despeje (luz ámbar)

El tiempo de despeje en un semáforo, también llamado el tiempo de luz ámbar, es un aspecto **de suma importancia para la seguridad vial**. Un tiempo de despeje muy corto podría causar que un conductor no reaccione a tiempo para detener su vehículo antes de entrar a la intersección. Cuando esto ocurre las consecuencias son accidentes frecuentes que pueden tener resultados fatales. Por otro lado, un tiempo de despeje muy largo incitaría a los conductores a no hacer caso a la luz ámbar, lo cual también tendría consecuencias graves. Es responsabilidad del ingeniero de tránsito asegurar que el tiempo de despeje en un semáforo sea el adecuado ya que su falla en hacerlo podría causar accidentes, daños materiales, daños personales y pérdidas humanas. Por tal motivo en la ingeniería de tránsito se realizan constantemente estudios de investigación para desarrollar pautas que ayuden a determinar la duración adecuada de la luz ámbar de una manera metódica, científica, y uniforme bajo diferentes circunstancias.

Es así que el Institute of Transportation Engineers (ITE) ha generado metodologías y procedimientos que los ingenieros de tránsito y transportes han adoptado y tienen la obligación de seguir para poder asegurar que sus diseños brinden a los usuarios el máximo nivel de seguridad posible. El ITE es una organización independiente que realiza investigación, publica material, y brinda entrenamiento para los profesionales del rubro.

Con respecto al cálculo de la luz ámbar, el ITE recomienda que se tenga en cuenta la velocidad a la que transitan los vehículos en la vía, la pendiente de la vía al acercarse a la intersección, el tiempo de reacción de los conductores, el coeficiente de fricción del pavimento, entre otros factores. Así mismo recomienda que opcionalmente, luego de la luz ámbar, se implemente un periodo corto durante el cual todos los semáforos en la intersección muestran luz roja al cual llamamos periodo todo-en-rojo. Para el periodo todo-en-rojo también recomienda que se tomen en cuenta factores como la velocidad y el ancho de la intersección. Lejos de dejarlo ahí, el ITE propone una fórmula simplificada para calcular

la duración de la luz ámbar, así como el periodo todo en rojo. La fórmula es la mostrada en la Figura 17.

Figura 17: Fórmula del ITE para el cálculo del tiempo de despeje en semáforos

$$TC = t + \underbrace{\frac{V}{2a + 19.6g}}_{\text{Luz ámbar (●)}} + \underbrace{\frac{W + L}{V}}_{\text{todo-en-rojo (●)}}$$

Donde:
 TC = Tiempo de cambio de luz entre calles (s).
 Luz ámbar (●) + todo-en-rojo (●).
 t = tiempo percepción-reacción del conductor (usar 1 segundo).
 V = Velocidad del vehículo (m/s).
 W = Ancho de la intersección (m).
 L = Longitud de un vehículo (usar 6.10m).
 a = razón de desaceleración del vehículo (m/s²)
 usar 3.05m/s²
 g = Grado de la pendiente hacia el cruce (%)
 positivo para subidas, negativo para bajadas.

Fuente: *Institute of Transportation Engineers (ITE)*

El ITE recomienda también que los resultados obtenidos para la duración de la luz ámbar y del periodo todo-en-rojo sean redondeados con una precisión de una décima de segundo. Adicionalmente, recomienda que el valor mínimo a utilizarse para la luz ámbar sea tres segundos.

Siguiendo las recomendaciones del ITE, el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito del MTC también indica que la duración de la luz ámbar debe ser de 3 segundos como mínimo. Textualmente, el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito del MTC dice lo siguiente en la sección 5.5.3.9 titulada "AJUSTES DE LOS CONTROLES ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO":

E) Intervalo para despeje

*Se fija un valor tal que permita al tránsito detenerse con seguridad cuando aparece la luz roja. **No deberá ser menor de 3 segundos.** Si las condiciones justifican un intervalo de despeje mayor de 5 segundos, se deberá subdividir en **un lapso inicial con luz amarilla de 3 a 5 segundos más otro adicional con indicación de luz roja en todas las direcciones, por el tiempo restante.***

Nuevamente, el manual es claro al respecto y consistente con las recomendaciones del ITE. **La luz ámbar no debe durar nunca, menos de 3 segundos.**

Sin embargo, **todos los semáforos propuestos dentro del Proyecto Intercambio Vial a Desnivel Benavides han sido programados con una duración de luz ámbar de 2 segundos.** Además, no se menciona que se hayan aplicado las formulas del ITE para calcular la duración de la luz ámbar ni para el periodo todo en rojo.

Una luz ámbar de 2 segundos como propone el proyecto en todas sus intersecciones es especialmente peligrosa teniendo en cuenta la alta presencia de peatones, escolares, y jóvenes universitarios en la zona.

3.3 Tiempo para cruce de peatones

Así como el ITE brinda estándares y fórmulas para calcular la duración de la luz ámbar y del periodo todo-en-rojo, también presenta metodologías y fórmulas para calcular la duración de una fase peatonal de un semáforo. La recomendación más reciente del ITE para establecer la duración de la fase peatonal es simple: La fase peatonal se calcula dividiendo la distancia a cruzar (en metros) entre 1.2 y se le suma 4 segundos. La cifra 1.2 corresponde a 1.2m/s la cual es la velocidad promedio a la que camina una persona. Los 4 segundos adicionales son para permitir que más de un peatón pueda ingresar al cruce peatonal.

Nuevamente, la metodología que propone el MTC en su manual es consistente con la del ITE, puesto que dice lo siguiente en la sección 5.2.2.6 relativa a la división del tiempo total del ciclo de un semáforo:

*Quando el tiempo para cruce de peatones coincide con el período de luz verde; éste debe ser lo suficientemente prolongado para que se disponga de **no menos de 5 segundos en los que se indica a los peatones que pueden empezar a cruzar y lo suficientemente largo para permitir a los que ya empezaron a cruzar llegar hasta una zona de seguridad.***

Es decir, el manual del MTC indica que la fase peatonal debe durar un tiempo suficiente para que el peatón cruce la vía (asumamos que a una velocidad de 1.2m/s como lo sugiere el ITE) mas 5 segundos adicionales.

Sin embargo, el documento de Odebrecht indica que, frente a la universidad Ricardo Palma, en la intersección de Benavides con la rampa de ingreso a la Panamericana Sur (en sentido hacia el Sur), se programará el semáforo de tal manera que los peatones dispondrán de **8 segundos** para cruzar los **tres carriles** del lado norte de la avenida Benavides. Cada carril es de 3.5 metros, por lo tanto un peatón debe recorrer 10.5 metros para cruzar los 3 carriles. A una velocidad de 1.2m/s se demoraría 8.75 segundos en cruzar (se redondea a 9 segundos). Luego, según el Manual del MTC, a ese tiempo hay que añadirle 5 segundos. **Por lo tanto resulta que, el tiempo mínimo adecuado para que los peatones crucen los tres carriles del lado norte de Benavides es 14 segundos y no ocho como propone el proyecto.** La misma evaluación se puede hacer en el resto de semáforos para verificar si se ha hecho el cálculo adecuado para la duración de las fases peatonales.

3.4 Cuentas regresivas en semáforos vehiculares

Los semáforos que propone el proyecto (así como muchos que ya existen en Lima) incluyen señales que muestran a los conductores una cuenta regresiva del tiempo que falta para que la luz del semáforo cambie de color. Las cuentas regresivas se muestran en todas las direcciones del semáforo y muestran cuanto tiempo falta para que el semáforo cambie de rojo a verde, de verde a ámbar y de ámbar a rojo.

El indicador de cuenta regresiva para semáforos vehiculares no está contemplado en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor. Al no contemplarse en el manual, significa que no existen especificaciones que indiquen de qué color deben ser, de qué tamaño, cuántos deben colocarse, si deben colocarse para todas las calles de una intersección o solo la principal, ni bajo qué circunstancias debe colocarse y bajo qué otras no. No se ha normado el uso de indicadores de cuenta regresiva y por lo tanto **es ilegal su instalación en la vía pública.**

Si la ilegalidad de dicho dispositivo no fuese suficiente, cabe señalar que su uso es altamente peligroso pues modifica el comportamiento de los conductores de una manera que no ha sido considerada en la elaboración de las fórmulas que determinan diversos aspectos de la programación del semáforo. Por ejemplo, en el cálculo de la luz ámbar y el del periodo todo-en-rojo.

La fórmula mostrada en la Figura 17 contiene una variable “t” que representa el tiempo de percepción-reacción del conductor y para el que generalmente se utiliza 1 segundo. Este valor ha sido obtenido luego de innumerables estudios y recolección de data y es motivo de revisión constante por parte del ITE y demás instituciones que se dedican a investigar temas de seguridad vial. Cuando se colocan cuentas regresivas en los semáforos el tiempo de percepción y reacción de los conductores varía enormemente y no es posible utilizar un valor que represente al comportamiento de la mayoría.

El uso de cuentas regresivas en los semáforos, en conjunto con una luz ámbar demasiado corta, como la que propone el proyecto en sus planos, es una combinación extremadamente peligrosa. No cabe duda que una gran cantidad de accidentes ocurridos en Lima, muchos de ellos con consecuencias fatales, han sido causados por una luz ámbar muy corta, la presencia de cuentas regresivas, o la combinación de ambos factores.

No es casualidad que las cuentas regresivas en semáforos para vehículos no sean utilizadas nunca en los países con niveles bajos de fatalidades en accidentes de tránsito y con un buen control sobre la gestión del tránsito urbano.

Además de violar la norma del MTC y de ser potencial causa de accidentes y fatalidades, la cuenta regresiva en un semáforo solo puede funcionar en semáforos tecnológicamente obsoletos. En un semáforo moderno, el tiempo asignado a cada movimiento vehicular varía constantemente y en tiempo real, por lo que sería imposible mostrar cuentas regresivas. La presencia de una cuenta regresiva es un indicador de que el semáforo está programado con tiempos fijos, probablemente con solo 2 fases, y que no tiene capacidad de modificar su programación de acuerdo al estado del tránsito.

Por lo tanto, además de ser ilegal y peligroso, un semáforo que muestra cuentas regresivas para los vehículos es extremadamente ineficiente para lograr un tránsito fluido y, por el contrario, probablemente contribuya a la congestión vehicular.

Precisamente en la siguiente sección se toca el tema de los semáforos de dos fases o de fases fijas y el problema que causa la tecnología de los semáforos que propone instalar el proyecto.

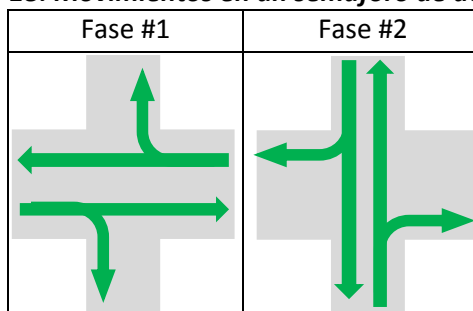
3.5 Tecnología de los semáforos que propone el proyecto

Además de los problemas normativos que presentan, los semáforos que el proyecto propone son de un funcionamiento arcaico y de una tecnología totalmente anticuada. A continuación, se describe el funcionamiento de los semáforos propuestos y del tipo de semáforo que el proyecto amerita.

3.6 Fases propuestas para los semáforos en las intersecciones del proyecto.

Se denomina fase de un semáforo a la combinación de indicaciones ópticas que dan pase al flujo vehicular en un sentido o giro y que detienen el tránsito para los otros movimientos. El semáforo más básico posible tiene **dos fases**; la fase #1 le da luz verde a la calle principal en ambos sentidos y muestra luz roja para la calle secundaria, y la fase #2 le da luz verde a la calle secundaria y roja a la principal. La Figura 18 muestra gráficamente estos movimientos.

Un semáforo de dos fases funciona bien en intersecciones donde hay poco volumen vehicular y/o donde los vehículos no necesitan hacer giros a la izquierda.

Figura 18: Movimientos en un semáforo de dos fasesFuente: *Elaboración propia*

La secuencia propuesta para el semáforo de la intersección de la Avenida Benavides con la rampa de ingreso a la Panamericana (hacia el sur) requiere tres fases para que funcione de la manera que se describe en el estudio de Odebrecht, sin embargo en el estudio se menciona que será de dos fases. Además, se muestran solo dos fases en los planos.

Adicionalmente, el análisis para obtener los tiempos óptimos para este semáforo fueron realizados con una configuración de carriles distinta a la que se propone y se hizo el análisis para un semáforo de dos fases, no tres como requiere el diseño propuesto. Por lo tanto, de ser aplicada la programación del semáforo como se propone en los planos del documento de Odebrecht, la intersección tendría un desempeño completamente distinto al que sugiere el estudio.

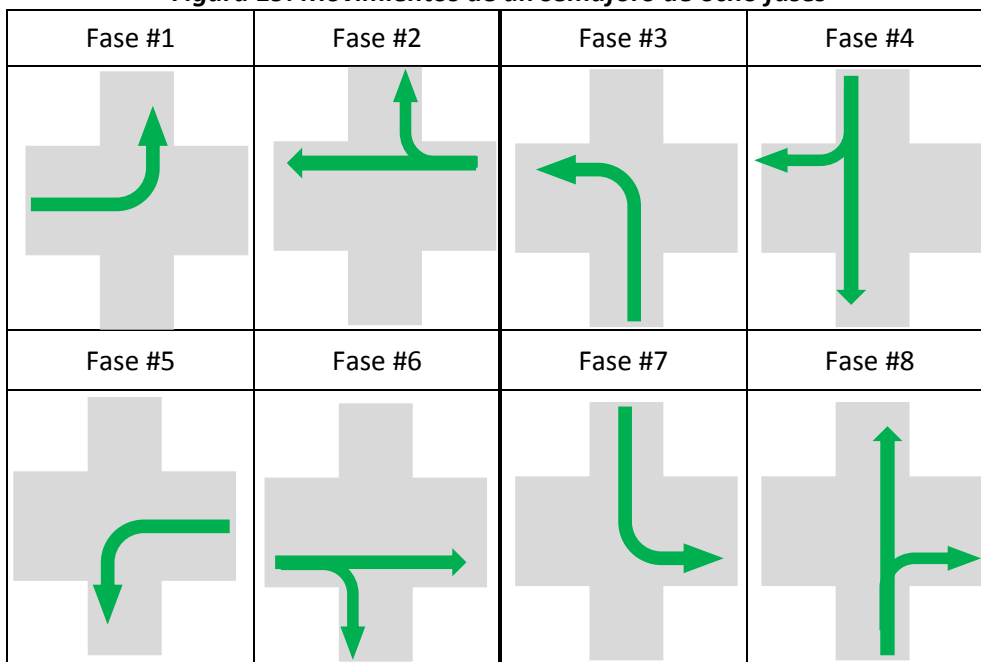
Para que los semáforos dentro del proyecto contribuyan a mantener un tránsito fluido en la zona y minimicen las demoras, debe implementarse semáforos con capacidad para más de 2 fases y se debe tener detectores vehiculares en los carriles de giro a la izquierda y en la calle secundaria. La detección vehicular asegura que no se le otorgue más tiempo del necesario a una fase que no lo requiere en ese momento, y se redistribuye el tiempo ahorrado a las otras fases que sí lo requieren.

A pesar que pareciera novedoso, la tecnología requerida para implementar detección vehicular en un semáforo existe y se aplica en otros países hace más de 50 años. El equipo que requiere un semáforo para tener detección vehicular es prácticamente idéntico al que se utiliza para activar las garitas automáticas de las entradas al aeropuerto, en centros comerciales y en estacionamientos privados.

Un controlador de semáforo típico permite programar hasta **ocho fases**. El programa SYNCHRO, el cual Odebrecht/Rutas de Lima utilizó para hacer el análisis y el diseño de los semáforos, puede analizar y optimizar semáforos con detección vehicular en todas (las ocho) fases de un semáforo.

Una intersección en donde existen muchos giros a la izquierda en uno o en todos los sentidos se beneficia enormemente cuando se le implementa un semáforo de ocho fases. La Figura 19 muestra la asignación típica de las fases con los movimientos controlados por el semáforo. Las ocho fases pueden programarse secuencialmente, es decir, para que aparezca una luego de la otra, pero no es eficiente hacerlo de esa manera. Normalmente a cada fase se le asigna un solo movimiento como se muestra en la Figura 19. El semáforo luego combina las fases que no entran en conflicto y así maximiza el número de vehículos que atraviesan la intersección.

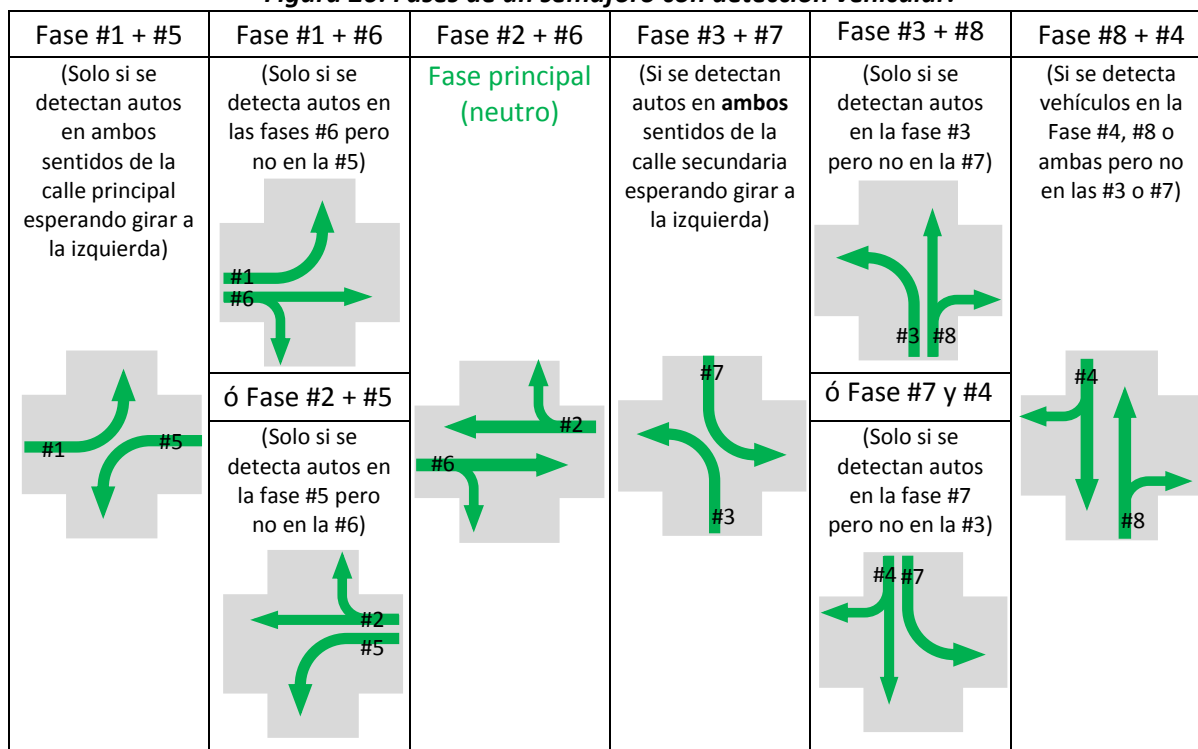
Figura 19: Movimientos de un semáforo de ocho fases



Fuente: *Elaboración propia*

La combinación y secuencia óptima de fases para un semáforo con detección vehicular de giros a la izquierda y en la calle secundaria es la que se muestra en la Figura 20. Cada columna en la figura ocurre después de la anterior si se cumple la condición descrita en el paréntesis. Si la condición no se cumple, entonces se evalúa la condición de la siguiente columna y así sucesivamente.

Figura 20: Fases de un semáforo con detección vehicular.



Fuente: *Elaboración propia*

Las fases de giro a la izquierda en la avenida principal solo se activan cuando se detectan vehículos en el carril de giro. A la par, las fases de la calle secundaria solo se activan si hay presencia de autos.

3.7 Conclusiones con respecto al diseño y la programación de semáforos:

Los semáforos propuestos en las intersecciones del Proyecto IVD Benavides presentan características de diseño que están en violación directa a las normas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor en Calles y Carreteras.

El documento de Odebrecht muestra y describe la programación que han de tener los semáforos para lo que el estudio considera un flujo óptimo en la zona. Sin embargo, todos los semáforos propuestos son de dos fases y con tiempos pre-programados. Un semáforo de dos fases funciona adecuadamente solo para intersecciones en donde no se hacen muchos giros a la izquierda o en la que los volúmenes vehiculares son bajos. Este no es el caso en ninguna de las intersecciones de la zona de estudio en donde se proponen semáforos.

Los semáforos que propone el Proyecto IVD Benavides tendrían un desempeño mucho más eficiente si se les implementara detección vehicular y si tuvieran la capacidad de seguir la combinación y secuencia de fases mostrada en la Figura 19.

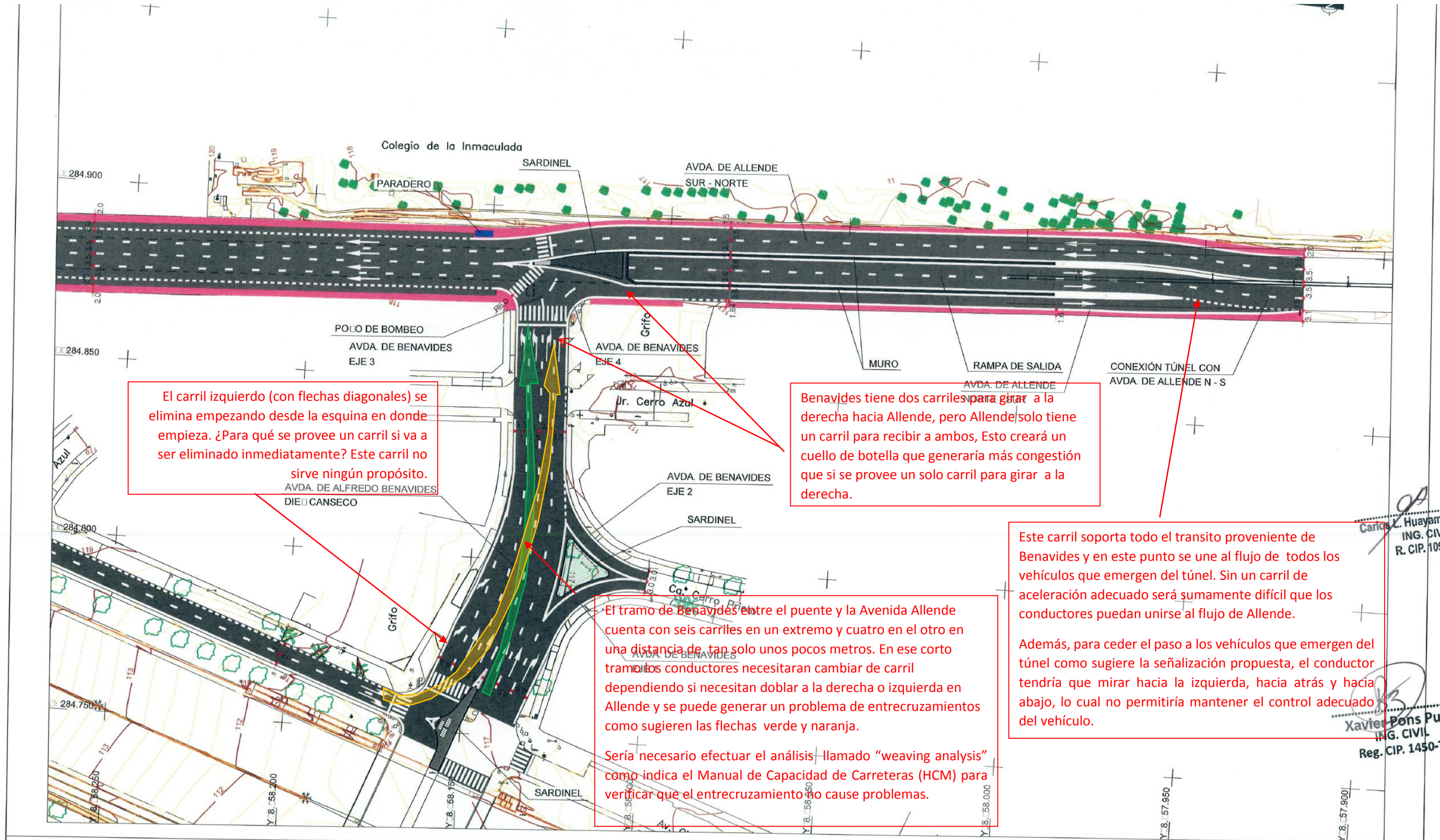
Incluso, es probable que el problema de la congestión actual en el intercambio vial del puente Benavides pueda resolverse simplemente si en las intersecciones se instalan semáforos con la capacidad de seguir la combinación y secuencia de fases mostrada en la Figura 20.

4 Sobre el diseño geométrico y vial aplicado en el proyecto

El documento de Odebrecht incluye planos detallados de las características geométricas, la asignación de carriles, señalización y demás aspectos de diseño vial. Durante la revisión visual de los planos se encontraron diversas situaciones cuestionables de diseño. Se ha optado por hacer los comentarios acerca del diseño geométrico y otros aspectos de diseño vial a modo de anotaciones sobre algunos de los planos del proyecto, ya que una explicación de los problemas en forma textual sería confusa y difícil de seguir.

Debido a la extensa cantidad de planos, esquemas y diagramas que se incluyen en el documento de Odebrecht, y que muchos de los problemas que se encontraron ya han sido discutidos en las secciones previas de este informe, se ha decidido hacer anotaciones en solo algunos de los planos, los cuales se presentan a continuación:

Figura 21: Plano de Diseño Geométrico – Tomo IX, página 11 del Documento de Odebrecht



Carlos L. Huayamave F
ING. CIVIL
R. CIP. 1099 - T

Xavier Pons Pujol
ING. CIVIL
Reg. CIP. 1450-T


 <p>MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA PROYECTO DE INVERSIÓN PRIVADA GERENCIA DE LA PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PRIVADA</p>	<p>CONCESIONARIO:</p> <p>ODEBRECHT RUTAS DE LIMA Infraestructura Concesión Vial</p>	<p>PROYECTISTA:</p> <p>TYPSPA INGENIEROS CONSULTORES Y ARQUITECTOS</p>	<p>DISEÑO : PRF</p> <p>DIBUJO : JMD</p> <p>REVISADO : MSA</p> <p>APROBADO : C. HUAYAMAVE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>FECHA</th> <th>REVISIONES</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	N°	FECHA	REVISIONES	DESCRIPCIÓN					<p>ESTUDIO DEFINITIVO DE INGENIERIA PANAMERICANA SUR SUBTRAMO 1: JAVIER PRADO - ATOCONGO KM 0+000 A 7+400 IVD BENAVIDES</p>	<p>PLANO: DISEÑO GEOMÉTRICO PLANTA GEOMÉTRICA KM 4+200 A 4+900</p>	<p>ESCALA : 1/500 REV: R00B FECHA : Agosto 2014 CODIGO : PS-08-03-DGT-04-03-005</p>
			N°	FECHA	REVISIONES	DESCRIPCIÓN									
<p>MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA PROYECTO DE INVERSIÓN PRIVADA GERENCIA DE LA PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PRIVADA</p>															

Figura 22: Plano de Diseño Geométrico – Tomo IX, página 10 del Documento de Odebrecht

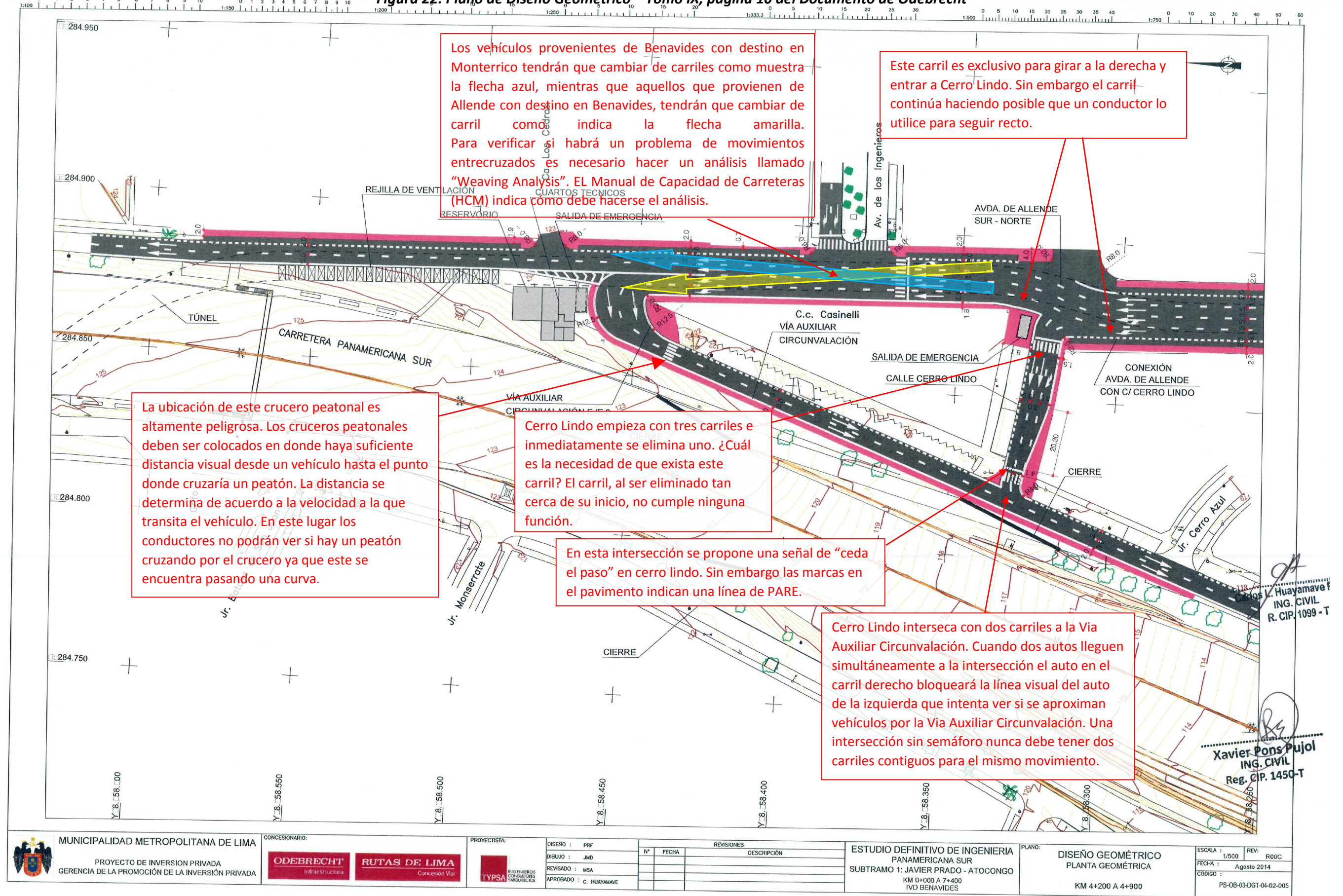
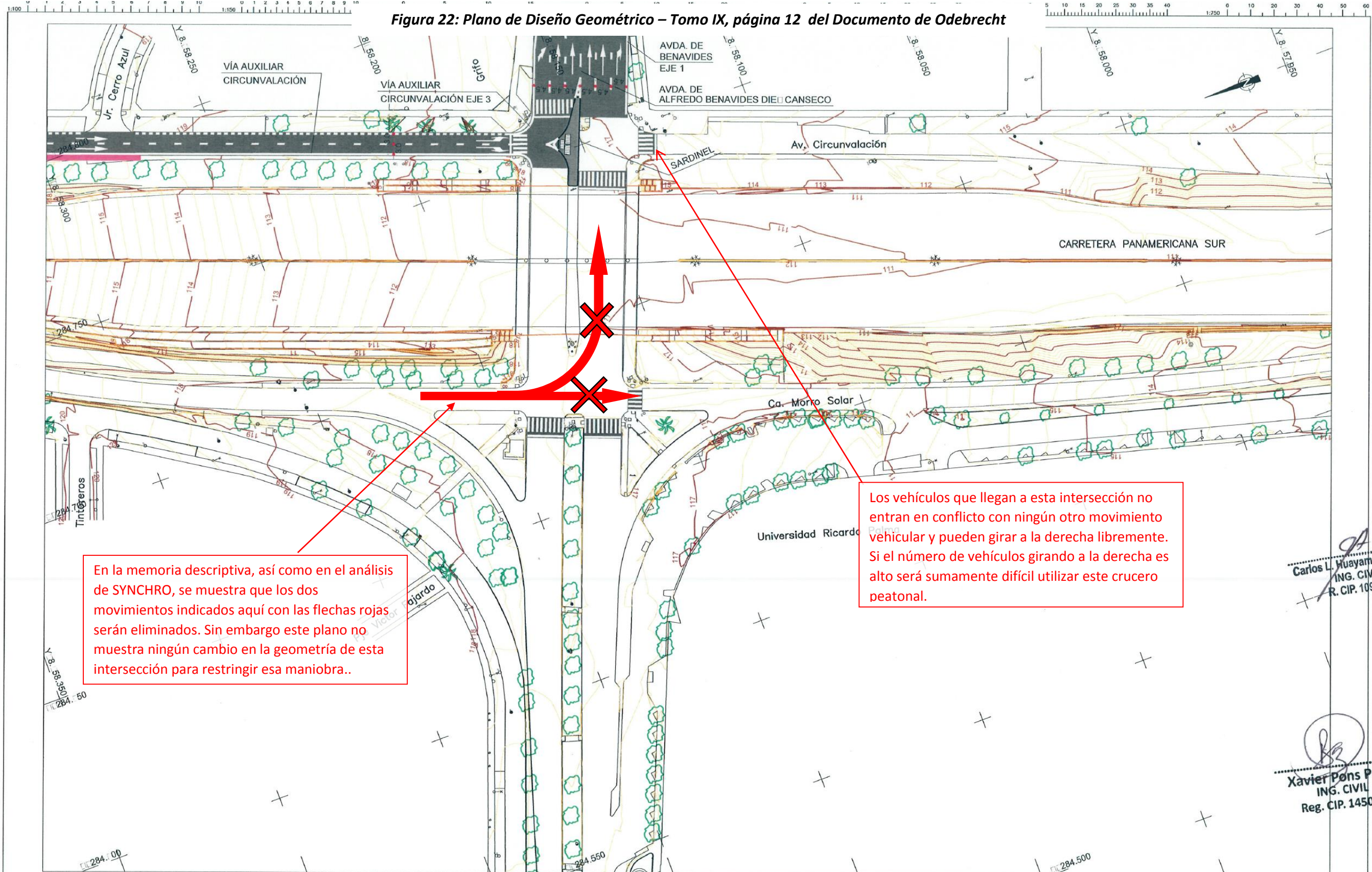


Figura 22: Plano de Diseño Geométrico – Tomo IX, página 12 del Documento de Odebrecht






En la memoria descriptiva, así como en el análisis de SYNCHRO, se muestra que los dos movimientos indicados aquí con las flechas rojas serán eliminados. Sin embargo este plano no muestra ningún cambio en la geometría de esta intersección para restringir esa maniobra..

Los vehículos que llegan a esta intersección no entran en conflicto con ningún otro movimiento vehicular y pueden girar a la derecha libremente. Si el número de vehículos girando a la derecha es alto será sumamente difícil utilizar este cruceo peatonal.

Carlos L. Huayamave Fi
ING. CIVIL
R. CIP. 1099 - T

Xavier Pons Pujol
ING. CIVIL
Reg. CIP. 1450-T

 <p>MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA PROYECTO DE INVERSIÓN PRIVADA GERENCIA DE LA PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PRIVADA</p>	<p>CONCESIONARIO:</p> 	<p>PROYECTISTA:</p> 	<p>DISEÑO : PRF</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N°</th> <th>FECHA</th> <th>REVISIONES</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	N°	FECHA	REVISIONES	DESCRIPCIÓN					<p>ESTUDIO DEFINITIVO DE INGENIERIA PANAMERICANA SUR SUBTRAMO 1: JAVIER PRADO - ATOCONGO KM 0+000 A 7+400 IVD BENAVIDES</p>	<p>PLANO: DISEÑO GEOMÉTRICO PLANTA GEOMÉTRICA KM 4+200 A 4+900</p>	<p>ESCALA : 1/500</p>	<p>REV: R00B</p>
			N°		FECHA	REVISIONES	DESCRIPCIÓN									
<p>DIBUJO : JMD</p>	<p>FECHA : Agosto 2014</p>	<p>PS-OB-03-DGT-04-04-005</p>														
<p>REVISADO : MSA</p>	<p>APROBADO : C. HUAYAMAVE</p>	<p>INGENIEROS CONSULTORES Y ARQUITECTOS</p>	<p> </p>	<p> </p>	<p> </p>	<p> </p>	<p> </p>									

4.1 Conclusiones sobre el diseño geométrico y vial

El proyecto IVD Benavides presenta aspectos de diseño que causarán conflictos entre vehículos y que pueden tener como consecuencia la generación de congestión, con las ramificaciones que ello implica, la ocurrencia de accidentes de diversa gravedad y el fomentar en los conductores la inobediencia a las reglas de tránsito:

Algunos aspectos geométricos de seguridad vial no han sido tomados en cuenta. Por ejemplo, para la ubicación de cruceos peatonales sin semáforo, para el diseño de intersecciones controladas por señales de PARE, y para el diseño de zonas de convergencia de flujo vehicular no se ha tomado en cuenta la distancia visual disponible y la distancia requerida para que un vehículo que viaja a la velocidad máxima permitida se detenga oportunamente. Proponer un diseño sin hacer estas verificaciones es altamente arriesgado.

En algunas intersecciones se muestra un número de carriles de giro que son recibidos por un número de carriles menor. Esto causará fricción entre los conductores que tendrían que competir por ingresar a los carriles luego de efectuar su giro, restándole capacidad a la intersección y causando congestión innecesariamente.

La geometría propuesta requiere cambios de carril en distancias relativamente cortas y en diferentes direcciones. Esto generaría que los conductores tengan que entrecruzarse constantemente, lo cual le resta capacidad a la vía. El efecto de entrecruzamientos se puede pronosticar a través de un análisis cuya metodología se indica en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) y al cual se le llama "Weaving Analysis". Este tipo de análisis no se ha efectuado para el proyecto IVD Benavides.

En general, La geometría propuesta no es la más adecuada para lograr un flujo seguro, continuo y sin demoras para los usuarios. Adicionalmente, los análisis que el proyecto presenta para mostrar un flujo adecuado son insuficientes e incorrectos.

Conclusiones Generales

El análisis presentado para determinar el correcto funcionamiento del túnel bajo las condiciones de tránsito esperadas no es correcto ya que asume que los vehículos podrán ingresar al túnel libremente. Sin embargo, el diseño que se presenta para la rampa de ingreso no cumple con las normas establecidas por AASHTO para vías de esas características y solo permite que los vehículos ingresen al túnel a través de un solo carril y cuyo uso es compartido con otros vehículos que continúan hacia el sur por la Panamericana. Por lo tanto, la afirmación de que el túnel tendrá la capacidad para servir al volumen vehicular anticipado no tiene un fundamento técnico aceptable.

El estudio de tránsito que se ha realizado para el Proyecto IVD Benavides tiene demasiados errores, irregularidades, y fallas como para poder obtener de él conclusiones válidas con respecto a la performance de la propuesta. Los errores encontrados casualmente mejoran los resultados del análisis para el proyecto IVD Benavides y desfavorecen a los resultados del análisis para las condiciones actuales.

A pesar de los errores encontrados, los niveles de servicio que se reportan para el proyecto IVD Benavides son marginalmente aceptables para el análisis bajo condiciones actuales, e inadmisibles (niveles de servicio "D" e inferiores) para los volúmenes de tráfico proyectados a tan solo 10 o 15 años en el futuro.

Los semáforos propuestos en las intersecciones del Proyecto IVD Benavides presentan características de diseño que están en violación directa a las normas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor en Calles y Carreteras.

La programación que se propone para los semáforos dice ser la mejor para lograr un flujo óptimo en la zona. Sin embargo todos los semáforos propuestos son de dos fases y con tiempos pre-programados. Para lograr resultados de programación óptimos es necesario implementar semáforos con más de 2 fases e idealmente con capacidad de detección vehicular.

El diseño geométrico del proyecto IVD Benavides presenta aspectos de diseño que causarán conflictos entre vehículos y que pueden tener como consecuencia la generación de congestión, con las ramificaciones que ello implica además de provocar la ocurrencia de accidentes y el fomentar el desorden y la inobediencia a las reglas de tránsito.

La geometría propuesta no es la más adecuada para lograr un flujo seguro, continuo y sin demoras para los usuarios.

Adicionalmente, los análisis que el proyecto presenta para mostrar un flujo adecuado son insuficientes e incorrectos.