

Programa UPR/PUPR/ATI



Evaluación del Uso de Carriles de Alta Ocupación en los Corredores Principales que Acceden la Región Metropolitana de San Juan

Sometido por:

Jorge Luís González Amaya

Consejeros:

Amado Vélez-Gallego, MSCE, PE

Gustavo Pacheco-Crosetti, PhD, PE

Felipe Luyanda-Villafañe, Dr.Eng, PE

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Universidad Politécnica de Puerto Rico

San Juan, Puerto Rico, 17 de mayo de 2008

1.0 Introducción

1.1 Tema

Los carriles de alta ocupación (“HOV lanes” conocido por sus siglas en Inglés) son carriles especiales que proveen tratamiento preferencial a vehículos privados con un número mínimo preestablecido de pasajeros tales como “vanpooling”, “carpooling” y otros vehículos designados para propósitos con el mismo fin. También se podría considerar el uso de estos carriles para autobuses o diferentes modos de transportación colectiva. Estos carriles se pueden encontrar en carreteras, peajes, rampas, calles de ciudades y calles arteriales como carriles exclusivos para personas que utilicen este sistema.

“Vanpooling” es una modalidad de vehículo privado, que ofrece servicio a un número de usuarios por viaje que fluctúa entre 7 a 15 personas que comparten el mismo destino (Philip L. Winters, 2000) y utiliza un vehículo tipo van. Por otra parte “Carpooling”, es el compartir el uso de un auto por dos o más personas, típicamente para viajes de tipo laboral. Los usuarios normalmente, son personas que cada uno tiene un auto pero viajan juntos para dividirse los costos y/o por conciencia ambiental. En algunas localizaciones, hay facilidades para alentar a las personas que hagan “carpooling”, tales como carriles exclusivos y áreas de recogido, entre otros.

Como parte de este estudio se analizarán las características de los principales corredores que acceden a la Región Metropolitana de San Juan para evaluar la viabilidad de construir carriles de alta ocupación. Se presentará la

estructuración de los conceptos básicos que se deben tomar en cuenta a la hora de analizar la implantación de estos sistemas.

La falta de opciones de transporte alternas al vehículo privado ha creado dependencia al uso del mismo. El resultado de esto se ve reflejado en la congestión en las carreteras que acceden al Área Metropolitana de San Juan, especialmente la congestión que se forma en los tres corredores principales que acceden a San Juan. Por esta razón, se estará investigando si son viables o no los carriles de alta ocupación en estos corredores para tratar de minimizar la congestión vehicular y patrocinar el uso de transporte en masa y ofrecer alternativas de alimentación al Tren Urbano.

El desarrollo de estos carriles exclusivos representaría un alivio y unas ventajas a las personas que se acojan a estos. Esta alternativa presenta como ventajas la reducción de gastos en gasolina, más comodidad para las personas, ya que las personas que vayan de pasajero pueden dormir, pueden leer o terminar algún trabajo. También las personas pueden ahorrar tiempo, ya que al tener un carril exclusivo no participarían de la congestión vehicular típica. Es importante recalcar que para establecer estos carriles como medio para reducir la cantidad de vehículos y reducir la congestión, es necesario realizar un estudio de viabilidad previo al diseño del mismo. Se investigó lo antes propuesto en uno de los principales corredores que acceden el AMSJ, que son el Expreso de Diego (PR-22).

1.2 Motivación y Justificación

En la última década se ha observado el crecimiento en las carreteras del número de vehículos privados. En el año 2005, aproximadamente un 90% de los vehículos que transitaban por las carreteras del AMSJ eran privados, 5 % carros públicos, 3% peatones y ciclistas y un 2 % autobuses. (Luyanda 2006) Estas estadísticas reflejan la dependencia que tienen los puertorriqueños al uso del vehículo privado, creando problemas de congestión que afectan al medio ambiente y a la calidad de vida de la comunidad.

Para justificar el reducir la congestión vehicular, se está proponiendo la creación de los carriles de alta ocupación para minimizar la cantidad de vehículos que transitan por los corredores antes mencionados, y así poder mejorar la calidad de vida y ayudar a la reducción de contaminantes al medio ambiente. A manera de ejemplo, si viajan 3 personas en vez de una sola por auto, esto podría representar una reducción de un 67% en contaminantes y volumen vehicular. Además se puede justificar el uso de estos carriles no solamente para reducir la congestión vehicular si no también como alimentadores para la estación del Tren Urbano en Bayamón.

1.3 Objetivos y Alcance

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el uso de carriles de alta ocupación en los corredores que acceden al Área Metropolitana de San Juan. El alcance se circunscribirá a la evaluación de la autopista PR-22. El enfoque del estudio será evaluar la infraestructura vial actual y la posible localización de carriles de alta ocupación, evaluar las condiciones operacionales actuales y futuras (con los carriles de alta ocupación), evaluar el tipo de vehículo que podría usar estos carriles (carpooling, vanpooling, transporte público, etc.), evaluar estrategias para la implantación y estímulo del uso de estos carriles, evaluar si estos carriles se podrían conectar con las estaciones del Tren Urbano y de qué manera se podría conectar.

Se analizó diferentes escenarios en la PR-52. Entre estos se analizó el nivel de servicio operacional, primero sin los carriles de alta ocupación y luego con los carriles de alta ocupación, estableciendo varias hipótesis de cómo va a ser el uso del mismo. Luego de este análisis, y luego de confirmar que el tren de Caguas hacia la Área Metropolitana de San Juan ha sido aprobado, se decidió realizar la evaluación en la PR-22 en vez de en la PR-52. Para este corredor se evaluó diferentes escenarios tales como la capacidad del mismo tomando en cuenta añadiendo un carril o dos en la mediana o la capacidad del mismo eliminando un carril ya existente, y se realizó un análisis de sensibilidad con diferentes porcentos de asignación de volúmenes a estos.

1.4 Metodología

La metodología que se siguió para lograr los objetivos de este estudio es la siguiente: 1) en primer plano se realizó una revisión de literatura para estudiar los casos de carriles de alta ocupación en otros lugares, para esto se estudió la infraestructura, el horario y el número de pasajeros; 2) se estudiaron las estrategias utilizadas en estos lugares para lograr que se usen los carriles de alta ocupación tales como el “Vanpooling”, “Carpooling”, “HOT Lanes”, vehículos híbridos e incentivos de agencias gubernamentales, 3) se seleccionó uno de los corredores principales que proveen acceso a la Región Metropolitana de San Juan, lo cual se seleccionó la autopista PR-22 que es el Expreso de Diego. Para este corredor se evaluó la infraestructura existente, como por ejemplo los parámetros geométricos, 4) se evaluó el nivel operacional de un segmento de la PR-22 antes y después de proponer los carriles de alta ocupación; 6) y por último se obtuvieron conclusiones sobre la posibilidad de implantación de carriles de alta ocupación.

Este informe se divide en 6 capítulos donde el capítulo 1 es la introducción, el capítulo 2 es la revisión de literatura, el capítulo 3 es datos, el capítulo 4 es el análisis de resultados, capítulo 5 es la conclusión y el capítulo 6 son las referencias.

2.0 Revisión de Literatura

Para realizar esta investigación se utilizó como base referencias de estudios sobre el “Vanpooling”, el “Carpooling” o “Car-Sharing” y los HOT lanes en los Estados Unidos.

2.1 “HOV” Lanes

Carriles de alta ocupación (HOV Lanes por sus siglas en Inglés) son carriles designados al uso de tránsito preferencial tales como “vanpooling” y “carpooling”. Estos normalmente se encuentran en la misma carretera pero separados de alguna manera. El objetivo principal de los carriles de alta ocupación es proveer a los usuarios de guaguas, “carpools” y “vanpools” ahorro en tiempo de viaje para ir a sus trabajos. Estos carriles tienen como objetivo:

- Aumentar el número de personas por carro.
- Preservar la capacidad de movimiento de las personas en las carreteras.
- Aumentar las operaciones de las guaguas.

Existen diferentes tipos de carriles de alta ocupación, los mismos son:

- Carriles de alta ocupación separados de las carreteras.
- Carriles de alta ocupación exclusivos en las carreteras con control de acceso total o expresos.
- Carriles de alta ocupación en las carreteras libres o expresos que vayan a favor del tránsito.

- Carriles de alta ocupación en las carreteras con control de acceso total o expresos que vayan en contra del tránsito.
- Carriles de alta ocupación con cambios requeridos y horas de operación.
- Carriles de alta ocupación en calles arteriales.
- Carriles de alta ocupación en calles arteriales que son solo para guaguas.

Por ejemplo en algunos estados, tales como New Jersey, Texas y California estos carriles de alta ocupación han llevado más personas por carril que los carriles normales (HOV Facilities, TCRP Report 95).

2.2 “Vanpooling”

“Vanpooling” es el uso de guagua compartida 7 a 15 personas. Especialmente son personas que trabajan juntos normalmente. Algunas de las ventajas de este sistema es que el conductor viaja gratis al trabajo. Los pasajeros de este sistema pagan una tarifa mensual que cubre los siguientes gastos del “vanpool” (Winters, 2000):

- Gasolina
- Mantenimiento de la Guagua
- Reparaciones
- Seguro para accidentes
- Compra o alquiler de la guagua
- Licencia
- Servicio o asistencia en carreteras

Algunas de las preguntas que se hacen la mayoría de los usuarios de este sistema, sobre responsabilidades, deberes y derechos que tiene las personas que utilizarían este sistema son:

- ¿Cuántas personas necesito para comenzar un “van pool”?
- ¿Cuáles son las responsabilidades del conductor del “van pool”?
- ¿Necesito una licencia especial para ser conductor de un “van pool”?
- ¿Cómo conductor, tengo permitido utilizar la van para uso personal?
- ¿La forma que conduzco afectara mi promedio de seguros?
- ¿El grupo puede tener más de un conductor?
- ¿Cómo consigo los pasajeros?
- ¿Cuánto tiempo debo esperar por un pasajero?
- ¿Dónde seré recogido?
- ¿Cómo y a quien le pago por el pasaje?
- ¿Qué si tengo que abandonar el trabajo temprano?
- ¿Quién es el dueño de la van?
- ¿Qué ocurre si la van se daña?
- ¿Qué ocurre con el seguro?

Estas son algunas de las preguntas que las personas se realizan y las mismas son contestadas por cada grupo de van pool.

Entre estos grupos de “van pool” y/o componentes se encuentran:

- El dueño u operador- individuos que compran o alquilan las van.
- Empleadores- compañías que compran o alquilan los vans para promover este sistema.

- Operadores Privados- son compañías proveedores de este sistema. Por ejemplo VPSI en Philadelphia, Drummond Transportation en Boston y Enterprise Vanpool en Los Angeles y San Diego.
- Tránsito Público- son sistemas que pertenecen a la ciudad, por ejemplo en la ciudad de Seattle, el gobierno provee un sistema público de van pool.

Existen diferentes beneficios para las personas que utilizan estos sistemas tales como:

- Beneficios para el conductor:
 - Reduce la necesidad de comprar un auto privado.
 - Recibe el vehículo del sistema para viajes personales.
 - Obtiene pólizas bajas en seguros.
 - Reduce el mantenimiento de vehículo personal.
 - No requiere un compromiso a largo plazo.
- Beneficios para los pasajeros:
 - Reduce el “stress” y como empleado llega al trabajo relajado, fresco y listo para trabajar.
 - Aumenta el acceso al mercado de diferentes áreas de trabajo.
 - Reduce la distancia a caminar en los estacionamientos ya que este sistema en algunas compañías tiene estacionamientos preferencial.
 - Se ahorra dinero en el costo de gasolina.

- Se hacen nuevas amistades y conoce otras personas.
- Beneficios para el empleador:
 - Reduce la necesidad de estacionamientos.
 - Aumenta el acceso al mercado de trabajos.
 - Aumenta la moral del empleado y las relaciones del mismo.
 - Aumenta productividad, reduce ausentismo y tardanzas.
 - Aumenta los beneficios de los empleados (subsídios de libre impuesto permitido hasta \$65 por mes que pueden deducir de los impuestos dependiendo del Estado o región, ya que es política pública).
- Beneficios para la comunidad:
 - Requiere menos pasajeros que una guagua pública.
 - Aumenta los fondos estatales y federales para el tránsito.
 - Reduce la congestión en las horas picos- por cada 15 pasajeros en una van puede reducir hasta 14 vehículos. La Administración Federal de Carreteras estima que los programas de van pool reduce viajes a trabajo en millas de un por ciento a 8 por ciento (Philip L. Winters, 2000)
 - Aumenta la calidad del aire- el carro promedio emite un cuarto de libra de contaminantes cada milla si es conducido. En un viaje de 100 millas un solo carro puede soltar 25 libras de contaminantes al aire.

Existen además varias preocupaciones con el programa de vanpool y estas son las siguientes:

- Preocupaciones del conductor:
 - Localizar pasajeros y conductores sustitutos.
 - Colectar los pagos de los pasajeros.
 - Mantener la lista de pasajeros sustitutos.
- Preocupaciones de los pasajeros:
 - Aumento del tiempo en áreas que no tienen carriles de alta ocupación.
 - Requerimiento de horario fijo.
 - Altos costos en viajes cortos comparados con los gastos personales.
- Preocupaciones del empleador:
 - Aumento en costos y problemas administrativos si el empleado es dueño del vanpooling.
 - Impacto del empleado al utilizar el horario del programa como excusa para llegar tarde.
 - Aumenta la pérdida de empleados o información importante al conversar con otros pasajeros.
- Preocupaciones para la comunidad:
 - Localizar el dinero para comenzar el programa y el mercadeo.
 - Reconciliar los precios de van pool con los precios de transporte público.

2.3 “Carpooling”

“Car pool” es el uso de un carro compartido personas que van de 3 a 4 personas, especialmente son personas que trabajan y tienen su propio auto pero utilizan este programa o sistema para ahorrarse los costos de gasolina, etc. y para ayudar el medio ambiente. Existen varias ventajas y desventajas para el “car pool”, las mismas son las siguientes (TCRP Report 95, Chapter 2):

- Ventajas:
 - Participantes ahorran dinero al compartir los gastos al guiar un sólo carro. Guiar un sólo carro se ahorra en gasolina, peajes, estacionamiento y en mantenimiento del vehículo.
 - Carpools descongestionan las carreteras.
 - Reduce la contaminación y las emisiones de dióxido de carbono reduciendo el calentamiento global.
 - Se reduce el stress relacionado al guiar.
 - Existen carriles especiales de alta ocupación que pueden ser utilizados por las personas que usan este programa.
 - Se pueden preparar listas o tablas que indiquen la hora que parte el carpool, el destino, los días que trabaja y quien es la persona contacto, (ejemplo figura 1).
- Desventajas:
 - Los conductores pueden tener problemas legales con los pasajeros en caso de accidentes.

- En este sistema se dificulta realizar gestiones en el camino y en las localizaciones comunes.
- Tiende ser complicado organizar un carpool, debido a los cambios en las necesidades de viaje.

| Destino | Estado | Procedencia | Estado | Días | Contacto | Comentarios |
|--|--------|------------------------------|--------|---------|---------------|--|
| Houston/Greenspoint | TX | Sugar Land/ First Colony | TX | MTWRF | pc5 | 7:00 AM |
| 13430 Northwest Freeway/Granite Towers | TX | Houston/ Galleria | TX | MTWRF | ksreddy007in | I can leave at 8 AM and return from work at 5PM |
| 2500 Dunstan Road/ Houston Kaplan Center | TX | Nasa Road 1/ Sarah Deel | TX | Mon-Fri | alielsaid | 713-517-2024 |
| 290 & Beltway 8/Windferm | TX | Sugar Land/ First Colony | TX | Mon-Fri | CAMERY | Flexible working hours |
| 290 & Beltway 8/Windferm | TX | Sugar Land/ Missouri City | TX | Mon-Fri | CAMERY | Flexible working hours |
| 3002 Haskell-Dallas/Dallas | TX | Arlington/ Ragland Debbie Ln | TX | Mon-Fri | zsolt78 | 682-518-1327 or email |
| Addison/Dallas Parkway | TX | Arlington/ Debbie Ln/Matlock | TX | Mon-Fri | Chalon2006 | Need to be in Addison between 8 and 9 |
| Addison/Dallas Parkway | TX | UTA/ Campus | TX | Mon-Fri | chopranitasha | to reach Addison through 9 to 9:15 |
| Addison/Dallas Parkway | TX | Balch Springs/Deerfield | TX | Mon-Fri | quetzalguerra | quetzal_guerra@hotmail.com |
| Addison | TX | Corinth | TX | Mon-Fri | cannon1 | Leave Denton area 7 AM |
| Addison/Addison | TX | Dallas/Dallas | TX | MTWRF | mwebb | I like to leave around 5:45 AM |
| Addison/Midway | TX | Dallas/ Mesquite Rodeo | TX | MTWRF | candyb | 5:30 AM - 4 PM |
| Addison/Airport | TX | Denton/Audra Lane area | TX | MTWRF | epangburn | Depart 6:30 AM return approx. 5-5:30PM |

Figura 1: Ejemplo de lista de Carpooling en Texas.

2.4 HOT Lanes

“High Occupancy Toll” (HOT Lanes por sus siglas en inglés) son carriles de acceso limitado en autopistas. Normalmente están separados por una barrera física. Los HOT lanes proveen acceso libre a un bajo costo a HOV’s que cualifiquen y además proveen acceso a otros vehículos que paguen sin cumplir con los requerimientos de ocupación de pasajeros. El concepto de HOT lanes combina dos de las herramientas utilizadas en autopistas que son gerencia o supervisión de carriles y el uso de precio. Estas técnicas se definen como sigue:

- Gerencia o Supervisión de Carriles: esto envuelve el restringir el acceso a los carriles designados en las autopistas que son basados en conceptos de ocupación, tipo de vehículo u otros objetivos.
- El uso de precios para moderar la demanda durante periodos picos. El concepto de precio en sectores de autopistas envuelve la introducción de cargos a usuarios que utilizan la carretera a diferentes periodos del día y a diferentes niveles de congestión, esto provee incentivos a conductores para que ajusten la hora o periodo en el que viajan.

Los “HOT lanes” tienen el potencial de varios beneficios para los conductores y los usuarios de las autopistas, tales como tiempo de viaje, ventajas al medio ambiente y opciones de viajes, etc.

La diferencia que existe entre los “HOV lanes” y los “HOT lanes”, es que los “HOV lanes” son carriles de alta ocupación que son utilizados específicamente por vehículos que tienen 2 o más pasajeros, como por ejemplo un automóvil que vayan viajando 3 personas o una guagua que

vayan más de 7 personas. Los “HOT lanes” son carriles de alta ocupación donde se cobra una tarifa a personas que viajan solas en su vehículo y pagan una cantidad de dinero para utilizar los carriles de alta ocupación sin que se les penalice. Los HOT lanes tienen un potencial de beneficios para usuarios de vehículos y para motoristas. Estos beneficios son tales como la viabilidad en el tiempo de viaje, el ahorro en tiempo de viaje, reduce las horas de viaje de los vehículos y ha sido el remedio para HOV lanes que no han cumplido con su propósito. En algunas áreas ha crecido la presión de convertir los carriles de alta ocupación que no dan el grado a carriles de uso normal. HOT lanes tienen el potencial de incrementar el número de vehículos viajando por los carriles de poco uso y posibilidad de convertirlos en carriles normales.

2.5 Comparaciones de “HOV lanes”

Se revisó literatura donde se encontró información sobre algunos corredores en los Estados Unidos que ya tienen este sistema establecido y como están operando con los mismos. Entre estos casos de HOV lanes se encuentran SR-91 Express Lanes en Orange, FasTrak en San Diego y el Quick Ride en Houston. Las ciudades de Orange y San Diego están localizadas en el estado de California, y la ciudad de Houston se encuentra en Texas. Estos proyectos se tomaron en consideración ya que son los más importantes y exitosos proyectos de HOV/HOT en los Estados Unidos. En la tabla 1 se presentan las características generales de estos tres casos de HOV/HOT Lanes.

Tabla 1: Características Generales de diferentes “HOV Lanes” (Roxana Román, 2000):

| Características Generales | SR-91 Express Lanes Orange, California | Fastrak San Diego, California | QuickRide Houston, Texas |
|----------------------------|--|---|---|
| Usuarios Generales | HOV3+, guaguas, motoras y SOV autorizados. | HOV3+, guaguas, motoras y SOV autorizados. | HOV3+, guaguas, motoras y SOV autorizados. |
| Pagadores de Peaje | SOV and HOV2+ (HOV3+ pagan la mitad) | SOV | HOV2+ (HOV3+ no pagan peaje durante las horas pico) |
| Usuarios más Frecuentes | HOV3's | HOV2's | HOV2's |
| Largo del Carril | 10 millas | 8 millas | 13 millas |
| Descripción del Carril | 2 carriles en la mediana por dirección, sin salidas o acceso intermedios | 2 carriles reversibles en la mediana, sin salidas o accesos intermedios | 1 carril reversible en la mediana, sin salidas o accesos intermedios. |
| Cuota | \$0.60-\$2.95 por viaje | Fase I: cargo mensual fijo. Fase II:\$0.50-\$4.00 por viaje | Periodo Pico: \$2.00 por viaje. Periodo regular: gratis |
| Tiempo de Viaje ahorrado | 20-30 minutos | 22 minutos | 18 minutos |
| Valor del Tiempo | \$13.00-\$14.00 por hora | \$6.35-\$8.67 por hora (\$2.33-\$3.18 por viaje) | \$6.75 por hora |
| Propósito General de Viaje | No relacionado al trabajo | Relacionado y no relacionado al trabajo | Relacionado y no relacionado al trabajo. |

En la tabla se están describiendo cada uno de los sistemas de HOV/HOT.

La descripción es la siguiente:

1. Orange County, California

En la autopista SR-91 se comenzó con el sistema de HOV pero luego de analizar la demanda y la necesidad de estos carriles los

convirtieron a un sistema de HOT, colocando peajes en la mediana de la carretera. (Roxana Roman, 2000)

2. San Diego, California

En la autopista I-15 existía el sistema de HOV, pero luego de que el gobierno se diera cuenta de que estos carriles se estaban operando por debajo de su capacidad, La Asociación de Gobernantes de San Diego propuso que el sistema de HOT fuera implementado en estos carriles para así aumentar la capacidad y generar ingresos. Este sistema de 8 millas de largo consiste de dos carriles reversibles a lo largo de la mediana. Los vehículos con 2 o más pasajeros pueden viajar completamente gratis y los que tienen un solo pasajero pagan peaje. (Roxana Román, 2000)

3. Houston, Texas

En esta autopista llamada Katy Freeway, ya existía el sistema de HOV pero por problemas de poco uso lo tuvieron que cambiar a un sistema de HOT. Los carriles para este sistema son carriles reversibles de 13 millas de largo y están divididos de la autopista principal por una barrera. En este sistema los autos de un solo pasajero y de dos pasajeros pagan un cargo fijo, mientras que los HOV3+ solo pagan durante las horas pico. (Roxana Roman, 2000)

Existen muchos aspectos positivos y negativos relacionados con estos tres programas. Estos aspectos se encuentran en la tabla #8.

Tabla 2: Aspectos positivos y negativos de “HOV Lanes” (Roxana Román, 2000):

| | SR-91 Express Lanes Orange, California | Fastrak San Diego, California | QuickRide Houston, Texas |
|--------------------|---|--|---|
| Aspectos Positivos | <ul style="list-style-type: none"> • Carriles de HOT sirven a 30,000 vpd. • El volumen del tráfico aumenta mientras el tiempo de demora disminuye. • La capacidad de la autopista mejora al aumentar un carril a cada dirección y modifica los cruces. | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento significativo a los HOV. • Las ganancias del sistema de HOT ha creado nuevos sistemas de guaguas. • Reducción razonable de violadores de autos de un solo pasajero en los carriles de HOV. | <ul style="list-style-type: none"> • Número de pasajeros en carriles HOT=número de pasajeros en los 19 carriles principales durante la hora pico. • Estos carriles sirven a 35,000 vpd • La velocidad en estos carriles es de 50 a 55 mph durante la hora pico vs. 20 mph en los carriles principales. |
| Aspectos Negativos | <ul style="list-style-type: none"> • Pasajeros con mayor ingreso doblan a los de menor ingreso (23% vs. 10%) | <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidad a aumentar los precios. • Poco conocimiento acerca del uso de los carriles. | <ul style="list-style-type: none"> • No cambio significativo en el uso • HOV3+ requerido |

2.6 Shirley Highway

La carretera Shirley Highway se escogió como parte de esta investigación ya que la misma es una de las carreteras que tiene carril exclusivo y el mismo es uno de los más exitosos en los Estados Unidos. Se trabajó en la recopilación de estos datos sobre el “Shirley Highway” en Washington D.C. para poder compararlo con la PR-22 y ver si realmente en la PR-22 es conveniente colocar carriles de alta ocupación. La tabla 3 muestra la comparación de la Carretera PR 22 con la Shirley Highway.

Tabla 3: Comparación de la Carretera PR 22 con la Shirley Highway.

| Carretera | # de carriles | Distancia de estudio. (HOV) | Velocidad Rotulada | # de Viajes |
|-----------------|---|-----------------------------|--------------------|--|
| PR-22 | Varia de tramo en tramo donde va de 3 a 5 carriles por dirección. | 13.51 millas | 55 mph | Aproximadamente unos 70,274 viajes en auto en ambas direcciones durante un día típico. |
| Shirley Highway | La misma tiene 3 carriles por dirección y 2 carriles reversible en la mediana.(HOV) | 19 millas | 65 mph | Aproximadamente + de 100,000 viajes en auto en ambas direcciones diariamente. |

Ventajas que ha tenido el carril de alta ocupación en la Shirley Highway es que ha podido remover alrededor de 5000 vehículos durante las horas pico. Además es utilizado por un sistema servicio de autobuses que ha aumentado sus pasajeros de 8700 pasajeros a 21000 pasajeros, lo que ha aumentado de un 27% (antes de la implementación del proyecto) a más de un 40% hoy en día.

3.0 Datos

A continuación las tablas 4 a la 6 muestran los datos recopilados de la PR 22 conseguidos en la Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT). En estas tablas se presentan los parámetros geométricos, tales como el ancho de carril, número de carriles por dirección, ancho de paseo derecho e izquierdo, el “Right of Way”, ancho de mediana, velocidad de diseño, el “Average Annual Daily Traffic” del 2006, el “Average Annual Daily Traffic” proyectado para el 2026, la K que es el factor de conversión de 24 horas a hora pico, la D que es el factor de conversión direccional y el porcentaje de vehículos pesados.

Tabla 4: Datos de ancho de carril y número de carriles por dirección, ancho de paseo derecho e izquierdo. (PR 22)

| Km | Ancho de Carril (ft) | Número de Carriles por dirección | Ancho de Paseo (ft) derecho | Ancho de Paseo (ft) Izq. |
|---------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 0.65 a 0.80 | 13.12 | 4 | 9.84 | 0 |
| 0.80 a 1.40 | 13.12 | 4 | 8.86 | 0 |
| 1.40 a 2.80 | 13.12 | 5 | 9.84 | 2.95 |
| 2.80 a 4.75 | 13.12 | 4 | 9.84 | 0 |
| 4.75 a 6.00 | 13.12 | 5 | 9.84 | 0 |
| 6.00 a 7.00 | 13.12 | 5 | 9.84 | 0 |
| 10.20 a 11.20 | 13.12 | 4 | 10.82 | 0 |
| 11.20 a 12.70 | 13.12 | 4 | 9.84 | 3.94 |
| 12.70 a 15.10 | 13.12 | 3 | 9.84 | 3.94 |
| 15.10 a 15.57 | 13.12 | 3 | 7.87 | 3.94 |
| 15.57 a 17.70 | 13.12 | 3 | 7.87 | 3.94 |
| 17.70 a 22.40 | 13.12 | 3 | 7.87 | 3.94 |

Tabla 5: Datos de “Right Of Way”, Ancho de mediana y velocidad de diseño. (PR 22)

| Km | ROW | Ancho de mediana (ft) | Tipo de mediana | Velocidad de Diseño (mph) |
|---------------|------------|------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 0.65 a 0.80 | 36 | 36.08 | 2 | 70 |
| 0.80 a 1.40 | 40.75 | 36.08 | 2 | 70 |
| 1.40 a 2.80 | 73.08 | 93.8 | 2 | 70 |
| 2.80 a 4.75 | 97.5 | 39.03 | 3 | 70 |
| 4.75 a 6.00 | 127.57 | 37.06 | 2 | 70 |
| 6.00 a 7.00 | 74.21 | 19.02 | 2 | 70 |
| 10.20 a 11.20 | 63.5 | 5.25 | 2 | 70 |
| 11.20 a 12.70 | 82.16 | 27.88 | 2 | 70 |
| 12.70 a 15.10 | 103.5 | 42.97 | 2 | 70 |
| 15.10 a 15.57 | | 42.97 | 2 | 70 |
| 15.57 a 17.70 | | 42.97 | 2 | 70 |
| 17.70 a 22.40 | | 44.94 | 2 | 70 |

Tabla 6: AADT (2006), Proyección de AADT, K, D y HV (PR 22)

| Km | AADT (2006) | AADT (2026) Proyectado | K (%) | D (%) | % HV |
|---------------|--------------------|-------------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 0.65 a 0.80 | 174,700 | 202,700 | 7 | 65 | 4 |
| 0.80 a 1.40 | 196,200 | 227,600 | 7 | 65 | 4 |
| 1.40 a 2.80 | 258,100 | 299,400 | 7 | 65 | 4 |
| 2.80 a 4.75 | 216,000 | 250,600 | 7 | 65 | 4 |
| 4.75 a 6.00 | 198,800 | 230,600 | 7 | 65 | 4 |
| 6.00 a 7.00 | 198,900 | 230,700 | 7 | 65 | 4 |
| 10.20 a 11.20 | 141,700 | 164,400 | 7 | 65 | 4 |
| 11.20 a 12.70 | 128,900 | 149,500 | 7 | 65 | 4 |
| 12.70 a 15.10 | 128,500 | 149,100 | 6 | 55 | 4 |
| 15.10 a 15.57 | 125,700 | 145,800 | 7 | 65 | 4 |
| 15.57 a 17.70 | 113,600 | 131,800 | 7 | 60 | 4 |
| 17.70 a 22.40 | 106,200 | 123,200 | 7 | 60 | 4 |

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de vehículos que utilizo el peaje de Buchanan para el 31 de marzo del 2008, datos conseguidos en la oficina de Autopistas, de estos datos se obtuvo el factor de cambio de 24 horas a hora pico, (K), lo cual fue de 9%.

Tabla 7: Datos sobre el peaje de Buchanan para el 31 de marzo de 2008.

| Hora (24) | Automóviles | Camiones 2 ejes | Camiones 3 ejes | Camiones de más de 3 ejes | Violaciones | Trafico Total | K (%) |
|------------|-------------|--------------------|--------------------|------------------------------|-------------|------------------|----------|
| 0 | 344 | 3 | 2 | 2 | 1 | 351 | 0.80 |
| 1 | 204 | 5 | 1 | 1 | 0 | 211 | 0.48 |
| 2 | 172 | 6 | 0 | 2 | 0 | 180 | 0.41 |
| 3 | 288 | 17 | 3 | 8 | 3 | 316 | 0.72 |
| 4 | 701 | 46 | 6 | 5 | 0 | 758 | 1.72 |
| 5 | 2350 | 59 | 23 | 13 | 2 | 2445 | 5.55 |
| 6 | 3706 | 47 | 18 | 13 | 1 | 3784 | 8.59 |
| 7 | 3998 | 50 | 12 | 24 | 4 | 4084 | 9.27 |
| 8 | 3455 | 42 | 22 | 32 | 3 | 3551 | 8.06 |
| 9 | 2784 | 68 | 24 | 29 | 1 | 2905 | 6.60 |
| 10 | 2533 | 57 | 33 | 38 | 0 | 2661 | 6.04 |
| 11 | 2449 | 50 | 26 | 38 | 0 | 2563 | 5.82 |
| 12 | 2403 | 59 | 24 | 31 | 1 | 2517 | 5.72 |
| 13 | 2370 | 66 | 16 | 31 | 4 | 2483 | 5.64 |
| 14 | 2439 | 70 | 28 | 36 | 8 | 2573 | 5.84 |
| 15 | 2251 | 51 | 19 | 25 | 3 | 2346 | 5.33 |
| 16 | 2244 | 48 | 15 | 17 | 7 | 2324 | 5.28 |
| 17 | 2027 | 25 | 7 | 15 | 1 | 2074 | 4.71 |
| 18 | 1396 | 20 | 4 | 8 | 2 | 1428 | 3.24 |
| 19 | 1332 | 15 | 4 | 9 | 2 | 1360 | 3.09 |
| 20 | 1044 | 6 | 1 | 5 | 2 | 1056 | 2.40 |
| 21 | 945 | 9 | 1 | 2 | 2 | 957 | 2.27 |
| 22 | 702 | 9 | 3 | 3 | 0 | 717 | 1.83 |
| 23 | 380 | 8 | 0 | 5 | 0 | 393 | 0.89 |
| Total | 42517 | 836 | 292 | 392 | 47 | 44037 | |
| Percentage | 96.55 | 1.90 | 0.66 | 0.89 | 0.11 | 100.00 | |

Para analizar el nivel de servicio de la PR-22 se tomó un “Average Annual Daily Traffic” (AADT) de 141,700 se tomó este ya que es el más crítico desde el km 8 que es donde se encuentra la salida a la PR-22 hasta el km 22.5 donde está el peaje de Dorado, dato obtenido en la Autoridad de Carreteras. Este AADT es del 2006 por lo tanto se utilizó un factor de crecimiento de 0.75% para calcular el AADT para el 2008, lo cual es el siguiente 143,833. El factor de conversión de 24 horas a hora pico (K) utilizado fue 9%, dato obtenido de la oficina de Autopistas específicamente la oficina encargada de los peajes. El factor de conversión direccional (D) utilizado para calcular el volumen fue de 65%, dato obtenido en la Autoridad de Carreteras.

$$AADT * K * D = DDHV$$

$$143,833 \times 0.09 \times 0.65 = 8414$$

Este volumen es el que se utilizó para el análisis operacional de los diferentes escenarios. Los escenarios que se analizaron son los siguientes:

Escenario 1: Para el primer escenario se analizó el nivel de servicio utilizando los 4 carriles existentes sin eliminar ningún por ciento al volumen.

Escenario 2: Para el segundo escenario se analizó el nivel de servicio utilizando un carril ya existente como carril de alta ocupación en ambas direcciones, dejando cada dirección con 3 carriles regulares. Este escenario se analizará con el volumen calculado y luego eliminándole

desde un 10 % a 40% al volumen, así utilizar el programa HCS 2000 como herramienta para analizar cada nivel de servicio.

Escenario 3: Para el tercer escenario se analizó el nivel de servicio con los 3 carriles existentes y eliminándole al volumen de un 10 % a 40 % al volumen, que en este caso utilizarían un carril de alta ocupación que sería colocado en la mediana y sería un carril reversible, para una dirección en la hora pico en la mañana y para la otra dirección en la hora pico en la tarde.

Escenario 4: Para el cuarto escenario se analizó el nivel de servicio con los 3 carriles existentes y eliminándole de un 20 % a 60 % al volumen, que en este caso utilizarían dos carriles de alta ocupación que serían colocados en la mediana y serían carriles reversibles, para una dirección en la hora pico en la mañana y para la otra dirección en la hora pico en la tarde.

Hoy en día en los carriles existentes la razón de ocupación para los vehículos privados en los carriles tradicionales tiene un valor típico de 1.2 pasajeros/vehículo. Para los escenarios 2 al 4 el tipo de vehículo que utilizaría estos carriles sería un vehículo privado con 3 pasajeros cada vehículo, eliminando así 3 vehículos por carril en los principales. La razón del por qué se decidió de que fuera un “carpool” de tres personas, es que este es el más sencillo de promover en el momento de comenzar a operar los carriles. El número de pasajeros promedio por vehículo en el HOV en este caso sería de 2.5 pasajeros/vehículo.

4.0 Análisis de Resultados

Para el análisis de resultado se utilizó como herramienta el programa HCS 2000, para analizar los niveles de servicio para cada escenario. Los resultados para cada escenario es el siguiente:

Escenario 1:

1. Para el primer escenario se analizó el nivel de servicio utilizando los 4 carriles existentes sin eliminar ningún por ciento al volumen.

Tabla 8: Resultado análisis de nivel de servicio escenario 1.

| Disminución (%) | Volumen | Flujo Ajustado por Carril | N | LOS | PHF | BFFS |
|-----------------|---------|---------------------------|---|-----|------|------|
| 0 | 8414 | 2361 | 4 | E | 0.90 | 70 |

Como podemos observar en la tabla anterior el nivel de servicio dio E y el volumen por carril es de 2361 pc/hr/ln. Que no es uno óptimo pero tenemos que tomar en consideración que se utilizó una velocidad de 70 mph para realizar el análisis.

Escenario 2:

Para este escenario se analizo el nivel de servicio utilizando un carril ya existente como carril de alta ocupación en ambas direcciones, dejando cada dirección con 3 carriles regulares. Este escenario se analizo con el volumen calculado y luego eliminándole de un 10 % a 40 % al volumen, que sería el número de vehículos que utilizaría el carril de alta ocupación.

Tabla 9: Resultados análisis de nivel de servicio escenario 2.

| Disminución (%) | Volumen | Flujo Ajustado por Carril | N | LOS | PHF | BFFS |
|-----------------|---------|---------------------------|---|-----|------|------|
| 0 | 8414 | 3147 | 3 | F | 0.90 | 70 |
| 10 | 7573 | 2833 | 3 | F | 0.90 | 70 |
| 20 | 6731 | 2518 | 3 | F | 0.90 | 70 |
| 30 | 5890 | 2203 | 3 | E | 0.90 | 70 |
| 40 | 5048 | 1888 | 3 | D | 0.90 | 70 |

Para este escenario los niveles de servicio fueron bajando desde nivel F hasta nivel D, siendo este el mejor nivel de servicio. Se puede observar que el rango de flujo por carril es demasiado alto para un carril. Por lo tanto aunque el nivel de servicio va mejorando y el flujo ajustado por carril va disminuyendo, este escenario no sería viable debido a que podría causar más tiempo a la congestión vehicular. Para esto poder ser necesario debe haber una reducción de 40% y que por el carril de alta ocupación viajen 1122 vehículos con 3 personas en cada uno.

Escenario 3:

Para este escenario se analizó el nivel de servicio con los 4 carriles existentes y eliminándole de un 10 % a 40 % al volumen, que en este caso utilizarían un carril de alta ocupación que sería colocado en la mediana que sería un carril reversible, para una dirección en la hora pico en la mañana y para la otra dirección en la hora pico en la tarde.

Tabla 10: Resultado análisis de nivel de servicio escenario 3.

| Disminución (%) | Volumen | Flujo Ajustado por Carril | N | LOS | PHF | BFFS |
|-----------------|---------|---------------------------|---|-----|------|------|
| 0 | 8414 | 2361 | 4 | E | 0.90 | 70 |
| 10 | 7573 | 2125 | 4 | D | 0.90 | 70 |
| 20 | 6731 | 1888 | 4 | D | 0.90 | 70 |
| 30 | 5890 | 1652 | 4 | C | 0.90 | 70 |
| 40 | 5048 | 1416 | 4 | C | 0.90 | 70 |

Al igual que en el escenario anterior los niveles de servicio fueron disminuyendo desde E hasta C. Pero a diferencia del anterior el flujo por carril es menos, que por lo tanto la cantidad de vehículos por carril es menor que si solo existieran 3 carriles solamente. Aunque en el momento hay un nivel de servicio E para que se disminuya la congestión vehicular debe pasar a un nivel de servicio D o preferiblemente a un nivel de servicio C. Para que llegue a LOS de D por el carril de alta ocupación viajarían de 280 a 841 vehículos con 3 pasajeros.

Escenario 4:

Para este escenario se analizo el nivel de servicio con los 4 carriles existentes y se elimino el volumen de un 20 % a 60 %, que en este caso utilizarían dos carriles de alta ocupación que serían colocado en la mediana y serian carriles reversible, para una dirección en la hora pico en la mañana y para la otra dirección en la hora pico en la tarde.

Tabla 11: Resultado análisis de nivel de servicio escenario 4.

| Disminución (%) | Volumen | Flujo Ajustado por Carril | N | LOS | PHF | BFFS |
|-----------------|---------|---------------------------|---|-----|------|------|
| 0 | 8414 | 2361 | 4 | E | 0.90 | 70 |
| 20 | 6731 | 1888 | 4 | D | 0.90 | 70 |
| 40 | 5048 | 1416 | 4 | C | 0.90 | 70 |
| 60 | 3366 | 944 | 4 | B | 0.90 | 70 |

Al igual que en el escenario anterior en este análisis los niveles de servicio fueron disminuyendo de LOS E hasta B. Pero al contrario del escenario 2 si se colocan 2 carriles reversible ayuda más a reducir el flujo ajustado por carril a la hora pico. Pero este escenario no es viable ya que no existe suficiente espacio en la mediana como para poner dos carriles reversibles.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de cada escenario, con la cantidad de vehículos eliminados de los carriles existentes, los vehículos eliminados convertidos al carril de alta ocupación, el número de carriles y el nivel de servicio.

Tabla 12: Resumen de Análisis de Resultados

| Escenario | Volumen | Vehículos eliminados por carril por cada %. | Vehículos convertidos a carril de alta ocupación | LOS carriles existentes | N | N en el HOV |
|-----------|---------|---|--|-------------------------|---|-------------|
| 1 | 8414 | 0 | 0 | E | 4 | 0 |
| 2 | 8414 | 842 -3368 | 282 - 1124 | F a D | 3 | 1 |
| 3 | 8414 | 842 -3368 | 282 - 1124 | E a C | 4 | 1 |
| 4 | 8414 | 1683-5049 | 561 - 1683 | E a B | 4 | 2 |

Se analizó los diferentes escenarios, donde se pudo observar el cambio en el nivel de servicio en los mismos, propuesto con carriles de alta ocupación. Como se pudo observar en la tabla anterior aunque el escenario 2 y 3 se logro eliminar la misma cantidad de vehículos, en el escenario 3 los niveles de servicio mejoraron de una manera razonable que en el escenario 2. Esto se debió a que en el escenario 3 se propuso un carril reversible por la mediana, por lo tanto no se tuvo que eliminar un carril existente como en el escenario 2. Por lo tanto el flujo ajustado por carril es mejor en el escenario 3 que en el 2.

5.0 Conclusión

Con los resultados antes presentados podemos concluir que la Carretera 22 de Dorado a San Juan necesita carriles de alta ocupación para mejorar su nivel de servicio. Según la investigación que se realizó con el HCS 2000 se observó que la PR 22 tiene un volumen aproximado de 8414 vehículos por día durante las horas pico con un nivel de servicio E. Por lo tanto para lograr bajar el flujo vehicular por carril se debe tomar en consideración los carriles de alta ocupación. Durante el análisis se pudo observar que disminuyendo el volumen por cada % el nivel de servicio si disminuía, por lo tanto se recomendó colocar el carril de alta ocupación reversible por la mediana debido a que este escenario fue donde el nivel de servicio mejoro considerablemente y ya que con un solo carril se puede trabajar de mejor forma en el km 10 donde la mediana es de 5.25 pies donde se tendría que disminuir el tamaño de los carriles existentes.

Para lograr que estos carriles sean utilizados, para que la gente llegue a su destino o que se conecten al Tren Urbano, ya sea utilizando el carpooling, el vanpooling o viajando en un Bus Ridership, el gobierno debe incorporar algunos parámetros, proponer incentivos tales como reducción en tarifa del Tren Urbano, proveer áreas de estacionamientos adicionales para incentivar la transportación colectiva en los HOV y el uso de tarifas reducidas para vehículos con múltiples acompañantes en horas pico.

Las recomendaciones de cuantos carriles deberían ser, deben ser un carril reversible que corra por la mediana de la PR-22. Para conectarlo con la PR-5 se tendría que construir un puente que conecte el carril con el puente de la salida hacia Bayamón de la PR-5 y luego continuar con un carril reversible en esta carretera hasta llegar a la estación del Tren Urbano, lo cual se conectaría a la estación del Deportivo en Bayamón.

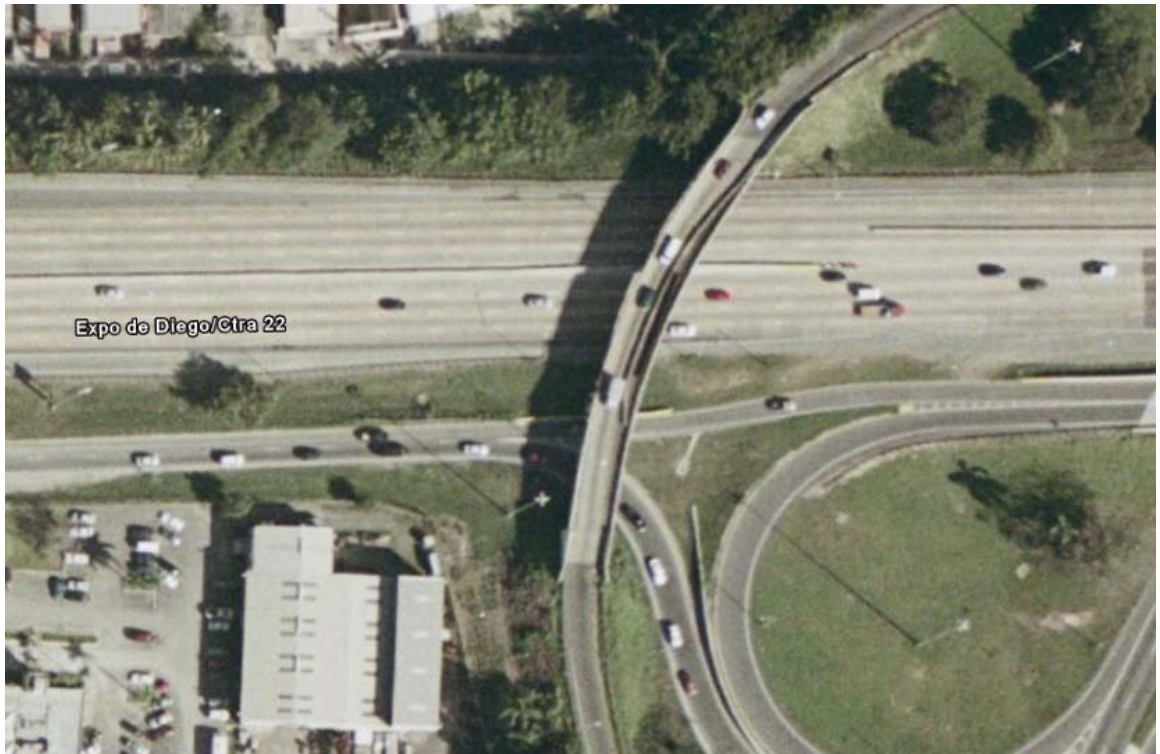


Figura 2: Foto aérea PR-22, salida PR-5.

Tomando en consideración las salidas existentes en la PR-22 que en dirección hacia Dorado existen 5 salidas y para la dirección hacia San Juan existen 4 salidas, y se debería tomar en consideración el acceso que pueden

tener estas salidas en los carriles HOV. De tal manera se propone conectores entre estas salidas y el carril exclusivo para HOV. Según se pudo conseguir información a través de la Autoridad de Carreteras que ya existe una propuesta para la construcción de estos carriles que estaría corriendo desde la salida de la PR-5 hasta el peaje de Dorado, y lo que se está proponiendo es un carril reversible, pero hasta el momento no se sabe si iría por la mediana o sería utilizando barreras móviles. Para esta propuesta todavía no existe un costo de estimado como tal. Tomando en consideración todos los trabajos que hay que realizar para lograr este carril y comparándolo con un estimado de unos carriles reversibles para la PR-52 realizado por RJA Engineers, el costo de estos carriles pueden llegar hasta \$125 millones ó a mas o menos \$80 millones, ya que el estimado de este trabajo se saca a base de la distancia en metros, y la cantidad de metros que se estimo en la PR-52 fueron cerca de 21,200 metros y la distancia de la PR-22 es de 12,400 metros esto tomando en consideración las expansiones que se tendría que realizar en los carriles existentes, expansiones de los puentes, la relocalización de utilidades, la construcción de viaductos entre las salidas y el carril exclusivo para HOV y el costo que conllevaría el colocar el carril de alta ocupación cerca del peaje de Dorado.

Entre las recomendaciones que se pueden dar para futuros estudios, es investigar cual sería la mejor forma de conectar el carril de alta ocupación antes recomendado con la troncal del Tren Urbano, ya que se recomendó que ambas cosas se conecten para promover así el uso de la transportación colectiva. Otra de las recomendaciones es estudiar en que lugares se podrían colocar

estacionamientos en Dorado para así promover el uso de guaguas que conecten con el Tren Urbano utilizando el carril de alta ocupación. Otra de las recomendaciones es el estudiar la mediana de la PR-22 para ver de qué manera es la misma para ver la manera más económica y segura de colocar los carriles de alta ocupación en la mediana sin afectar la servidumbre existente.

6.0 Referencias

1. Stutts, "Reducing Vehicle Trips and Vehicle Miles of Travel through Customized Travel Options." June 1999.
2. TCRP, "HOV Facilities", TCRP Report 95, 2006.
3. Winters, "Vanpool Pricing and Financing Guide", 2000.
4. Luyanda, "Public Transportation in the New Millennium: The Case of Puerto Rico and the Tren Urbano.", 2004.
5. Pérez, Benjamín, "A Guide for HOT Lane Development", March 2003.
6. Datos de parámetros geométricos y operacionales, Autoridad de Carreteras
(Data de 1981 al Presente)
7. Román, Roxana, "Feasibility Study of "High Occupancy/Toll" (HOT) Lanes as Feeders for Tren Urbano- Toa Baja Plaza", May, 2000.
8. http://www.roadstothefuture.com/Shirley_Highway.html#top
9. "Propuesta para Acomodar Carriles de HOV de Caguas a San Juan en PR-52", propuesta realizada por RJA Engineers, PSC