

GESTION DES REVÊTEMENTS DE SOL DANS LE SYSTÈME ROUTIER PRIMAIRE DE LA VILLE DE MEXICO

Eng. Julio José Julio Argüelles
Coordinator of Quality Systems and Sustainable Projects, Secretary of Works and Services, Mexico City Government, Mexico City

jjarguelles@df.gob.mx

Eng. Fernando Varela Soto
Technical University of Madrid, Madrid, Spain

subdirector.ae.obraspublicas@upm.es

Eng. Rocío Casero
Engineering Section Manager
RAUROS.MX.COM, México DF, México

rcasero@rauros.mx.com

RÉSUMÉ

La gestion des revêtements de sol est un sujet qui s'avère de plus en plus important chaque jour, eu égard au besoin de gérer correctement, tant au niveau économique que technique, cet élément qui représente chaque année pour les administrations une partie importante de leur budget.

Outre ce besoin, il est également nécessaire de mettre à la disposition de leurs usagers des routes présentant un état fonctionnel approprié, permettant d'y assurer une circulation à la fois sûre et confortable.

C'est pour cette raison que le gouvernement du District Fédéral a décidé d'implanter un système de gestion moderne dans une partie du réseau routier dont il a la charge. Cette gestion englobe le système routier primaire de la ville de Mexico, soit en tout quelques 2 150 Km.

La première étape a été de réaliser une campagne d'auscultation tout au long des routes sélectionnées, dans le cadre de laquelle les paramètres suivants ont été mesurés

- uni
- Degradacion
- Portance
- Friction revetement –pneu

De plus, et avant ces travaux, un inventaire de ces routes a été réalisé, lors duquel ont été relevées leurs données géométriques, leur signalisation, leurs barrières de sécurité, etc. et où a été réalisée une vidéo du parcours.

Toutes ces données ont permis de réaliser une étude à l'aide d'un système de gestion de revêtements de sol qui a permis d'élaborer un plan des actions à mener sur ce réseau, au cours des années à venir, en fonction des possibilités économiques dont dispose le gouvernement du District Fédéral.

Ce processus permettra non seulement d'améliorer le niveau de fonctionnalité du système routier, mais aussi de le faire de la manière la plus économique possible en fonction des impératifs techniques.

1. HEADING

Según su definición, gestionar es hacer diligencias conducentes al logro de un negocio. Es decir gestionar una calle o carretera conlleva la realización de unas acciones conducentes a que el capital, que la Administración, y por lo tanto el usuario, a puesto en manos de un gestor, se mantenga en un nivel adecuado de funcionamiento, al menor coste posible.

En el fondo la calle o la carretera, en su conjunto, es un capital que va perdiendo valor con el uso y con el paso del tiempo. Por ello se debe, cada cierto tiempo, reinvertir dinero en ella, en forma de actuaciones de conservación, para conseguir que aquella no se descapitalice, es decir que se rompa.

Hasta hace relativamente poco se conservaban las carreteras pero no se gestionaban. Es decir se hacía mantenimiento invernal, reposición de señales, reposición de biondas, etc. Y cuando el firme se rompía, se arreglaba después de un proceso que solía llevar más de un año de espera burocrática, desde la petición de Orden de Estudio hasta la finalización de las obras.

La gestión que se puede hacer en una infraestructura varía desde no hacer nada, lo cual se denomina generalmente opción cero, hasta realizar una gestión con gran éxito o con éxito moderado.

El no hacer nada en una calle o en una carretera, conduce al deterioro irremisible de la misma y obliga prácticamente a reconstruirla al cabo de unos años, cuyo número depende fundamentalmente del tráfico soportado. Esta es la opción que se adopta cuando no se dedica dinero a la gestión de la carretera. De lo ruinoso de esta decisión da idea la siguiente frase de un informe del Bando Mundial: "Ningún país es tan rico que pueda permitirse el lujo de no gestionar sus carreteras".

Como hemos dicho, esta es la opción cero.

La opción uno es la de reponer los elementos de la calle o carretera cuando se rompan. Sería la opción VER.

Cuando el gestor advierte que el firme o cualquier elemento de la infraestructura se ha roto, pone en marcha el mecanismo necesario para reponer o arreglar dicho elemento.

El actuar cuando, por ejemplo, se ve que el firme se ha roto, hace que el firme, en estado de deterioro progresivo, haya incrementado la gravedad de su estado por lo que la actuación es más cara que si se hubiera actuado previamente y el usuario ha circulado más tiempo sobre una firme en mal estado con la consiguiente molestia y pérdida de imagen del Gestor.

Una segunda opción es intentar actuar antes de que se llegue a la degradación del firme. Es decir realizar actuaciones tipo "puntadas a tiempo", que mantienen el firme en buen estado, a un coste más económico y con el usuario siempre satisfecho.

Esto exige del gestor de la red PREVER la evolución de los parámetros que definen el estado del firme por lo que debe conocer unos modelos de evolución de los mismos para determinar el momento exacto en el que debe actuar.

Estas actuaciones se realizan sobre un firme en estado aceptable por lo que el gestor debe documentar muy bien este tipo de decisiones mediante un programa de gestión o mediante un estudio exhaustivo que le permita demostrar que objetivamente es la solución más económica para la carretera.

Una tercera opción intermedia es intervenir cuando el firme alcanza un cierto grado de deterioro para lo que también tendríamos que PREVER su evolución, pero admitiríamos la existencia de degradaciones poco extensas sobre la carretera antes de actuar.

Estaríamos en una opción intermedia entre la que hemos llamado opción uno y la que hemos llamado opción dos.

No es fácil elegir entre estas dos últimas opciones, ya que, ambas pueden ser válidas y solamente el costo de la opción mejor, la primera de las dos puede hacer que haya que acudir a la última de ellas.

Siempre que se quiere realizar una gestión positiva de un firme, los pasos a realizar son similares:

- Inventario
- Definición de los parámetros de estado
- Auscultación sistemática de los parámetros de estado
- Obtención de modelos de evolución
- Toma de decisiones, en función de rangos preestablecidos y posibilidades económicas

Lo primero es conocer exactamente el elemento que se quiere gestionar para lo que hay que realizar un inventario del mismo.

Si es un firme se necesitará tener tramificada la red, longitud y ancho de cada tramo, ancho de arceles, tipo de firme, etc. El inventario puede ser desde muy sencillo a muy complicado.

En un inventario de calles o carreteras general sirve para tener una visión global de la red. En él se contemplan la generalidad de elementos a gestionar y permite obtener los datos generales de inventario de los diversos elementos en que se quiera acometer la gestión de la carretera. Es necesario para tener una visión completa del problema.

Es evidente que según el grado de complejidad que se quiera dar a la gestión hará falta complementar este inventario con datos específicos de cada elemento, pero partiendo todos de una tramificación y una geo-referenciación común.

Por ejemplo en un inventario de firmes hará falta cuanto menos la estructura de los firmes que componen la red con definición de número de capas y tipo de material, año de ejecución de cada capa etc.

Cualquier elemento que se quiera gestionar está sometido al deterioro función del tiempo y a veces del tráfico, de la lluvia o de otros parámetros.

Este deterioro afecta a la funcionalidad del elemento de forma que al cabo de un tiempo este se vuelve inútil para el fin que fue creado.

Como ejemplo, los parámetros que definen el estado de un firme son los siguientes:

- Parámetros funcionales
 - Regularidad Superficial
 - Rozamiento Transversal

- Parámetros estructurales
 - Deflexiones
 - Degradaciones Superficiales

Dentro del tema de las degradaciones superficiales, para una calle, se han considerado como parámetros las fisuras y los baches, no así las roderas dado que con el tráfico de una calle no deben existir

Un primer paso inevitable al comenzar la gestión de un firme, y una vez realizado el inventario, es conocer cuál es el estado actual de los parámetros que definen la funcionalidad de dicho elemento.

Este paso da al gestor del firme una imagen del estado del elemento gestionado, lo que tiene varias utilidades:

Permite conocer el estado de funcionalidad en toda la red.

Es el primer paso para poder establecer un modelo de evolución del parámetro o de los parámetros medidos.

En la gestión de firmes hay parámetros que se modifican más rápidamente que otros. El coeficiente de rozamiento, por ejemplo, es un parámetro que evoluciona rápidamente en una capa de mezcla asfáltica recién colocada, pudiendo inclusive llegar a subir. Al cabo de uno o dos inviernos los áridos se desprenden de la lámina de betún que inicialmente les recubre y empieza a producirse una bajada del coeficiente de rozamiento, fundamentalmente por pulido de los áridos que suele tener una velocidad de modificación lenta.

Por ello, es conveniente auscultar los dos primeros años después de la colocación de una mezcla asfáltica, mientras que, una vez pasados estos años, se pueden realizar auscultaciones más separadas en el tiempo.

Cuanto mayor es la importancia del vial, más próximas deben ser las auscultaciones, tanto porque la mayor cantidad de coches circulando hace que el deterioro sea más rápido como porque es conveniente dar una imagen mejor de eficacia en el mantenimiento y, por lo tanto, es conveniente eliminar el riesgo de que aumente la velocidad de deterioro y no sea percibido entre dos auscultaciones sucesivas.

Una tabla de recomendaciones medias de auscultación de firmes, podría ser la siguiente:

CATEGORIA CARRETERA	ALTA	BAJA
REGULARIDAD	UN AÑO	TRES AÑOS
DEFLEXIONES	TRES AÑOS	CINCO AÑOS
ROZAMIENTO	DOS AÑOS	CUATRO AÑOS
DEGRADACIONES	DOS AÑOS	CUATRO AÑOS

Después de estos trabajos de auscultación sistemática se podrá trabajar con modelos de evolución adaptados a cada tramo. Mientras tanto el funcionamiento de los programas de gestión es con modelos teóricos debidamente contrastados pero que necesitan un ajuste.

2. TRABAJOS REALIZADOS EN LA VIALIDAD PRIMARIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

Los trabajos realizados han consistido en el Inventariado de las Vialidades Primarias de la Ciudad de México, y en la toma y proceso de datos referentes a las, Degradaciones (agrietamiento y baches), IRI (Índice de Regularidad Internacional) y Deflexiones (capacidad portante) y CRT (rozamiento). Todos los datos fueron tomados con vehículos de alto rendimiento cubriendo las Vialidades Primarias de la Ciudad de México. Finalmente, toda la información recabada sobre las vialidades pertenecientes a la Red de Primaria de la Ciudad de México ha sido incorporada al Sistema de Gestión.

Las Vialidades inmersas en este contrato comprenden a las 105 vialidades principales de la ciudad de México, con una longitud total de más de 500 kilómetros.

2.1. TOMA DE DATOS EN CAMPO

2.1.1. Toma de datos de inventario

Se han obtenido imágenes, georreferenciación e información geométrica de la red de vialidades cada 10 metros, generando una base de datos visual de la red de carreteras gestionada. El rendimiento de este equipo en carreteras es alto pero, en ciudad, dado el elevado tráfico existente, se ha obtenido un rendimiento de 30 Km/día, evitando medir en condiciones climáticas desfavorables.

2.1.2. Toma de datos de IRI

El vehículo de alto rendimiento obtuvo, mediante sensores láser y acelerómetros, el perfil aplanado de las vialidades, que junto con el empleo de un modelo matemático que simula la suspensión y masas de un vehículo tipo, circulando a una velocidad normalizada de 80 km/h., el valor del parámetro I.R.I., parámetro que representa la comodidad que siente el usuario al circular por la vialidad.

2.1.3. Toma de datos de degradaciones

Un equipo de visión artificial equipado con cámara e iluminación artificial ha realizado la toma de datos de imágenes de pavimento. Esta toma de datos de degradaciones se realizó en horario nocturno, con el fin de no interferir con el tráfico.

2.1.4. Toma de datos de deflexiones

El deflectómetro de impacto, vehículo más utilizado para la auscultación de la capacidad portante de los pavimentos ha realizado la medida de las deflexiones. Se realiza mediante varios sensores (geófonos), situados uno debajo de la placa de carga (que mide la deflexión máxima) y los demás a distancias variables de hasta 2.5 m. del punto de impacto, en función del espesor y del tipo de pavimento a auscultar. La carga aplicada en cada punto dependió asimismo del tipo de pavimento, siendo de 7 toneladas en caso de pavimentos flexibles y de 7, 10 y 13 toneladas en caso de pavimentos de concreto hidráulico.

La toma de datos de deflexiones se realizó en horario nocturno, con el fin de no interferir con el tráfico.

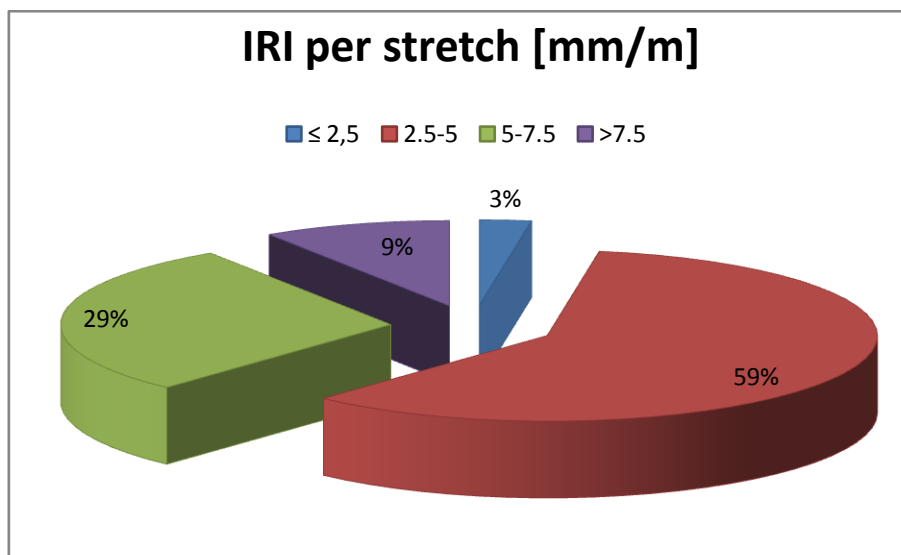
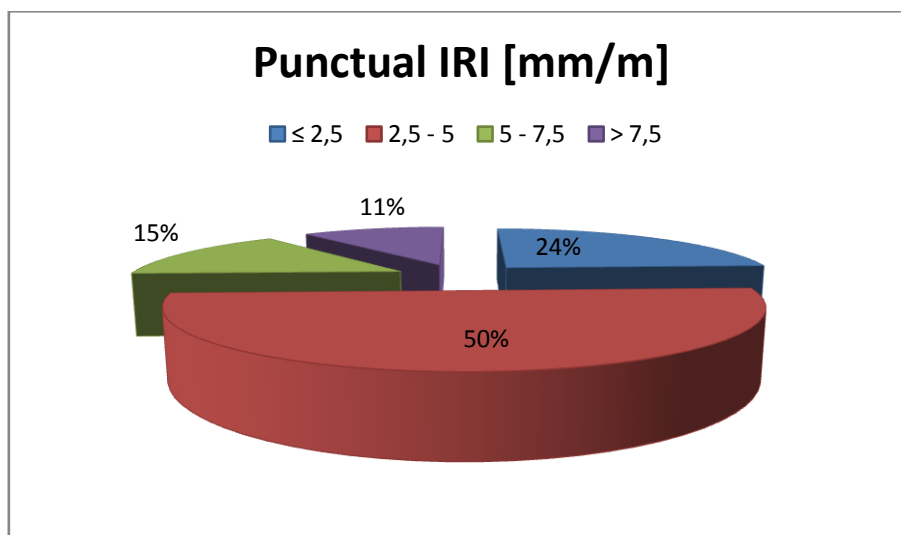
2.1.5. Toma de datos de CRT

El parámetro CRT representa la adherencia existente entre el neumático y el pavimento, parámetro relacionado con la seguridad de las vialidades. Este valor se obtiene mediante la conversión de los datos obtenidos por el equipo GRIPTESTER, que opera a una velocidad promedio de 50km/hr., toda vez que se obtiene de forma inicial un Coeficiente Longitudinal. La toma de datos se ha realizado utilizando el flujo constante de una lámina de agua manteniendo el pavimento húmedo, que ha permitido establecer el rozamiento en las condiciones climáticas más desfavorables

La toma de datos de CRT se realizó en horario nocturno, con el fin de no interferir con el tráfico.

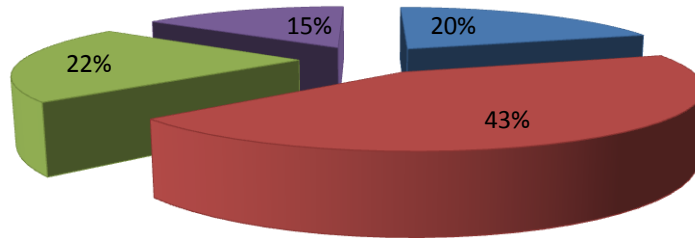
3. ANÁLISIS DEL ESTADO REAL DE LAS VIALIDADES

El primer resultado de los trabajos descritos es un conocimiento del estado real de la Red estudiada que se ofrece tanto en porcentajes de datos puntuales tomados como en datos representativos de los tramos que surgen una vez realizada la tramificación de la red en tramos homogéneos para su tratamiento.



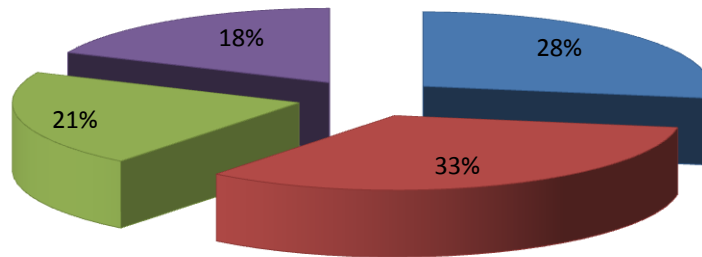
Punctual deflection [mm/100]

■ < 40 ■ 40-80 ■ 80-120 ■ > 120



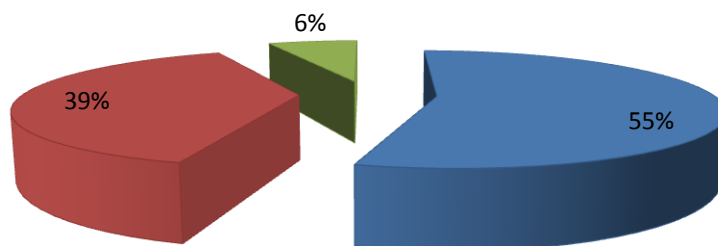
Deflection per stretch [mm/100]

■ <40 ■ 40-80 ■ 80-120 ■ >120



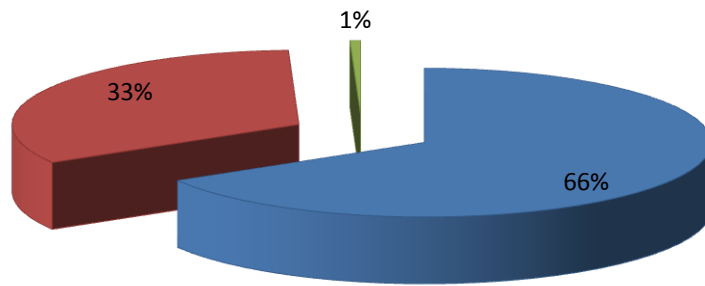
Punctual CRT [%]

■ < 45 ■ 45-60 ■ >60



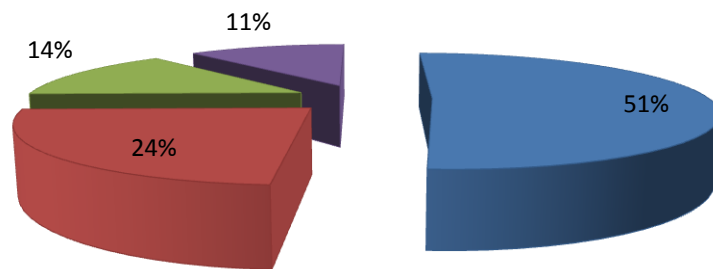
CRT per stretch [%]

■ <45 ■ 45-60 ■ >60



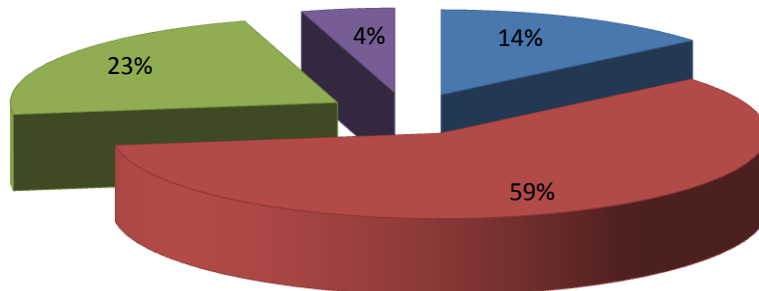
Punctual cracking [%]

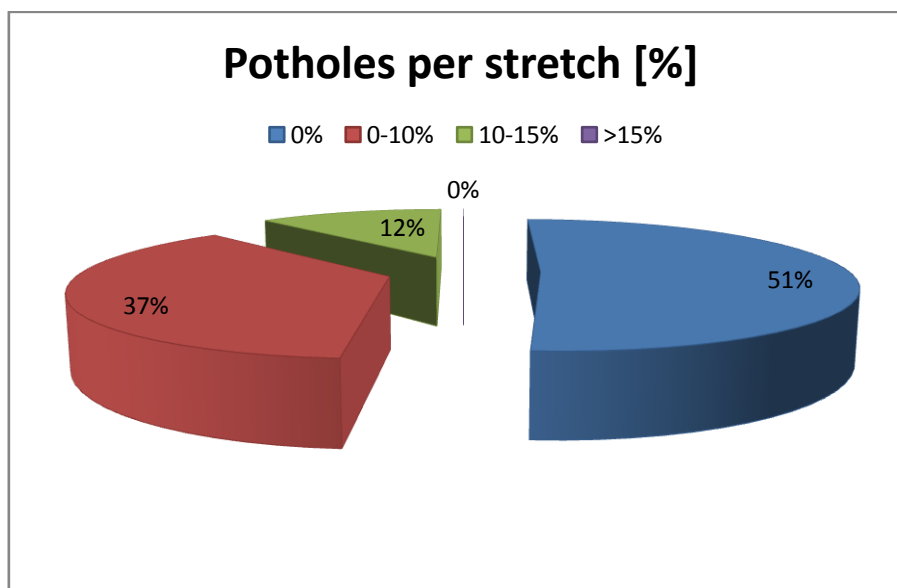
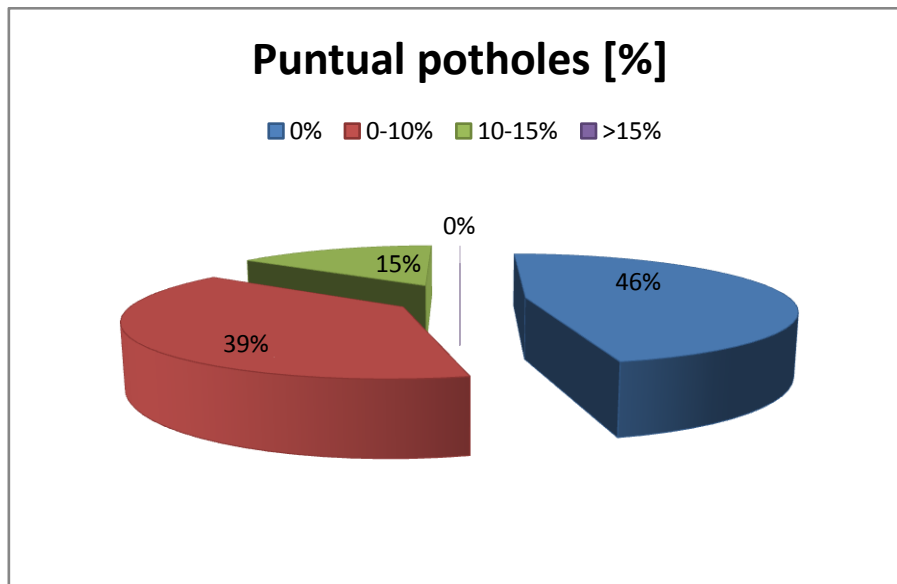
■ 0% ■ 0-20% ■ 20-50% ■ > 50%



Cracking per stretch [%]

■ 0% ■ 0-20% ■ 20-50% ■ >50%





4. ESTUDIOS DE ACTUACIONES FUTURAS REALIZADOS CON EL SISTEMA DE GESTIÓN DE FIRMES

Una vez realizada la tramificación de la Red, se han realizado tres distintos estudios, para tratar de ajustar los resultados técnicos a las realidades económicas.

Para realizar el estudio se han considerado 2 distintas configuraciones en los umbrales de calidad que se quieren establecer en la Red, tomando en cuenta que se podrá ir mejorando con umbrales más estrictos a medida que se vayan realizando actuaciones a lo largo del tiempo:

Pavimentos flexibles		
Parámetro	Umbral	
	A	B
IRI [mm/m]	4.0	3
CRT [%]	50	60
Deflexión [mm/100]	100	100
Fisuración [%]	10	10
Baches [%]	5	5

Pavimentos de concreto hidráulico		
Parámetro	Umbral	
	A	B
IRI [mm/m]	4	3
CRT [%]	40	60
Fisuración [%]	5	5
Transferencia de carga [%]	20	20
Deflexión Residual [mm/100]	100	100
Transferencia de carga [%]	20	20
Losas desconchadas [%]	5	5

La tabla representada a continuación muestra las actuaciones consideradas para la realización del presente estudio y el código utilizado para representar cada una de ellas:

Actuación	Tipo pavimento	Código	Espesor
Conservación de rutina	Ambos	0	-
Bacheo	Flexible	1	10mm
Slurry	Flexible	3	4mm
Sobrecarpeta	Flexible	6	10 mm
Reconstrucción	Flexible	10	600 mm
Riego de Sello	Flexible	12	9 mm
Calafateo	Flexible	2	-
Inyección de lechada	Concreto hidráulico	21	-
Sellado de Fisuras	Concreto hidráulico		-
Grinding	Concreto hidráulico	23	-
Reparación parcial	Concreto hidráulico	24	10 mm
Reconstrucción	Concreto hidráulico	20	600mm

A continuación se describen los tres estudios realizados.

4.1. ESTUDIO 1

- Área confinada por Circuito Interior, con actuaciones durante los primeros 4 años.
- Actuaciones realizadas en 2010 en Ejes y Vialidades Primarias (Slurry y bacheo) con una erogación total de \$59,941,000.
- Retraso en años de dichas actuaciones de:
 - Bacheo: 1 año
 - Slurry: 2 años
- Sin contemplar actuaciones dentro del Circuito Interior hasta 2014
- Actuando desde 2014 en el resto de tramos
- Niveles de Calidad tipo A del 2010 al 2013, niveles más restrictivos tipo "B", a partir de 2014

4.2. ESTUDIO 2

- Totalidad de las Vialidades Primarias a considerar desde el primer año.
- Se ha considerado un periodo de estudio de 10 años.
- Considerando que la duración de las actuaciones realizadas es muy corta.
- Sin restricción presupuestaria.

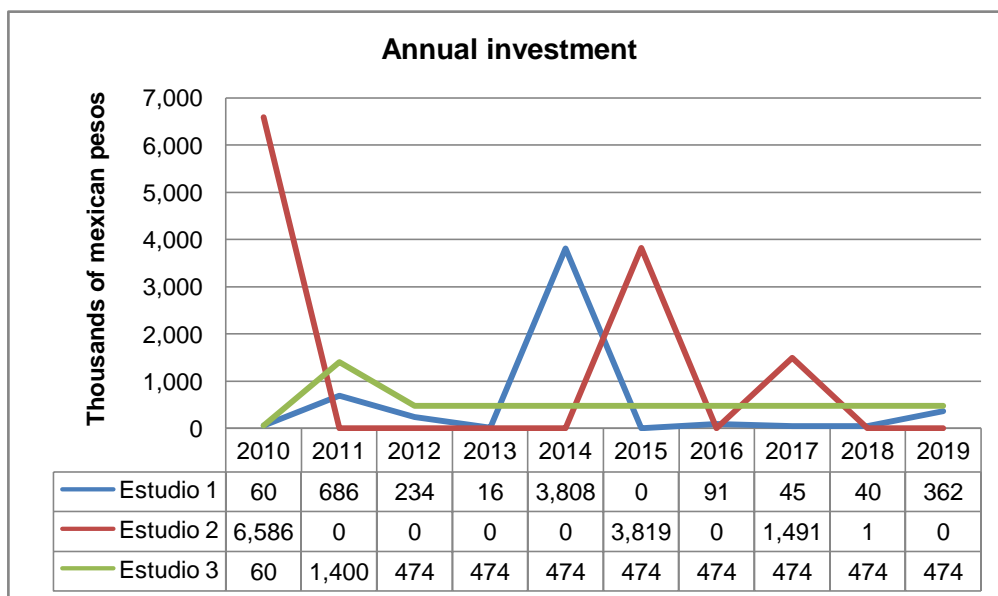
- Inversión nula en el año 2010.
- Presupuesto de 1,400mdp sin erogación anual, toda vez que se han alcanzado valores óptimos en los parámetros de auscultación.
- Solución Técnica a partir del 2014, que involucra todas las actuaciones necesarias para mantener en estado óptimo las vialidades consideradas.
- Niveles de Calidad restrictivos tipo “B” a partir del año 2011

4.3. ESTUDIO 3

- Considerando las actuaciones realizadas, en el año 2010 con un costo de 60 mdp
- Sin retraso en actuaciones dentro del área limitada por Circuito Interior.
- Considerando las actuaciones realizadas a la fecha eficientes durante un año.
- Considerando un presupuesto anual de 1,400 mdp, para el año 2011.
- Niveles de Calidad restrictivos desde el año 2010.
- Sin limitaciones presupuestarias.
- Solución Técnica Laminada desde el año 2012.

Los estudios arrojan las actuaciones de conservación a realizar, con el fin de mantener la red dentro de los niveles de calidad estipulados, se han aplicado ciertas condiciones de acuerdo a los necesidades de la DGPE, que son: prioridad en ciertas zonas para su intervención, actuaciones realizadas a la fecha, presupuesto aproximado programado, así como el laminado de los costos, con el fin de obtener soluciones que se acoplen a la situación y alcances de la Administración del Gobierno del Distrito Federal.

Los resultados obtenidos se muestran en el gráfico siguiente.



Estos resultados serán analizados para obtener en su caso la solución más adecuada para la gestión de las vialidades estudiadas.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas corresponden a modelos de evolución teóricos. Necesariamente los modelos teóricos deben contrastarse con medidas de auscultación periódicas realizadas con equipos de alto rendimiento. Por lo tanto, se considera que el presente trabajo debería ser el comienzo de un estudio periódico y sistemático.

Una vez que se hayan realizado dos medidas completas de la red, se puede observar la evolución que han sufrido los diferentes parámetros en todos los tramos de la red de vialidades principales y analizar dicha evolución. De esta evolución se verá que hay parámetros que evolucionan de forma rápida en algunas vialidades, mientras que en otras evolucionan de forma más lenta.

Se puede, por lo tanto, ver qué parámetros y qué vialidades necesitan una auscultación más frecuente, en función de su evolución rápida, mientras que, en otros casos, se puede decidir posponer la auscultación de algunos parámetros en algunas vialidades, por la evolución más lenta que hayan mostrado.

Con ello se podrán ir afinando las soluciones obtenidas y mejorar el resultado económico de la Gestión, que al fin y al cabo es la finalidad de todos estos trabajos descritos.