

**Título del trabajo:**

Desarrollo de un sistema para el relevamiento visual del estado de pavimentos

Nombre y Apellido de el/los autor/es: Dardo Oscar Guaraglia y Pablo Morano

Dirección postal completa: calle 64 n° 501, Berisso, Argentina

Número de teléfono: 0221-452-2333

Dirección de correo electrónico: [dardoguaraglia@gmail.com](mailto:dardoguaraglia@gmail.com); [pgmorano@sinectis.com.ar](mailto:pgmorano@sinectis.com.ar)

**Resumen:**

El cumplimiento de las tareas asignadas a la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires (DVBA) requiere el relevamiento periódico del estado de las rutas. La extensión de estos relevamientos demanda automatizar estas tareas. Para tal fin, se desarrolló un sistema que permite tomar fotografías a distancias prefijadas, desde un vehículo que recorre las rutas a las velocidades normales permitidas para cada ruta. Para obtener imágenes del pavimento con la calidad requerida, fue necesario utilizar dos cámaras, una por carril. Una tercera cámara registra una visión panorámica de la ruta que facilita el procesamiento de la información.

Antes de cada relevamiento, de acuerdo a las condiciones de visibilidad existentes, el sistema permite ajustar los parámetros de las cámaras que definen la calidad de las fotografías. Las mismas pueden ser en color o en blanco y negro, dependiendo de cuál presente la mejor información para el propósito deseado. Cada imagen es georeferenciada por medio de un GPS y un odómetro. Además de la posición, se almacena la velocidad del vehículo. El software prevé la calibración del odómetro y el operador puede ingresar información al inicio del estudio y durante el mismo. La información ingresada y las referencias geográficas quedan incorporadas en cada fotografía,

El sistema descrito es actualmente utilizado por la DVBA y se encuentra en proceso de optimización. Por tratarse de un desarrollo local, mediante simples modificaciones, es posible ajustar el sistema a las necesidades de cada usuario y de cada ambiente geográfico.

**1.- Introducción**

La red vial de la Provincia de Buenos Aires es muy amplia, por lo cuál, para tener un registro actualizado del estado de la misma se requiere un gran esfuerzo humano y económico. Desde hace algunos años, el personal de la Dirección de Vialidad de la Prov. de Bs.As. (DVBA) se encuentra empeñado en hacer cada día más eficiente el relevamiento del estado de las rutas provinciales. Con el fin de contribuir al objetivo señalado, se están desarrollando acciones tendientes a automatizar estas tareas. La automatización de la recolección de datos de campo requiere el incremento de los recursos tecnológicos disponibles.

Si bien en el mercado mundial existen equipos que podrían facilitar los relevamientos de la red vial, se han encontrado algunos inconvenientes tales como: altos costos de adquisición y mantenimiento, problemas de exportación - importación cuándo se requieren reparaciones que no se pueden realizar localmente, dependencia del fabricante para

cualquier mejora o modificación, carencia de información y repuestos para la reparación local de los equipos, imposibilidad de integrar nuevos sistemas que no sean del mismo fabricante, etc.

En el contexto antes descrito, se consideró conveniente continuar con la política de automatización de la recolección de datos de campo, agregando un nuevo sistema para la evaluación de las rutas a un vehículo. Se trata de un vehículo que, desplazándose a la velocidad permitida en una ruta, recoge datos imprescindibles para la correcta evaluación del estado del camino. La diversidad de parámetros a recolectar, hace necesario que el vehículo transporte un sistema de adquisición de información georeferenciada de múltiples entradas. Este sistema, debería ser suficientemente flexible para que la información recogida por instrumentos de distintos tipos y fabricantes, pueda integrarse. Idealmente, en un futuro, se desea integrar toda la información en una única base de datos. Con esta idea como objetivo final, se diseñó la primera etapa del sistema que se describirá a continuación.

## **2.- Especificaciones iniciales mínimas**

Para la primera etapa, se fijaron objetivos modestos y de corto alcance, que fueran compatibles con una solución integral, más amplia y ambiciosa. Se pensó en un sistema simple de complejidad creciente. Un estudio preliminar permitió detectar que era conveniente iniciar el desarrollo por la recolección de imágenes del pavimento, que las mismas sean de buena calidad y perfectamente georeferenciadas, tal que permitieran evaluar cada tramo de un camino.

Para este proyecto, la DVBA impuso una serie de requerimientos, entre los que se encontraban los que se describen seguidamente.

1.- El equipo debía ser enteramente desarrollado con componentes obtenibles en el mercado local, lo que facilitaría cualquier mantenimiento futuro.

2.- El hardware y el software debían pensarse para que, en el futuro, se pudieran integrar equipos de otros fabricantes.

3.- El equipo utilizaría tres cámaras, que fuesen fáciles de montar en un vehículo. Una tendría una vista panorámica del lugar por el cuál transita el vehículo y las otras dos registrarían en detalle el pavimento de dos carriles.

4.- El sistema tendría que alimentarse desde la batería del vehículo.

5.- El equipo debía permitir el registro de las imágenes cada cierta distancia definida por el usuario, siendo la distancia mínima igual a 10 m.

6.- El sistema de recolección de datos tenía que trabajar siempre con la misma calidad sobre un vehículo desplazándose a distintas velocidades, hasta una velocidad máxima de 100 km/h.

7.- La resolución de las cámaras, con el vehículo circulando tendría que permitir observar fisuras en el pavimento.

8.- Cada foto, debía georeferenciarse, es decir, junto con las imágenes se debían guardar datos recogidos por un GPS y un odómetro.

9.- Las imágenes se tenían que grabar y simultáneamente verse en un monitor. Los datos debían grabarse en soporte magnético mientras se adquirían, tal que si el programa se interrumpiera, la información previa no se perdiera.

10.- El programa a correr durante la recolección de datos debía contemplar una pantalla inicial en la cuál el operador pudiera cargar datos relativos al relevamiento a efectuar.

11.- El programa debía permitir la calibración del odómetro.

12.- Se debía desarrollar, además, un software de reproducción de la grabación para su utilización en el análisis de los datos en la oficina. Este programa debía permitir el agregado de comentarios y marcas en las fotos.

### 3.- Descripción del sistema

La arquitectura del sistema adoptado es de tipo modular, lo que en el futuro permitirá, mediante algunos cambios en el software, incorporar nuevos equipos e instrumentos. El sistema actual consta de 3 módulos como se muestra en la Figura 1: Módulo para referenciar geográficamente los datos (MR), Módulo adquirente de imágenes (MAI) y Módulo auxiliar (MA).

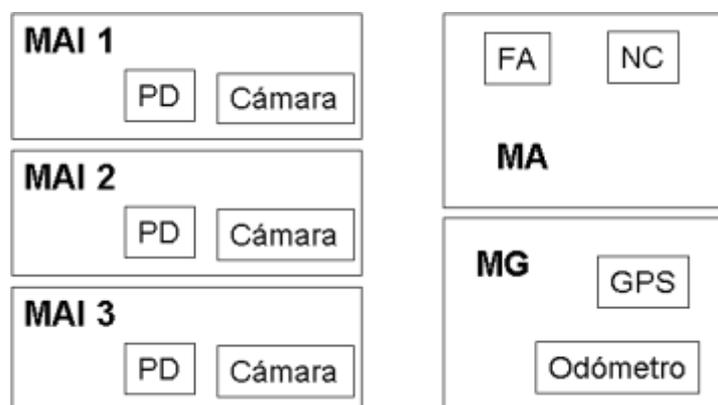


Figura 1

#### 3.1.- Módulo para referenciar geográficamente los datos (MR)

El módulo georeferenciador (MG) es el encargado de relacionar la información que recoge el sistema con el lugar exacto de la ruta en el que se relevó esa información. El objetivo de este módulo es el posicionamiento del vehículo respecto a un hito de la ruta, con una exactitud mejor que un metro. El MG está compuesto de dos dispositivos, un GPS y un odómetro. El primero permite un posicionamiento absoluto pero con una resolución espacial que no cumple con la exactitud deseada. Además, los datos del GPS se actualizan cada un segundo, período en el cuál el vehículo recorre alrededor de 30 m a la velocidad máxima especificada. A pesar de estos inconvenientes, el GPS aporta un excelente conocimiento de la distancia total recorrida en grandes distancias.

El odómetro, en cambio, entrega información instantánea y exacta, que se encuentra referenciada a un punto inicial, por ejemplo el lugar en el cuál se inicia el relevamiento. Con el odómetro se puede conocer la posición del móvil cada un milisegundo o menos, y el error, en condiciones ideales (conducción en dirección paralela al eje de la ruta y neumáticos de radio constante) es menor a un centímetro, en tramos cortos. Los errores, que pudieran cometerse no se deben generalmente al odómetro, sino al vehículo y la conducción. Los odómetros tienen errores imperceptibles para el tipo de relevamiento deseado, pero para ello hay que calibrarlos periódicamente. Cuándo mayor es el tramo patrón utilizado para su calibración, menor es el error. Generalmente, para reducir los tiempos de calibración se

utilizan tramos cortos de alrededor de 1000 m, lo cuál introduce pequeñas diferencias en las mediciones. Por ejemplo, un error de diez centímetros en una longitud de calibración de 1000 m produce un error de 1 m en 10 km. Este error es acumulativo y en grandes distancias puede resultar inconveniente. Para solucionar este problema se pueden aplicar dos criterios:

- 1.- Luego de algunos kilómetros de recolección de datos, volver a tomar un nuevo punto de referencia sobre la ruta, lo cuál evita que el error de calibración se acumule.
- 2.- Corregir los datos del odómetro utilizando un GPS. Afortunadamente, el error de calibración del odómetro es sistemático y varía linealmente con la distancia, por lo cuál se lo puede corregir utilizando los datos de GPS como valores reales de inicio y fin del relevamiento.

El MG contiene también un procesador dedicado que es el encargado de tomar la información de ambos dispositivos y convertirla en unidades de ingeniería útiles para su grabación. Este dato se copia sobre las imágenes o es utilizada para la sincronización con datos de otros instrumentos.

### **3.2.- Módulos adquirentes de imágenes (MAI)**

Las condiciones atmosféricas en las cuáles se realizan los relevamientos de campo son muy variables, lo cuál incide sobre la luz que ilumina al pavimento. La luz del pavimento incide fuertemente sobre la información que se puede recoger sobre el estado del mismo (grietas, fisuras, baches, etc.). Además, durante los relevamientos, según la dirección en la que se desplace el vehículo, las cámaras pueden recibir la luz del sol con distintos ángulos de incidencia.

Estas condiciones, comunes a la adquisición de imágenes en campo, requieren que las cámaras puedan procesar las imágenes previamente a su grabación en el sistema. Este procesamiento se debe poder configurar. Es decir, los parámetros de brillo, contraste, color, etc., se deben poder ajustar "in situ" para maximizar la calidad de la imagen guardada. Con este propósito se dispuso que el sistema ayude al operador a decidir que configuración utilizar. Antes de comenzar a tomar imágenes de un tramo de la ruta, el operador puede utilizar una opción del programa que le permite efectuar un registro de prueba. Durante este registro el programa utiliza, en forma automática, varias configuraciones preestablecidas. Las imágenes de prueba tomadas en estas diferentes condiciones son analizadas por el operador. Un rápido análisis de las imágenes, permite decidir qué configuración utilizar en ese relevamiento. En muchas cámaras no es posible que el usuario pueda decidir su propia configuración, por lo que debieron ser descartadas para esta aplicación.

También es necesario que las cámaras puedan sincronizarse con el avance del vehículo, es decir, una cámara de video no puede utilizarse ya que la frecuencia con la que se toman las imágenes es independiente del avance del vehículo. Las cámaras utilizadas comúnmente preprocesan las imágenes y, en general, integran la información espacial de varios píxeles., esto es inconveniente cuándo se desea tener alta resolución para visualizar fisuras. Estos criterios también se tuvieron en cuenta para la selección de la cámara.

Cuándo el vehículo se desplaza a 100 k/h se requieren obtener aproximadamente 3 fotografías por cámara y por segundo. Una alta resolución requiere una gran cantidad de información por fotografía y los archivos resultan bastante pesados. Debido a la gran cantidad de información a procesar, transmitir y grabar, se resolvió que cada cámara tuviera un procesador dedicado (PD) y la información se integrara en una notebook. Entonces, cada cámara con su PD conforman un sub-módulo adquirente de imágenes.

### **3.3.- Módulo auxiliar (MA)**

Otros dos componentes son: el nodo de comunicaciones (NC) y la fuente de alimentación (FA). Al nodo converge toda la información proveniente de los elementos periféricos y de éste se envía a la notebook, donde la información se graba. La FA toma la energía de la batería del vehículo y provee las distintas tensiones reguladas, necesarias para alimentar los módulos anteriormente descritos.

### **4.- Pasos seguidos durante el desarrollo**

En todas las decisiones tomadas durante el desarrollo del sistema se trató de minimizar los consumos de energía eléctrica, se buscaron componentes robustos y se intentó que el montaje de los componentes en el vehículo implicara modificaciones mínimas del mismo.

La primera tarea realizada fue seleccionar qué tipo de cámara utilizar y cuáles configuraciones podrían ser útiles. Se montaron las cámaras en un automóvil y se hicieron pruebas de campo con distintos ajustes de brillo, tiempo de obturación, contraste, etc. Se verificó que era posible obtener imágenes con el nivel de detalle necesario para evaluar el estado del pavimento a las velocidades deseadas. Se comprobó también que era posible almacenar la información, a la vez que se tenía una imagen de las tres cámaras en la pantalla de la notebook.

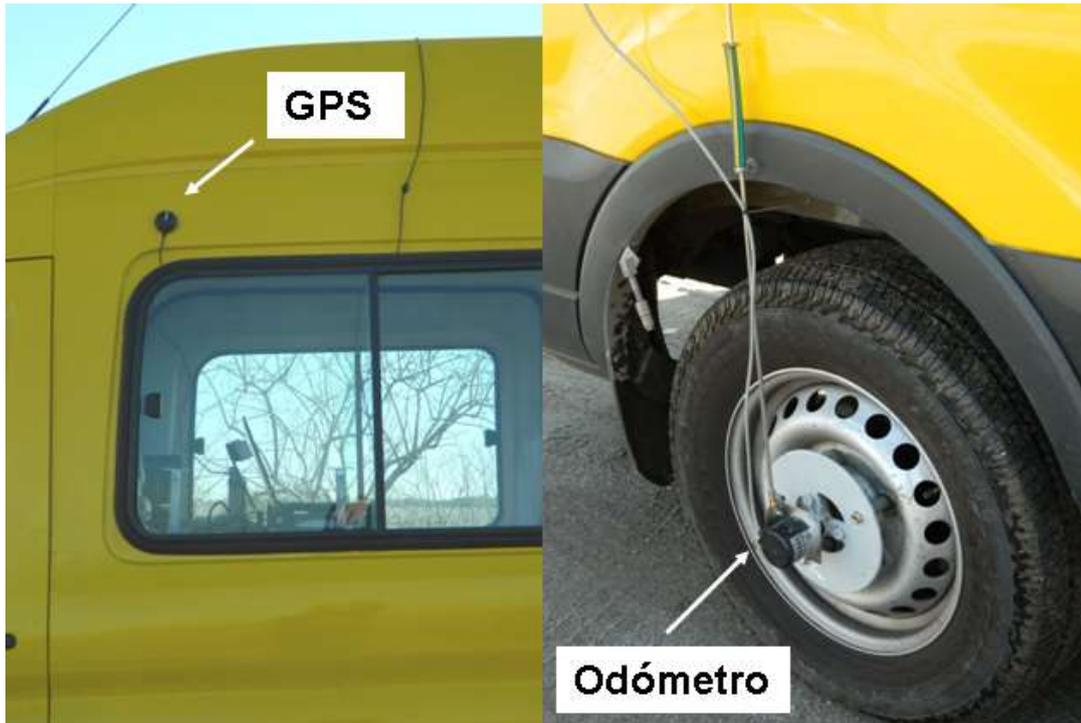
Seguidamente se seleccionó un odómetro que cumpliera con las exigencias de exactitud, tiempo de respuesta y robustez. Debió tenerse en cuenta que tanto el sensor como sus conexiones debían ser resistentes al agua y que el montaje fuera sencillo y rápido. Se probó que el odómetro proveía la información deseada y se desarrolló el método y el software para su calibración.

Se desarrolló la primera versión del software para adquirir datos con una cámara, utilizando los dispositivos para la georeferenciación. Con la experiencia ganada fue posible pensar los detalles del software que finalmente quedó completamente definido. La última versión del software maneja las tres cámaras mencionadas anteriormente.

### **5.- Instalación de los componentes en el vehículo**

El lugar más adecuado para el receptor del GPS con su antena es el techo del vehículo. Se probaron otros lugares más accesibles, como la parte externa de la ventanilla y se comprobó que funciona adecuadamente (Figura 2). El buen funcionamiento depende del tipo de receptor GPS, en algunos modelos, la estructura metálica del vehículo debilita la señal, lo cual impide la recolección continua de la posición. El GPS se coloca y remueve fácilmente ya que se fija por medio de un imán a la estructura ferromagnética del móvil. El odómetro se monta sobre una de las ruedas traseras (Figura 2) y sus cables se ingresan por una ventanilla trasera. Luego de algunas pruebas se definirá si es más cómodo utilizar un pasa cables que atraviese la carrocería del vehículo.

En el móvil se instaló un cableado fijo para la alimentación de los equipos y la transmisión de la información. Este cableado se encuentra debajo del piso para su protección. En ciertos lugares del vehículo se instalaron los conectores que permiten montar los componentes del sistema rápidamente. Las cámaras que fotografían cada uno de los carriles se montan sobre un arco que se encuentra fijado al paragolpe delantero (Figura 3).



**Figura 2**

La cámara que provee una visión panorámica de la ruta, se instaló inicialmente al frente del vehículo, pero se está analizando la posibilidad de trasladarla al techo.



**Figura 3**

La disposición de los elementos componentes del sistema debe ser tal que sean fáciles de desmontar para evitar que se dañen por accidente o condiciones meteorológicas adversas. También debe tenerse en cuenta que no resulten deteriorados por golpes

involuntarios durante el uso. Una caja que contiene algunos componentes electrónicos se instaló debajo del asiento del acompañante, y la notebook en una mesa en el lugar de los asientos traseros. (Figura 4) Por lo tanto, el operador puede manejar el sistema desde su asiento, a través de la notebook.



Figura 4

## 6.- Integración con otros sistemas

El sistema fue diseñado teniendo algunas precauciones. Una de ellas fue que se pudieran agregar al mismo otros equipos recolectores de información vial. La estructura modular facilita la integración de la información producida por distintos instrumentos. Esta facilidad se comprobó cuándo se decidió integrar un medidor de rugosidad. Al disponer de toda la información de software y hardware del sistema, resultó simple georeferenciar los datos del rugosímetro utilizado por la DVBA (Figura 5) y sincronizarlo con el sistema de registro de imágenes. El MR es el núcleo de todo el sistema y puede sincronizar la información recolectada por distintos instrumentos. En estos momentos se encuentra en estudio un programa de computación que permitiría incorporar los datos de un medidor de ahuellamiento a la base de datos antes descrita.



**Figura 5**

## **7.- Resumen de características del sistema implementado**

El sistema dinámico de video filmación sincronizada y georeferenciada permite la recolección y almacenamiento de imágenes para la evaluación visual del estado de rutas pavimentadas. El desarrollo fue pensado teniendo en cuenta su utilización en la Red Vial de la Provincia de Buenos Aires. El sistema se puede montar y desmontar rápidamente en el vehículo destinado a realizar los relevamientos en las rutas.

El equipo fue diseñado siguiendo los lineamientos planteados por el personal de la Dirección de Vialidad de la Prov. de Bs.As. (DVBA). El mismo se encuentra instalado y en funcionamiento. Consta de tres cámaras, una de ellas toma una vista panorámica del lugar por el cuál transita el vehículo y las otras dos registran con máxima resolución el pavimento de dos carriles. La cámara para visión panorámica está destinada a reconocer el tramo de la ruta que se está estudiando. El equipo es alimentado desde la batería del vehículo. El sistema toma fotografías a medida que el vehículo se desplaza. Es posible definir la distancia de desplazamiento a la cuál se toman las fotos. La distancia mínima seleccionable por el usuario es de 10 m,

El equipo fue desarrollado localmente con componentes obtenibles en el mercado argentino. Estas dos condiciones facilitan su mantenimiento y permiten disponer de información técnica detallada para futuras ampliaciones. Esta circunstancia, permitió la integración del nuevo sistema a otro ya existente en la DVBA, lográndose la unificación de los datos relevados.

Cada foto, se encuentra georeferenciada (se guardan sobreimpreso en las fotos los datos del GPS y las distancias medidas por un odómetro). Las imágenes que se graban, se

pueden ver en tiempo real en un monitor. Los datos se van guardando en la memoria de una notebook, tal que si el programa se interrumpe en forma inesperada, no se pierde la información recogida hasta ese momento. El programa que corre en el sistema, presenta una pantalla inicial, previa al comienzo de cualquier registro, en la cuál el operador puede cargar: Nombre del operador, Ruta, Comentarios, Progresiva absoluta inicial, Progresiva parcial, etc.

El sistema cuenta con un programa para su utilización en gabinete que permite visualizar las imágenes recogidas durante la campaña. Durante la reproducción de las imágenes es posible identificar aquellas que contengan información relevante. Es decir, cuando se lo desea, se “marca” la imagen para su futura utilización. Además, es posible agregar texto sobre la fotografía para la descripción o identificación de la imagen.

Durante la reproducción de la grabación, se tiene junto con las imágenes, la información grabada al inicio del registro, a la cuál se le suma la velocidad del vehículo, el sentido del recorrido, distancia total recorrida, distancia parcial, latitud, longitud, etc.

Durante el diseño y construcción del equipo, el personal de la DVBA trabajó junto a los desarrolladores, definiendo los detalles del sistema, por lo cuál, actualmente, el personal se encuentra adecuadamente entrenado en el uso del mismo.

Las fotos pueden ser en color o en blanco y negro, dependiendo de cuál presente la mejor información para el propósito deseado. El sistema descrito se encuentra en proceso de optimización. Por tratarse de un desarrollo a pedido del interesado, mediante simples modificaciones, es posible ajustar el sistema a las necesidades de cada usuario y de cada ambiente geográfico.

Un par de muestras de las fotos obtenidas, con el sistema a velocidades cercanas a los 70 km por hora, se pueden observar en las Figuras 6 y 7. En la primera se tiene una imagen con un campo visual horizontal extendido y en la segunda, el campo se reduce a un carril.



**Figura 7**



## **8.- Conclusiones y futuras líneas de trabajo**

Se desarrolló un sistema que excede las prestaciones mínimas descritas en 2. y que permite incorporar las mediciones de otros instrumentos a una misma base de datos georeferenciada.

Este sistema, se instala en un móvil que se desplaza a velocidad normal en una ruta. El controlador del sistema es un programa que corre en una notebook en la cuál se guarda la información. En sincronismo con las imágenes provenientes de tres cámaras se almacena información de un rugosímetro.

La información, es visualizada y procesada en gabinete, por medio de otro programa. En el gabinete se pueden incorporar a la base de datos los resultados del análisis o comentarios sobre los datos almacenados. Próximamente, se espera incorporar al sistema equipos que miden otros parámetros relacionados con la calidad del pavimento.

### ***Agradecimientos***

***Los autores desean agradecer a los señores Nélsón García, Leonardo Almiento y Gustavo Pignatelli por su colaboración en el proyecto.***