

Vías inteligentes

De la vía inteligente de Virginia. Proyecto de instrumentación en Marquette.

De la vía inteligente de Virginia

Introducción



La Vía Inteligente de Virginia (Virginia Smart Road) es un ambiente ideal de pruebas para investigación de pavimentos, seguridad y factores humanos, dinámica de vehículos, comunicación vía-vehículo, evaluación de productos de tecnología de información, y control vehicular automatizado. Además de beneficiar a los conductores, ofrece a los investigadores y desarrolladores de productos, un laboratorio actualizado para probar nuevas tecnologías de transporte. Es la primera vía importante construida a la que se le ha introducido equipamiento de investigación. Aquí sus capacidades:

- Todas las pruebas relativas al tiempo en nieve, granizo, neblina y lluvia.
- Secciones variables de iluminación para estudiar diferentes tecnologías de luces en la visibilidad de los conductores y en conexión con el equipo de tecnología de información.
- Marcado de pavimentos, sistema GPS, señalización, acceso y cámaras de circuito cerrado de televisión.
- Sistema avanzado de comunicación incluyendo una red inalámbrica de área local interconectada con una red de fibra óptica.
- Variedad de perfiles, incluyendo una gradiente de 6%, un rango de elevación, varios puentes. Con comportamiento estudiado por un sistema de sensores.
- Secciones experimentales de pavimentos, tanto de concreto como de asfalto para asistir en la caracterización de la duración, desempeño en corto y largo plazo, esfuerzos, deformaciones, deflexiones, comportamiento bajo carga dinámica, y valorización instrumental.
- Puntos de cambio al final de cada tramo de prueba para permitir el manejo continuo.

Principales partes

◆ General

La vía Smart Road tiene 9.6 km, con los primeros 3.2 km diseñados para las facilidades de control.

Las facilidades de investigación de la vía son administradas por el Instituto de Transportes de Virginia Tech (VTTI). La propiedad y mantenimiento de la vía está a cargo del Departamento de Transportes de Virginia (VDOT).

◆ Cuarto de control



El monitoreo de la vía de Virginia es efectuado desde centro de control equipado con computadoras trabajando continuamente. Se puede observar el tráfico vehicular y el desempeño de los conductores (directa e indirectamente). También para manejar

las luces y seguir el tiempo.

◆ Puente



La vía incluye un puente importante de 175 pies de altura y transcurre 2 mil pies sobre el valle Ellett, sostenido por pilares de concreto.

◆ Intersección de la vía inteligente

La intersección señalizada está totalmente instrumentada y es utilizada para diversos proyectos y pruebas de investigación. La intersección es reconfigurable (intercambio de líneas e incorporación de vías peatonales). Consiste en dos líneas de alta velocidad y dos de baja velocidad. Tiene controles diversos, sensores vehiculares, y sistemas inalámbricos de comunicación.

◆ Pavimentos

También tiene la vía del orden de seiscientos diseños de pavimentos, para seguirlos en su vida útil, desempeño de corto y largo plazo, comportamiento bajo cargas dinámicas, así como instrumentos de valoración.

Diferentes sensores están disponibles para monitorear la salud y desempeño del pavimento, así como estudiar sus características. El equipamiento se organiza por secciones. Todas las capas del pavimento contienen

instrumentos para conocer los efectos de las cargas y su ambiente. Los sensores incluyen diferentes tipos de strain gauges, celdas de presión, termopares, reflectómetros, medidores de resistividad.

◆ **Clima, iluminación y otros**

La vía tiene todas las facilidades para controlar pruebas en diversas condiciones de clima. Los investigadores tienen la posibilidad de estudiar un amplio rango de condiciones climáticas (reales y simuladas) e iluminación vial.



Una porción de la vía está equipada con 75 torres para generar clima. Cada torre puede rotar 360° y moverse arriba y abajo para manejar condiciones de viento. Es posible generar e impulsar lluvia y nieve. También puede fabricarse una capa de hielo en el pavimento y manejarse el deshielo.

Además tiene una gama amplia de instrumentos para reproducir situaciones de luces que pueda encontrar un conductor. Resultan de interés para estudios de señalización, marcado, seguridad peatonal, sistemas de iluminación para ayudar a los conductores en condiciones adversas de clima.

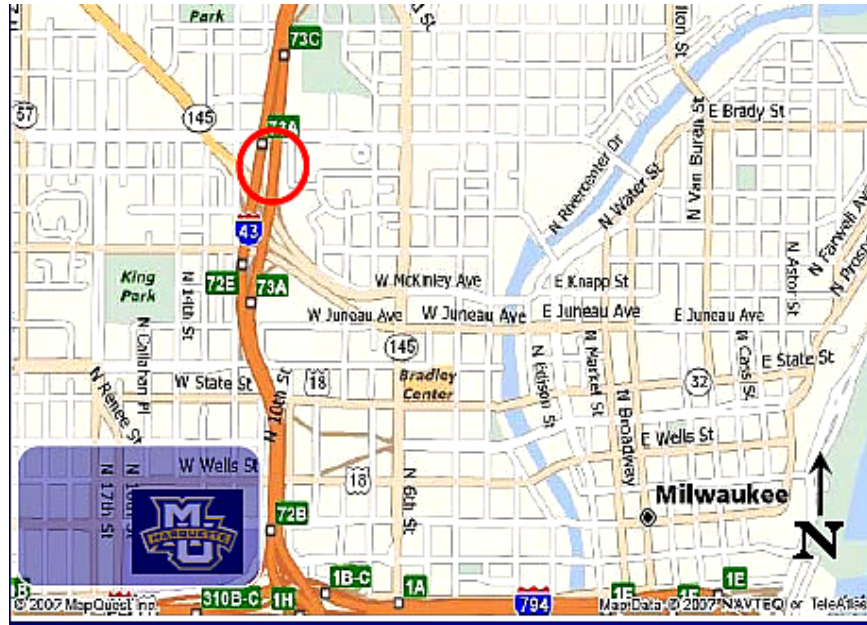
Asimismo, la vía está equipada con suficiente tecnología para investigaciones actuales y futuras. Cuatrocientos sensores están embutidos en la vía y monitoreados para estudiar humedad, peso, velocidad, esfuerzos, deformaciones. Incluye una red inalámbrica de área local con conducción de fibra óptica. Cuenta con un sistema de adquisición de datos para la diversidad de controles.

Proyecto de instrumentación en Marquette

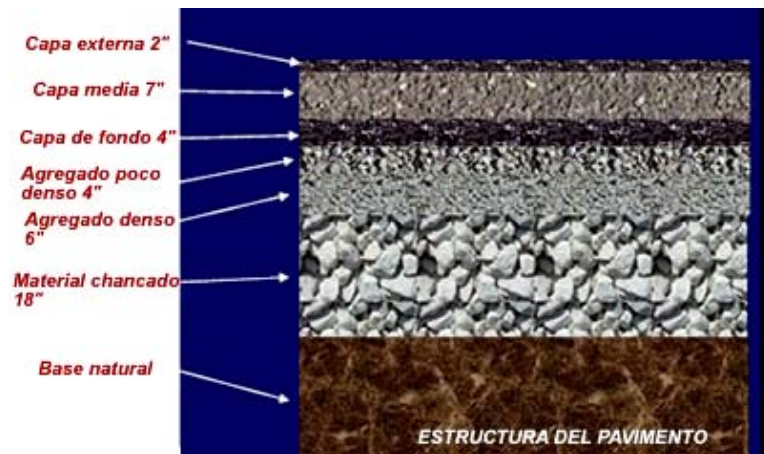
Referencia

Nicholas J. Hornyak, James A. Crovetti, David E. Newman, Jay P. Schabelski (Transportation Research Center, Marquette University). *Marquette Interchange Perpetual Pavement Instrumentation Project: Phase I Final Report*. Presented to: Wisconsin Highway Research Program. Submitted by: Transportation Research Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Marquette University, Milwaukee, Wisconsin. August 15, 2007.

El reporte proporciona detalles sobre el diseño, instalación y monitoreo de instrumentación para el análisis de esfuerzos y deformaciones unitarias según cargas en un sistema de pavimento de asfalto de mezcla caliente. El pavimento fue construido como parte de una vía mejorada en la ciudad de Milwaukee, Wisconsin. El canal externo está instrumentado con sensores para deformación unitaria en asfalto, sensores para presión, humedad y temperatura en el terreno. Sensores para temperatura en el asfalto, ejes de carga y un sistema de peso en movimiento. Sensores ambientales para temperatura del aire, velocidad del viento y radiación solar. El sistema captura la respuesta del pavimento de cada eje de carga y transmite los datos a través de un enlace inalámbrico a la sede en la Universidad de Marquette. Los datos permiten estimar la fatiga y vida del pavimento y para tomar decisiones en su mantenimiento.



La estructura del pavimento corresponde a los denominados *pavimentos perpetuos* o de larga duración (50 años o más).



De los pavimentos perpetuos

(Referencia: pavementinteractive.org) Este tipo de pavimentos se originan por la constatación de que capas gruesas de asfalto caliente le otorgan a la vía un comportamiento resistente y durable, aún bajo condiciones de tráfico intenso. Se les reconocer tres capas de este tipo de asfalto:

- La **capa base o de fondo** diseñada para resistir el agrietamiento por *fatiga*. Su espesor debe permitir que el esfuerzo de tensión en la base de esta capa sea insignificante. Es recomendable un mayor contenido de asfalto en la mezcla. De 3 a 4 pulgadas de espesor.
- La **capa intermedia** está diseñada para soportar la mayor parte de la *carga de tráfico*, que es de alta compresión. Debe ser estable y durable. Se trabaja el acomodo del agregado grueso y se usa un ligante a una alta temperatura. De espesor entre 4 a 7 pulgadas.
- La **capa externa o superficial** debe ser de *alta calidad*, diseñada para soportar los daños de agrietamiento de arriba - abajo y otros daños en la superficie. De espesor entre 1.5 a 3 pulgadas.

Base

Aunque las prácticas de diseño están regidas por métodos basados en mecánica de materiales e información empírica, su aplicación requiere de cuidado en variables que son sensibles a la localización, el tipo de tráfico, y el ambiente regional.

La propuesta de instrumentación de esta vía de Marquette fue propuesta en abril del 2005. Una planeación detallada sustenta el éxito de su implementación. Dentro de los propósitos, están incluidos los detalles de marcas y modelos de sensores seleccionados con base en la revisión de literatura, consulta con la comunidad profesional, y con algunos experimentos. La lista de sensores incluye straingauges para asfalto, celdas de presión de tierra, sensores de humedad, sensores de temperatura, detección de ejes de carga, sistema de peso en movimiento, sensores ambientales, y dispositivos de recolección - transmisión - almacenamiento de datos.

Para la localización de la zona de pruebas, se escogió una sección libre de tráfico, sin intersecciones u otras interrupciones mientras fue trabajada su implementación. Se le dotó de facilidades eléctricas y de acceso.

La instalación de los sensores en el pavimento fue la parte crítica del proyecto. Un trabajo cuidadoso permitió contar con una muy alta tasa de sobrevivencia. Se tomó el tiempo necesario para la lectura de los sensores incluyendo la calibración de los mismos. Hasta la preparación del reporte, ya se había iniciado la tarea de lectura y almacenamiento de los datos.

Plan de instrumentación

Fue desarrollado para los propósitos: (1) valoración detallada de esfuerzos y deformaciones unitarias inducidas por el tráfico y el medio ambiente, y (2) contar con información necesaria para validar modelos de fatiga en el diseño de sistemas de fatiga de pavimentos de larga duración (también llamados perpetuos, de 50 años o más de vida).

El planeamiento fue precedido por el estudio de trabajos anteriores, especialmente en Minnesota, Virginia y Auburn (Alabama). Igualmente, fueron analizadas varias posibilidades de localización antes de seleccionar la apropiada para la implementación de este sistema.

◆ Deformaciones del asfalto

La deformación unitaria dinámica en el fondo de la capa asfáltica bajo el movimiento del eje de cargas, está comúnmente relacionada con la fatiga de la misma, en términos del agrietamiento de abajo hacia arriba. Para medir esta deformación, los sensores son localizados tanto en forma longitudinal como transversalmente en lado externo de la vía según el eje, también externo, de los vehículos. La Universidad dispone de un extensómetro de alta resolución usado para verificar la exactitud de las mediciones.

El reporte recomienda el empleo de grupos de sensores de distintas marcas (en este caso, en grupos del total: 16 de una marca y 8 sensores de otra). Los tres grupos contienen cada uno, cinco sensores en dirección transversal y tres en la dirección longitudinal. Los sensores están instalados en el fondo de la capa asfáltica del pavimento. Se recomienda que cada grupo de sensores esté embebido en una sección o bloque de 2 por 4 pies y una pulgada o menos de espesor, controlando debidamente la orientación de cada sensor. Este bloque será colocado en forma cuidadosa y previamente a las operaciones de pavimentación.

El reporte indica que se instaló un sensor adicional de otra marca, haciendo un total de 25.

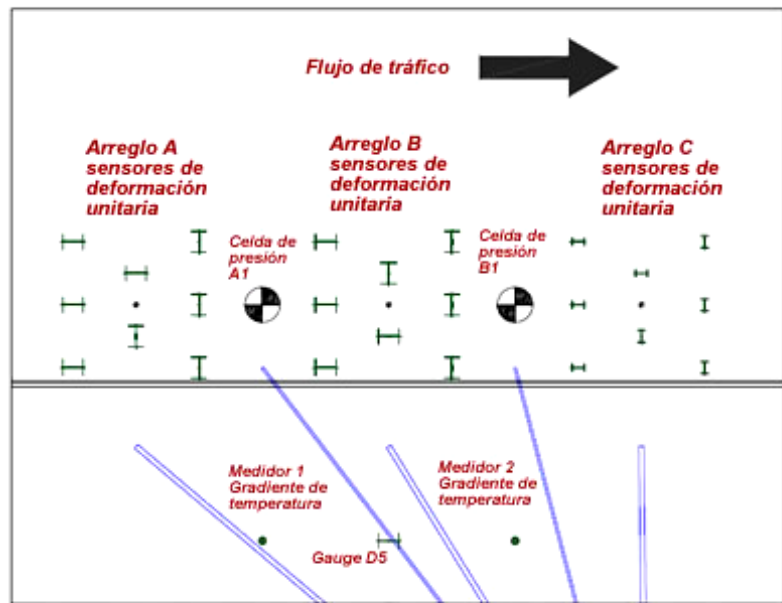


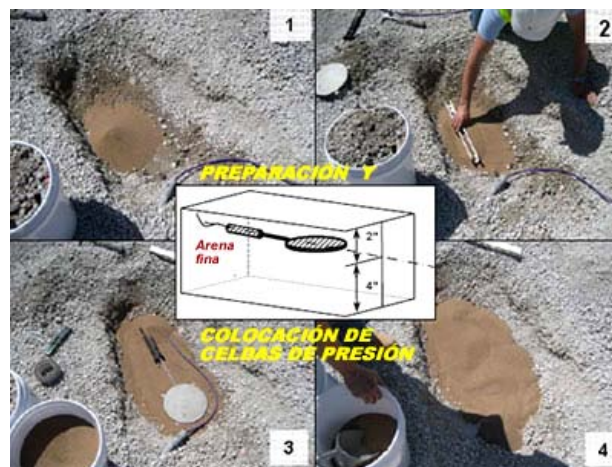
DIAGRAMA DE TRES ARREGLOS DE SENSORES, CELDAS DE PRESIÓN DE TIERRA, Y MEDIDORES DE GRADIENTE DE TEMPERATURA



MARCADO Y COLOCACIÓN DE STRAINGAUGES

◆ **Medidas de presión**

Las celdas de presión están colocadas entre el terreno natural compactado y la capa de agregado denso, siguiendo el eje central de la línea externa. También se colocan celdas de presión a una profundidad de 3 pulgadas debajo del tope del terreno natural.



Las placas de presión son colocadas a 2 pulgadas del tope de la capa densa. Las celdas de presión están posicionadas entre cada grupo de los sensores de deformación, según se aprecia en la figura anterior.

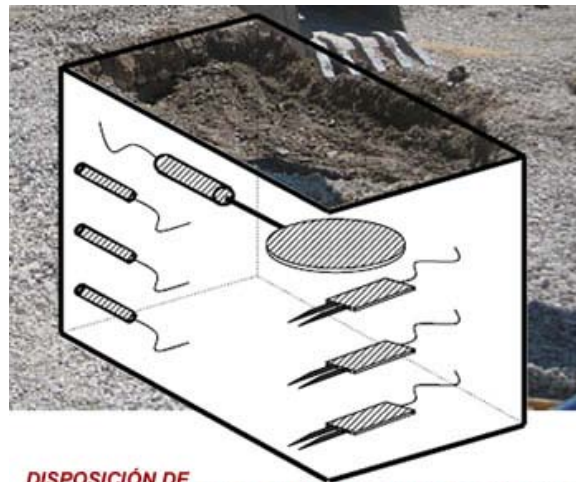
◆ Humedad en el terreno natural

La humedad en el terreno natural afecta la respuesta del pavimento y su desempeño, especialmente si éste es sensible a la misma, como es el caso del proyecto. Por eso se instalaron seis sensores para medir humedad a profundidades de 3, 12 y 24 pulgadas debajo del tope del terreno natural compactado, en dos localizaciones cercanas a los dispositivos de presión tal como se indica también en la figura.



El dispositivo usado permite rangos de humedad entre 0 a 100% en ambientes con temperaturas entre el rango de -40 a 60°C.

◆ Temperatura en la capa de asfalto



Se conocen los distintos módulos de cada capa construida de mezcla de asfalto en caliente. Sin embargo se requiere de información de la temperatura para hacer un seguimiento cercano de las condiciones de fatiga.

En la vía se han instalado dos medidores múltiples de temperatura en disposiciones cercanas a las de las celdas de

presión.

◆ Condiciones climáticas

El proyecto reconoce la importancia de las variables ambientales, como: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación, y exposición solar. Incluye una estación integrando un sensor de temperatura, un anemómetro (para la velocidad del viento), un pironómetro (para medir la irradiación solar). Todos los sensores ambientales están instalados en una cabina, que también es la receptora en el sistema de adquisición de datos.



◆ Cargas axiales

Interesa directamente la intensidad y variación de las cargas axiales sobre el pavimento. El peso en movimiento y estático pueden ser medidos en la vía con el uso de un sistema WIM (*weigh-in-motion*, peso en movimiento) regulado para comparar las cargas con las normas ASTM para el tipo de vía del proyecto. Este sistema está instalado en la banda exterior de la vía a 25 pies de la zona de sensores straingauges.

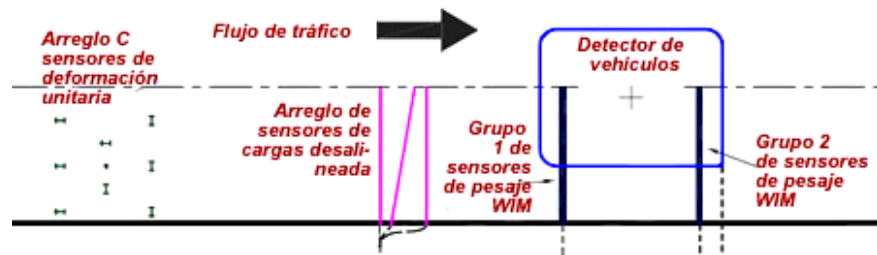


El sistema incorpora un *detector de vehículos* (basado en un alambre -o bobina- receptor-transmisor que se usa también para detectar metales registrando las variaciones de frecuencia).

◆ Tráfico desalineado

En las condiciones reales, las cargas del tráfico no se aplican a un solo lugar o línea. Estas cargas están repartidas en un ancho varias veces el de las llantas, produciendo una fatiga distribuida y daños extendidos. El proyecto pretende contar con información que proporcione las cargas específicas de las llantas en su estado dinámico.

DIAGRAMA DE SENSORES DE LÍNEA DE CARGA, PESAJE Y DETECTOR



Para ello se instaló una malla de bandas para registrar la velocidad y localización de cada carga de llanta pasando sobre sensores incrustados.



BANDAS DE SENSORES PARA EL ALINEAMIENTO DE CARGAS

La malla está directamente conectada al sistema de adquisición de datos e incluye dos bandas transversales de 6 pies de longitud, y otra inclinada de 7 pies de longitud. Las bandas están localizadas a aproximadamente 5 pies de la zona de los sensores de deformación, entre ésta y el sistema WIM, como se indica en la figura.



LÍNEAS DE CARGA Y PESAJE

◆ Adquisición de datos

O de registro o captura de datos. Diferencia las frecuencias en que los datos son capturados y registrados. El equipo utilizado e instalado en una cabina, incluye suficientes canales de ingreso y de tarjetas para la adquisición de datos. Permite monitorear, almacenar y enviar datos (vía inalámbrica) según los requerimientos del proyecto.

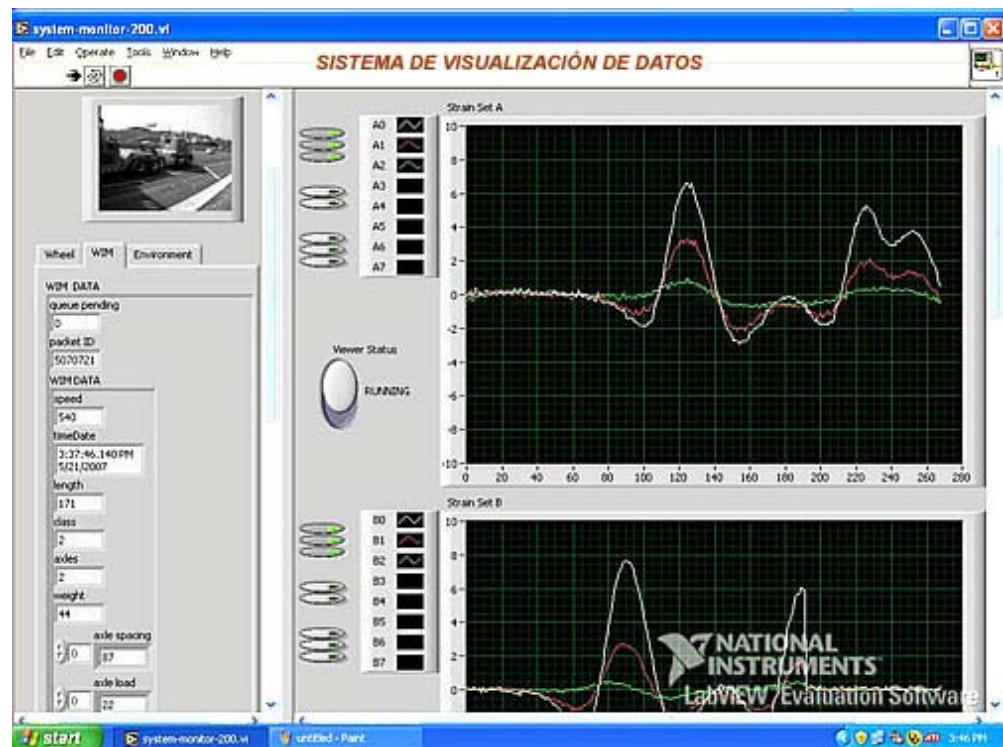
◆ Monitoreo remoto

Un centro de operaciones maneja el sistema de monitoreo remoto para acopiar los datos de los sensores mediante líneas de fibra óptica desde la cabina localizada al borde de la vía. De ahí se transmiten a un centro propio de la Universidad, por fibra óptica o conexión inalámbrica, el mismo que cuenta con un servidor de alta capacidad. Se estima que llega 1 Gb de datos por día. La capacidad de almacenamiento es de 3,200 Gb. Será posible obtener la información por Internet.



◆ Visualización de datos

Excepto en horas de congestión, un sistema a tiempo real permite ver la información.



Se aprecian los datos de deformaciones unitarias, presiones, datos ambientales, de líneas de ruta, y proporciona una imagen del vehículo. Los datos del visor a la derecha, corresponden a las deformaciones unitarias y a las cargas.

◆ **Costos**

El sistema WIM fue contratado como parte de la construcción del proyecto de intercambio, con un presupuesto de US\$17,561.

El resto de US\$82,149 es adquirido por la Universidad con fondos del proyecto, según la siguiente tabla.

PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO, 2006

Concepto	Equipo recomendado	Costo unit	Número	
Straingauges para asfalto	CTL ASG -152 Strain Gauge	\$ 550	16	\$8,800
Straingauges para asfalto	Dynatest PastII-AC Gauge	\$ 650	8	\$5,200
Presión vertical	Geokon Model 3500	\$ 910	4	\$3,640
Humedad del terreno	Decagon ECH20-TE	\$ 200	6	\$1,200
Temperatura del terreno	ROMUS Temperature Probe	\$ 100	2	\$200
Temperatura de la capa de asfalto	ROMUS Temperature Probe	\$ 250	2	\$500
Radiación solar	Apogee PYR-PA5	\$ 225	2	\$450
Temperatura ambiental	NRG 110S Temperature Sensor	\$ 195	1	\$195
Velocidad del viento	NRG #40C Anemometer	\$ 395	1	\$395
Temperatura de la superficie del asfalto	Omega OS35-20-5V-250C-12V	\$ 812	1	\$812
Sistema de pesaje o carga	ECM Hestia WIM System	\$ 26,500	1	\$26,500
Líneas de tráfico	ECM Piezo Electric Sensors	\$ 2,935	1	\$2,935
Registro de datos	National Instruments PXI System	\$ 24,972	1	\$24,972
Monitoreo remoto	SDP-1300T Computer System	\$ 4,750	1	\$4,750
Monitoreo remoto	Pentium Class Desktop PC	\$ 1,000	1	\$1,000
Monitoreo remoto	CCD Camera	\$ 400	1	\$400
Marcado de cable	Heat Shrink Labeling	\$ 200	1	\$200
Total				\$82,149

Esto hace un total de US\$99,710. Los autores del reporte consideran conveniente agregar un monto de contingencia de US\$3,000.