DISEÑO DE UN PERFILOMETRO PARA MEDICION DE LA VARIANZA DE LA PENDIENTE LONGITUDINAL EN PAVIMENTOS ASFALTICOS

PEDRO VICENTE ANSELMI CRUZ [*]
OSCAR RUBIO RODRIGUEZ [**]

RESUMEN. El diseño de un pavimento debe considerar un equilibrio entre la durabilidad de la estructura, el confort de la vía, seguridad y costo.

Las deformaciones del pavimento, sean causadas por su propia estructura o por movimientos de su fundación, causan al usuario de la vía una disminución del confort.

Debido a que la capacidad de prestación de servicio de los pavimentos venezolanos no conlleva al confort y conveniencia necesaria de los usuarios, se cree conveniente tener un instrumento que permita llevar un confort del perfil de la superficie del pavimento durante su ejecución *por parte del contratista*, y un seguimiento posterior durante el período de diseño.

Los autores confían que el presente trabajo contribuirá en forma notable al mejoramiento de la calidad de la superficie de los pavimentos, y de que ello se traducirá en un menor desembolso de dinero por concepto de mantenimiento o reparaciones de ésta, que equivocadamente son recibidos como aceptables cuando en la realidad han debido ser rechazados durante el proceso de construcción.

ABSTRACT. *A pavement design must consider an equilibrium between the durability of the structure, the confort, safety and costs.*

The deformation of the surface owing to its own structure or to the movements of the foundations, cause a reduction of the confort for the user of the road.

Owing to the fact that the capacity of service at the Venezuela roads does not give the necessary confort and convenience for the users, it is thought to have an instrument that allowed to have a control of the profile of the surface during the works and a control during the design stage.

The authors think that the present work will contribute notably to increase the quality of the road surface and will result to a better maintenance at the whole system.

1. INTRODUCCION

La rugosidad longitudinal es el factor principal que afecta a la opinión de los usuarios de una vía; de aquí el gran interés en desarrollar instrumentos que midan con certeza la rugosidad de los pavimentos. Los requerimientos básicos para un aparato medidor de rugosidad deben incluir movilidad, construcción económica, veracidad en la medición y utilización de los datos. Algunos de los instrumentos en uso a nivel internacional son satisfactorios para medir tipos específicos de rugosidad pero no presentan utilidad desde todo punto de vista.

La figura 1 indica diversos tipos de rugosidad que pueden ocurrir en un pavimento de autopista o aeropuerto. Las perturbaciones de onda larga pueden ser originadas por consolidación de la subrasante y generalmente tienen gran amplitud pero baja frecuencia. Otro tipo de perturbación es la que presenta longitudes de onda corta, con alta frecuencia y baja amplitud. Muy relacionada con las anteriores se encuentra la textura rugosa del pavimento, que puede causar ruido en la vía. El balanceo lateral del vehículo puede ser originado por baches.

El perfil longitudinal de un pavimento puede medirse usando técnicas de nivelación, pero a causa del corto espacio necesario para detectar pequeñas irregularidades el procedimiento se aplica en la práctica solamente a secciones de corta longitud de pavimento.

[*] Ingeniero civil. Ingeniería Hugo I. Pérez Ayala y Asociados (Venezuela).
[**] Ingeniero civil. Ingeniería Hugo I. Pérez Ayala y Asociados (Venezuela).

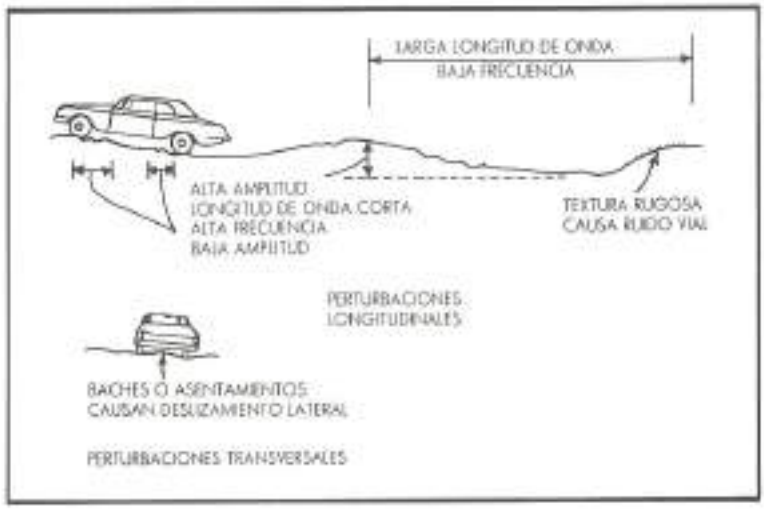


FIGURA 1. Tipos de rugosidad.

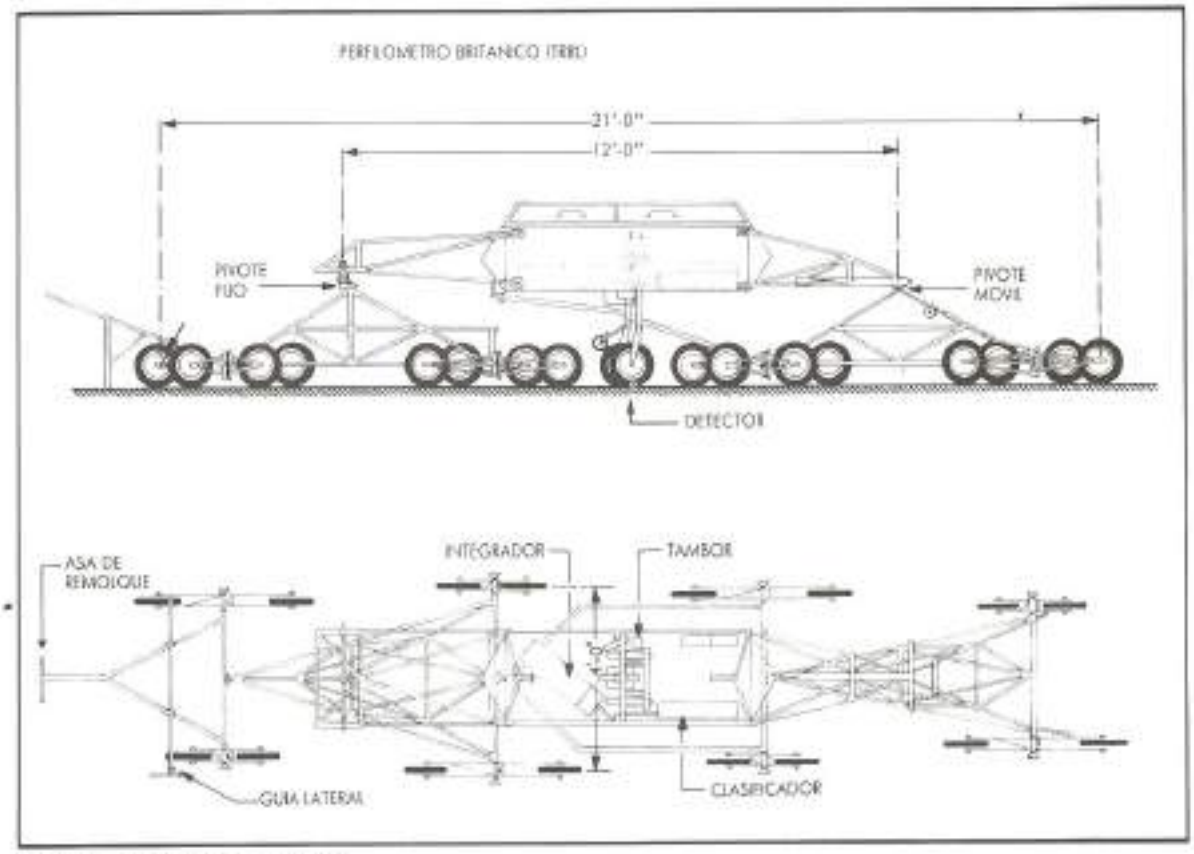


FIGURA 2. Perfilómetro británico multirueda.

2. RESUMEN DE APARATOS EXISTENTES

A continuación se nombran algunos de los aparatos más frecuentes usados en la actualidad (Rugómetro y PCA). Así como también los que tienen aspectos similares con el Perfilómetro C.A.R., para que pueda comprenderse mejor los principios adoptados en el diseño.

2.1. PERFILOMETRO MULTIRUEDA

El Perfilómetro multirueda desarrollado por Scott a finales de 1930, es uno de los aparatos de mayor

uso actualmente, no sólo en Inglaterra, su lugar de origen, sino también en USA y Canadá.

La figura 2 muestra que dicho aparato consta de 4 sets de cuatro ruedas, un ancho total de 4 pies (1,22 m) y longitud de base de 21 pies (6,41 m). La estructura funciona como un carro articulado de manera que las ruedas se acoplan de forma aleatoria sobre el pavimento, algunas por encima, y otras por debajo definiendo una referencia horizontal establecida por las 16 ruedas.

El desplazamiento de una rueda individual por encima o por debajo del nivel promedio del pavimento produce sólo 1/16 de este desplazamiento en el centro de la caja donde se ubica el sistema grabador.

El sistema de medición consiste en una rueda detectora colocada en el centro del aparato, dispuesta en una guía vertical y guiada por dos ruedas laterales, las cuales se encargan de asegurar la posición apropiada del sistema en la trayectoria recorrida.

La rueda grabadora está equipada con un neumático de baja presión, con la finalidad de absorber irregularidades relacionadas con la textura del pavimento. La máquina es impulsada a mano, a pasos suaves mientras se realizan los ensayos. Para cuantificar las irregularidades, el Perfilómetro TRRL está dotado de unidades integradoras y clasificadoras. El integrador totaliza todos los movimientos verticales hacia arriba de la rueda grabadora, y reporta registro de saltos *Vs* longitud ensayada generalmente expresado en pulgadas por milla, indicado por el símbolo *p*. El clasificador registra en una serie de contadores todas las irregularidades mayores de 0,1 pulgada en intervalos de 0,1 pulgada hasta un máximo de 1,5 pulgadas. La salida del clasificador también da un índice de irregularidad expresado en pulgada por milla, señalado con el símbolo *q*. Los valores de *p* y *q* son distintos debido a que *q* excluye las irregularidades menores de 0,1 pulgadas.

Un diagrama típico de la distribución de irregularidades reportadas por este Perfilómetro es mostrado en la figura 3, donde se observan la magnitud y frecuencia de las irregularidades individuales.

Los movimientos de la rueda grabadora son transferidos a un papel marcado con escalas verticales y horizontales convenientes. La figura 4 muestra perfiles obtenidos en pavimentos flexibles y rígidos usando el Perfilómetro multirueda.

El Perfilómetro multirueda es un aparato con excelente capacidad de repetición, pero su aplicación es limitada debido a la baja velocidad de ope-

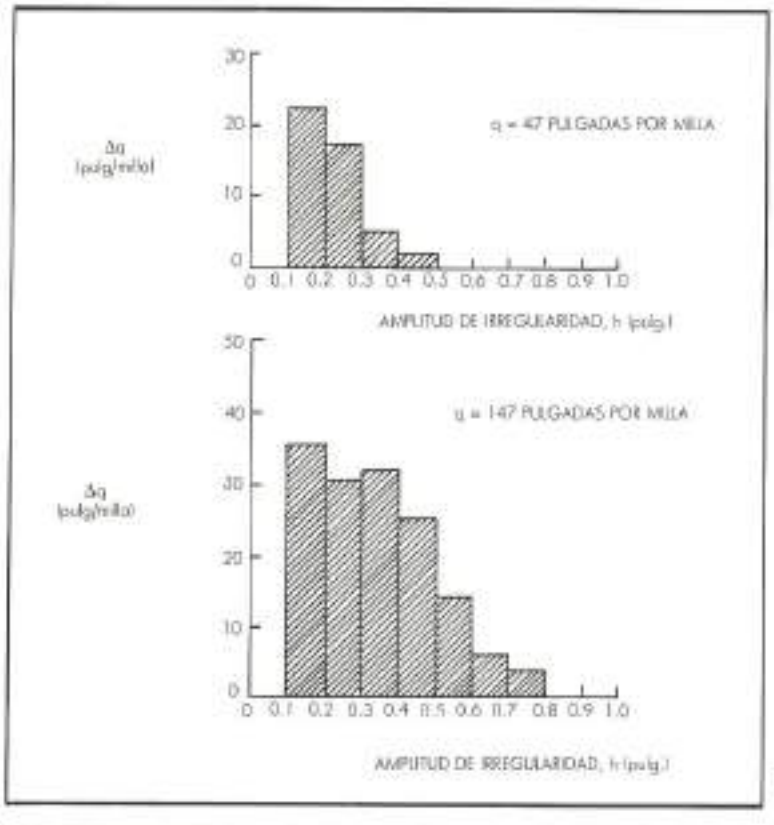


FIGURA 3. Diagramas de distribución de irregularidades superficiales.

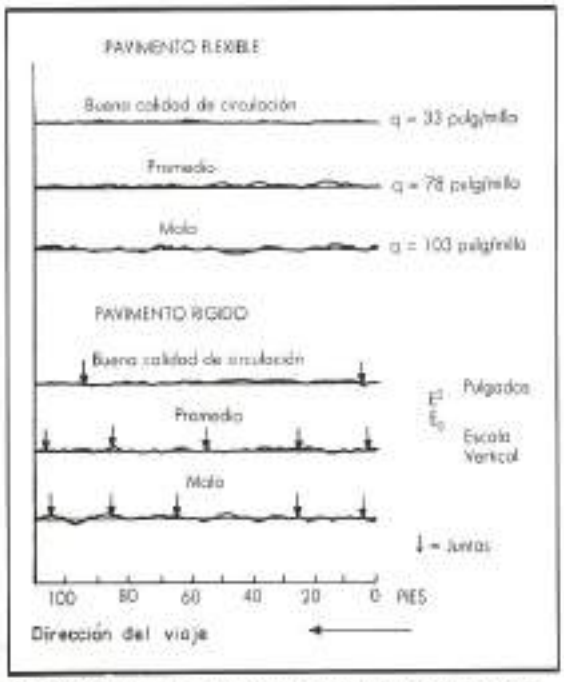


FIGURA 4. Registro de perfiles obtenidos con el perfilómetro multirueda.

ración (aprox. 1 mph). A menudo es muy útil para medir pavimentos nuevos no abiertos al tráfico, y para calibrar otros medidores de rugosidad como por ejemplo el *CRM*. No es disponible comercialmente, y se utiliza sólo para fines de investigación.

2.2. PERFILOMETRO AASHO

Otro procedimiento de apreciación de la calidad de los perfiles longitudinales fue establecido mediante los ensayos de la AASHO. Se trata de un Perfilómetro constituido por un chasis de 6,10 metros de longitud, remolcado por un vehículo a una velocidad aproximada de 5 mph.

La rugosidad del pavimento es medida mediante el cambio en ángulo entre dos líneas de referencia, una de las cuales está determinada por dos pequeñas ruedas de pendiente, separadas 9 pulgadas entre sí, y la otra está determinada por el chasis soportado por un eje de ruedas en la parte trasera y un remolque en la parte delantera.

Como se muestra en la figura 5 el montaje de pendiente S mide el ángulo a entre el pavimento P y el chasis T. La referencia R, péndulo o giroscopio, mide el ángulo b entre el chasis T y la horizontal. A medida que el tráiler circula sobre el pavimento dos voltajes son continuamente generados, proporcionales a los ángulos a y b. Estos voltajes son sumados electrónicamente para producir un voltaje proporcional al ángulo c, el ángulo entre

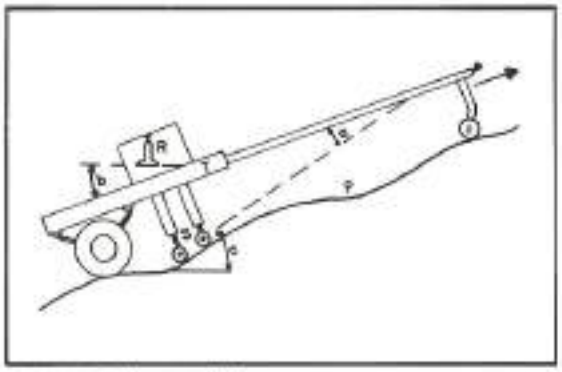


FIGURA 5. Perfilómetro AASHO.

el pavimento y la horizontal. La tangente del ángulo c (pendiente del pavimento sobre una distancia entre ejes de 9 pulgadas) es grabada en un calculador binario situado en el remolque, totaliza las lecturas y calcula la varianza de pendiente, el registro incluye marcas de medición a intervalos de un pie sobre el pavimento y otras señales indican el principio y el final de la sección ensayada o alguna zona de interés.

Las ruedas exteriores del chasis están bastante apartadas para poder considerar que la línea que une sus ejes representa la línea media del perfil estudiado. Por el contrario las ruedas de pendiente están suficientemente cerca para que la línea que une sus ejes represente la inclinación local, accidental del perfil (ver figura 5a).

Este aparato contiene ventajas como una razonable velocidad de operación, buena exactitud y reproductibilidad, y reporte de un valor cuantificable útil para determinar la calidad del perfil. Entre las limitaciones se encuentran medidas erróneas de longitudes de onda menores de 9 pulgadas y falta de información en longitudes de onda mayores a la longitud del chasis.

Una adaptación del perfilómetro AASHO es conocida como el perfilómetro CHLOE; básicamente utiliza el mismo principio, excepto que la referencia horizontal establecida es omitida. La estadística derivada de este instrumento también es varianza de pendiente.

2.3. RUGOMETRO

El rugómetro BPR es probablemente uno de los aparatos más conocidos en la industria de carreteras. Su forma original fue desarrollada en 1920, y posteriormente ha sido mejorado hasta el punto de ser utilizado, no sólo en USA, sino también en Canadá, Brasil, Argentina, Perú, Japón e Irán (ver figura 6).

El rugómetro consiste de un tráiler rectangular de rueda sencilla remolcado por un camión ligero o

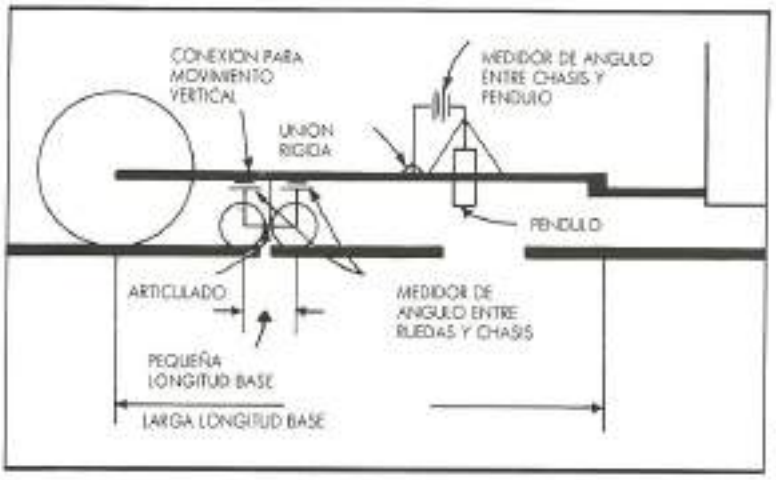


FIGURA 5-A. Dispositivo para medición de pendientes del perfilómetro AASHO.

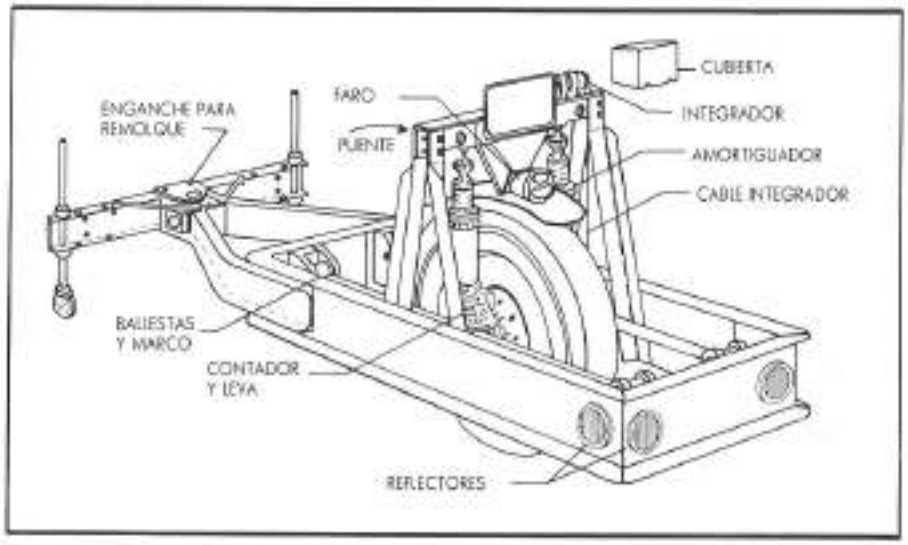


FIGURA 6. Rugómetro BPR.

vehículo de pasajeros. El trailer está dinámicamente balanceado para eliminar cualquier efecto del remolque. Se compone de un chasis cargado suspendido por dos (2) resortes y una (1) rueda provista de un neumático. Dos amortiguadores aseguran el contacto permanente con el pavimento. El aparato es conducido a 32 Km/h (20 mph), y el movimiento del eje de la rueda en relación con el marco rectangular de gran inercia es grabado por un integrador mecánico (sólo registra en una dirección) acoplado a un contador eléctrico. El contador está calibrado para grabar pies de movimiento verticales del eje relativo al tope del sistema de suspensión. La acumulación de desplazamientos sobre la distancia recorrida es llamada índice de rugosidad (*r*), y se reporta en unidades de pulgadas por milla.

Es importante mencionar algunos detalles referentes a los componentes del rugómetro:

1. El sistema de amortiguamiento controla la tendencia del peso del chasis a oscilar en su frecuencia natural cuando éste es repartido a medida que el aparato está en movimiento.
2. El marco del remolque es soportado sobre un par de ballestas simples con rolineras. Esto evita la falta de constancia causada por la fricción en las ballestas y la fricción en las argollas de los resortes, encontrado generalmente en otros tipos de suspensión.
3. El neumático estándar del rugómetro debe ser un caucho liso capaz de soportar una carga estática de 580 libras (263 Kg).
4. La distancia ensayada se obtiene por medio de un contador que indica revoluciones de la rueda del trailer.
5. La función principal del remolcador es proporcionar empuje para mover al rugómetro a lo largo del pavimento a una velocidad constante.

El trailer está diseñado de forma tal que su centro de percusión pasa por el eje de la rueda. Por esta razón el diseño exacto del remolcador tiene poca importancia.

El valor de rugosidad expresado por el rugómetro es muy arbitrario, debido a que depende de la presión del neumático y el amortiguamiento de la suspensión. La influencia de variaciones en la velocidad del vehículo sobre la magnitud de los valores de rugosidad obtenidos es apreciable. También presenta dificultades de repetición debido a la calibración. Para lograr medidas consistentes es imperativo operar el rugómetro como mínimo 16 Km, antes de comenzar los ensayos cada día. Otra limitación sería la baja velocidad de operación.

El rugómetro BPR tiene aplicación general; es disponible comercialmente (Soiltest Testlab) y tiene un costo aproximado de 25.000 $ que incluye el trailer junto con el remolcador.

2.4. CARRO MEDIDOR PCA

Este aparato fue desarrollado por Brokaw para la Asociación de Cemento Portland. Mide la rugosidad de pavimentos en el tope del sistema de suspensión de un vehículo. La figura 7 muestra un diagrama esquemático del PCA.

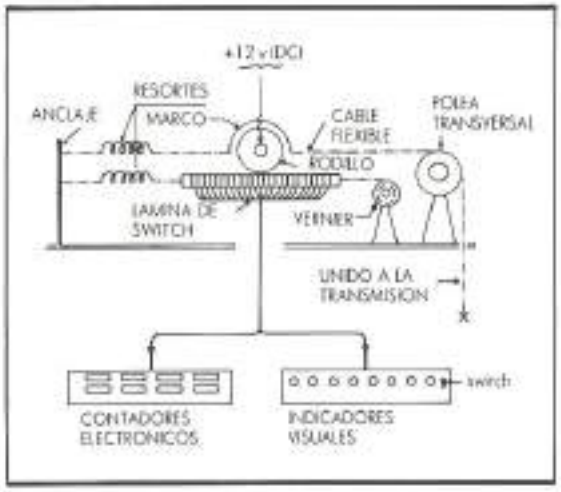


FIGURA 7. Diagrama esquemático del sistema de medición del carro medidor PCA.

Se trata de un simple instrumento electromecánico que puede instalarse en cualquier vehículo de pasajeros para medir el número y la magnitud de las desviaciones verticales entre el chasis del automóvil y el centro de la caja del puente trasero del mismo.

El equipo consiste de un clable flexible de acero, cubierto de nailon, conectado al tope central del eje posterior del vehículo, el cual debe estar en buenas condiciones, tener un sistema de suspensión mecánicamente resistente, y buenos cauchos. El cable pasa verticalmente a través del piso del carro a un tablero detrás del asiento trasero. En este sitio el cable pasa sobre una polea montada transversalmente y es restringida por un resorte fijo a un pequeño poste sobre el tablero. En consecuencia, cualquier movimiento vertical entre el tablero y el eje posterior se traduce en un movimiento horizontal del cable, y un movimiento del mecanismo registrador.

A mitad de camino entre la polea y el resorte, se fija un microswitch rodante al cable de acero, el cual descarga sobre un switch en forma de lámina rectangular dividido en 23 segmentos de 1/8 pulgadas de longitud. De esta forma, los movimientos derivados por la acción del cable son medidos en incrementos de movimiento vertical de 1/8 pulgadas.

La posición de referencia que representa la lámina para el microswitch rodante puede ajustarse debajo del rodillo para acomodarse a diferentes cargas estáticas en el vehículo. El ajuste se hace por medio de otro resorte a tensión conectado a un vernier de control.

Se aplica un voltaje al cilindro rodante y al switch de placa rectangular. La salida llega a indicadores visuales de las desviaciones carro-pavimento y también se conecta a los contadores eléctricos. Estos contadores suman los impulsos recibidos desde los segmentos de la lámina rectangular, de acuerdo a la magnitud de los impulsos relativos a las desviaciones producidas. Los contadores individuales representan desviaciones vehículo-pavimento de $\pm$ 1/8, 1/4, 3/8, 1/2, 5/8, 3/4, 7/8, y 1 pulgada. El segmento central, que se usa como cero de referencia, no tiene conexión eléctrica.

El método de recolección de datos es preciso. Cada contador acumula el número de impulsos iguales o mayores a su respectivo segmento. Por ejemplo, una desviación de 1/2 pulgada será grabada dos veces en los contadores 1/8, 1/4 y 3/8 de pulgada y una vez en el contador de 1/2 pulgada, debido a que cuando el microswitch rodante llega a la deformación máxima, retorna al cero de referencia.

Dado que el número de contadores es limitado, la máxima deformación medible es una pulgada.

La tabla 1 muestra una planilla de resultados del PCA. El PSI se obtiene como la sumatoria de los conteos de desviaciones verticales correlacionado con el perfilómetro CHLOE (ver figura 8).

La gran utilidad de este aparato reside en su adaptabilidad a la mayoría de los vehículos, y el

REGISTRO VIAL DEL PCA

Fecha: MAYO 17 Ruta: 401 Proyecto: SECCION 10
Tipo: PAVIMENTO RIGIDO.
Desde: CALLE STREETVILLE Hasta: AUTOPISTA 10
Comienzo: 2 MILLAS AL ESTE CALLE STREETVILLE.
Final: 3 MILLAS AL ESTE CALLE STREETVILLE.
Temperatura: 21° C

DATOS DE LA SECCION ENSAYADA

Longitud = 1 MILLA.

1 x 360 = 360	360 = 360
2 x 317 = 634	331 = 662
3 x 186 = 558	201 = 603
4 x 78 = 312	79 = 316
5 x 32 = 160	29 = 145
6 x 14 = 84	16 = 96
7 x 4 = 28	6 = 42
8 x 1 = 8	
Suma = 2144	Suma = 2224

Bacheo =
PSI = 3,16
C + P =
Velocidad = 50 MPH

TABLA 1. Planilla de medición del PCA con los resultados de una sección.

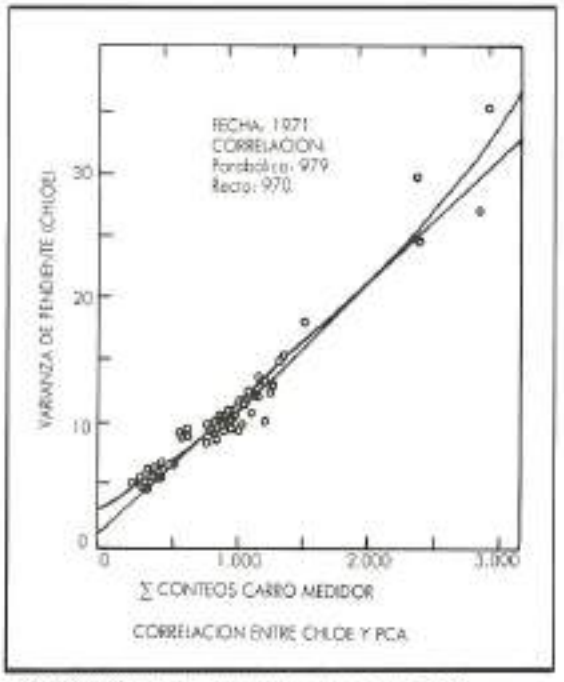


FIGURA 8-A. Correlación entre medidor de pendiente CHLOE y carro medidor PCA.

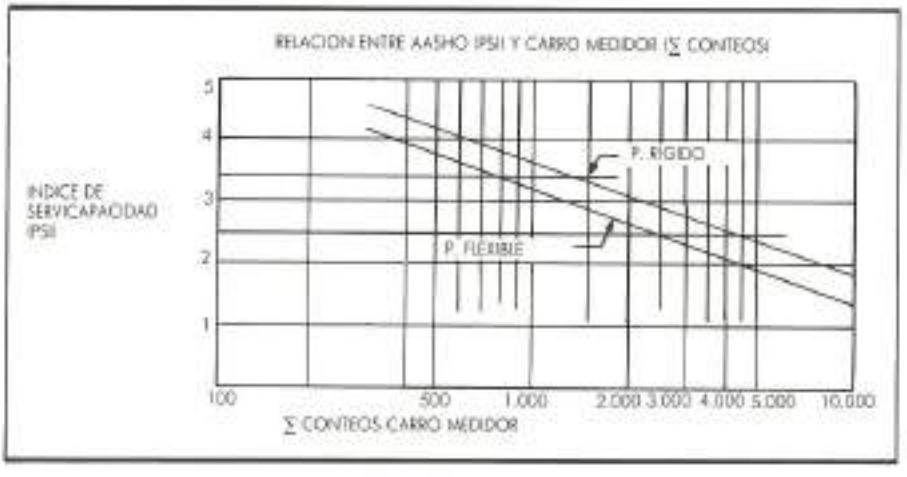


FIGURA 8. Correlación PSI Vs conteos del carro medidor PCA.

hecho de obtener lecturas a velocidades relativamente altas (40-50 mph). De esto, un gran número de pavimentos pueden ser chequeados para programas de mantenimiento.

Es necesario para el buen funcionamiento del PCA, que el vehículo usado se encuentre en óptimas condiciones, es decir, el sistema de amortiguación no debe presentar fallas. También debe controlarse la alineación, presión y balanceo de los neumáticos, la carga en el vehículo, cantidad de combustible, etc. No se recomienda en secciones menores de 0,1 milla. El tiempo de calentamiento debe ser suficiente para que los amortiguadores alcancen su «nivel de trabajo óptimo».

El costo del aparato PCA es de aproximadamente 1.000 $, sin incluir el vehículo en el cual se coloca el dispositivo.

3. CONDICIONES GENERALES

El perfilómetro CAR es un equipo que obtiene algunas de las características de los perfiles longitudinales de los pavimentos. Dicho equipo produce un registro continuo de la pendiente longitudinal del pavimento entre dos puntos dados, y obtiene el

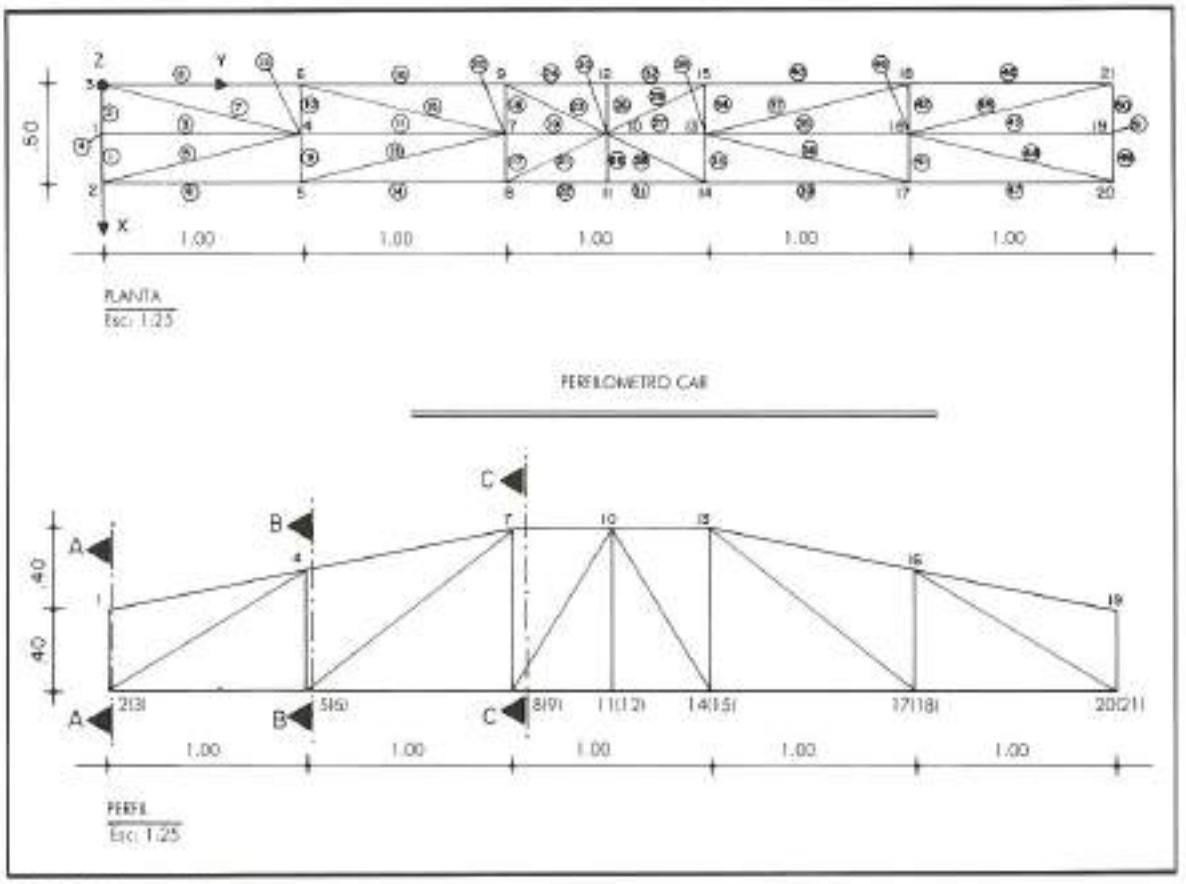


FIGURA 9. Esquema de dimensiones y estructura.

NOTA. Las figuras 9 hasta la 18, ambas inclusive, se refieren al perfilómetro CAR.

desnivel de la superficie del pavimento con respecto a una referencia horizontal.

El perfilómetro CAR calcula la varianza de las pendientes longitudinales ($\overline{SV}$) y juzga el estado del pavimento de acuerdo a los criterios establecidos en el modelo AASHO. También sirve para verificar los desniveles de la superficie por medio del sistema HI-LO, el cual se aplica en carreteras mediante la Norma MOP 12-10-69 y en Aeropuertos mediante la Norma 401-4.13 de la FAA (Federal Aviation Administration), ambas vigentes en la actualidad.

La finalidad del CAR es controlar la construcción de pavimentos como primera opción; también se recomienda su empleo en pavimentos usados para determinar las condiciones actuales de servicapacidad. Ayuda a diferenciar las desmejoras de calidad de rodaje ya sea por tránsito pesado y construcción. Puede ser adaptable en aeropuertos y carreteras, tanto urbanas como rurales. Esto le da un gran campo de aplicación, ya que es muy ventajoso con respecto al procedimiento normal de evaluación usado actualmente (regla simple), permitiendo así un beneficio en tiempo y mano de obra. Lo más importante es su capacidad para registrar datos en forma continua, y la facilidad de operación.

4. DIMENSIONES

La longitud máxima de 5 m obedece a la aplicación directa de la norma en aeropuertos para verificar los desniveles (401-4.13 de la Federal Aviation Administration), siendo esta longitud ajustable a 3 m en el caso de carreteras (norma MOP 12-10-69), por medio del desmontaje de módulos de 1 m de longitud cada uno.

En la figura 10 se puede observar un esquema lateral del aparato.

El eje derecho de ruedas (ver figura 11) define el camino de las irregularidades medidas, acomodándose al contorno del pavimento por medio de los mecanismos de pivote que agrupan los 4 sets

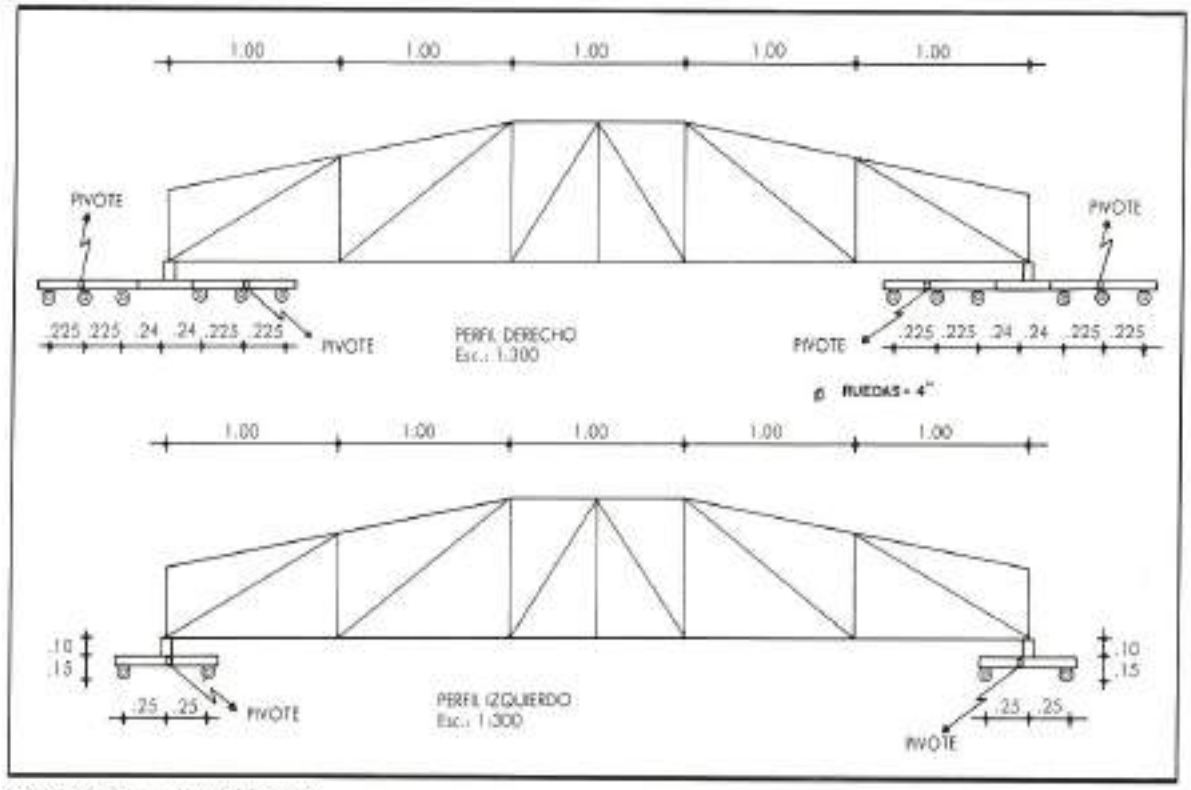


FIGURA 10. Esquema lateral del aparato.

de 3 ruedas que conforman dicho eje, y las 12 ruedas definen un perfil promedio.

El eje izquierdo se compone de 2 sets de 2 ruedas cada uno, y sirve de apoyo lateral; están provistas de movimiento articulado para adaptarse al perfil medido.

5. CONSTRUCCION

La estructura fue hecha con perfiles de aluminio. Cada módulo internamente se encuentra rígidamente unido mediante remaches (ver figura 12). Las uniones entre módulos se realizan con planchas, también de aluminio, cuya forma es conveniente al sitio de unión.

Los sistemas mecánicos (ejes de movimiento vertical con sus respectivas bocinas y tanques de pintura) se construyeron de acero, pintado para evitar la corrosión. Los demás accesorios son piezas de aluminio.

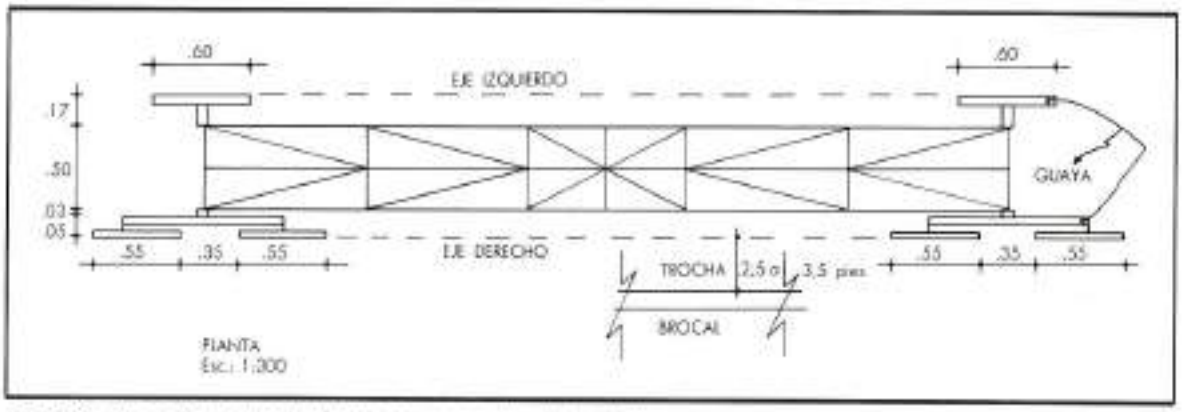


FIGURA 11. Vista en planta mostrando referencia con respecto al canal de circulación.

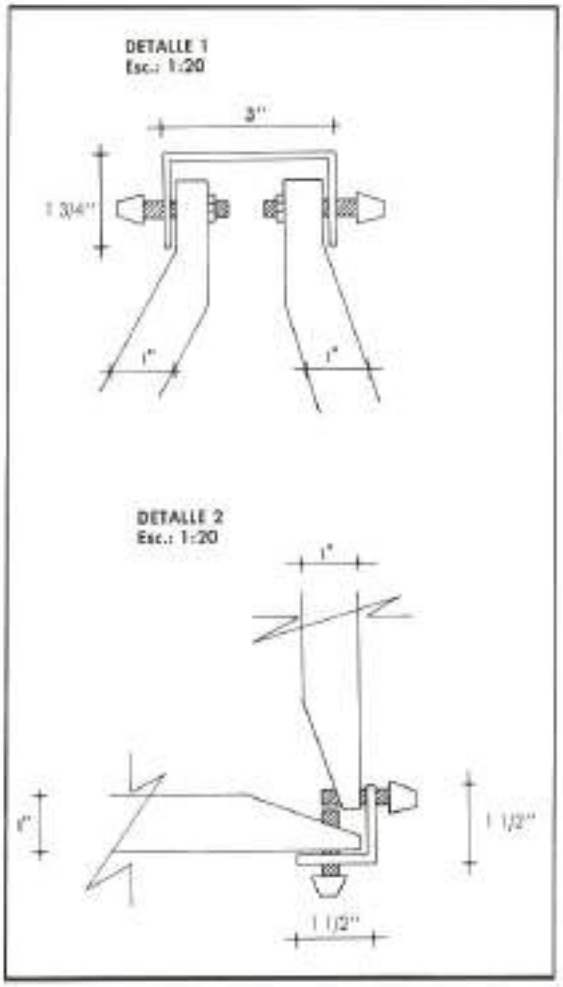


FIGURA 12. Detalle de los juntas en un mismo módulo de la estructura.

6. ESTRUCTURA

La estructura se compone de los siguientes elementos: En perfil, consta de 2 cerchas planas inclinadas, cuyos elementos se unen en forma triangular para garantizar que cada una de ellas se comporta como un solo cuerpo. La sección transversal es triangular, existiendo 3 secciones típicas al variar la altura entre ellas (ver figura 13). Las cerchas planas convergen en la parte superior, existiendo claramente definido un cordón superior formado por un perfil «U». La inclinación de estas cerchas produce una apertura en la parte inferior, fomando así un cordón inferior de perfil angular de lados iguales. Los elementos de la sección transversal son perfiles tubulares.

7. RUEDAS

El método de empuje es por medio de un operador, el cual jala el aparato por su parte delantera a través de una guaya, siguiendo el contorno de la vía entre una franja imaginaria denominada trocha, ubicada entre 2,5 y 3,5 pies del borde derecho de ésta. Existen dos funciones claramente definidas para las ruedas del Perfilómetro CAR:

A. Ruedas que proporcionan apoyo a la estructura y permiten seguir la configuración del contorno de la vía.

B. Ruedas para ejes de movimiento vertical.

Las ruedas de apoyo son semi-blandas de goma matizada, con diámetro de 4 pulgadas, las cuales absorben gran parte de las irregularidades existentes. La separación y disposición de las ruedas se muestra en las figuras 10 y 11.

En el eje vertical para HI-LO se colocó una rueda del tipo semi-blanda de 5 pulgadas de diámetro, debido a una limitación en el sistema de recolección de datos para el $\overline{SV}$. *Esto será ampliado posteriormente.*

El sistema $\overline{SV}$ contiene también 2 ruedas del tipo mencionado anteriormente, pero de 3 pulgadas de diámetro.

Los patines cumplen la función de asimilar en la estructura el principio multirueda, donde éstos tienden a compenssar pequeñas irregularidades.

8. VERIFICACION DE LA SUPERFICIE (HI-LO)

Este sistema sirve para detectar lomos o depresiones de acuerdo a los límites establecidos en las normas mencionadas anteriormente. Consta de un eje de movimiento vertical libre e impedido de rotación, en cuya parte inferior contiene una rueda de 5 pulgadas de diámetro (ver figura 14). Cuando éste detecta depresiones fuera del rango permitido, raya el pavimento de un color determinado, indicando la continuidad de la irregularidad. Si la irregularidad es un lomo, el pavimento se marca con un color diferente.

Esto se logra mediante el uso de dos tanques que contienen colorantes, los cuales se encuentran sometidos a una presión aproximada de 30 PSI indicada en un manómetro. En su parte inferior está conectada una manguera de presión, la cual llega a un trabegás eléctrico. Este dispositivo permite la salida del trabegás apuntando directamente al pavimento, y la presión garantiza la eficiencia del chorro durante la sección del ensayo.

Dispositivos emisores-receptores emiten un haz de luz continuo que permite a los trabegás permanecer cerrados. Cuando este haz es interrumpido, se activa el mecanismo que expulsa el colorante respectivo. En la figura 15 se muestra la posición de los emisores-receptores y sus láminas interruptoras.

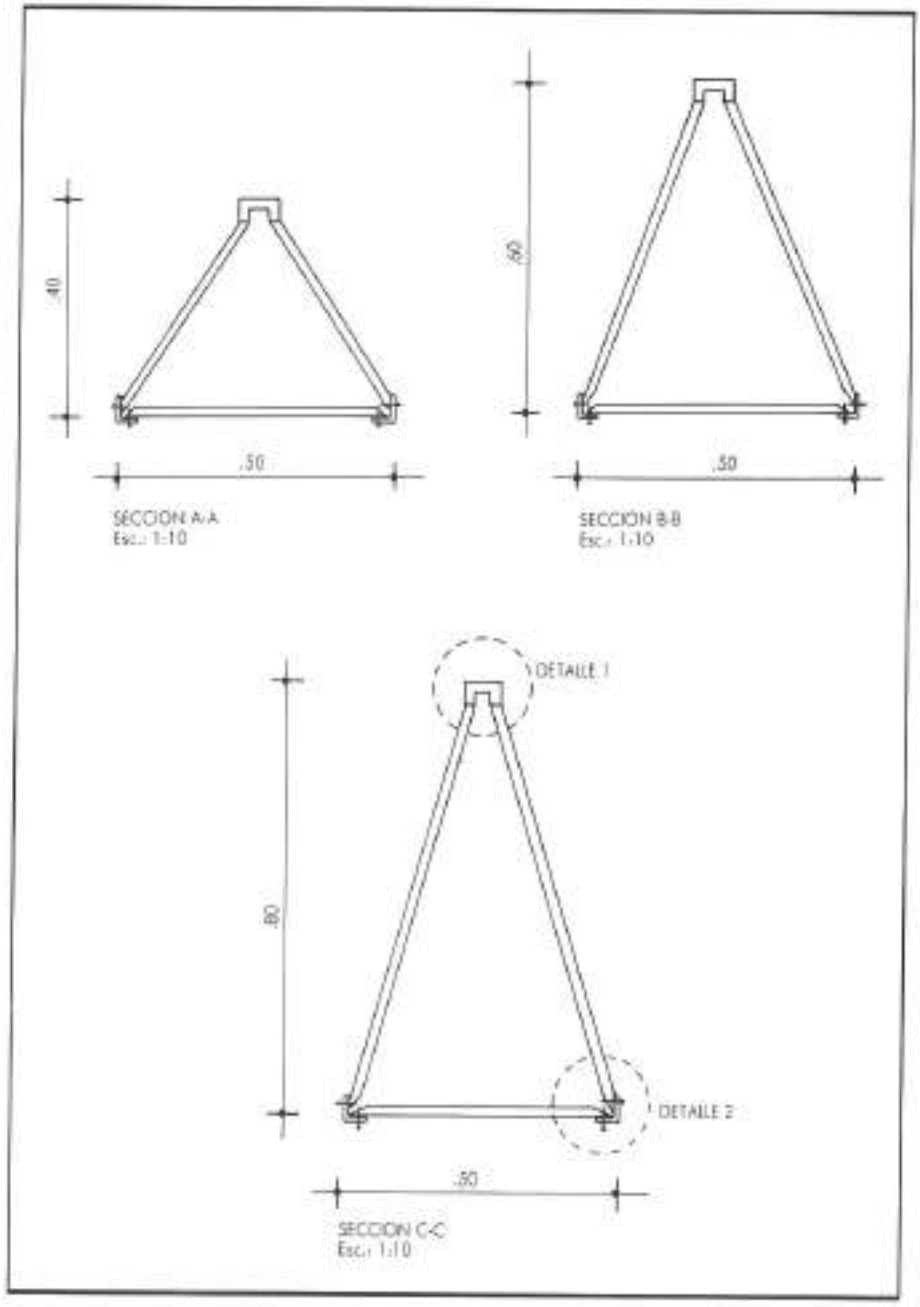


FIGURA 13. Secciones típicas donde se muestra la variación de altura entre los módulos.

Todo el sistema es controlado por un circuito eléctrico. Se compone de la parte sensora, que incluye emisores y receptores. Los emisores emiten un haz de luz infrarrojo, lo que permite trabajar expuesto a la luz solar, sin que se vea afectada la respuesta que recibe el receptor.

El sistema sensor produce una corriente muy baja, la cual hay que amplificar para que active los trabegás.

La figura 16 muestra un diagrama del sistema HI-LO.

SINTESIS ELECTRONICA. El HI-LO es un sistema totalmente autosuficiente desde el punto de vista que no se necesita ningún programa que controle dicho sistema. Se compone de la parte sensora, que incluye emisores y receptores. Los emisores emiten un haz de luz infrarrojo, lo que permite trabajar expuesto a luz solar, sin que se vea

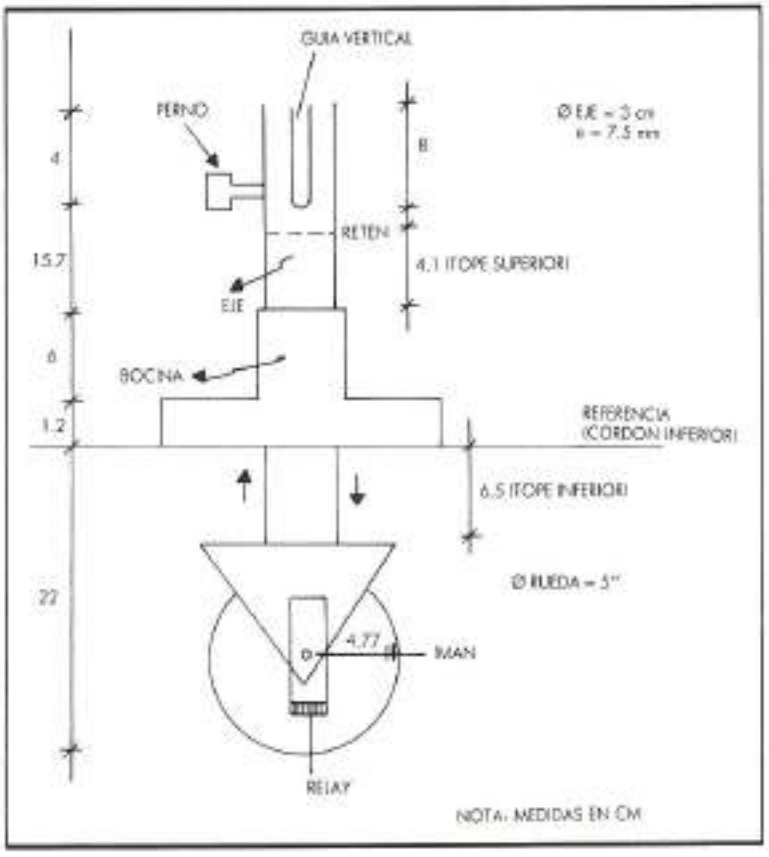


FIGURA 14. Diagrama del Sistema HI-IO, donde se muestra la referencia y las partes mecánicas que conforman dicho sistema.

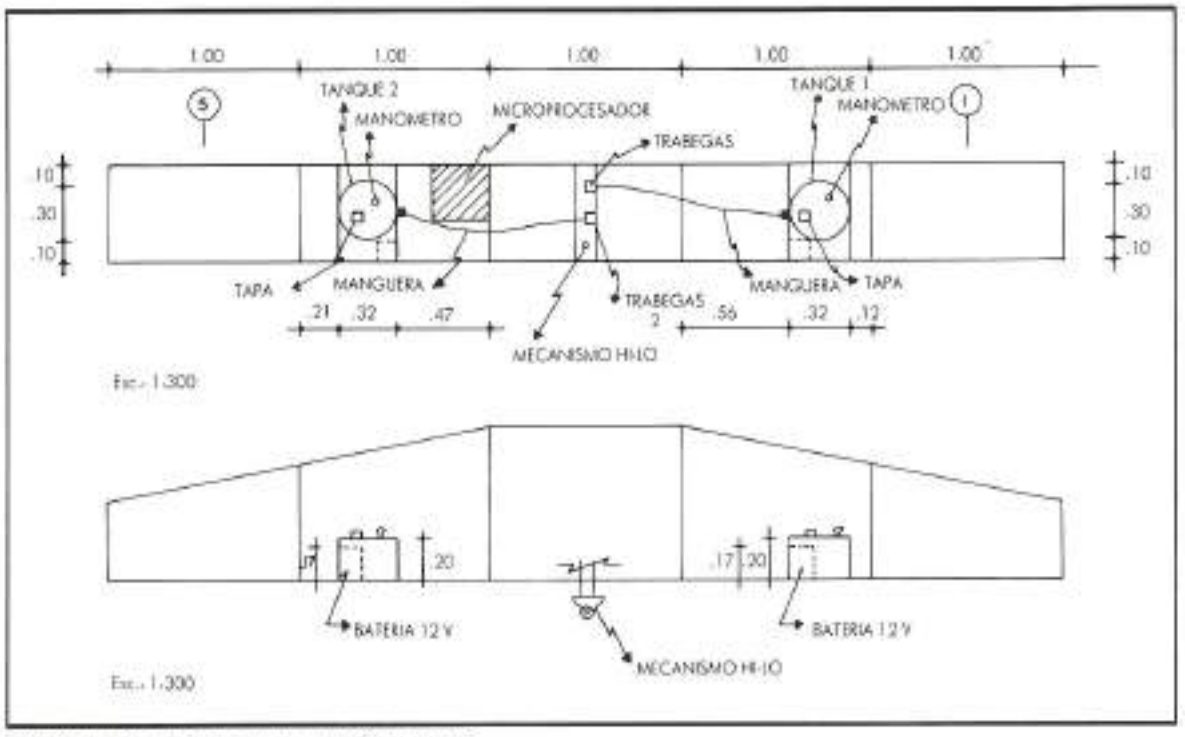


FIGURA 15. Ubicación de los componentes del Sistema HI-IO.

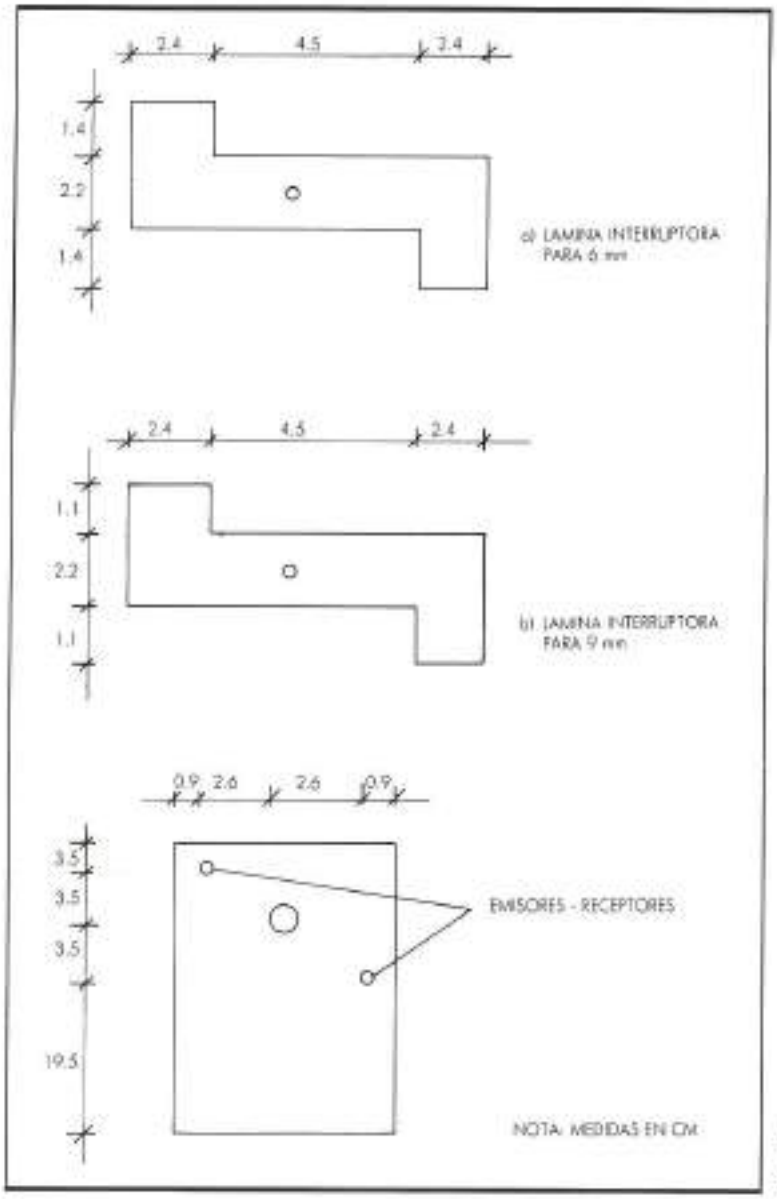


FIGURA 16. Láminas que activan los colorantes (dimensiones) y ubicación de los emisores-receptores.

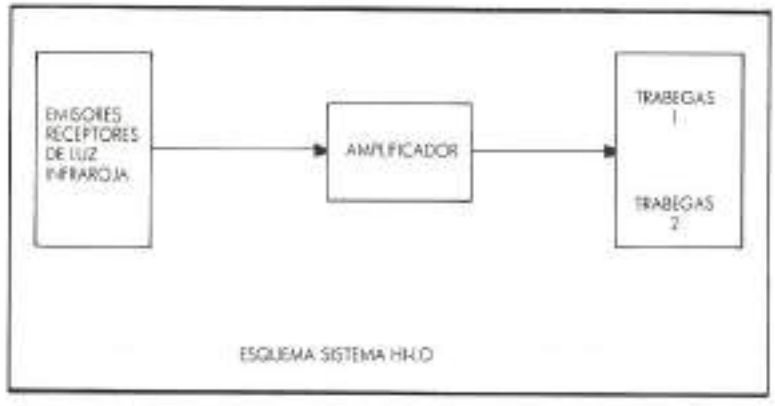


FIGURA 16-A. Diagrama de bloque del funcionamiento del Sistema HI-LO.

afectada la respuesta que recibe el receptor (figura 16-A).

El sistema sensor produce una corriente muy baja, la cual hay que amplificar para que active los trabegás.

9. VARIANZA DE LA PENDIENTE ($\overline{SV}$)

Este dispositivo (ver figura 17) mide la pendiente longitudinal del pavimento a través de dos ruedas separadas en $\Delta x = 9''$ (22,86 cm) entre sí de manera constante. Dichas ruedas forman parte de ejes de movimiento vertical limitado. Estas al seguir la configuración del perfil obligan a dos vigas de aluminio conectadas a dichos ejes a deformarse por flexión. Estas vigas pueden deformarse a un máximo de 2 cm por arriba y por debajo del nivel de referencia neutro para garantizar que dicha deformación se produce dentro del rango elástico del aluminio. La posición relativa de un extremo con respecto al otro produce la diferencia vertical «ΔY». El cociente $\Delta Y/\Delta X$ nos dará la pendiente en un punto determinado cada 30 cm (1 pie) de desplazamiento del Perfilómetro CAR, colindante con el modelo AASHO.

Al finalizar la sección de ensayo con la totalidad de datos obtenidos se procede al cálculo de la varianza de pendiente ($\overline{SV}$). Para esto se implementa un programa que efectúa los cálculos necesarios.

La sensibilidad de las lecturas se logra a través de galgas de deformación (strain gages), las cuales se encuentran en el extremo empotrado de cada viga, en un número de 4 galgas, dos en la parte superior y dos en la inferior.

Las vigas emiten una respuesta eléctrica al ser deformadas, llamadas A y B respectivamente. La diferencia de estas señales produce el ΔY, y por medio de una calibración se lleva a unidades compatibles de ΔX.

La figura 18 muestra un esquema del sistema eléctrico.

SINTESIS ELECTRONICA. La tarjeta consta de una primera etapa, amplificadora para cada viga debido a la baja respuesta en voltaje que produce la deformación en la viga. La relación de deformación en centímetros y voltios es totalmente lineal, por lo cual se seleccionó este tipo de interfase. Luego se realiza la resta de la respuesta de una viga con la otra que representa el esfuerzo.

La respuesta del sustractor es convertida con el ADC (Analog Digital Conversor) y la salida de éste es el dato que guardará el programa principal. Existirán tantos datos como muestras sean tomadas.

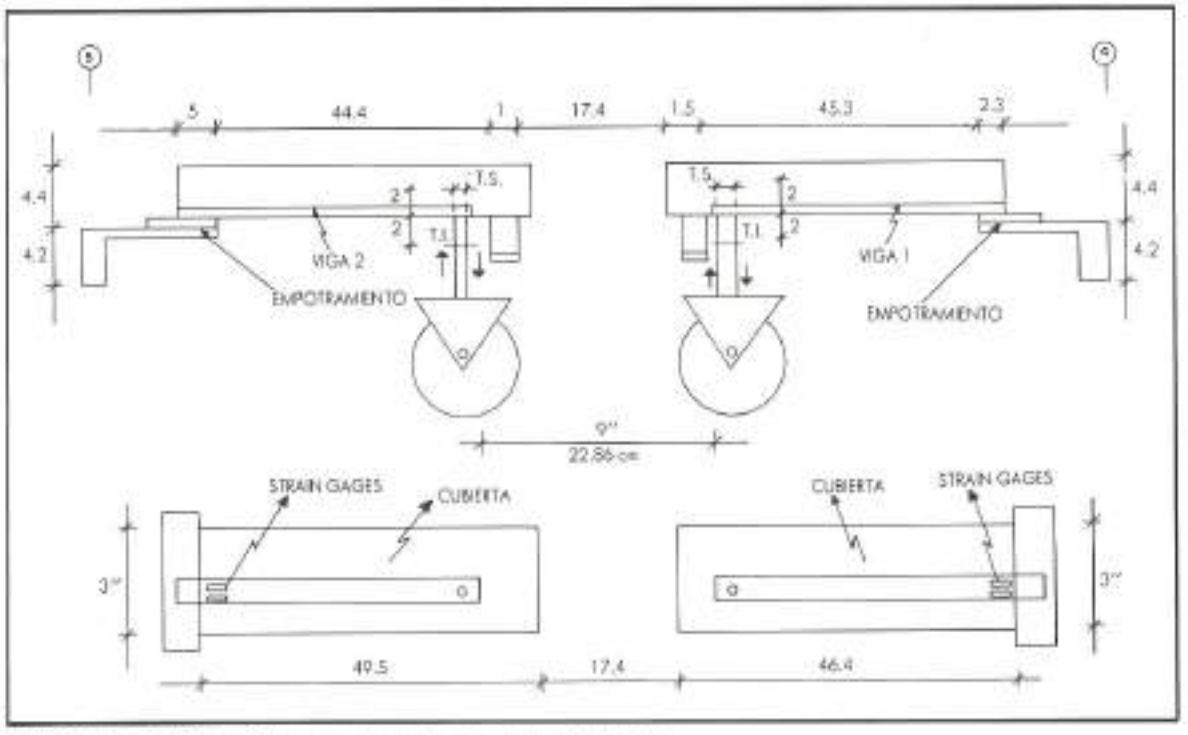


FIGURA 17. Detalle del Sistema SV con sus componentes y las respectivas dimensiones.

Seguridad a todas luces.

Stamark.
Marcaje de Pavimentos.

Mayor visibilidad aún en las horas más oscuras.
Stamark es el nuevo marcaje de pavimentos, exclusivo de 3M, que hace más seguros, visibles y duraderos los marcajes realizados en calles y carreteras.

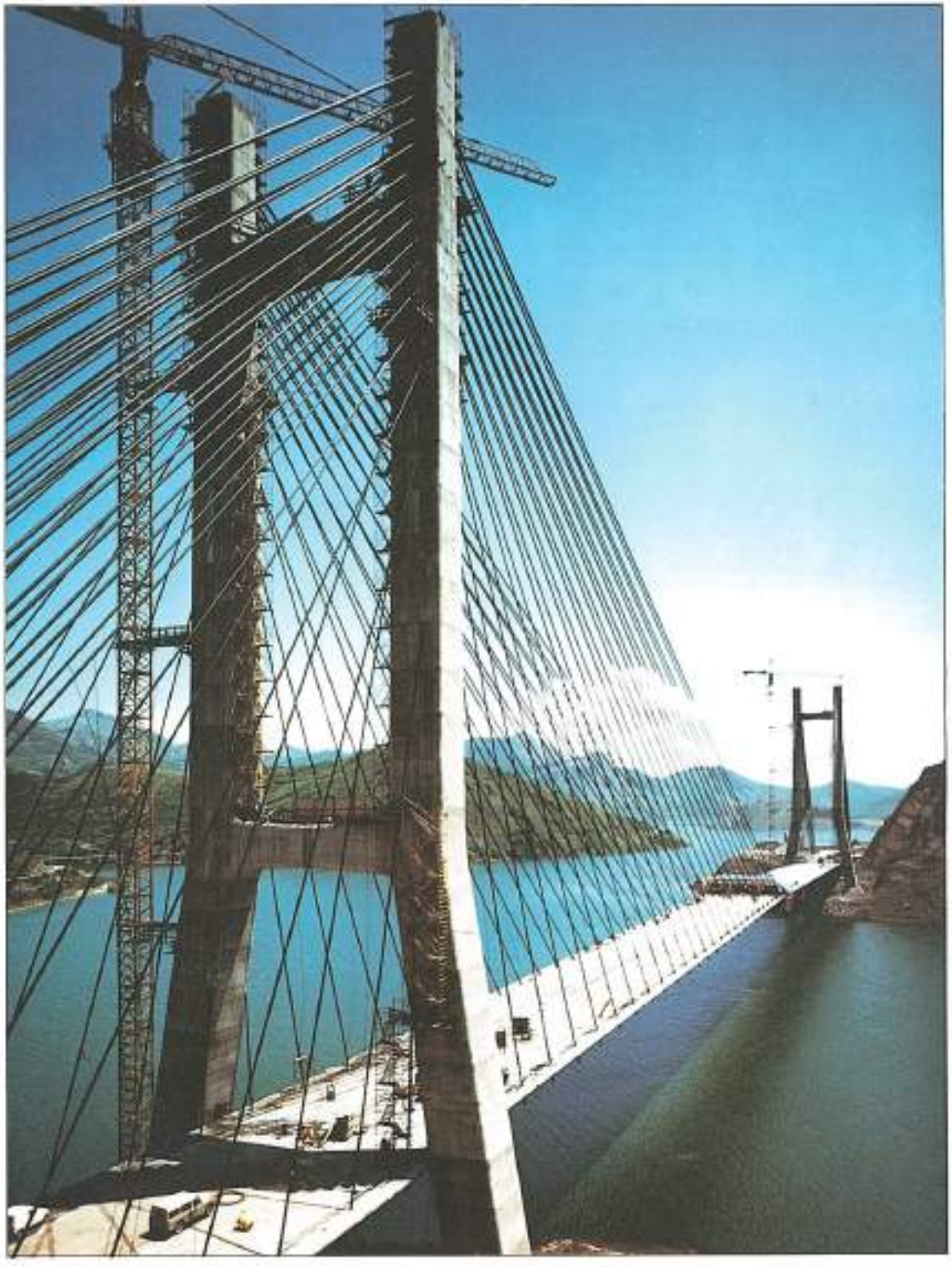
Posee una superficie retro-reflectante y antideslizante que aumenta su visibilidad, aún en las horas más oscuras, proporcionando una total identificación del marcaje, en cualquier situación metereológica y sea cual sea la intensidad de la luz emitida.

Ofrece una gran duración al ser especialmente resistente al desgaste. Y su aplicación es fácil e instantánea, al no tener tiempo de secado.

Si desea más información sobre **Stamark**, marcaje de pavimentos, póngase en contacto con nosotros.

Dpto. Productos Reflectantes
3M España, S. A.
Apartado 25. 28080 Madrid

3M



Puente "Ingeniero Carlos Fernández Casado" sobre el embalse de Barrios de Luna. Autopista Campomanes-León.

ESTE PUENTE EXIGE CABLES DE ALTA TECNOLOGIA

TYCSA

Trenzas y Cables de Acero, S.A.

Passeig de Gràcia, 7
08007 BARCELONA
Teléf. 317 61 00

DESCRIPCION	PERFILOMETRO CAR	PERFILOMETRO CHLOE	RUGOMETRO BPR	CARRO MEDIDOR PCA
1. Aparato	Remolque	Remolque y carro	Remolque y carro	Carro
2. Respuesta básica	Pendiente y altura	Pendiente	Altura	Altura
3. Proporcionalidad	Cuadrática y lineal	Cuadrática	Lineal	Cuadrático
4. Designación aceptada de medida	Varianza de pendiente y sistema HI-ID	Varianza de pendiente	Rugosidad	Sumatoria de las desviaciones del carro medidor
5. Velocidad de medida	1 a 3 mph	3 a 5 mph	20 mph	40 a 50 mph
6. Velocidad de traslado	Límite legal	Límite legal	Límite legal	Límite legal
7. Calentamiento en campo	Ninguno	15 minutos	5 minutos	1 minuto
8. Requisitos en campo	Descargar el aparato del transporte, armarlo y calibrar	Descargar la unidad del transporte, acoplar cables y calibrar	Rueda grabadora, corrector integrador y contadores	Detener el vehículo y ajustar en cero el dispositivo
9. Longitud de sección máxima	10 millas	0,5 millas	Limitado por la capacidad del contador	Ilimitado
10. Longitud de sección mínima	100 metros	No recomendable para menos de 160 metros	No recomendable para menos de 160 metros	No recomendable para menos de 160 metros
11. Presentación de los datos	Raíz cuadrada de los conteos	Raíz cuadrada de los conteos	Contador numérico sencillo	Totalización de los contadores
12. Ubicación de la presentación	Adyacente al operador	Adyacente al conductor	Adyacente al conductor	Adyacente al conductor
13. Determinación de longitud de la sección	Marcadores viales	Contador	Contador	Odómetro y marcadores viales
14. Requerimiento de los datos en campo	Una lectura al final de cada sección	Registrar tres lecturas	Una lectura al final de cada sección	Lecturas de 8 contadores al final de cada sección
15. Chequeos en campo	Calibración de los dos sistemas	Ninguno	Revisión del amortiguador	Ajustar en cero el dispositivo
16. Procesamiento de datos en oficina para determinar rugosidad	Calcula raíz cuadrada SV directamente en sitio	Calcula SV de 3 lecturas	Distribución en tablas (puede hacerse en campo)	Totalización y distribución en tablas.
17. Uso adicional de los datos	Registro periódico de la serviciabilidad	Ninguno	Ninguno	Distribución de frecuencia de las alturas de rugosidad
18. Mantenimiento	Chequear sistemas mecánicos y eléctricos	Desperfectos frecuentes requieren reparaciones	Engrase de juntas y servicio de amortiguadores	Pulir conmutador para asegurar contacto
19. Disponibilidad comercial	Sí	No	Sí	Sí
20. Costo aproximado (en $ US)	1.200 $	—	25.000 $	1.000 $ (sin el vehículo remolcador)
21. Apreciación lectura mínima	0,2 mm	Desconocida	2,5 mm	3,2 mm

TABLA 2. Comparación entre aparatos medidores de rugosidad.

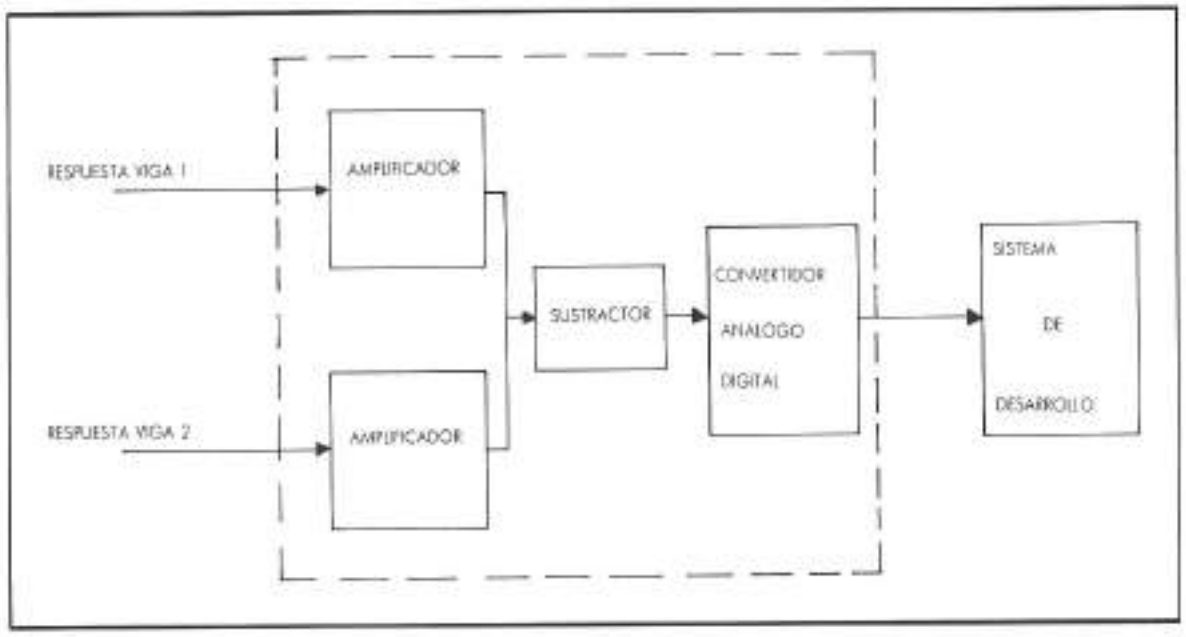


FIGURA 18. Diagrama de Bloque. Tarjeta Analógica.

REIVINDICACIONES

Se presenta como reivindicación principal la estructura del Perfilómetro CAR, la cual es única en su tipo en Venezuela, debido a que no existe un aparato para comprobar el acabado de la superficie de los pavimentos con la forma y finalidad del mismo.

El aparato consta de una estructura modular de 5 m de longitud, 0,50 m de ancho y altura variable que va de 0,80 m en su parte central hasta 0,40 m en los extremos.

Dependiendo de estudios posteriores que puedan desarrollarse con interés técnico o académico, las dimensiones del aparato podrán variar. A nivel internacional existen aparatos similares, es decir, medidores de rugosidad.

Existen dos mecanismos que deben incluirse en la protección solicitada:

1. SISTEMA SV

En nuestro país no existe este mecanismo, y la solicitud de protección se basa en que hemos logrado agrupar una serie de elementos existentes que logran conformar y funcionar un proceso de medición de pendientes longitudinales.

El Sistema consta de:

A. Dispositivos mecánicos: ejes, topes, ruedas, vigas.

B. Componentes electrónicos: strain gages.

2. SISTEMA HI-LO

Tampoco existe en el país este mecanismo, en el que se han agrupado diversos elementos para formar un sistema novedoso para detectar los puntos altos y bajos del pavimento con respecto a un nivel de referencia.

Se compone de:

A. Dispositivo detector de puntos altos y bajos (eje de movimiento vertical).

B. Aparatos de almacenamiento y expulsión de pintura.

Los Sistemas HI-LO y SV existen a nivel internacional, pero tanto sus componentes como su funcionamiento difieren de los utilizados por el perfilómetro CAR.