

INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS FOR VEHICULAR TRAFFIC

SISTEMAS DE CONTROL INTELIGENTE PARA EL TRÁFICO VEHICULAR

PhD. Antonio F. Muñoz Moner*, Ing. Yolanda Carreño G.*, PhD. Aldo Pardo G.**

*Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Grupo de Investigación de Control & Mecatrónica.

Avenida 42, No. 48-11, Bucaramanga, Santander, Colombia.

Tel.: +57-7-6436111/6436261, Centro de Contacto: 018000127395.

**Universidad de Pamplona, Grupo de Investigación A&C.

Km. 1, Vía Bucaramanga, Pamplona, Colombia, Tel.: +57-7-5685303.

Tel.: +57-7-5685303, Fax: +57-7-5685303, Ext. 164.

E-mail: {amunozm, ycarreno866}@unab.edu.co, apardo13@hotmail.com

Abstract: This paper presents a methodology to implement intelligent control systems based on fuzzy logic to evaluate the behavior of the pavements in real time through strain sensors, humidity, temperature and vehicular traffic.

Keywords: Control of vehicular traffic, deformation, temperature, humidity, and fuzzy logic.

Resumen: El artículo presenta la metodología para la implementación del control inteligente basado en lógica fuzzy evaluados en tiempo real en pavimentos dotados de celdas de carga, sensores de humedad, temperatura y tráfico vehicular.

Palabras clave: Carreteras inteligentes, Control de tráfico vehicular, instrumentación de pavimentos.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación fue realizada dentro del proyecto de titulado "Investigación de sistemas de control inteligente del tráfico vehicular y desarrollo de instrumentación para la medición de alta precisión de parámetros asociados al monitoreo, mando y control automáticos de carreteras urbanas, que sirvió de referente para el Proyecto aprobado en el marco de la Convocatoria Nacional 510 del año 2010 del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS.

El modelo difuso implementado es de tipo Takagi-Sugeno, los procedimientos aplicados del modelo difuso son: fusificación de las entradas, evaluar las funciones de pertenencia de cada entrada de

acuerdo con el valor fusificado, evaluación de las reglas, cálculo y defusificación de la salida para la fusificación y defusificación se consideraron los valores de entrada y salida a una escala definida en el sistema difuso de acuerdo a la metodología adoptada.

2. METODOLOGÍA

Los sistemas de control se realiza de acuerdo a una secuencia de pasos que permita lograr un modelo adecuado a las condiciones reales del comportamiento de los pavimentos, como caso estudio tomamos el proceso de medición y control de la temperatura, tráfico vehicular, deformación y humedad.

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE LOS SENSORES

3.1 Modelo del Sensor para el control del tráfico vehicular basado en el método piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico es reversible si al material se le aplicase una carga eléctrica este se deformaría en respuesta.

Para compensar el efecto sobre la sensibilidad en la medición es decir la alta impedancia de salida del elemento piezoeléctrico, es necesario un preamplificador con alta impedancia R_p resistiva de entrada. El esquema se indica en figura 1.

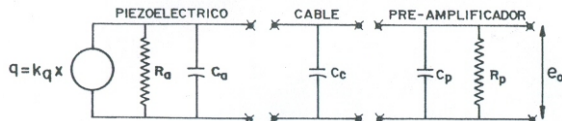


Fig. 1. Circuito de medición para un elemento piezoeléctrico. Preamplificador de voltaje.

Se ha inducido también la capacitancia C_c del cable entre el piezoeléctrico y el preamplificador y la capacitancia de entrada C_p del preamplificador. La resistencia del cable se desprecia debido a su pequeño valor (el cable no debe ser muy largo, como se demostrará en seguida).

La figura 2 muestra el mismo circuito reducido, gracias a que todas las componentes están en paralelo.

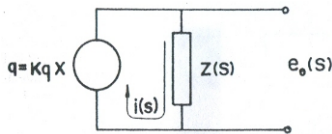


Fig. 2. Circuito reducido para el sistema de la figura 1.

Las tres capacitancias se suman y por lo tanto:

$$C = C_a + C_c + C_p \quad (1)$$

Las resistencias se suman (en paralelo) y, por lo tanto,

$$R = R_a \cdot R_p / (R_a + R_p) \quad (2)$$

La impedancia resultante es la suma en paralelo de R y $1/Cs$

$$Z(s) = R / (1 + RCs) \quad (3)$$

La corriente que circula por el piezoeléctrico depende de la razón de cambio de la carga q .

$$i(t) = dq/dt = k_q(dx/dt); i(s) = k_q sx(s) \quad (4)$$

Finalmente, el voltaje de salida se determina según

$$e_0(s) = i(s)Z(s) \quad (5)$$

Combinando las ecuaciones (3); (4) y (5) se tiene

$$\frac{e_0(s)}{x(s)} = G(s) = \frac{a_2 t s}{1 + t s}; a_2 = \frac{K_q}{C}; t = RC(s) \quad (6)$$

$$C = C_a + C_c + C_p; R = R_a \cdot R_p / (R_a + R_p) \quad (7)$$

En la ecuación (6) se observa que la constante de tiempo puede ser elevada si la capacidad C total es elevada, pero esto se opone a una adecuada sensibilidad. La única forma de elevar la constante de tiempo sin afectar la sensibilidad es obtener un elevado valor de R_p del preamplificador puede tener una resistencia $R_p = 4.5 M\Omega$ en paralelo con $C_p = 1$ pF.

La sensibilidad estática depende de la constante del generador de cargas, pero disminuye con la capacitancia total. La capacitancia del piezoeléctrico y del preamplificador se controlan en la producción, pero la del cable depende de su longitud (95 pF/m es un valor típico para un cable de buena calidad). Entonces, la sensibilidad depende de la longitud del cable y esto se debe tener bien en cuenta. Si es posible por cuestiones de espacio, el preamplificador se debe conectar junto al transductor, reduciendo a cero la capacitancia del cable.

La sensibilidad estática resulta dividir 0.9 C/m, es decir, 0.9 F.V/m entre 815.10^{-12} F, siendo el resultado de 1104.10^6 V/m, es decir, 1104 V/um. La variación relativa en sensibilidad estática debido al cambio de la capacitancia ΔC_c del cable se puede hallar según la expresión:

$$\frac{\text{cambio en sensibilidad}}{\text{sensibilidad inicial}} = -\frac{\Delta C_c}{C + \Delta C_c} \quad (8)$$

El amplificador operacional, debido a su alta ganancia y su alta impedancia de entrada se comporta como un elemento con un potencial de entrada prácticamente nulo y que sin embargo, no deja pasar la corriente. La relación entre el voltaje e_x a la entrada y e_o a la salida es:

$$e_0 = -ke(x); e_0(s) = -ke_x(s) \quad (9)$$

La impedancia $Z_2(s)$ resultante de la resistencia y la capacitancia de retroalimentación del amplificador operacional es

$$Z_2(s) = \frac{R_f}{1 + R_f C_f S_f} \quad (10)$$

Para el circuito de la figura 2 se puede escribir:

$$e_x(s) = i_a(s) Z_1(s); \quad (11)$$

$$e_x(s) - e_0(s) = i_b(s) Z_2(s); \quad (12)$$

$$i(s) = i_a(s) + i_b(s). \quad (13)$$

Resolviendo el sistema formado se tiene:

$$\frac{e_0(s)}{x(s)} = \frac{k_q Z_2(s) S x(s)}{1 + \frac{1}{k} + \frac{1}{k} \cdot \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}} \quad (14)$$

Como la ganancia k del amplificador operacional es muy grande, el denominador vale la unidad. Por lo tanto:

$$\frac{e_0(s)}{x(s)} = G(s) = -a_2 \cdot \frac{t s}{1 + t s} \quad (15)$$

Los preamplificadores del tipo descrito se denominan preamplificadores de carga. Desde el punto de vista electrónico son más complejos que los preamplificadores de voltaje, pero cada año se nota una tendencia mayor a reemplazar totalmente a los primeros, debido a la ventaja de independizar el comportamiento del transductor de la longitud de cable utilizado.

3.2 Modelo del sensor para el control de la deformación basado en el método magnetostrictivo

La magnetostricción se define como el cambio de dimensiones que experimentan los materiales ferromagnéticos al aplicarles un campo magnético. La máxima deformación magnetostrictiva observada, el incremento de longitud en una dirección determinada normalizado a su longitud original, se encuentra alrededor de 10-5 en el caso de los materiales convencionales y supera el valor 10-3 para ciertas aleaciones (materiales de magnetostricción gigante).

La magnetostricción puede ser positiva, cuando el material se expande al ser magnetizado, o negativa si se contrae. Para los materiales con magnetostricción positiva, la magnetización aumenta con la tensión mecánica, mientras que disminuye si la magnetostricción es negativa. El níquel es el paradigma de material de magnetostricción negativa. Siempre se contrae para valores crecientes del campo magnético. Por contra, el hierro presenta magnetostricción positiva, aunque sólo para campos moderados, ya que para campos altos ésta es negativa.

La deformación magnetostrictiva es una función par del campo, es decir, el signo de la deformación es independiente del signo del campo. Así, bajo la acción de un campo alterno moderado, un material de magnetostricción positiva siempre incrementará una de sus dimensiones cuando crezca el valor absoluto del campo instantáneo, y regresará a su posición inicial cuando éste disminuya. Debido a este carácter rectificador, la aplicación de un campo magnético alterno genera en un magnetostrictivo un movimiento de frecuencia doble respecto a la excitación.

3.3 Modelo del sensor para el control de la temperatura y la humedad basado en el método termoresistivo

La resistencia eléctrica de varios materiales cambia con la temperatura en una forma definida, pudiendo este fenómeno constituir el fundamento de un método para medir temperatura. Los materiales que se utilizan actualmente para medir resistencia eléctrica pueden agruparse en dos categorías principales: los conductores (metales) y los semiconductores. Los primeros fueron desarrollados antes y se denominan termómetros de resistencia. Los segundos se desarrollaron posteriormente y se denominan termistores. Cualquier técnica para medir resistencias (como el puente de *Wheatstone*) es compatible con estos elementos.

3.3.1 Respuesta dinámica de los sensores de temperatura

La característica dinámica de un sensor de temperatura está relacionada con la transferencia y acumulación de calor que determinan que el sensor incluya medios protectores, como el encapsulado de los termistores en la figura 3.

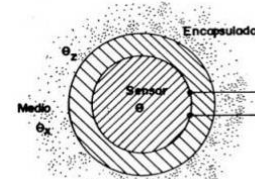


Fig. 3. Modelo para el análisis de la dinámica de un sensor térmico con encapsulado.

Las temperaturas q_x , q_z y q son los cambios de las temperaturas del medio, la pared externa del encapsulado y la del sensor con respecto a la temperatura inicial de equilibrio. Para los elementos del sistema se conoce que:

U_w y U_s	Coefficiente global de transferencia de calor entre el medio y el encapsulado y entre el encapsulado y el sensor.
A_w y A_s	Area de transferencia de calor del encapsulado y del sensor.
m_w y m_s	Masa del encapsulado y del sensor.
C_w y C_s	Calor específico a volumen constante de la pared y el sensor.

El calor que entra al encapsulado es:

$$q = A_w U_w (q_x - q_z) \quad (16)$$

El calor que sale del encapsulado es:

$$q_1 = q - m_w C_w q_z \quad (17)$$

El calor que sale del encapsulado es igual al que entra al sensor, el cual se acumula en la masa del sensor, según la expresión:

$$q_1 = A_s U_s (q_x - q_z) \quad (18)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones (16), (17) y (18) se obtiene:

$$\frac{q(s)}{q_x(s)} = \frac{1}{t_w t_s s^2 + (t_w + t_s + d)s + 1} \quad (19)$$

Donde:

$$t_w = \frac{m_w C_w}{U_w A_w}; t_s = \frac{m_s C_s}{U_s A_s}; d = \frac{m_s C_s}{U_w A_w}$$

En la ecuación (19), $t(s)$ es la constante de tiempo de sensor y $d(s)$ un término de acoplamiento, debido a las impedancias de salida del encapsulado y de entrada del sensor.

Se tiene entonces un sistema de segundo orden sobre amortiguamiento si d es pequeño comparado con $(t_w + t_s)$:

$$\frac{q(s)}{q_x(s)} = \frac{1}{(1 + t_w s) + (1 + t_s s)} \quad (20)$$

Finalmente,

$$\frac{q(s)}{q_x(s)} = \frac{1}{(1 + t_s s)} \quad (21)$$

El modelo desarrollado es bastante flexible, aunque en algunos casos no es suficientemente exacto. Se puede lograr más exactitud, añadiendo más grados de libertad (incógnitas) al sistema, como por ejemplo, una temperatura q_y en la pared interna del encapsulado y, por lo tanto, considerando la transferencia de calor por conducción a través del

encapsulado. Para muchas aplicaciones o para estimar semi-cuantitativamente la influencia de algunos parámetros en la respuesta dinámica de un sensor de temperatura, las ecuaciones desarrolladas rinden resultados satisfactorios.

3. DISEÑO Y APLICACIÓN DEL CONTROL DIFUSO

Para el diseño de la interfaz por el cual se podrán ver los resultados obtenidos de los sensores se usó la plataforma gráfica Labview (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) con aplicación de la plataforma de instrumentación y análisis por PCs; para la adquisición de datos y el control de los sistemas, se utilizaron las funciones de RS-232/485 VISA (*Virtual Instrument Software Architecture*), las librerías de instrumentos de análisis para la generación de señales, filtros de procesamiento de señales, ventanas, estadística, regresión, álgebra lineal y aritmética de arreglos lógicos.

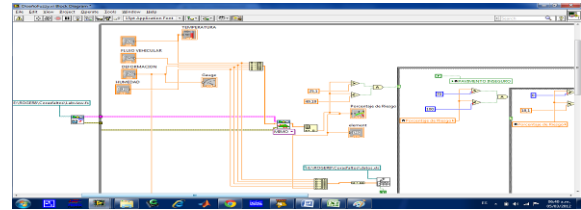


Fig. 4. Lectura de sensores y multiplexación.

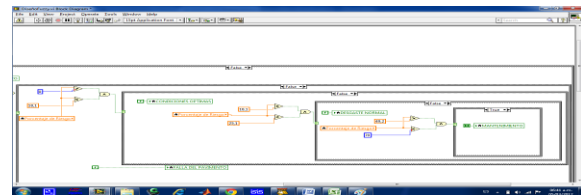


Fig. 5. Identificación de salidas.

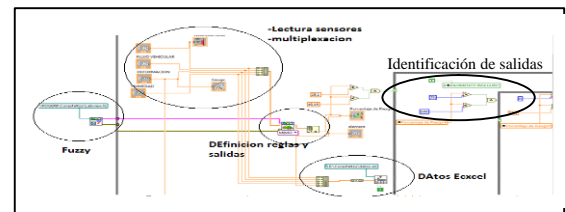


Fig. 6. Controlador difuso.

La lectura de los sensores y multiplexación de los mismos ocurren en la zona superior izquierda donde todos los canales se unen en un solo canal para ingresar al controlador difuso. En este orden el comportamiento de los sensores se almacenan en tiempo real, la zona *fuzzy* es la encargada de

almacenar los datos de los grupos que controlan las variables definidas del pavimento. La definición de reglas hace referencia a la comparación por medio de un bloque MIMO (múltiples entradas múltiples salidas) debido a que se usaron varias entradas, es decir varios sensores. La interfaz gráfica se puede explicar mediante las siguientes imágenes las cuales están constituidas principalmente por el manejo y visualización de variables tales como los valores mínimos y máximos establecidos por el PID, el control manual para el manejo de valores de la gráfica, el indicador visual y las alarmas que visualizan el comportamiento variable del pavimento.

Tabla 1. Definición de las alarmas

Interfaz gráfica	Controlador difuso	Significado
Condiciones óptimas	Alerta Baja	El pavimento cumple con las normas exigidas por INVIAS.
Desgaste normal	Alerta Media Baja	Por la cantidad del flujo vehicular se considera que el pavimento permanece en un estado normal.
Pavimento inseguro	Alerta Media	El pavimento no está en buenas condiciones y por tanto no cumple con las normas de INVIAS. Se determina así porque el flujo vehicular es muy bajo y el pavimento presenta humedad y deformaciones no permitidas para pavimentos recién colocados en la vía.
Mantenimiento	Alerta Media Alta	El pavimento presenta deformaciones y humedad con un flujo vehicular medio o medio alto. Por tanto el pavimento necesita de mantenimiento
Falla del pavimento	Alerta Alta	El pavimento falla debido a que ha superado un flujo vehicular mayor de 17000 y alteraciones en la humedad y deformación.

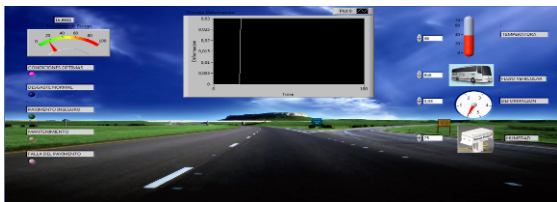


Fig. 7. Interfaz Gráfica – Condiciones Óptimas.

La alerta “Condiciones óptimas” se define en condiciones de temperatura de 27 °C a 38 °C (temperatura ambiente), con un flujo vehicular menor que 2500 ciclos y una deformación de 3 mm y se observa que el pavimento cumple con las normas de calidad exigidas por INVIAS y presenta un comportamiento adecuado.

Sí el número de ciclos del tráfico vehicular se encuentra por encima de 2500 quiere decir que superó la etapa de la deformación elástica y por tanto se considera un desgaste normal ya que hay deformaciones menores a 1.5 cm.

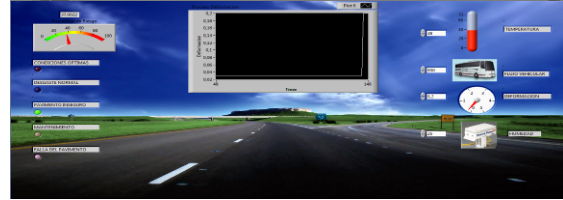


Fig. 8. Interfaz Gráfica – Desgaste Normal.

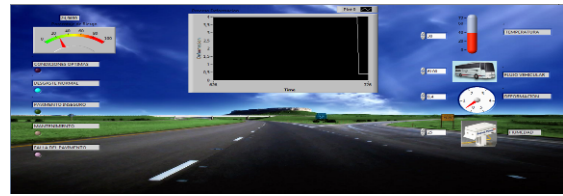


Fig. 9. Interfaz Gráfica – Pavimento Inseguro por el efecto de la deformación.

Para condiciones de temperatura de 27 - 40 grados Celsius, un flujo vehicular que no supere los 2500 ciclos y una deformación de 20 mm, se considera que el pavimento no cumple con las normas de calidad exigidas ya que la deformación supera los 15 mm permisibles en la primera etapa de ciclos y por tanto es un pavimento inseguro.

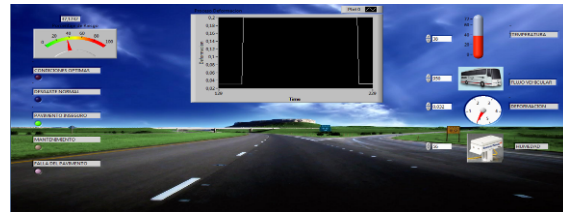


Fig. 10. Interfaz Gráfica – Pavimento Inseguro por el efecto de la humedad.

Para condiciones de temperatura ambiente normales entre 27-38 grados Celsius, una deformación de 3 mm, un flujo vehicular menor a 2500 ciclos y una humedad superior a 45, se considera que el pavimento tiene una baja permeabilidad y sus composición permite fácilmente la adherencia del agua a su composición. Se considera que en tan poco tiempo de uso no debería permitir tanta humedad y por tanto el pavimento es inseguro.

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores con una variación de aumento en la humedad del 80 %, se considera que el pavimento necesita mantenimiento. Según pruebas del laboratorio el

pavimento se comporta de manera deficiente y por tanto el control difuso envía una alarma de que el porcentaje de agua en el asfalto generara una tendencia a desgastar el material de manera rápida.

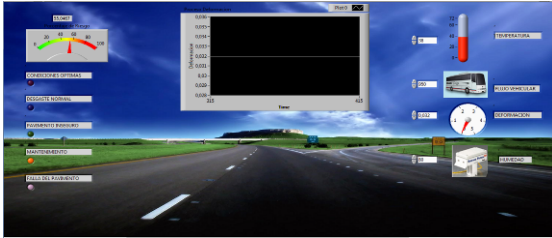


Fig. 11. Interfaz Gráfica – Mantenimiento por el efecto de la humedad.



Fig. 12. Interfaz Gráfica – Mantenimiento por el efecto de la deformación.

Según la información del experto se considera que si el pavimento presenta una deformación por encima de 1.5 cm. El pavimento tiende a deformarse en grandes cantidades tanto que lo más conveniente para conservar el estado de la vía es realizarle un mantenimiento oportuno para así mejorar las condiciones actuales y poder garantizar que el ciclo de vida del pavimento permanezca en condiciones óptimas.

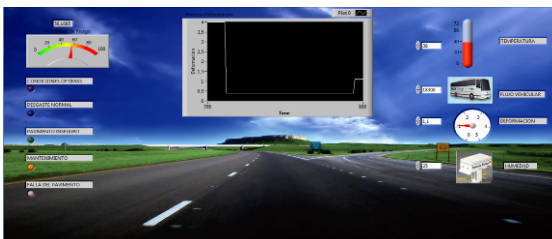


Fig. 13. Interfaz gráfica – Mantenimiento por efecto del flujo vehicular.

Otra condición importante es el flujo vehicular ya que si está por encima de 15000 ciclos inicia la zona plástica, donde la deformación tendrá una pendiente mayor debido a que el pavimento ha cumplido en teoría su ciclo de vía útil. Y por tanto el controlador inspecciona que se debe revisar el pavimento emitiendo una alarma de “mantenimiento” así como se muestra en la interfaz gráfica.

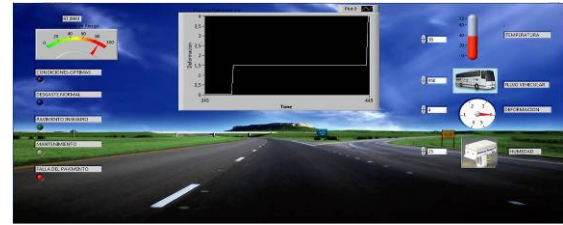


Fig. 14. Interfaz gráfica – Falla del Pavimento.

De manera similar el experto indica que luego de una deformación de 4 cm el pavimento no estará en condiciones de servir como vía y por tanto el controlador inteligente toma envía una alerta de que el pavimento esta deteriorado y se debe considerar un cambio significante en las capas que componen la vía.

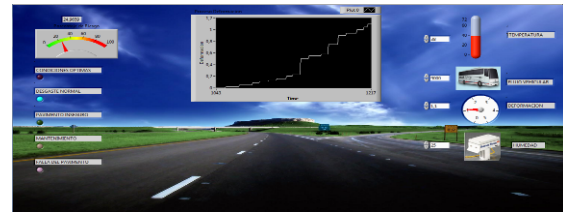


Fig. 15. Inicio gráfica de la Deformación en el tiempo.

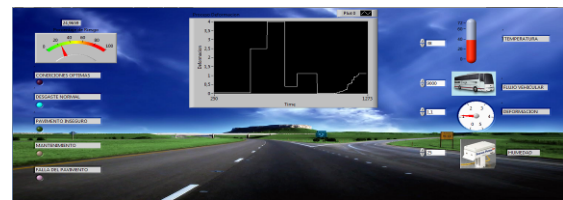


Fig. 16. Seguimiento del comportamiento de la deformación en tiempo real.

Tabla 2. Pruebas del registro en la base de datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
11113	38	210	0	25	6.375						
11114	38	210	0	25	6.375						
11115	38	210	0	25	6.375						
11116	38	210	0	25	6.375						
11117	38	210	0	25	6.375						
11118	38	210	0	25	6.375						
11119	38	210	0	25	6.375						
11120	38	210	0	25	6.375						
11121	38	210	0	25	6.375						
11122	38	210	0	25	6.375						
11123	38	210	0	25	6.375						
11124	38	210	0	25	6.375						
11125	38	210	0	25	6.375						
11126	38	210	0	25	6.375						
11127	38	210	0	25	6.375						
11128	38	210	0	25	6.375						
11129	38	210	0	25	6.375						
11130	38	210	0	25	6.375						
11131	38	210	0	25	6.375						
11132	38	210	0	25	6.375						
11133	38	210	0	25	6.375						
11134	38	210	0	25	6.375						
11135	38	210	0	25	6.375						
11136	38	210	0	25	6.375						
11137	38	210	0	25	6.375						

Se observa que el comportamiento de la deformación en el tiempo de la figura 13 es similar a la gráfica que se registra en la base de datos y los datos de los sensores de temperatura, humedad y flujo vehicular también son iguales, debido a que los datos se almacenan simultáneamente.

3.1. Reglas del conjunto difuso

Se utiliza la técnica de defuzificación por centroide y a continuación se presentan las reglas más importantes del sistema.

Si la Temperatura es mayor que 57 °C y el Flujo Vehicular es menor que 2520 y la Deformación es mayor que 15 mm se genera una alerta media que quiere decir que el pavimento no está en buenas condiciones es decir que no cumple con las normas exigidas por INVIAS.

Si la Humedad está entre el 46% y el 78%, y el Flujo Vehicular es menor que 2520, la alerta es Media denominada en la interfaz gráfica como “Pavimento Inseguro”, y quiere decir que el pavimento no está en buenas condiciones y por tanto no cumple con la normas exigidas por INVIAS.

Si la Deformación está entre 1.35 cm y 2.9 cm la alerta es Media Alta, quiere decir que el pavimento se está deformando y necesita mantenimiento.

Si la Deformación es mayor que 2.9cm, la alerta es Alta, quiere decir que se está presentando una falla en el pavimento.

Si la Temperatura es mayor que 60 y el flujo vehicular está entre 2520 y 17500, la alerta es Media Baja, quiere decir que el pavimento está en condiciones normales y según la interfaz gráfica es un Desgaste Normal.

Si la Temperatura es mayor que 60 y el flujo vehicular es mayor que 17000, la alerta es Media Alta, quiere decir que el pavimento se está deformando y necesita mantenimiento.

Si la Humedad es mayor que 78% y el flujo vehicular es mayor que 17000, la alerta es Alta, quiere decir que se está presentando una falla en el pavimento.

Si el Flujo Vehicular es mayor que 17000, la alerta es Alta, quiere decir que el pavimento ya cumplió su ciclo de vida. En la interfaz gráfica se conoce como “Falla del Pavimento”.

El uso del software Labview se basa en la flexibilidad y facilidad de diseñar y crear controladores difusos de manera interactiva, el uso de este software evita un diseño más extenso y expuesto al error al ser necesario el modelamiento

matemático de cada zona de manera manual (grupos) y el acople de los conjuntos con las reglas. Con el entorno Labview se pueden crear interfaz gráficas con todos los complementos necesario para implementar la lógica difusa con sistemas MIMO (múltiples entradas y múltiples salidas) con un sistema de monitoreo en tiempo real y almacenamiento de datos totalmente confiable.

Tabla 3. Reglas del conjunto difuso.

Rule	Antecedents	Consequents
1	Deformacion IS DeformacionAlta THEN Salida IS AlertaMedia	
2	Deformacion IS Alerta THEN Salida IS AlertaAlta	
3	Humedad IS Alta THEN Salida IS AlertaMedia	
4	Flujo IS Zona Pluvial AND Deformacion IS DeformacionAlta THEN Salida IS AlertaMedia	
5	Flujo IS Zona Pluvial AND Deformacion IS DeformacionNormal AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
6	Flujo IS Zona Pluvial AND Deformacion IS Suficiente AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
7	Deformacion IS DeformacionAlta AND Flujo IS Zona Pluvial THEN Salida IS AlertaMedia	
8	Deformacion IS DeformacionNormal AND Flujo IS Zona Pluvial THEN Salida IS AlertaBaja	
9	Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Media THEN Salida IS AlertaMedia	
10	Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
11	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja AND Deformacion IS DeformacionNormal THEN Salida IS AlertaBaja	
12	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja AND Deformacion IS DeformacionNormal THEN Salida IS AlertaBaja	
13	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
14	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
15	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
16	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
17	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
18	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaBaja	
19	Temperatura IS Temperatura AND Humedad IS Baja AND Flujo IS Zona Pluvial AND Deformacion IS DeformacionNormal THEN Salida IS AlertaBaja	
20	Deformacion IS Alerta AND Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Humedad IS Baja THEN Salida IS AlertaAlta	
21	Temperatura IS Temperatura AND Flujo IS Zona Pluvial AND Deformacion IS DeformacionNormal THEN Salida IS AlertaBaja	

4. CONCLUSIONES

Esta investigación en pavimentos es de gran importancia para el país porque permite establecer las condiciones de la vía en tiempo real. Con este proyecto se logró diseñar un sistema de control inteligente difuso a través de la plataforma gráfica de Labview que permite integrar las señales en tiempo real de los sensores de humedad, temperatura, deformación, flujo vehicular y así brindar resultados de alertas a los operarios de vías sobre el estado del pavimento, alarmas tales como que el pavimento no cumple con las normas exigidas por Inviás, el pavimento necesita de mantenimiento oportuno y una alerta de falla cuando se debe hacer un cambio del pavimento.

Con los datos obtenidos experimentalmente en el Centro de Investigaciones Corasfaltos, se logró identificar variables y parámetros asociados al pavimento los cuales fueron utilizadas en el sistema implementado; los sistemas distribuidos de monitoreo y control utilizan herramientas flexibles con base en el sistema, se pudo integrar en un sistema operativo en tiempo real y diseñar una aplicación embebida con análisis ayuda por requerimientos de los algoritmos de control en LabVIEW con los Módulos LabVIEW DSC y LabVIEW Real-Time en el diseño, construcción e integración de sistemas distribuidos.

REFERENCIAS

- [1]. Carreño, Y., Investigación de Sistemas de Control Inteligente del Tráfico Vehicular y Desarrollo de Instrumentación de Alta Precisión de Parámetros Asociados al Monitoreo, Mando y Control Automáticos de Carreteras Urbanas. Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores "Virginia Gutiérrez de Pineda Colciencias, Colombia 2012.
- [2]. Kuo, B. "Sistemas de Control Automático". Séptima Edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México, 1996.
- [3]. Martínez, L. Sensores de fibra óptica codificados en frecuencia medida de voltaje y corriente. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. España, 2002.
- [4]. Montejo, A., Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, Estudios Básicos y Diseño, Tercera Edición, Tomo 1, Universidad Católica de Colombia, 2010.
- [5]. Muñoz, A., Medición del movimiento. En: Sensórica e instrumentación de alta precisión. Editorial mes. República de Cuba, 2002.
- [6]. Ogata, K. "Ingeniería de Control Moderna". Prentice-Hall Internacional. Englewood Cliffs. N.J., 1974.