

Modelo y simulación de un sistema de luces frontales adaptivas AFS virtual

Juan Carlos Lanzagorta Rojo
Facultad de Ciencias de la
Electrónica
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (BUAP)
Puebla, México
juancarloslanzagortarojo@gmail.com

José Emanuel López González
Facultad de Ciencias de la
Electrónica
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (BUAP)
Puebla, México.
jose.lopezgonza@alumno.buap.mx

Alberto Torres Victorino
Facultad de Ciencias de la
Electrónica
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (BUAP)
Puebla, México.
atvictorino@hotmail.com

Erick Gómez López
Facultad de Ciencias de la
Electrónica
Benemérita Universidad Autónoma
de Puebla (BUAP)
Puebla, México.
erick.gomezlo@alumno.buap.mx

Filiberto García Candia
Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (BUAP)
Puebla, México.
filiberto.candia@correo.buap.mx

Roberto Carlos Ambrosio Lázaro
Facultad de Ciencias de la
Electrónica
Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla (BUAP)
Puebla, México.
roberto.ambrosio@correo.buap.mx

Resumen— Las luces frontales de un automóvil juegan un papel crucial en la visibilidad del conductor y por lo tanto en su seguridad, el sistema de iluminación delantera de faros frontales adaptativos AFS (Adaptive Front lighting System), optimiza la distribución de la luz de los faros según las circunstancias de conducción. Dependiendo de la velocidad del vehículo y la entrada de la dirección, el sistema apunta las luces de cruce en la dirección en la que el conductor tiene la intención de viajar. En este trabajo se presenta el modelado para el control de un AFS virtual en carreteras con trayectorias curvas. Dentro del proceso de modelo virtual del sistema de iluminación se emulan las variables que una unidad de control electrónica (ECU) toma en cuenta para estos sistemas como son: el radio de curvatura, la distancia de paro, el ángulo de rotación de los faros a través de la velocidad, la dinámica de las ruedas utilizando el modelo de la bicicleta y la amplitud del haz luminoso, la simulación se llevó a cabo en software de programación gráfica y de laboratorio virtual LabVIEW. El modelo y la simulación virtual pueden encontrar aplicaciones didácticas para el área de ingeniería, así como la implementación de este control para sistemas AFS.

Keywords— *virtual, AFS, Luces frontales adaptivas, diagrama de bloques, radio de curvatura, iluminación automotriz*

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación automotriz son uno de los principales componentes en términos de seguridad activa con los que se cuenta al manejar un vehículo, además de hacer posible al conductor ver claramente el camino cuando hay condiciones climatológicas adversas o de baja iluminación, permiten, a su vez, que los peatones u otros conductores se enteren de la presencia, dirección, velocidad y dimensiones del vehículo en cuestión. Los sistemas de iluminación en la actualidad no se encuentran conformados únicamente por un

par de luces de cruce y carretera, luces traseras de freno, reversa o direccionales, sino que introducen además tecnologías que tienen la función de apuntar el haz de luz inteligentemente hacia dónde va el camino como son el AFS. Este sistema puede realizar sus tareas debido a que cuentan con diversos sensores que permiten determinar hacia dónde sería óptimo apuntar tanto en dirección como en ángulo el haz de luz y obtener la máxima iluminación sobre el camino [1].

Por ejemplo, en 2003 los vehículos como el Opel Signum incorporaron la luz dinámica de curva como se muestra en la Figura 1 y la luz estática de giro de 90 grados - para intersecciones y giros cerrados con faros xenón. Otra funcionalidad de confort adicional del ALS era la luz de autopista: a velocidades próximas a los 120 km/h practicando una conducción en línea constante, la altura de las luces cortas se ajustaba automáticamente y se elevaba ligeramente para mejorar la visión a larga distancia [2].

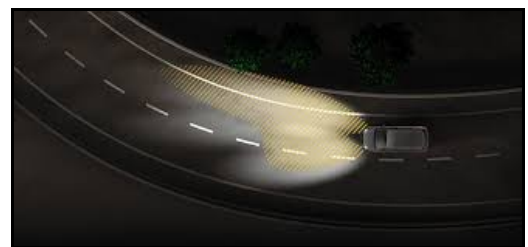


Fig. 1. Iluminación AFS vs Iluminación tradicional.

El sistema AFS necesita ser controlado mediante sistemas electrónicos los cuales cuentan con algoritmos de control que permiten un funcionamiento con un alto grado de autonomía y

muy poca intervención humana, asistiendo de la mejor manera al conductor, reduciendo el factor de distracción y aumentando la capacidad de visibilidad del entorno.

En la actualidad se sigue realizando trabajos de investigación para la tecnología AFS. Por ejemplo, se ha reportado un algoritmo de control para AFS basado en lógica difusa que contempla únicamente los parámetros de entrada de la velocidad del vehículo y el ángulo de la curva en el camino para tomar la acción de salida, que determino la velocidad y la intensidad total de los LED e iluminar la curva en el camino y poder así curvar el haz [3]. Otros esquemas de control, tales como el diseño de un algoritmo de control enfocado en optimización, mediante una red neuronal difusa y un filtro kalman, utilizando un doble lazo de retroalimentación y así controlar la posición de los faros halógenos y la velocidad de los actuadores en el AFS fue reportado en [4]. Otros trabajos han reportaron estudios matemáticos para determinar las ecuaciones que describen la dinámica que gobierna un automóvil al momento de girar en una curva donde se reportó la relación entre las características de giro en el vehículo y la dinámica del ángulo y la distribución de la luz en los faros [5]. El enfoque AFS ha suscitado un interés comercial en la iluminación curva. La mayoría de los trabajos reportados implican implementaciones solo de desplazamientos horizontales o verticales del patrón de haz de luz. Específicamente, la iluminación de la curva (también llamada luz de flexión o giro) implica controlar el objetivo horizontal del patrón del haz (o una parte de él) dependiendo de variables tales como el radio de la curva y la velocidad del vehículo; sin embargo para el desarrollo de plataformas de simulación de conducción del vehículo pocos trabajos se han reportado usando ambientes virtuales con AFS. En el presente trabajo se presenta el modelado y simulación para un sistema AFS virtual mediante el entorno de LabVIEW donde se considera la curvatura del camino, la distancia de frenado del vehículo, la dinámica vehicular entre otras variables.

II. DESARROLLO

A. Metodo aplicado

Se partió realizando una investigación del principio de funcionamiento del Sistema de iluminación frontal adaptativa. Esta tecnología fue patentada en 2003 por la empresa Hella, por tanto los parámetros de control dinámico para estos dispositivos se encuentran bajo patente. Sin embargo, se pueden desarrollar el análisis de los algoritmos que controlan el desplazamiento de la dirección del faro en un automóvil gracias a las señales de entrada y salidas de los controladores para los motores a pasos o los servomotores.

Cuando un vehículo está desplazándose sobre una carretera y se acerca hacia una curva, podemos llamar posición A, a este punto, como se muestra en la Figura 2. En este momento el sistema AFS empezará a tomar información generada por los sensores en el automóvil y generará los parámetros que se listan en la tabla 1.

TABLA I. PARÁMETROS INICIALES EN EL CONTROL AFS

Elemento	Parámetro de salida
1	Imágenes del sensor fotográfico
2	Velocidad del automóvil
3	Longitud del vehículo
4	Peso del vehículo
5	Radio de la curva
6	Ángulo de las ruedas

Toda esta información de control se envía a una unidad de control electrónico (ECU) que procesa los datos, y genera una señal enviada a la tarjeta controladora en un determinado periodo de tiempo (llamado intervalo D), para que cuando el vehículo entre a la curva (Llamado punto B) (Véase Fig. 2) el ajuste de los faros AFS esté completo, y se adapte a las condiciones del camino proporcionando una mayor visibilidad que una iluminación convencional, eliminando puntos muertos en el camino.

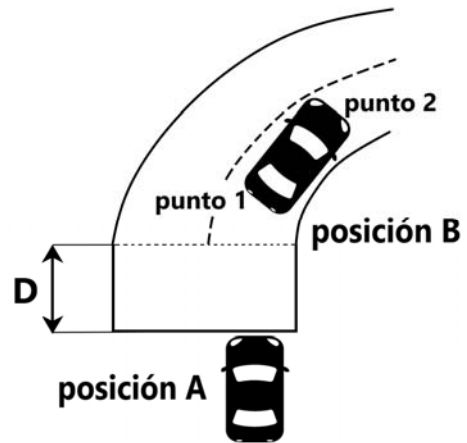


Fig. 2. Diagrama esquemático del manejo durante una curva

Para este trabajo se tomarán en cuenta las variables físicas entregadas a la ECU que a su vez generará una señal PWM para el control de los motores en las lámparas del vehículo. De esta manera el modelo virtual para el AFS está basado en una simulación; las variables físicas de los diferentes sensores también son emuladas en el entorno de programación grafica de LabVIEW, y se describen en las siguientes secciones.

B. Implementación de la variable de velocidad

Para la simulación de la variable de velocidad y tomando en consideración un entorno de simulación virtual se usó la configuración de los parámetros en NI MAX, un complemento de LabVIEW que permite trabajar con tarjetas de adquisición virtuales. Para la implementación de la señal de velocidad se configuró una variación senoidal con una amplitud de 10 V, y un ruido característico de la adquisición de señales analógicas, como se muestra en la Figura 3.

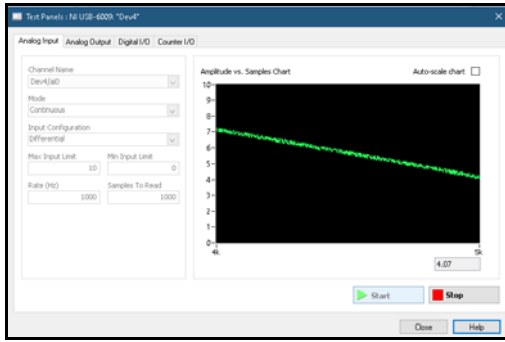


Fig. 3. Parámetros de simulación para una señal analógica establecida en el pin AI0 de una tarjeta USB-6009.

La señal de voltaje en este caso emula a la variable de velocidad con el propósito de emular los cambios de velocidad en el sistema AFS. En el diagrama de bloques del programa (VI) en LabVIEW se agregó un bloque de asistente virtual de adquisición de datos “DAQ Assistant”. A la salida del bloque de simulación se agregó una función de PID para obtener una señal procesada y se aplicó una ganancia de 10 para generar un rango de velocidad de entre 0-100 km/h, como se muestra en la Figura 4.

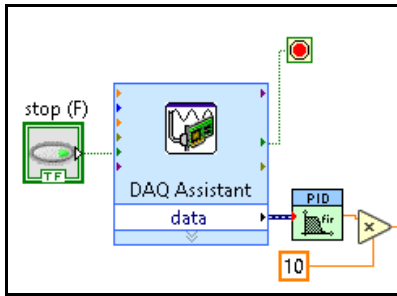


Fig. 4. Diagrama a bloques de la señal simulada de la velocidad del automóvil (Km/h).

C. Simulación de los parámetros de la curva del camino.

Como siguiente paso se requiere la sustitución de los parámetros del camino generados por el sensor de imagen. Este sensor entrega características intrínsecas de la posición del vehículo con respecto a la curva y es necesaria la relación de las ecuaciones dinámicas del automóvil para generar los parámetros del control AFS. En este punto se implementó un indicador numérico. Una Gráfica que cambia en función del tiempo (Waveform Chart) y un indicador de tipo perilla (knob) personalizado como se muestra en la Figura 5.



Fig. 5. Indicador personalizado tipo Knob.

D. Distancia visual de frenado

En el proceso de manejo, al encontrar obstáculos en el camino, será necesaria una distancia mínima para darle la oportunidad al conductor de tomar acciones y así evitar accidentes. La distancia total denominada distancia visual de frenado (Stopping sight Distance) toma en cuenta la distancia de reacción, la distancia de frenado, y la distancia segura de conducción, el esquema se muestra en la Figura 6.



Fig. 6. Distancia visual de frenado (Stopping Sight Distance).

El código de diseño de ruta de autopista JTG D20-2017 [6] y la norma técnica de ingeniería de carreteras JTG B01-2014 [7-8] establece a partir de tablas y gráficas la relación existente entre la distancia ideal de frenado en función de la velocidad del automóvil y del radio mínimo ideal en las curvas.

TABLA II. RELACIONES CORRESPONDIENTES ENTRE LA VELOCIDAD, LA DISTANCIA SEGURA DE FRENADO Y EL RADIO MÍNIMO EN CURVAS

Velocity: v(km/h)	120	100	80	60	40	30
Stopping sight distance: S(m)	210	160	110	75	40	30
Minimum radius of general circular curve "General value": Ro(m)	1000	700	400	200	100	65

La tabla II muestra que cuando la velocidad sea muy grande, el radio de la curva debe ser muy grande (Mayor a 500 metros), y la distancia segura de frenado debe incrementarse para reducir accidentes y mantener una velocidad constante.

De acuerdo con las características proporcionadas las normas mencionadas anteriormente, y a lo reportado por G. Guo et al en [9], donde se propuso el método de mínimos cuadrados para el ajuste cuadrático, se puede obtener relaciones aproximadas entre estos datos conocidos en MATLAB usando la ecuación (1)

$$S=0.0094v^2+0.5882v+3.8060 \quad (1)$$

$$Ro=0.08v^2-2.0304v+45.9701 \quad (2)$$

Donde S es la distancia de paro, v es velocidad actual y Ro radio mínimo "valor general" de circular. Estas igualdades permiten una relación entre la velocidad y los parámetros de seguridad por medio de ecuaciones de segundo orden.

Con el parámetro de la velocidad conocida implementado a través de un bloque de entrada de control en LabVIEW, se

procedió a la implementación de los bloques de control dinámico correspondientes a las ecuaciones 1 y 2, como se muestra en las figuras 7 y 8, posteriormente se agrupan en subprogramas (sub-VI), como se muestra en la figura 9.

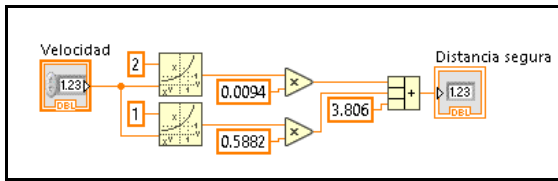


Fig. 7. Diagrama a bloques para la distancia de frenado segura.

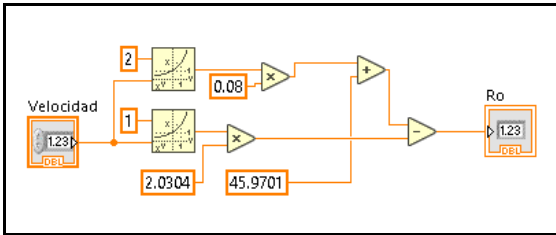


Fig. 8. Diagrama a bloques para el radio mínimo en las curvas.

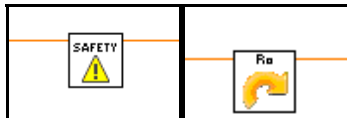


Fig. 9. Iconos de los subVI's: la distancia de frenado segura, e Icono del subVI del radio mínimo en las curvas.

Estos SubVI son parámetros importantes en la simulación que permiten controlar en ángulo indicado a la ECU para modificar la posición de las lámparas automotrices.

E. Parámetro de la orientación de los neumáticos con respecto al camino.

Este parámetro es un modelo conocido en la dinámica vehicular, para hacer un análisis de una manera simple se determinó usar el modelo de bicicleta [10], como se muestra en la figura 12.

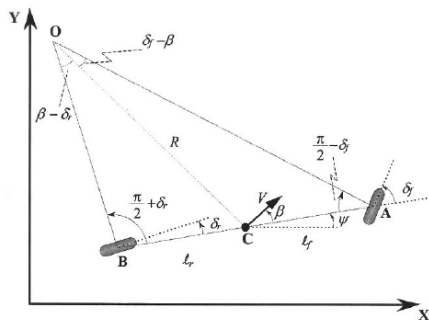


Fig. 10. Modelo de bicicleta del movimiento lateral del vehículo.

Este modelo establece un solo ángulo de desplazamiento de las ruedas el cual, para fines de simplificación, se determinará como el mismo ángulo del volante del automóvil y está dado por la siguiente igualdad.

$$\delta \cong L/R \quad (3)$$

Donde δ es el ángulo de las ruedas con respecto al eje longitudinal del vehículo, L es la longitud del automóvil (4.7m a 5 m dependiendo del vehículo), R es el radio del vehículo (Obtenido a partir de las ecuaciones que relacionan el radio de la curva con la velocidad y las distancias de seguridad). Por tanto, este parámetro se incluyó en el VI de LabVIEW con un acomodo de bloques conectado a un indicador personalizado de tipo perilla (Knob) como se muestra en las figuras 11 y 12 respectivamente, tomando en cuenta la conversión necesaria del valor obtenido de Radianes a Grados sexagesimales.

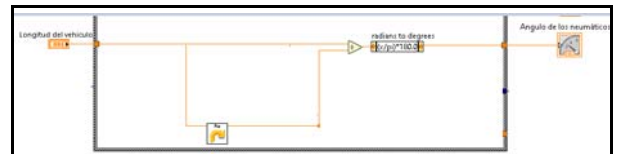


Fig. 11. Disposición de los bloques para la implementación del parametro de orientación de los neumáticos

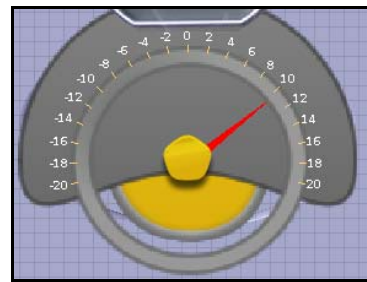


Fig. 12. Indicador personalizado de tipo Knob

F. Parámetro de la amplitud del haz de iluminación

A lo largo del desplazamiento del automóvil la iluminación frontal adaptativa se caracteriza por el control electrónico del haz de luz el cual se ensancha o se extiende dependiendo de la velocidad del vehículo y de las características del camino, como se ilustra en la figura 13.



Fig. 13. Control automático del haz de Luz por AFS.

Este parámetro es controlado por la velocidad del automóvil, obviamente, el ángulo visual se estrecha bruscamente con el aumento de la velocidad. A este fenómeno se le conoce como efecto túnel [11]. De acuerdo con W. Wang, y colaboradores [12] el control del ángulo de irradiación horizontal α_0 se puede obtener mediante ecuación (4) de ajuste de velocidad

$$\alpha_0 = -0.0002v^3 + 0.0503v^2 - 4.4036v + 210.0376 \quad (4)$$

Este valor está dado en grados y se enviará a la ECU, la cual debe procesar la información y generar un control en la relación entre el ángulo de irradiación y la longitud del haz del faro automotriz respecto a la velocidad del automóvil.

En LabVIEW se implementó un SubVI con la igualdad de la ecuación dependiente de la velocidad del automóvil, el cual se muestra en la figura 14.

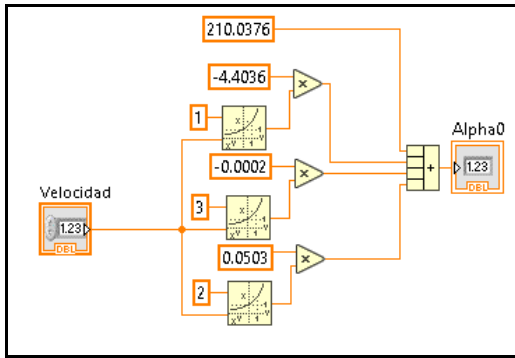


Fig. 14. Diagrama de bloques en LabVIEW para la obtención del ángulo de irradiación horizontal.

Se utiliza una gráfica de onda “WaveformChart” como indicador para observar el cambio del haz horizontal con respecto a la velocidad del automóvil. Se incluye un controlador booleano, como se muestra en la figura 15, para simular la proximidad de un vehículo, que normalmente sería alertada por un sensor tipo CCD [9], el haz se acorta y se ensancha 170.832 grados para eliminar el deslumbramiento al vehículo que se aproxima.

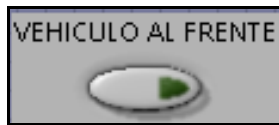


Fig. 15. Controlador booleano que simula proximidad

G. Configuración para la implementación del sistema AFS.

El modelo emula en LabVIEW el comportamiento de los parámetros de la iluminación AFS de un vehículo desplazándose a velocidad variable a lo largo de una carretera con curvas consecutivas, esto generó un análisis en tiempo y proporciona la oportunidad de configurar la dirección de las curvas sobre las que se desplaza el automóvil por medio de un control de tipo selector, direccionando la iluminación y la trayectoria de las ruedas, el selector se muestra en la figura 16.

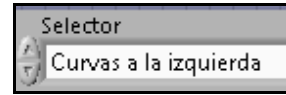


Fig. 16. Selector de la trayectoria del automóvil.

III. RESULTADOS

La simulación en LabVIEW contempla todos los parámetros determinados en el desarrollo de este trabajo, simulando un camino con curvas consecutivas con diferentes radios y tomadas a diferente velocidad, de esta manera se obtienen los siguientes resultados.

A. Ángulo deseado de los faros automotrices a través de las curvas (en grados)

El ángulo deseado en las curvas está determinado por una relación de los parámetros conocidos

$$\Theta = \arcsin(S/2R) \quad (5)$$

Donde S es la distancia de seguridad de frenado para que un vehículo pueda desplazarse a velocidad constante y R es el radio de las curvas (En la simulación de este proyecto dependiente de la velocidad del vehículo) como se muestra en la figura 17, en la figura 18 se muestra el diagrama de bloques para la ecuación 5 que incluye un control PID para el control de trayectoria.

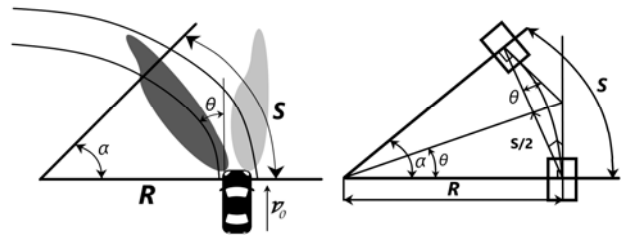


Fig. 17. Relación entre el ángulo de la iluminación deseado en función de los parámetros de la curva.

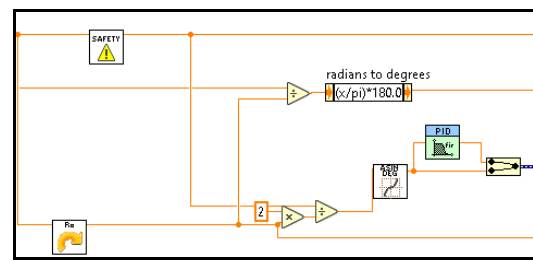


Fig. 18. Diagrama de bloques para la implementación del ángulo de control deseado de las lámparas en función de la curva.

El ángulo indicado que deben tomar los motores de los faros automotrices en la mayoría de las veces está controlado por una señal PWM, usando el modelo propuesto se muestran los resultados en la interfaz gráfica (panel frontal).

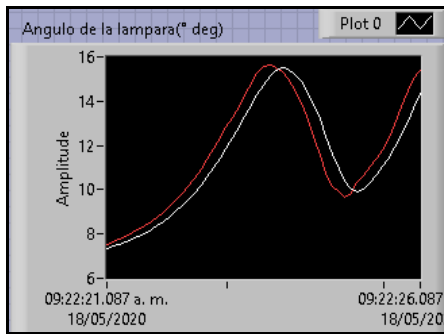


Fig. 19. Indicador de la forma de onda para el ángulo de la lámpara en función de la velocidad del automóvil con PID (Línea roja) y sin PID(Línea blanca)

En la figura 19 se observa que cuando la velocidad es muy alta (Cercana a los 100 Km por hora), el radio de la curva debe ser muy grande, y entonces el ángulo de los faros es aproximadamente de 7 grados. El punto ciego del camino se reduce y se puede conducir con seguridad. También se observa que con la reducción de la velocidad (Hasta aproximadamente 20 km por hora), se reduce el radio de la curva y el ángulo demandado por los faros automotrices aumenta hasta un pico máximo de 16 grados aumentando el punto ciego del camino.

Cuando la velocidad es muy pequeña (Cercana a 10 km/h que es la velocidad mínima aproximada a la cual se desplaza un vehículo) El radio de la curva demandada permite un desplazamiento seguro, el punto muerto de visibilidad es menor ante la mayor facilidad de reacción para el conductor, y el ángulo de la iluminación AFS se reduce una pequeña proporción. Sin embargo, en las tecnologías adaptativas actuales, en este punto el controlador de los faros activa una lámpara auxiliar establecida a un ángulo fijo cuando se le indica un cambio brusco de dirección en la trayectoria del automóvil

Cuando la velocidad del vehículo vuelve a aumentar, el ángulo de los faros vuelve hasta su punto máximo superior y después disminuye conforme la velocidad aumenta

Finalmente se implementa un control con un filtro PID que autoajusta las ganancias proporcional integradora y derivativa para generar una respuesta anticipada a los valores deseados del ángulo del faro automotriz AFS, y así poder calcular valores futuros en función de los valores actuales y pasados en un menor periodo de tiempo, aumentando la eficacia del control dinámico.

B. Amplitud del haz de iluminación

Este parámetro controla el ángulo de iluminación del camino dependiente de la velocidad del automóvil. En la figura 20 se observa un estrechamiento en el ángulo del haz luminoso cuando la velocidad del automóvil es muy alta, y un ensanchamiento en este mismo parámetro cuando la velocidad de conducción es baja.

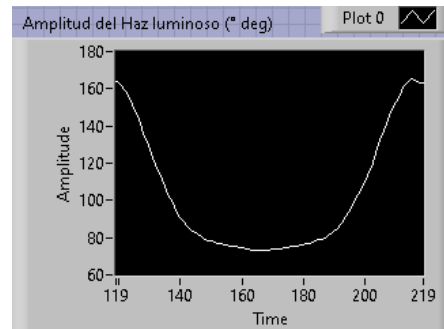


Fig. 20. Indicador de la forma de onda para la amplitud del haz de lámpara en función de la velocidad del automóvil.

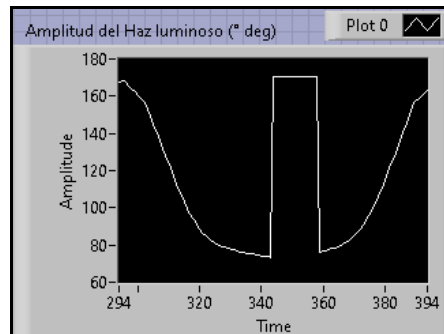


Fig. 21. Indicador de la forma de onda para la amplitud del haz de la lámpara cuando un vehículo se aproxima.

Cuando un vehículo se aproxima, un sensor tipo CCD (Simulado en LabVIEW como un controlador de tipo Booleano) manda una señal automática que se procesa y acorta el haz de la lámpara para evitar el deslumbramiento, como se observa en la figura 21. Cuando nuevamente el camino se encuentra despejado el ángulo del haz vuelve a su valor correspondiente.

El panel frontal para la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW se muestra en la figura 22, se tienen indicadores y botones que permiten interactuar y observar el comportamiento del AFS ante posibles situaciones en el camino.

En la Fig. 23 se observa el diagrama de bloques completo de programación para el sistema AFS.

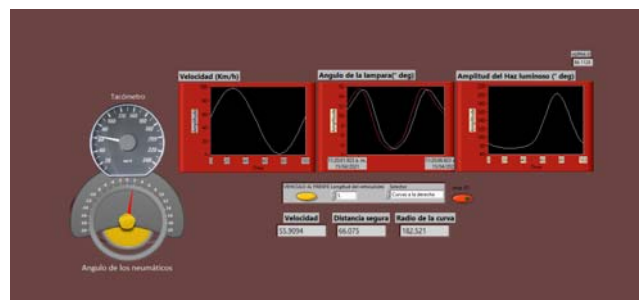


Fig. 22. Vista general del panel frontal desarrollado en LabVIEW

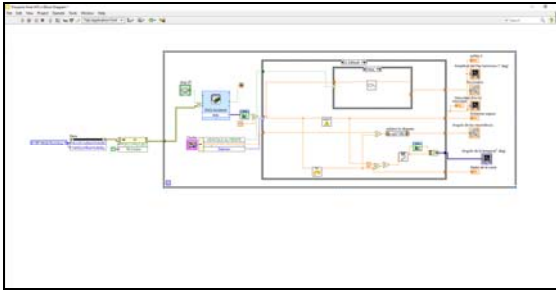


Fig. 23. Vista general del Diagrama de bloques desarrollado en LabVIEW

CONCLUSIONES

Se realizó el modelo de un control de iluminación frontal adaptativa virtual que simula las condiciones del automóvil a través de ecuaciones desarrolladas en Matlab y se realizó la simulación estructurada completamente en el ambiente de LabVIEW de un vehículo desplazándose en un camino de curvas. Se emularon las variables de salida que se procesarán en unidades de control electrónico que adquieren señales y controlan el movimiento de los motores a pasos o los servomotores para modelos específicos del vehículo. Como trabajo futuro se puede incorporar este modelo a un sistema de adquisición de datos para tener un prototipo de control de iluminación AFS.

REFERENCIAS

- [1] B. Wördenweber, J. Wallaschek, P. Boyce and D. Hoffman, *Automotive Lighting and Human Vision*, Germany: Springer, 2007.
- [2] Fernandez, Patentmotorwagen: cuando los coches iluminaban con velas, *abc.es*, Apr. 9, 2019. Accessed on: Mar. 20, 2021. [Online]. Available: <https://cutt.ly/evyUriv>
- [3] L. Lukacs., C. Fontes, M. Embirucu, and Pepe, I., "Implications and outcomes of controlling a LED AFS (Adaptive Front-Lighting System) using fuzzy logic for the South American Markets", *SAE Technical Paper 2009-36-0027*, 2009, Available://doi.org/10.4271/2009-36-0027P,
- [4] J. Liu, K. Cheng and J. Zeng, "A novel multi-sensors fusion framework based on Kalman Filter and neural network for AFS application", *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 37, no. 9, pp. 1049-1059, 2014.
- [5] L. Lifu, Y. Mingjun, "Dynamic bending Mathematical Model of vehicle adaptive front-lighting system based on rolling characteristics", *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 644-650, pp. 117-121, 2014,
- [6] "Automotive Adaptive Front-lighting System Reference Design" Jul., 2013. Accessed on: Mar. 20, 2021. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ug/spruhp3/spruhp3.pdf>
- [7] "Design Specification for Highway Alignment" Sept. 28, 2017. Accessed on: Mar. 20, 2021. [Online]. Available: <https://www.codeofchina.com/standard/JTGD20-2017.html>
- [8] "Technical Standard of Highway Engineering" Sept. 30, 2014. Accessed on: Mar. 20, 2021. [Online]. Available: <https://www.codeofchina.com/standard/JTGB01-2014.html>
- [9] F. Guo, H. Xiao and S. Tang, "Research of modeling and simulation on adaptive front-lighting system for corner based on CCD," 2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Guiyang, China, 2013, pp. 3598-3602, doi: 10.1109/CCDC.2013.6561572
- [10] R. Rahamani, *Vehicle Dynamics and Control*, Springer.com, Apr., 2012.
- [11] "Efecto tunel en la conducción" Dic. 15, 2015. Accessed on: Mar. 20, 2021. [Online]. Available: <http://www.conduccionresponsable.com/e-efecto-tunel-en-la-conduccion/>
- [12] W. Wang, Q. Wu, Z. Lu and X. Chu, "Control model and simulation for Adaptive Frontlight System of vehicle on curve roads," 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, China, 2008, pp. 1-4, doi: 10.1109/VPPC.2008.46776