

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**DISEÑO DEL CONTROL DE LUCES DE UN AUTOMOVIL
UTILIZANDO FPGA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRONICO**

**PRESENTADO POR:
JAVIER VICENTE ZAMBRANO OLIVERA**

PROMOCION 1979-I

LIMA – PERU

2011

**DISEÑO DEL CONTROL DE LUCES DE UN AUTOMOVIL
UTILIZANDO FPGA**

Mis agradecimientos a:

Dios todopoderoso por guiarme, y por ser la luz de mi camino.

Mi querida UNI, por su formación,

Mis padres, por la educación y el apoyo incondicional que me brindan

Mi esposa y a mis hijos Ethel, Tamy y Rony por estar siempre conmigo.

SUMARIO

En el presente informe de suficiencia se describe el diseño de un circuito integrado desarrollado para el Control Automático de luces del Automóvil, en donde se hace un análisis del avance tecnológico del control de luces y la propuesta del presente informe.

Este proyecto tiene como objetivo implementar un controlador digital utilizando un dispositivo FPGA., mediante la programación en VHDL y técnicas de diseño digital avanzado.

Los vehículos con faros de descarga (Xenón) deben disponer de un sistema regulador automático de alcance luminoso, donde la posición del haz de luz es ajustada inmediatamente, evitando que deslumbre a los conductores que circulan en sentido contrario.

El sistema planteado controla un servomotor DC de posición, mediante una señal PWM, que gobierna un ángulo de incidencia manteniendo estable la zona iluminada.

Nuestra investigación se ha centrado en la simulación de todo el sistema escribiendo el código VHDL necesarios para el funcionamiento del motor y la configuración en un FPGA.

Se presentan las características básicas de los servomotores DC de posición, una breve descripción de la estructura de un programa VHDL, y un análisis breve de un FPGA.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
ANTECEDENTES	2
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Alcances	2
1.3 Situación Inicial	2
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
2.1 FPGA	4
2.1.1 Concepto.....	4
2.1.2 Estructura del FPGA.....	4
2.1.3 Ventajas y Desventajas de su uso	6
2.2 VHDL	7
2.2.1 Introducción	7
2.2.2 Características del lenguaje VHDL	8
2.2.3 Unidades básicas de diseño	8
2.3 Sistemas de alumbrado del automóvil.....	9
2.3.1 Necesidad del sistema de alumbrado	9
2.3.2 Historia del sistema de alumbrado	9
2.3.3 Normativa	10
2.3.4 Circuito de alumbrado	10
2.3.5 Faros de Xenón	12
2.3.6 Faros bixenón.....	18
2.4. Servomotores	19
2.4.1 Definición y estructura	19
2.4.2 Principios de Funcionamiento	21
CAPITULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	23
3.1 Metodología convencional	23
3.1.1 Elementos del sistema	23
3.1.2 Estrategias de funcionamiento.....	26
3.1.3 Bixenon con luz de viraje dinámico.....	28

3.2	Metodología utilizada por Toyota.....	29
3.2.1	Sistema de faros HDI.....	29
3.2.2	Sistema de regulación del nivel de la luz de los faros	30
3.2.3	Distribución de los componentes principales	32
3.2.4	Función a prueba de fallas	34
3.2.5	Diagrama de conexiones	35
3.2.6	Despiece de componentes del faro	38
CAPITULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		
4.1	Introducción.....	40
4.2	Objetivos.....	40
4.3	Descripción del servomotor	40
4.3.1	Señal de control.....	41
4.4	Diseño Hardware	42
4.4.1	Arquitectura para el control del servomotor	42
4.4.2	Caracterización de parámetros	43
4.4.3	Dimensionamiento	44
4.4.4	Cálculos aproximados para una precisión máxima de $P=1$	47
4.4.5	Cálculos finales para una precisión máxima de $P=1$	48
4.5	Programa en VHDL.....	49
4.5.1	Arquitectura.....	49
4.6	Simulación.....	50
4.6.1	Compilado	50
4.6.2	Simulación del diseño	50
4.6.3	Asignación de pines.....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
54		
ANEXO A		
GLOSARIO DE TÉRMINOS		
55		
BIBLIOGRAFÍA.....		
57		

INTRODUCCIÓN

El propósito de este informe es que el propietario de un automóvil tenga una alternativa de solución al momento de decidirse de cambiar el sistema de iluminación de su auto por uno del tipo de faros de Xenón.

Debido al alto grado de alumbrado de los faros de xenón y con la finalidad de evitar los riesgos de deslumbramiento, se hace necesario que los vehículos que monten este sistema de iluminación incorporen un dispositivo de regulación del alcance de luces. Con ello, además de evitar el deslumbramiento, se asegura un óptimo confort de conducción al mantener estable la zona iluminada.

El diseño tradicional de sistemas digitales es restringido por arquitecturas inflexibles, velocidades de operación y recursos limitados así como son poco versátiles a la hora de la puesta en marcha

Una solución para estos inconvenientes es el uso de la tecnología FPGA, que permite realizar diseños a medida, de bajo coste de desarrollo, incluso para la producción de pocas unidades; estas características la hacen muy interesante para realizar el prototipo planteado.

Debido a su importancia es que se presenta el presente informe, como ejemplo de diseño, para luego ser planteadas a diferentes problemas de automatización en la electrónica Automotriz

Asimismo, para programar el FPGA se utilizó el lenguaje VHDL que es un lenguaje orientado a la descripción o modelado de hardware, es un lenguaje independiente de la tecnología, no emparejado a un determinado simulador y no requiere una metodología precisa de diseño. El utilizar el lenguaje VHDL contribuyo a acelerar el proceso del diseño del control de luces de un automóvil utilizando FPGA planteado

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

En este capítulo se expone el planteamiento de ingeniería del problema. Primero se expondrá el objetivo del trabajo, también se precisarán los alcances del informe, para finalmente presentar la situación inicial del diseño presentado.

1.1 Objetivo

El objetivo primordial del presente Informe de Suficiencia es el diseño de un controlador del alcance de luces de un automóvil cuyo hardware se realizará mediante un FPGA.

El control se realizará sobre un servomotor que se encargara de corregir alguna desviación del alcance de las luces delanteras de un automóvil, evitando de esta manera el deslumbramiento a los conductores que circulan en sentido contrario

El proyecto desarrolla un hardware capaz de realizar la función de modulación de ancho de pulso, implementándolo dentro de un FPGA de ALTERA.

La descripción del modulo PWM se realizará por medio del lenguaje VHDL, el control por PWM permite manejar con mucha precisión la velocidad y potencia de un servomotor de corriente continua.

El presente informe soluciona en parte el problema que tiene un usuario de adaptar los faros de su automóvil por otros del tipo Xenón

1.2 Alcances

En el presente informe se detallan las secuencias a seguir en el diseño del Control Automático de luces de un Automóvil, utilizando las herramientas EDA, MAX+ PLUS II, usando Lenguaje VHDL y se programara un FPGA EPF10K20RC240-3 de ALTERA. .

El análisis de cada actividad, me permitieron desarrollar el presente trabajo.

1.2 Situación inicial

En la evolución de las luces frontales del automóvil, se han desarrollado una variedad de sistemas de luces; que incluye lámparas halógenas v los bulbos HID (High Intensity Discharge). Por sobre la mayoría de los sistemas de iluminación de autos, las lámparas HID han resultado las más eficientes.

Las lámparas HID usan Xenón, distinto a las incandescentes y a la luz halógena, las HID no tienen filamento y no funcionan con calor. En lugar de ello, envían mucha

electricidad a través del gas creando un arco eléctrico que emite luz. Estas lámparas tienen un alto rendimiento luminoso emitiendo una luz blanca, intensa y brillante, por lo tanto, mas semejante a la luz del día

Para evitar la posibilidad de deslumbrar a los conductores que circulan en sentido contrario se instala un control automático del alcance luminoso, este dispositivo es el encargado de regular la altura del haz de luz para que este se mantenga constante, sin producirse variaciones por la carga que se transporte o por las oscilaciones de la carrocería debidas a las frenadas y aceleraciones.

Las dificultades de adaptar este sistema a los vehículos son mecánicas y electrónicas, dentro de los problemas electrónicos se encuentra el diseño del control que plantea el siguiente informe.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del diseño descrito en el presente informe.

2.1 FPGA

En esta sección se expondrá el concepto y estructura del FPGA, que nos orienten a comprender su uso como método para implementar circuitos digitales.

La utilización del FPGA trae grandes ventajas ya que se caracterizan por la facilidad en su uso, facilidad de adaptarse a diversas aplicaciones y permiten el diseño de equipos con un tamaño más reducido, todo ello a un costo relativamente bajo por el hecho de ser programable

2.1.1 Concepto

Un FPGA es un acrónimo de Field Programmable Gate Array es un dispositivo lógico programable o PLD ("Programmable Logic Device"), cuyas características pueden ser modificadas y almacenadas mediante programación.

El FPGA es un dispositivo de hardware dinámicamente reconfigurable donde se cargara el diseño realizado,

Poseen una estructura interna formada por: matriz de bloques lógicos configurables CLB ("Configurable Logic Block") que se comunican entre sí y con los bloques de Entrada/Salida I/OB ("Input/Output Block") a través de canales de ruteo horizontal como se muestra en la Figura 2.1.

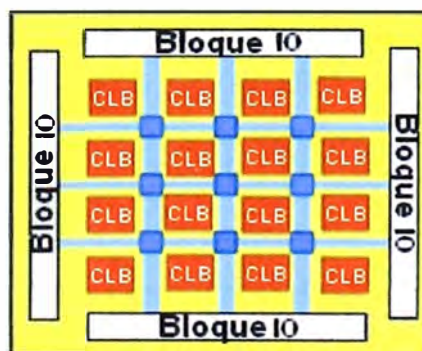


Figura 2.1 Diagrama de un FPGA

2.1.2 Estructura de un FPGA

Los FPGAs que existen actualmente en el mercado, dependiendo de la estructura

que adoptan los bloques lógicos que tengan definidos, se pueden clasificar como pertenecientes a cuatro grandes familias: Matriz Simétrica ("Symmetrical Array"), Basada en Filas ("Row Based"), Mar de puertas ("Sea-of-Gates") y PLDs Jerárquicos (Hierarchical PLD). En la Figura 2.2 se muestran las cuatro estructuras.

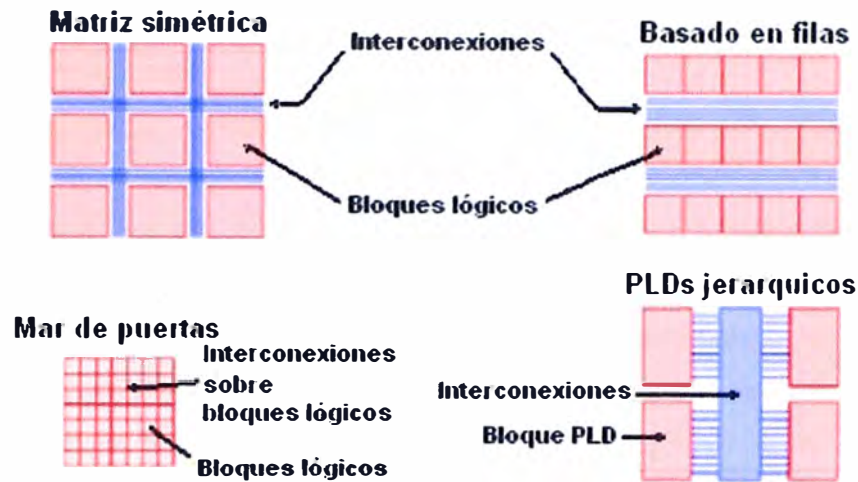


Figura 2.2 Estructuras de FPGAs

1. **Bloques Lógicos Configurables (CLBs):** Cada CLB presenta una sección de lógica combinacional programable y registros de almacenamiento, como se muestra en la Figura 2.3:

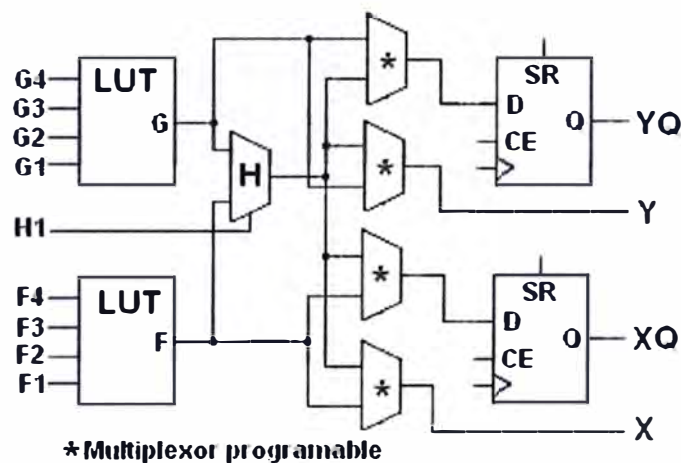


Figura 2.3 Estructuras de CLB

Los registros de almacenamiento sirven como herramientas en la creación de lógica secuencial. La sección de lógica combinacional suele consistir en una LUT ("Look Up Table"), que permite implementar cualquier función booleana a partir de sus variables de entrada.

Se presentan también multiplexores y conmutadores, como elementos adicionales de direccionamiento de los datos del CLB, los cuales permiten variar el tipo de salidas (combinacionales o registradas), facilitan caminos de realimentación, o permiten cambiar las entradas de los biestables.

2.-Bloques entrada/Salida (I/OBs): La periferia del FPGA está constituida por

bloques de entrada/salida configurables por el usuario. Cada bloque puede ser configurado independientemente para funcionar como entrada, salida o bidireccional, admitiendo también la posibilidad de un control triestado.

Los IOBs pueden configurarse para trabajar con diferentes niveles lógicos (TTL, CMOS,...). Además, cada IOB incluye flip-flops que pueden utilizarse para registrar tanto las entradas como las salidas.

3.--Líneas de interconexión: Constituyen un conjunto de caminos que permiten conectar las entradas y salidas de los diferentes bloques. Están constituidas por líneas metálicas de dos capas que recorren horizontal y verticalmente las filas y columnas existentes entre los CLBs.. Como se puede ver en la Figura 2.4

Dos elementos adicionales participan activamente en el proceso de conexión:

- Puntos de Interconexión Programable PIP (“Programmable Interconnection Point”) que permiten la conexión de CLBs e IOBs a líneas metálicas cercanas.
- Matrices de interconexión SW (“Switch Matrix o Magic Box”) que son dispositivos de conmutación distribuidos de forma uniforme por la FPGA.

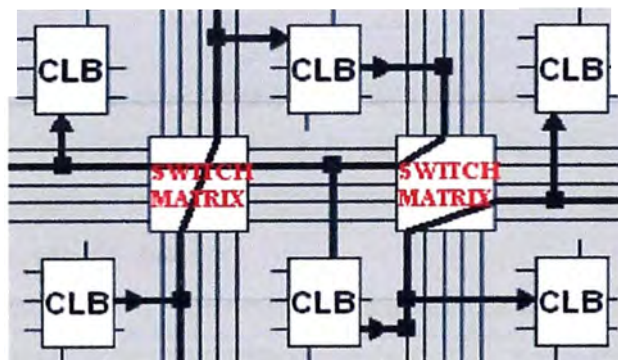


Figura 2.4 Líneas de interconexion

Los diferentes modelos comerciales se diferencian en:

- Arquitectura: Gate Array (Filas), Mar de puertas, Matriz simétrica.
- Tipo de CLB: Puertas lógicas, multiplexores, tabla de búsqueda (LUT).
- Arquitectura de las interconexiones: Canales de routing, red de interconexión.
- Tecnología de la programación: antifusibles, memoria no volátil (EPROM, EEPROM), memoria FLASH (RAM, FLASH).

2.1.3 Ventajas y desventajas de los FPGAs

Las ventajas que poseen los FPGAs, con respecto a otras tecnologías, en el área de diseño de circuito digital son las siguientes:

- Reducción del tiempo de introducción al mercado de productos. Habilidad de ser reprogramados después de haber salido al mercado a fin de corregir posibles errores, y reducir los costos de investigación, diseño y pruebas de un nuevo producto.
- Facilidad de diseño, en la mayoría de las FPGAs se pueden encontrar funciones de

alto nivel (como sumadores y multiplicadores) embebidas en la propia matriz de interconexiones, así como bloques de memoria.

- Mayor densidad de los elementos lógicos programables en puertas lógicas equivalentes, en el orden de cientos de miles hasta millones de ellas, que otras tecnologías.
- Mayor flexibilidad debido a su arquitectura y la enorme libertad disponible en la interconexión.

Las desventajas que poseen los FPGAs en el área de diseño de circuito digital son las siguientes:

- Son generalmente más lentos.
- No pueden soportar diseños muy complejos.
- Consumen más energía.

2.2 VHDL

En esta sección se expone brevemente algunas de las consideraciones del lenguaje VHDL para su aplicación como una herramienta para el diseño digital avanzado

2.2.1 Introducción

VHDL es un lenguaje de descripción de circuitos electrónicos digitales que utiliza diversos niveles de abstracción. El significado de las siglas VHDL es VHSIC (*Very High Speed Integrated Circuits*) *Hardware Description Language*. Esto significa que VHDL permite acelerar el proceso de diseño

Los circuitos descritos en VHDL pueden ser simulados utilizando herramientas de simulación para reproducir el funcionamiento del circuito. Además utilizando herramientas de síntesis se puede implementar dicho circuito en un dispositivo lógico programable o en un circuito integrado.

VHDL es un lenguaje con una sintaxis amplia y flexible que permite el modelado estructural, en flujo de datos y de comportamiento hardware. VHDL permite el modelado preciso, en distintos estilos, del comportamiento de un sistema digital conocido y el desarrollo de modelos de simulación.

Uno de los objetivos del lenguaje VHDL es el modelado. Modelado es el desarrollo de un modelo para simulación de un circuito o sistema previamente implementado cuyo comportamiento, por tanto, se conoce. El objetivo del modelado es la simulación.

Otro de los usos de este lenguaje es la síntesis automática de circuitos. En el proceso de síntesis, se parte de una especificación de entrada con un determinado nivel de abstracción, y se llega a una implementación más detallada, menos abstracta. Por tanto, la síntesis es una tarea vertical entre niveles de abstracción, del nivel más alto en la jerarquía de diseño se va hacia el más bajo nivel de la jerarquía.

2.2.2 Características del lenguaje VHDL

Las principales características del lenguaje VHDL se explican en los siguientes puntos:

- **Descripción textual normalizada:** El lenguaje VHDL es un lenguaje de descripción que especifica los circuitos electrónicos en un formato adecuado para ser interpretado tanto por máquinas como por personas. Se trata además de un lenguaje formal, es decir, no resulta ambiguo a la hora de expresar el comportamiento o representar la estructura de un circuito. Está normalizado existiendo un único modelo para el lenguaje, cuya utilización está abierta a cualquier grupo que quiera desarrollar herramientas basadas en dicho modelo, garantizando su compatibilidad con cualquier otra herramienta que respete las indicaciones especificadas en la norma oficial.
- **Es un lenguaje ejecutable,** lo que permite que la descripción textual del hardware se materialice en una representación del mismo utilizable por herramientas auxiliares tales como simuladores y sintetizadores lógicos, compiladores de silicio, simuladores de tiempo, de cobertura de fallos, herramientas de diseño físico, etc.
- **Amplio rango de capacidad descriptiva:** El lenguaje VHDL posibilita la descripción del hardware con distintos niveles de abstracción, pudiendo adaptarse a distintos propósitos y utilizarse en las sucesivas fases que se dan en el desarrollo de los diseños. Además es un lenguaje adaptable a distintas metodologías de diseño y es independiente de la tecnología, lo que permite, en el primer caso, cubrir el tipo de necesidades de los distintos géneros de instituciones, compañías y organizaciones relacionadas con el mundo de la electrónica digital; y, en el segundo, facilita la actualización y adaptación de los diseños a los avances de la tecnología en cada momento.
- **Otras ventajas:** el lenguaje VHDL tiene la capacidad para el manejo de proyectos de grandes dimensiones, las garantías que comporta su uso cuando, durante el ciclo de mantenimiento del proyecto, hay que sustituir componentes o realizar modificaciones en los circuitos.

2.2.3 Unidades básicas de diseño

Una unidad de diseño es una construcción VHDL que puede ser analizada independientemente. Existen cinco tipos diferentes de unidades de diseño: la declaración de entidad (*entity declaration*), la arquitectura de una entidad (*architecture*), la configuración (*configuration*), la declaración de paquete (*package declaration*) y el cuerpo del paquete (*package body*).

La declaración de entidad, la declaración de paquete y la configuración se llaman unidades primarias, mientras que la arquitectura de entidad y el cuerpo del paquete se

consideran unidades secundarias porque dependen de una entidad primaria que debe ser analizada antes de poder ser analizadas ellas mismas.

Un dispositivo se representa en VHDL mediante una entidad, que consta de una declaración de entidad, donde se da una visión externa del dispositivo definiéndose la interfaz con su entorno, y una arquitectura, donde se define su funcionalidad. Para poder probar diferentes opciones a la hora de modelar un dispositivo, VHDL permite definir múltiples arquitecturas asociadas a una única entidad. La configuración es la construcción encargada de seleccionar de seleccionar la arquitectura específica que se va a utilizar para una entidad.

En VHDL cada objeto debe ser declarado antes de utilizarse. En general, las declaraciones se realizan en las unidades de diseño donde estos objetos son necesarios, por lo que no serán visibles en las demás unidades. Para declaraciones útiles para varias unidades de diseño, VHDL proporciona el paquete, que evita la multiplicidad de declaraciones comunes.

Normalmente el paquete se divide en dos unidades de diseño VHDL: la declaración y el cuerpo del paquete.

2.3 Sistemas de alumbrado del vehículo

En esta sección se expondrán temas sobre los sistemas de alumbrado del vehículo que orientaran a comprender la solución al problema planteado

2.3.1 Necesidad del sistema de alumbrado del vehículo

Al conducir de noche o con poca visibilidad, el sistema de alumbrado se convierte en un elemento imprescindible para ver y ser vistos

En condiciones climatológicas adversas, las altas velocidades desarrolladas, así como la elevada densidad de tráfico y los súbitos cambios en los flujos de circulación urbana e interurbana, imponen a los sistemas de alumbrado requisitos cada vez más exigentes.

Veamos un ejemplo que ilustrará la importancia del sistema de alumbrado y de la correcta regulación y mantenimiento del mismo:

Circulando a 80 Km/h. se recorren cada segundo más de 22 metros. Si como consecuencia de un alumbrado insuficiente se retrasa medio segundo la visualización de un obstáculo en la carretera habremos perdido más de 11 metros antes de poder actuar para tratar de esquivarlo.

2.3.2 Historia del sistema de alumbrado

El sistema de alumbrado de un vehículo ha evolucionado constantemente, desde que el fabricante Hella comenzara a fabricar en el año 1962 las primeras lámparas de halógeno. Estas bombillas reemplazaron a las de incandescencia que Osram introdujo en

1924.

Durante aproximadamente 30 años, las luces halógenas han sido el sistema utilizado para iluminar la carretera desde un vehículo. En el año 1971 se fabrican, las primeras bombillas halógenas de filamento doble, que dieron origen a las conocidas luces cortas y largas.

En 1992 se presentan los primeros faros con lámparas de descarga de gas xenón, que entregan una luz más blanca. La temperatura de luz de estas lámparas es de 4100 a 4500 °K frente a los 3200 °K de una halógena. También se diferencian por la tensión necesaria para que comiencen a iluminar: 28.000 V en vez de 12 V. Pese a ello su consumo es de 35 W frente 55 W. En el mismo año, se utilizan por vez primera los diodos luminosos (LED, Light Emitting Diodes) en el sistema de alumbrado, concretamente muy empleada en la tercera luz de freno.

En 1993, la cubierta de cristal del foco encuentra su sustituto en una cubierta de plástico.

En 1995 se desarrolla el faro de xenón doble (bi-xenón), que incorporará esa tecnología tanto para las luces cortas como para las luces largas. Sin embargo, esta nueva innovación no será integrada en un coche de serie hasta 1999.

En 2003 se inicia la producción de los primeros faros de xenón con iluminación adaptativa.

A mediados del año 2006, con la modificación de la normativa europea que afecta a los sistemas de alumbrado de los vehículos, existe la posibilidad de emplear dispositivos inteligentes que, dependiendo de la carretera y la velocidad, podrán modificar su alcance actuando mecánicamente sobre el faro o modificando la tensión de suministro para aumentar la intensidad de la luz. En un futuro, quizás no tan lejano, y como ya anticipan algunos prototipos de ciertas marcas de fabricantes de coches, parece ser que la alternativa se centra en la utilización de los diodos luminosos para el sistema de alumbrado de los coches, sustituyendo a las actuales lámparas de descarga de gas.

2.3.3 Normativa

El Sistema de Alumbrado del automóvil está sometido a unas normas tanto en su diseño como en su funcionamiento. Normas que los fabricantes tienen en cuenta para el diseño y fabricación de sus sistemas.

2.3.4 Circuito de alumbrado

Para poder utilizar el vehículo de noche se necesita un sistema que nos permita iluminar la pista por la que circulamos para poder ver (faros) y ser vistos (luces de posición y pilotos traseros).

El circuito de alumbrado está constituido por los elementos que producen esa

iluminación, como son los faros en la parte delantera del vehículo y los pilotos ubicados en la parte trasera del mismo, además de los elementos de mando como son los interruptores y conmutadores de alumbrado, elementos de protección (fusibles y relés) y el cableado que une eléctricamente todos los componentes del circuito:

Los faros: transmiten la luz a distancia, utilizándose para los alumbrados de cruce y carretera. La lámpara produce la luz, situada en el interior del faro, y el reflector se encarga de proyectar esta luz en la dirección (anchura y profundidad) y con las características necesarias para que la iluminación nocturna sea efectiva.

Las características que se le exige al haz luminoso sobre la calzada para conseguir un alumbrado adecuado para la conducción nocturna, es la profundidad o alcance (superior a los 60 m. para cruce y los 150 m. para alumbrado de carretera) y la anchura (zona próxima al vehículo, debiendo ser de 20-30 m. para cruce y 30-50 m. para ~~carretera~~), además de una correcta homogeneidad (distribución uniforme del haz) evitando el deslumbramiento.

La cantidad y la disposición de los faros en los vehículos, está regulado por las normas internacionales que deben cumplir los fabricantes.

Los pilotos: tienen la función de señalar el vehículo en la calzada, y para ello se instalan en las partes delantera y trasera, en el lugar adecuado. Para cada una de las luces se exigen intensidades luminosas mínimas y máximas, lo cual condiciona la estructura de los pilotos, pudiéndose diferenciar entre pilotos de óptica con reflector, pilotos de óptica Fresnel y pilotos combinados.

El diseño de los pilotos traseros actuales, no sólo responde a las necesidades luminosas, sino también a las estéticas. Integrándose en la carrocería, formando parte importante del diseño de la misma, tomando las más diversas formas y colores

Cableados: Los conductores empleados en automoción están constituidos por un alma o cuerda compuesta por un número determinado de hilos, según su sección. Están fabricados en cobre electrolítico recocido y en algunos casos bañados en estaño, el aislante normalmente es de plástico PVC o caucho. Su resistividad es de $0,018 \text{ ohmios} \times \text{mm}^2 / \text{metros}$.

Esta configuración les proporciona gran flexibilidad, permitiéndoles adaptarse a los contornos de la carrocería a la cual van sujetos por medio de abrazaderas o grapas. Debido a su baja resistencia mecánica, los conductores de pequeña sección se montan formando mazos debidamente aislados, mediante encintado o en tubo de pvc corrugado. En los vehículos actuales hay cada vez más sistemas electrónicos o sistemas controlados eléctricamente. Al mismo tiempo cada uno de estos sistemas se está haciendo más complejo y con más sensores, pantallas, controles, etc... Este gran

desarrollo nos lleva a una serie de problemas referentes al cableado entre los que destacan:

- El conjunto de cables puede tener un peso total de varios kilogramos con el consiguiente incremento de peso total del vehículo.
- Están ocupando un espacio excesivo, esencialmente en el salpicadero y en los controles de las puertas.
- El aumento de cableado lleva implícito el aumento de conexiones y como consecuencia aumenta también la posibilidad de fallos de conexión y problemas eléctricos.

La solución adoptada actualmente a este problema son los sistemas multiplexados (MPX). La finalidad del multiplexado es, entre otras cosas, erradicar los muchos mazos de cables que forman la instalación eléctrica de los automóviles esto se ha podido llevar a cabo por el progreso informático y la arquitectura de ordenadores, siendo esta última la promotora del auge de las conexiones mediante un sistema multiplexado. Los sistemas multiplexados son sistemas de comunicación digitales en los que los elementos conectados comparten una misma línea, llamada bus, por la que intercambian datos y señales requiriéndose unos protocolos de comunicación por ejemplo el CAN BUS.

Fusibles: Todos los circuitos eléctricos del automóvil, incluidos los circuitos de alumbrado, deben estar protegidos con fusibles. Actualmente, los fabricantes suelen instalar dos tipos de protecciones: una principal, llamados "fusibles de potencia", de gran intensidad (50-70-100 A), que se encuentra en la salida de corriente de la batería, situados próxima a ella, y que protege las tomas de corriente; otras de protección específica, son fusibles de menor potencia y que protegen los circuitos específicos eléctricos del vehículo.

Relé: Para proteger los elementos de mando de alumbrado (interruptores, conmutadores), aquellos circuitos con consumos más elevados (por encima de 10 A) como pueden ser los alumbrados de cruce, carretera, antinieblas y largo alcance, se instalan con relés

2.3.5 Faros de xenón

a. Generalidades

Con la continua evolución de la tecnología aplicada al automóvil, aparecen las lámparas de descarga o lámpara de xenón, que proporcionan un alumbrado más claro (parecido a la luz natural), nítido y profundo, mayor rendimiento luminoso (hasta tres veces) y una larga vida útil (incluso superior a la del vehículo), originándose la sustitución de las lámparas clásicas de incandescencia y halógenas. La lámpara de xenón se muestra en la Figura 2.5

Pero debido al elevado precio del sistema, originado por el número y tecnología de los elementos constituyentes, su aplicación, de momento, están en las gamas medias y altas de los turismos comercializados en la actualidad.

La principal diferencia con las anteriores lámparas es la sustitución del filamento (motivo del desgaste y vida útil de la lámpara) por unos electrodos encerrados en una ampolla de cuarzo en los cuales se produce un arco eléctrico que origina el flujo luminoso.

Las lámparas xenón se utilizan para el alumbrado de cruce, juntamente con una halógena para el alumbrado intensivo o de carretera.

Así mismo, debido a la gran potencia luminosa de estas lámparas y con objeto de no deslumbrar en ningún caso a los usuarios que circulan en sentido contrario, se debe disponer de manera obligatoria un sistema automático de regulación en altura del alumbrado.

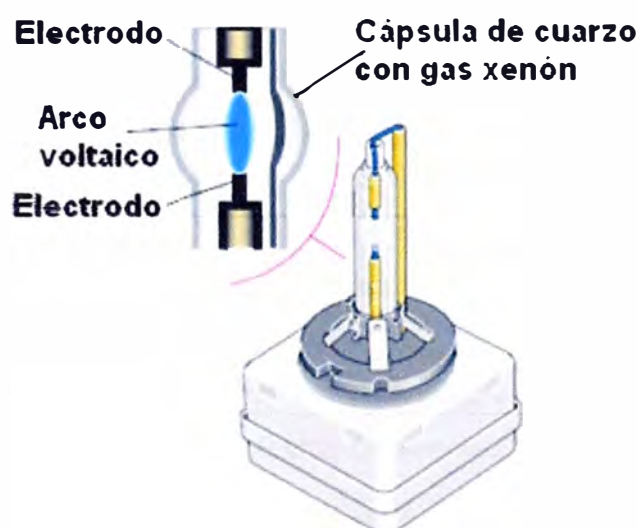


Figura 2.5 Faro de xenon

b. Fases de funcionamiento de las lámparas de xenón

El funcionamiento de estas lámparas se basa en el principio según el cual, si un determinado gas es atravesado por una corriente eléctrica, ésta produce la ionización del gas (se convierte en conductor) generándose seguidamente un arco voltaico que por radiación emite luz.

En el funcionamiento de las lámparas de descarga se puede establecer tres fases:

Encendido: La unidad de mando se alimenta desde batería (corriente continua a 12V) que la transforma en corriente alterna (400 Hz) y a una tensión media de 400 – 500 V. Con esta corriente alterna se alimenta la reactancia (el transformador, también llamado ballast electrónico) que eleva la tensión hasta los 25 – 28 KV (alta tensión) para producir el arco eléctrico entre los electrodos de la lámpara.

Calentamiento: El arco eléctrico establecido entre los electrodos de la lámpara produce la ionización del gas y la vaporización de las sales, que se vuelven conductores y facilitan la creación del arco, que por radiación, emiten la luz.

Régimen estabilizado: Tras la fase anterior, la unidad de control controla en todo momento el haz de luz de la lámpara (regulando la tensión de alimentación de la reactancia, según el estado de la lámpara), bajando la tensión a unos 85 V. La lámpara funciona a régimen estabilizado.

c. Ventajas

Las principales ventajas de este tipo de lámparas frente a sus predecesoras son:

- Emisión de luz blanca similar a la luz natural
- Mayor nitidez visual
- **Mayor** distancia de alumbrado (más profundidad) Haz de luz más ancho (mejor percepción lateral). En la Figura 2.6 se muestra la comparación de un haz luminoso con lámpara halógena frente a un haz luminoso con lámpara de gas xenón dentro de una grafica de distancias que alcanzan cada tipo de iluminación.
- El rendimiento luminoso es hasta tres veces superior al de sus predecesoras. En la Figura 2.7 se muestra una imagen la intensidad con que ilumina una lámpara halógena, mientras que en la Figura 2.8 se muestra la intensidad de una lámpara xenón, al compararlas se nota la gran diferencia de sus respectivos rendimientos luminosos
- Su vida útil puede ser incluso superior a la vida media del automóvil donde se instala, con un flujo constante durante toda su vida de servicio.

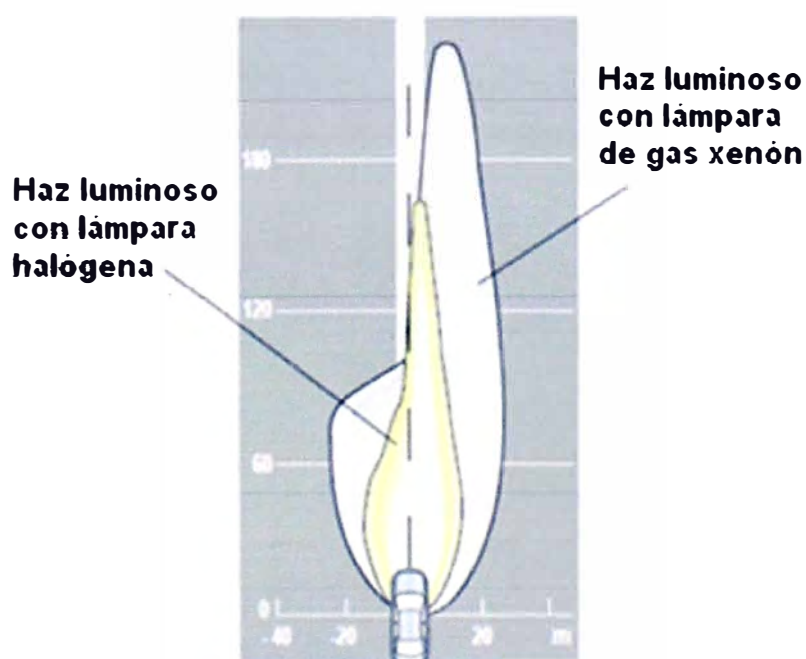


Figura 2.6 Haz luminoso de lampara halogena y de xenon

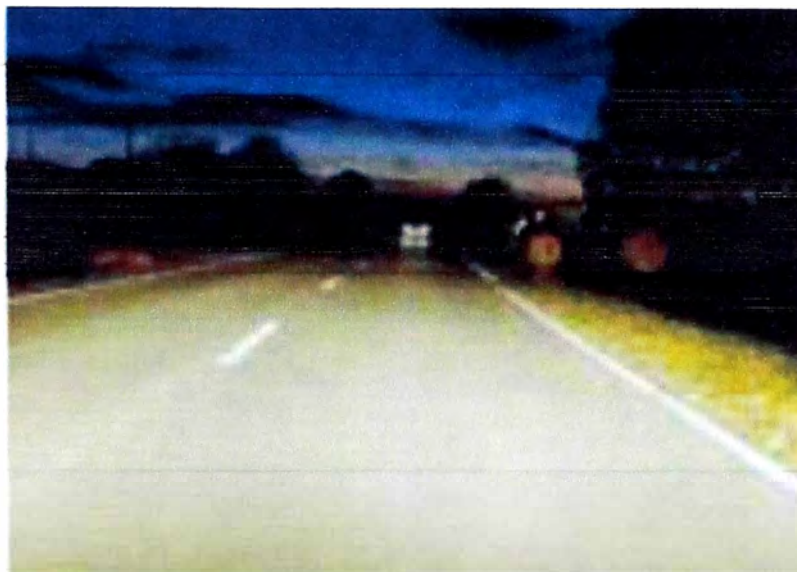


Figura 2.7 Iluminación con lámparas halógenas

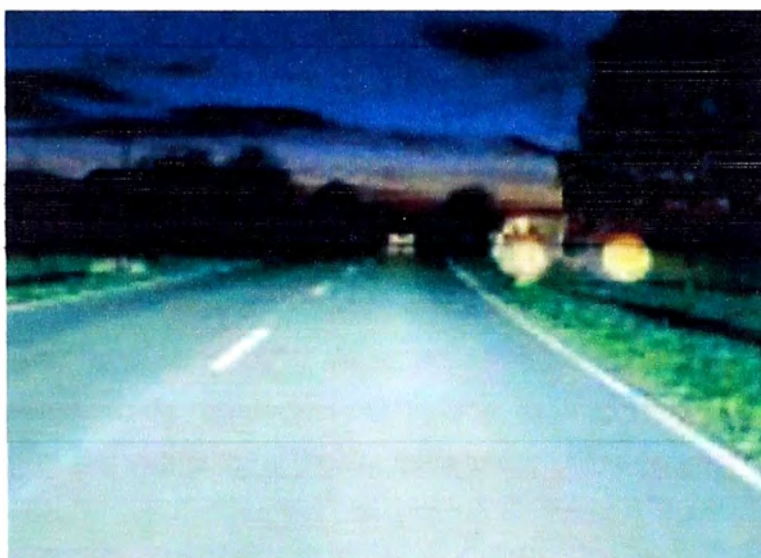


Figura 2.8 Iluminación con lámparas xenón

d. Componentes del sistema

En el Figura 2.9 se indican todos los componentes del sistema de alumbrado con lámparas de xenón.

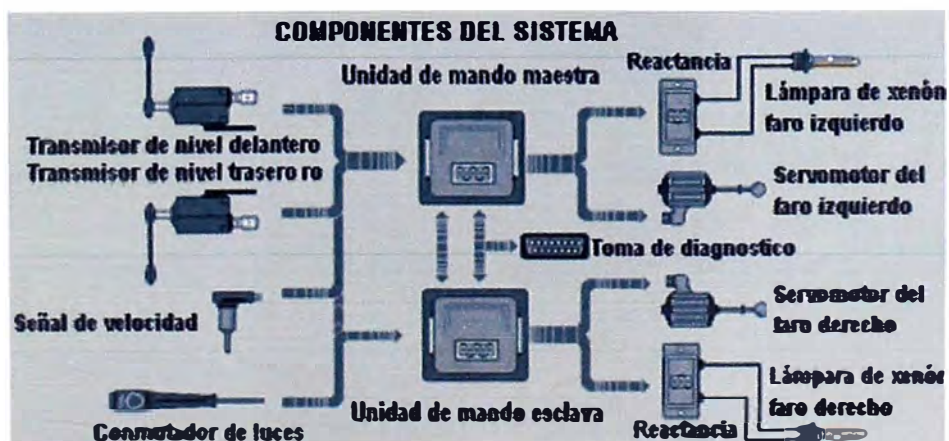


Figura 2.9 Componentes del sistema de alumbrado HDI

Unidades de mando: Las funciones de la unidad de mando son:

- Puesta en funcionamiento de la lámpara de xenón
- Regulación del alcance de alumbrado.



Figura 2.10 Unidad de mando

Existe una unidad de control por cada faro. La alojada en el faro izquierdo es la **Unidad de Mando Maestra**, siendo la Esclava la del faro derecho.

Cada unidad de mando asume independientemente la puesta en funcionamiento de su correspondiente lámpara de descarga. Por el contrario, para la adaptación del alcance del alumbrado es la unidad maestra la que recibe la señal de mando de los transmisores de nivel delantero o trasero, analiza dicha señal y prepara la señal de respuesta que por un lado la envía al servomotor del faro que gobierna y también a la unidad de mando esclava para que accione el servomotor de su faro. (Figura 2.10)

Para el funcionamiento de regulación automática, la unidad de mando también recibe la señal de velocidad del vehículo, a través del sensor utilizado para el ABS o el propio sensor del taquímetro.

Reactancia: Es el elemento encargado de (a través de la excitación de su unidad de mando) alimentar eléctricamente su lámpara correspondiente (Figura 2.11). Puede estar integrada en el cuerpo de la lámpara formando un único conjunto o bien fabricarse por separado (Figura 2.12)



Figura 2.11 Reactancia del faro de xenón

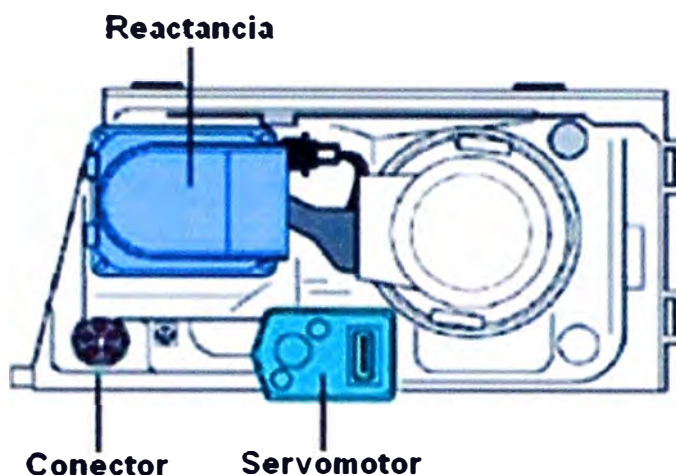


Figura 2.12 Reactancia integrada al faro

Corrección automática de los faros: En la regulación automática del alcance de las luces se distinguen los siguientes sistemas:

1. **Estáticos:** Equilibran la carga adicional del interior del vehículo y el maletero;

En este sistema, además de las señales de los sensores de los ejes, la unidad de control recibe una señal de velocidad del tacómetro electrónico de la unidad de control del ABS. Con ayuda de esta señal, el sistema determina si el vehículo está parado, se mueve o se encuentra en marcha constante.

El sistema automático estático trabaja siempre en gran amortiguación, es decir, regula solamente las inclinaciones de la carrocería que se mantienen durante largo tiempo. Después de cada puesta en marcha del vehículo, corrige la posición de los faros en función de la carga de éste. Esa posición se comprueba de nuevo cuando se alcanza la marcha constante y se corrige si es necesario. El sistema equilibra según corresponde las desviaciones entre la posición teórica y la real.

En los sistemas estáticos se utilizan los servomotores de la versión manual

2. **Dinámicos:** Corrigen la posición de los faros al arrancar, acelerar y frenar.

El sistema automático dinámico asegura la posición óptima del faro en cualquier situación de marcha, puesto que funciona en dos campos operacionales. En contraposición a los sistemas estáticos de regulación del alcance de los faros, la diferenciación adicional de la señal de velocidad le permite reconocer también los procesos de aceleración y frenado.

A marcha constante el sistema dinámico permanece, como el estático, en el campo de gran amortiguación, pero si detecta un proceso de aceleración o frenado, el sistema cambia inmediatamente al campo dinámico. La rápida evaluación de las señales y el aumento de la velocidad de regulación de los servomotores permiten adaptar el alcance de las luces en fracciones de segundos. Así, el conductor dispone siempre del alcance visual que le ayuda a dominar cada situación del tráfico. Después de la aceleración o el

frenado, el sistema cambia de nuevo automáticamente a servicio lento.

Un sistema de regulación automática del alcance de las luces, mostrados en la Figura 2.13, consta de los siguientes componentes:

- Sensores en los ejes del vehículo, que registran el ángulo de inclinación exacto de la carrocería, mediante el envío a los elementos de mando de una señal proporcional a la compresión de los muelles de la suspensión.
- Una unidad electrónica de control que calcula el ángulo de cabeceo del vehículo a partir de las señales de los sensores, lo compara con el valor predeterminado y, en caso de desviación, cursa las correspondientes señales de activación a los servomotores.
- Servomotores que realizan el ajuste corrector de los faros.

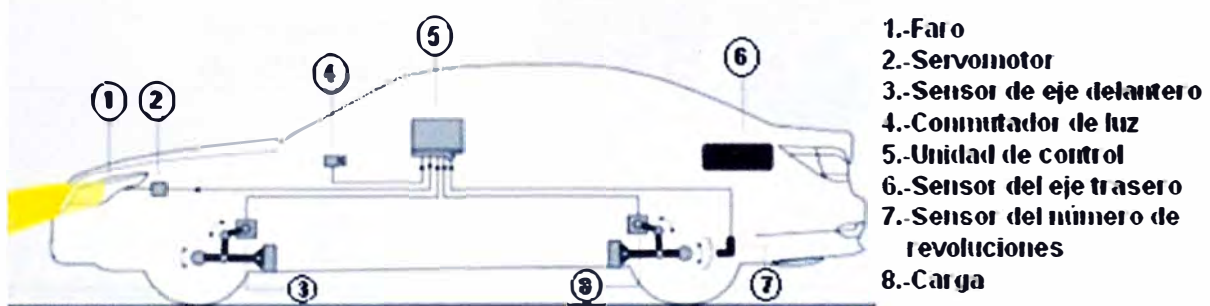


Figura 2.13 Ubicación de los componentes del sistema

2.3.6 Faros bixenon

Esta configuración de faros utiliza la misma lámpara de descarga de gas tanto para las luces de cruce como para las luces de carretera, de ahí la denominación "bixenón" el cambio lo realiza mediante un obturador mecánico (para cruce) cuya posición se conmuta por medio de un electroimán, cuya ubicación se muestra en la Figura 2.14

Incorpora también la función de regulación dinámica del alcance de luces que por ley deben equipar todos los vehículos dotados con lámparas de descarga de gas, con el fin de evitar el deslumbramiento a los conductores que circulan en sentido contrario.

Sistema de regulación de luz de viraje dinámica

Los vehículos dotados con faros bixenón pueden equipar en opción el sistema de regulación de luz de viraje dinámica también conocido como AFS (Adaptive Frontlighting System). Se trata de un sistema de faros inteligente que optimiza la iluminación de la carretera en curvas gracias a un control direccional del haz luminoso generado por los faros. Cuando el vehículo toma una curva, los faros adaptan su orientación a la trayectoria del vehículo para una mejor iluminación de la carretera. En la Figura 2.15 se muestra los componentes de un sistema AFS.

Este sistema aporta una serie de beneficios entre los que destacan:

- **Mayor seguridad:** gracias a que se dobla la visibilidad en curva.

- **Mejora del confort de conducción:** debido al incremento significativo de la iluminación, que minimiza el estrés y la fatiga del conductor, lo que repercute también en una mayor seguridad. La Figura 2.16 nos muestra un comparativo de los 3 sistemas

Electroiman de regulación de obturador

Lámpara de descarga de gas

Servomotor del alcance de luces



Figura 2.14 Ubicación del faro bixenon

2.4 Servomotor

El Sistema de control planteado requiere de un servomotor, en esta sección se explica su estructura y funcionamiento.

2.4.1 Definición y estructura

Un servomotor llamado también “servo” es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servomotores se suelen utilizar en la industria automotriz, robótica y modelismo debido a su gran precisión en el posicionamiento.

En general, los servos suelen estar compuestos, como se muestra en la Figura 2.17, por cuatro elementos fundamentales:

- **Motor de corriente continua (DC):** Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.
- **Engranajes reductores:** Tren de engranajes que se encarga de reducir la alta velocidad de giro del motor para acrecentar su capacidad de torque (o par-motor).
- **Sensor de desplazamiento:** Suele ser un potenciómetro colocado en el eje de salida del servo que se utiliza para conocer la posición angular del motor.

- **Circuito de control:** Es una placa electrónica que implementa una estrategia de control de la posición por realimentación. Para ello, este circuito compara la señal de entrada de referencia (posición deseada) con la posición actual medida por el potenciómetro. La diferencia entre la posición actual y la deseada es amplificada y utilizada para mover el motor en la dirección necesaria para reducir el error.

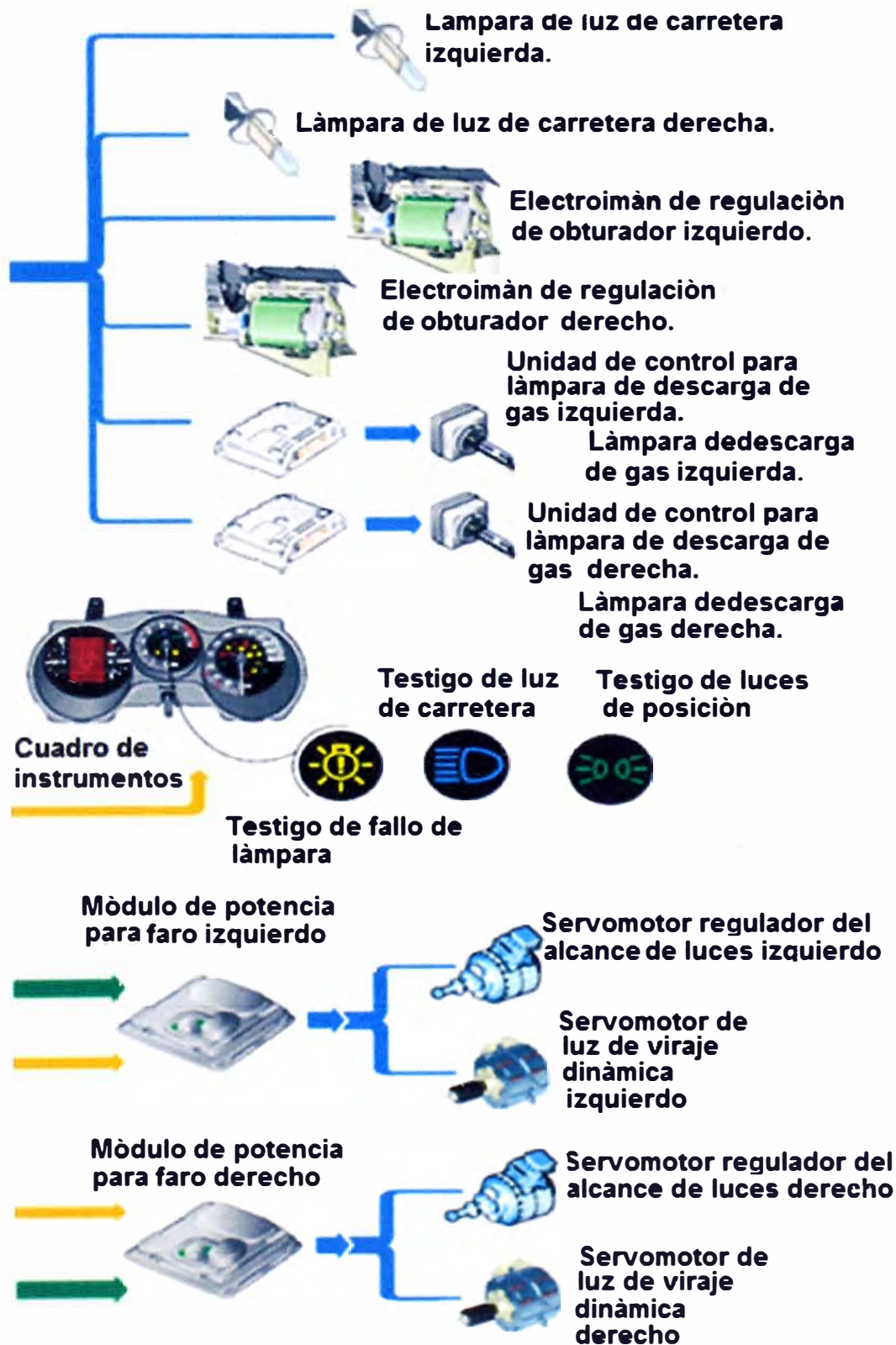
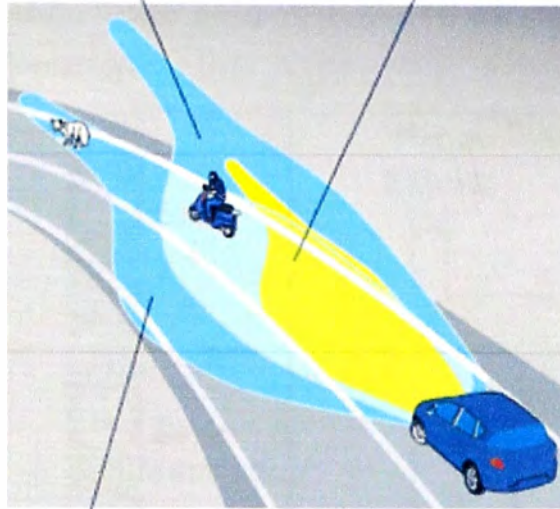


Figura 2.15 Sistema AFS

Haz luminoso con faros bixenón Haz luminoso con faros halógenos



Haz luminoso con faros bixenón con AFS

Figura 2.16 Comparativo de 3 tipos de iluminaciones

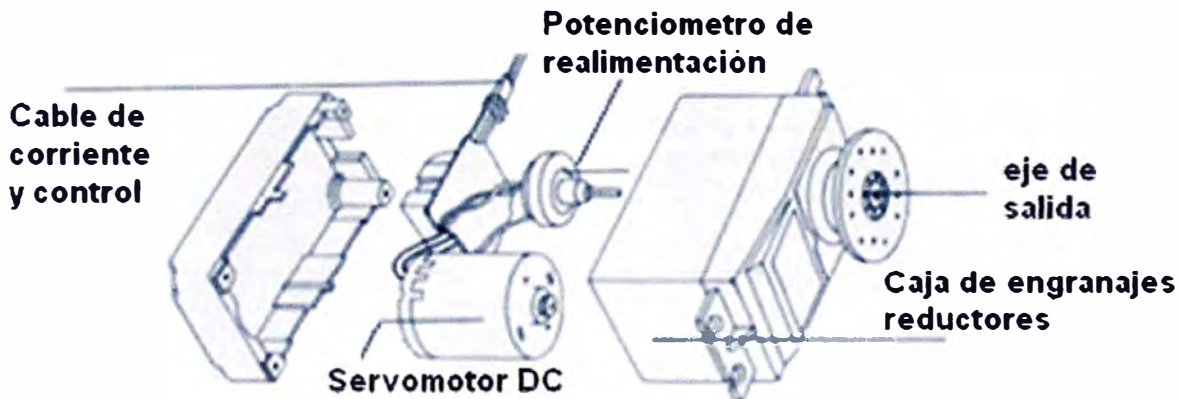


Figura 2.17 Estructura de un servomotor

2.4.2 Principios de funcionamiento

Los servos disponen de tres cables: dos cables de alimentación (positivo y negativo/masa) que suministran un voltaje 4,8V- 6V y un cable de control que indica la posición deseada al circuito de control mediante señales PWM ("Pulse Width Modulation").

Las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20ms (50Hz). Todos los servos pueden funcionar correctamente en un rango de movimiento de 90°, que se corresponde con pulsos PWM comprendidos entre 0.9 ms y 2.1ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5ms y 2.5ms como se muestra en la Figura 2.18. Antes de utilizar un servo habrá que comprobar experimentalmente su rango de

movimiento para no dañarlo

Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.

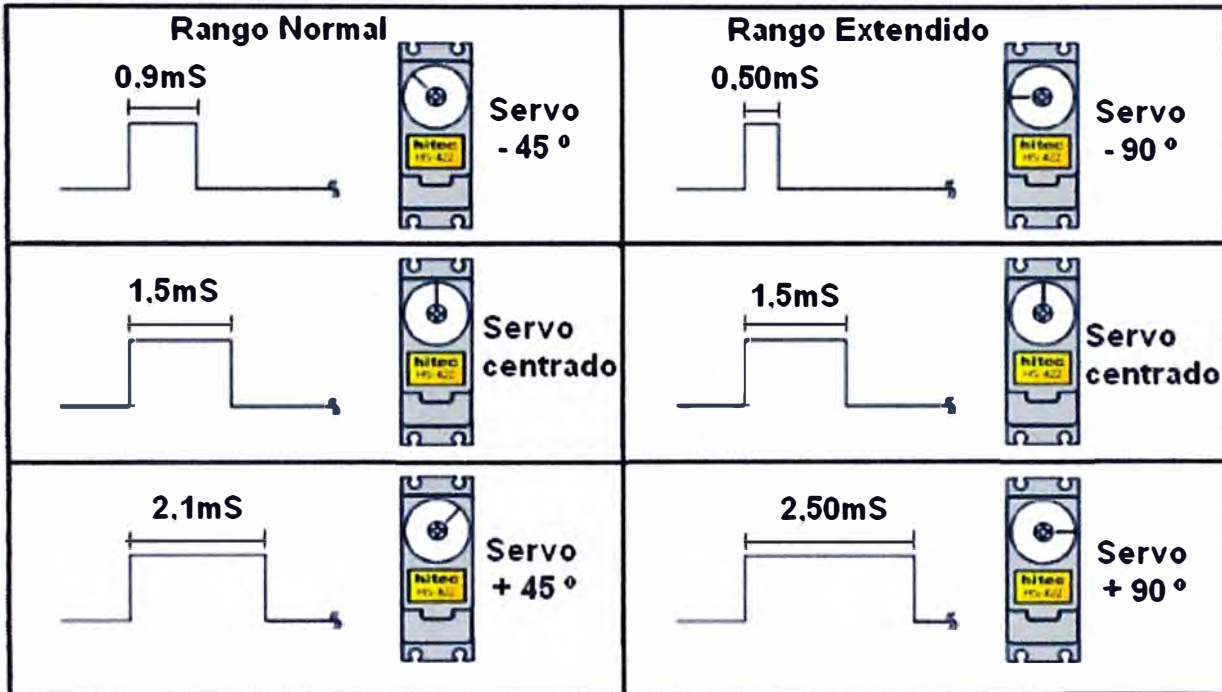


Figura 2.18 Rangos de funcionamiento de un servomotor

CAPÍTULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe la ingeniería del proyecto. El Informe de Suficiencia plantea una parte de la solución al Control Automático de luces del automóvil. Se presentan dos soluciones planteadas por algunos fabricantes una en forma genérica y otra específica de la marca Toyota para su modelo Carry.

3.1 Metodología convencional

Dado el alto grado de alumbrado de los faros de xenón y con la finalidad de evitar riesgos de deslumbramiento, se hace obligatorio que los vehículos que monten este sistema de iluminación incorporen adicionalmente un dispositivo de regulación del alcance de luces así como un sistema lavafaros. Con ello, además de evitar el deslumbramiento se asegura un óptimo confort de conducción al mantener estable la zona iluminada, se presentan una metodología que siguen muchos fabricantes. En la Figura 3.1 se observa la desviación de la iluminación por efecto de una carga en la parte posterior del vehículo.

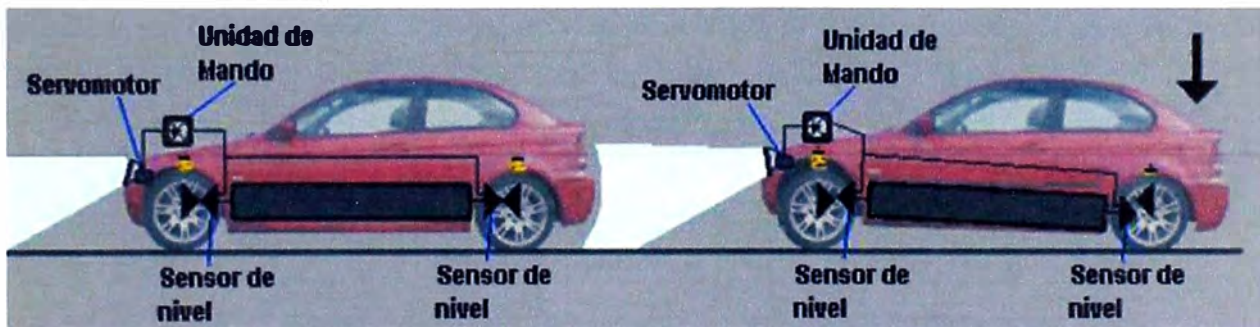


Figura 3.1 Desviación del haz luminoso por efecto de una carga

3.1.1 Elementos del sistema

El sistema está formado por los siguientes elementos, que se muestran en la Figura 3.2 y en la Figura 3.8:

- Sensores de carga delantero y trasero.
 - Unidad de control de regulación de luces.
 - Sensor de velocidad
 - Servomotores de regulación de faros
1. **Sensores de carga delantero y trasero:** Mediante el análisis de las posiciones instantáneas de sensor delantero y trasero la unidad de control determina la

inclinación de la carrocería. En caso de fallo de alguno de los transmisores, la unidad bloquea la regulación de faros, quedando estos orientados según la última posición memorizada o en otros casos en la posición más baja. La ubicación de estos sensores, comúnmente, se muestran en la Figura 3.3, Figura 3.4 y Figura 3.5

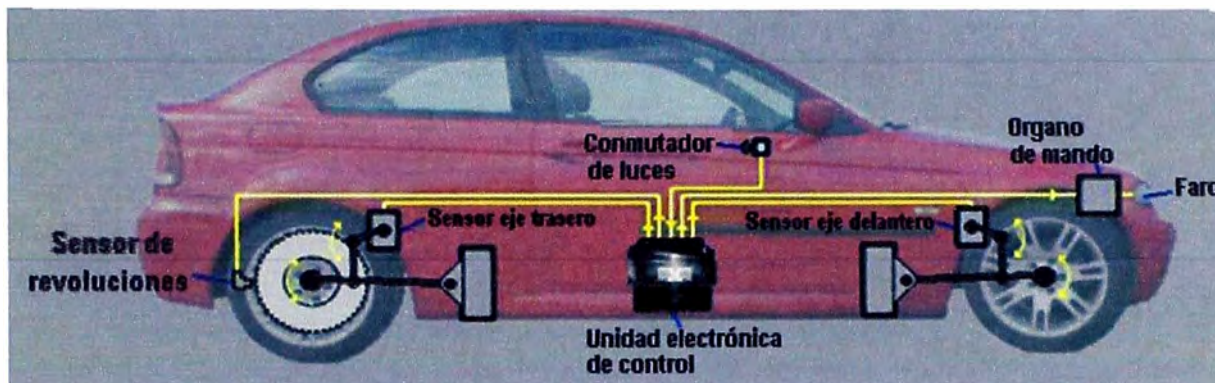


Figura 3.2 Ubicación de los elementos del sistema

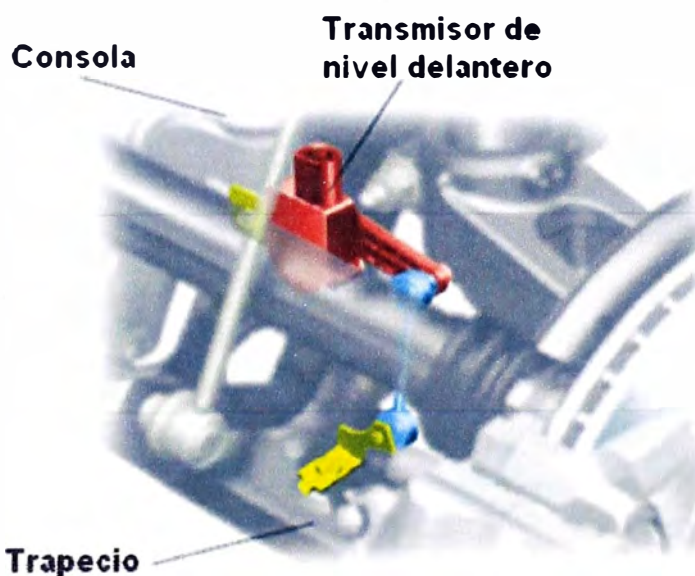


Figura 3.3 Ubicación del transmisor de nivel delantero

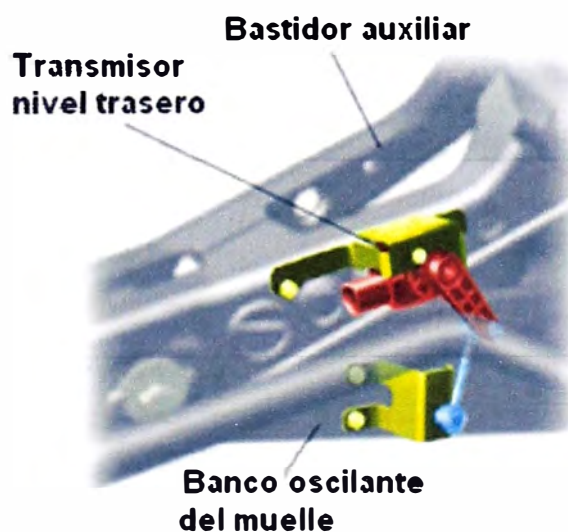


Figura 3.4 Ubicación del transmisor de nivel trasero



Figura 3.5 Ubicación del sensor de carga

Los sensores pueden ser de tres tipos: Potenciómetros, sensores de efecto Hall o sensores inductivos.

Sensores tipo potenciómetro: Consta de un potenciómetro especial, utilizado como un transductor de posición angular, actualmente lo utilizan pocos vehículos

Sensores de efecto Hall: Consta de una palanca por la que recibe el movimiento de la suspensión, un imán anular unido a la palanca y un transmisor Hall con circuito electrónico integrado. Al variar la carga, el imán anular gira modificando el flujo magnético sobre el transmisor hall, modificando la señal de salida del mismo. La señal de salida oscilara entre 0,5V a 4,5V para mínima y máxima densidad de flujo respectivamente. La Figura 3.6 nos muestra la linealidad de la salida del sensor Hall.

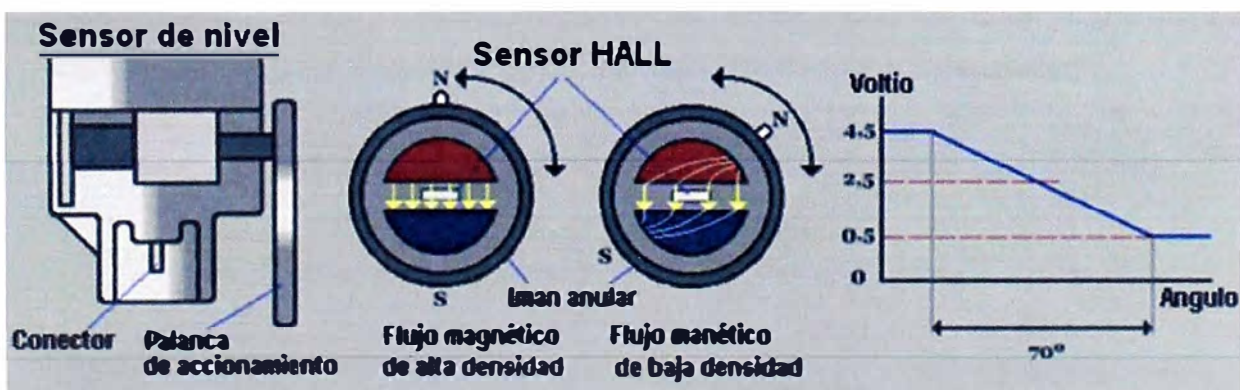


Figura 3.6 Sensor de efecto Hall

Sensores inductivos: El sistema está constituido por un rotor formado por una bobina solidaria a la palanca que registra el movimiento de la carrocería y por un estator con pista doble. La primera bobina del estator genera un campo magnético variable que produce en la segunda una tensión inducida con la que se establece, gracias a la modificación que sobre el campo magnético produce el giro del rotor, la posición de la carrocería. La Figura 3.7, muestra a un sensor inductivo despiezado.

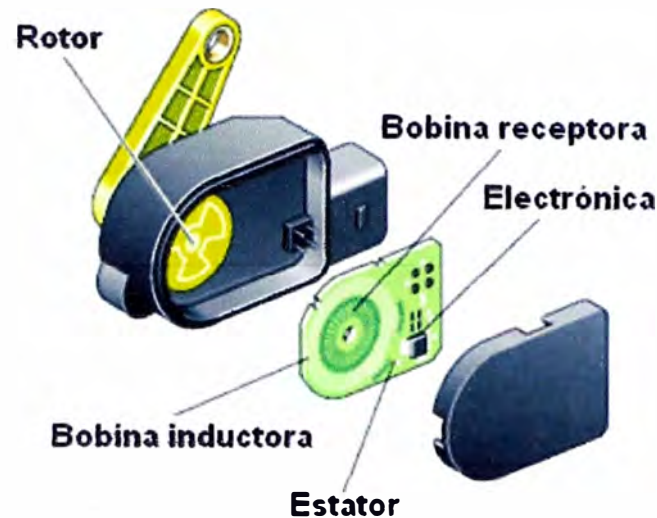


Figura 3.7 Sensor inductivo

2. **Unidad de control de regulación de luces:** La unidad de control, a partir de las señales de activación de las luces de cruce, velocidad del vehículo y las emitidas por los transmisores de nivel, calcula la corrección que debe aplicarse para ajustar el alcance de las luces. Este cálculo es convertido en una señal eléctrica con la que se accionan los servomotores de los faros

Pueden darse dos tipos de regulación:

- Regulación estática.-Debido a la distribución de la carga
 - Regulación dinámica.- Debido a las aceleraciones y frenadas (según modelos)
3. **Sensor de velocidad:** Utilizan las señales de velocidad de otros sistemas, por ejemplo a través del sensor utilizado para el ABS o el propio sensor del velocímetro.
4. **Servomotores:** Estos motores pueden ser de corriente continua o de paso a paso, se encargan de regular el alcance de luz de cada faro de forma independiente.

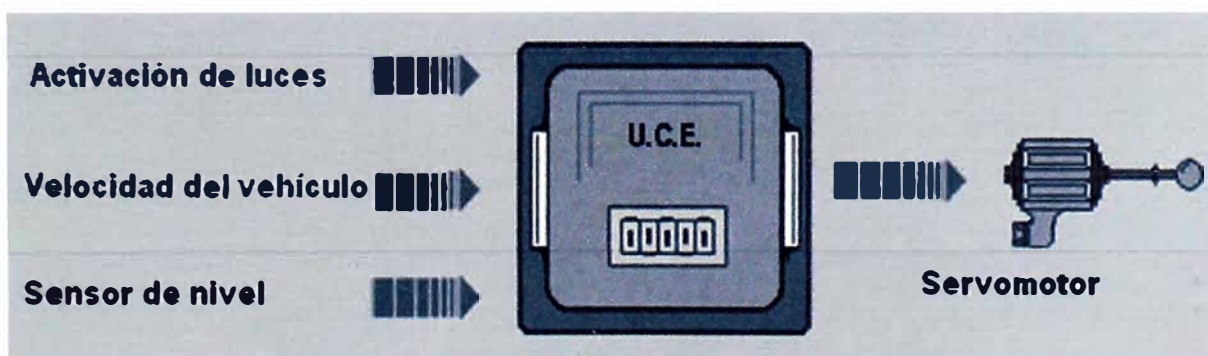


Figura 3.8 Señales que intervienen en la regulación de las luces

3.1.2 Estrategia de funcionamiento

La estrategia para la adaptación automática del alcance de alumbrado se realiza en cuatro fases. La Figura 3.9 muestra los bloques de la estrategia y la Figura 3.10 muestra la ubicación del servo motor:

Primera fase: La centralita se activa siempre que se gira el conmutador de arranque y

ajusta los faros a la cota exacta calculada en función de la carga del vehículo (señal que recibe de los transmisores de nivel) es decir abate completamente y después coloca el faro. En esta fase el factor tiempo es inmediato

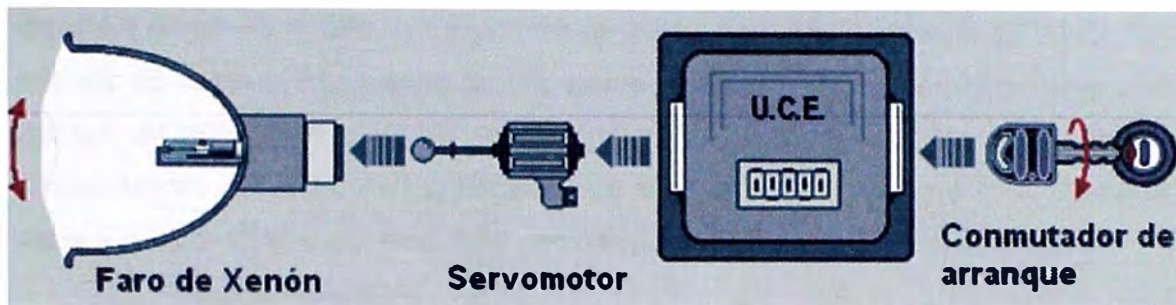


Figura 3.9 Bloques de la estrategia de funcionamiento del sistema

Segunda fase: Una vez realizado un cálculo inicial de la carrocería, solo se tomara nuevamente valores cuando el vehículo circule a velocidad constante y con las luces de cruce encendidas. Así por ejemplo, el consumo de combustible durante la marcha modificara la inclinación de la carrocería. El sistema regulara con periodos de tiempo largos, mientras circule a velocidad constante para contemplar las correcciones debidas a este factor. En esta fase el ajuste no es inmediato, se filtra para no realizar una corrección no deseada. (Ej.: badenes, baches etc.).

Tercera fase: Si se efectúa una parada con encendido conectado y se modifica la carga (Ej. Subir personas) se ajustan los faros con factor tiempo inmediato

Cuarta fase: El procesado de la señal de velocidad del vehículo le permite reconocer las fases de aceleración y frenado. La rápida evaluación de las señales y el aumento de la velocidad de regulación de los servomotores, permiten adaptar el alcance de las luces en fracción de segundo. "El conductor siempre tiene el mismo alcance visual"

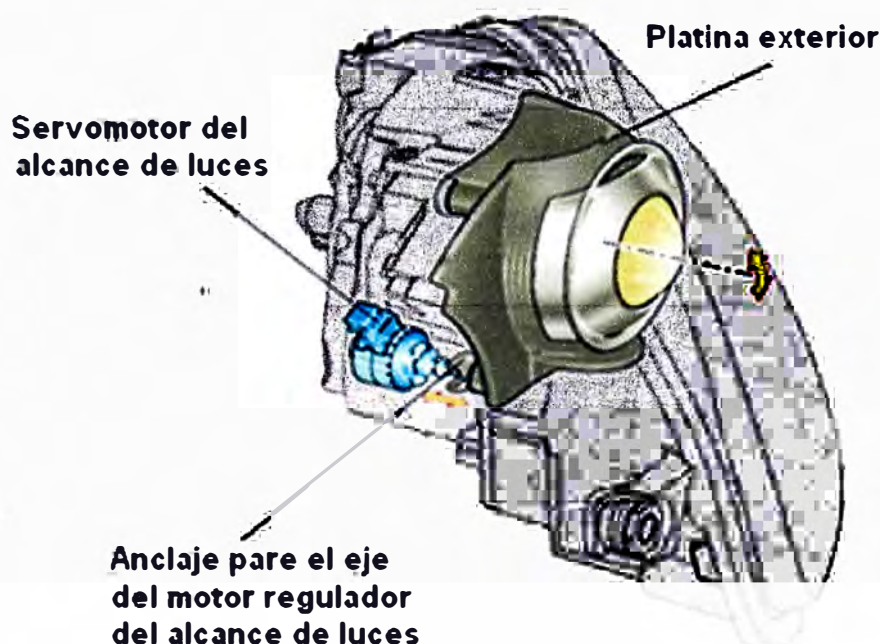


Figura 3.10 Servomotor del alcance de luces

3.1.3 Bixenon con luz de viraje dinámico

La compañía SEAT incorpora, en los modelos Altea, Toledo'05, León'06 y Altea XL, una nueva función al ya conocido sistema de faros bixenón: la regulación de luz de viraje dinámica o **AFS**. Esta función es capaz de adaptar la posición de los faros al trazado de la vía por la que se circula, por lo que aporta grandes ventajas en cuanto a confort de conducción, seguridad e Iluminación. En la Figura 3.11 se muestran los componentes del AFS, en la Figura 3.12 se muestra un auto sin AFS mientras que en la Figura 3.13 el auto tiene AFS permitiendo establecer una comparación.

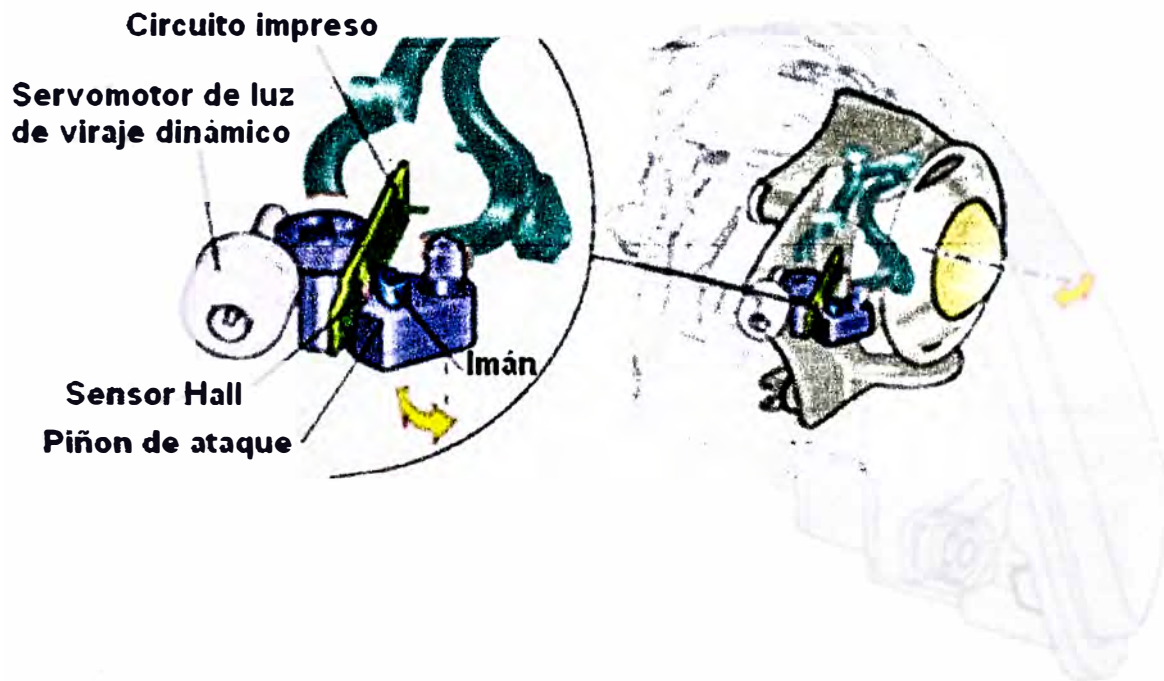


Figura 3.11 Servomotor de viraje dinámico



Figura 3.12 Iluminación sin viraje dinámico



Figura 3.13 Iluminación con viraje dinámico (AFS)

3.2 Metodología utilizada por Toyota en su modelo Canry.

Se analiza la forma como en el automóvil Canry de Toyota se aplica una metodología particular para automatizar el control de luces, el automóvil se muestra en la Figura 3.14)



Figura 3.14 Automóvil Canry de Toyota

3.2.1 Sistema de faros HID

El sistema de faros HID (descarga de alta intensidad) utiliza una lámpara de descarga como fuente luminosa para las luces de cruce. En la Figura 3.15 y en la Figura 3.16 se muestran el esquema y la ubicación de los componentes del sistema HID

- Las lámparas de descarga tienen las siguientes características:
 - El color de la luz emitida por la lámpara se asemeja a la luz solar. La luz ilumina una zona más amplia y proporciona un mayor alcance, permitiendo al conductor disponer de una mayor área de visión.

- Consumen menos electricidad.
- El sistema consta de lámparas de descarga y ECU de control de las luces.
- La ECU de control de las luces transforma la corriente procedente de la batería en una corriente de alta tensión de hasta 20.000 V y la aplica a las lámparas de descarga para iluminarlas.
- Se incluye una función a prueba de fallos como protección contra la tensión generada en caso de producirse un problema en el sistema de faros.

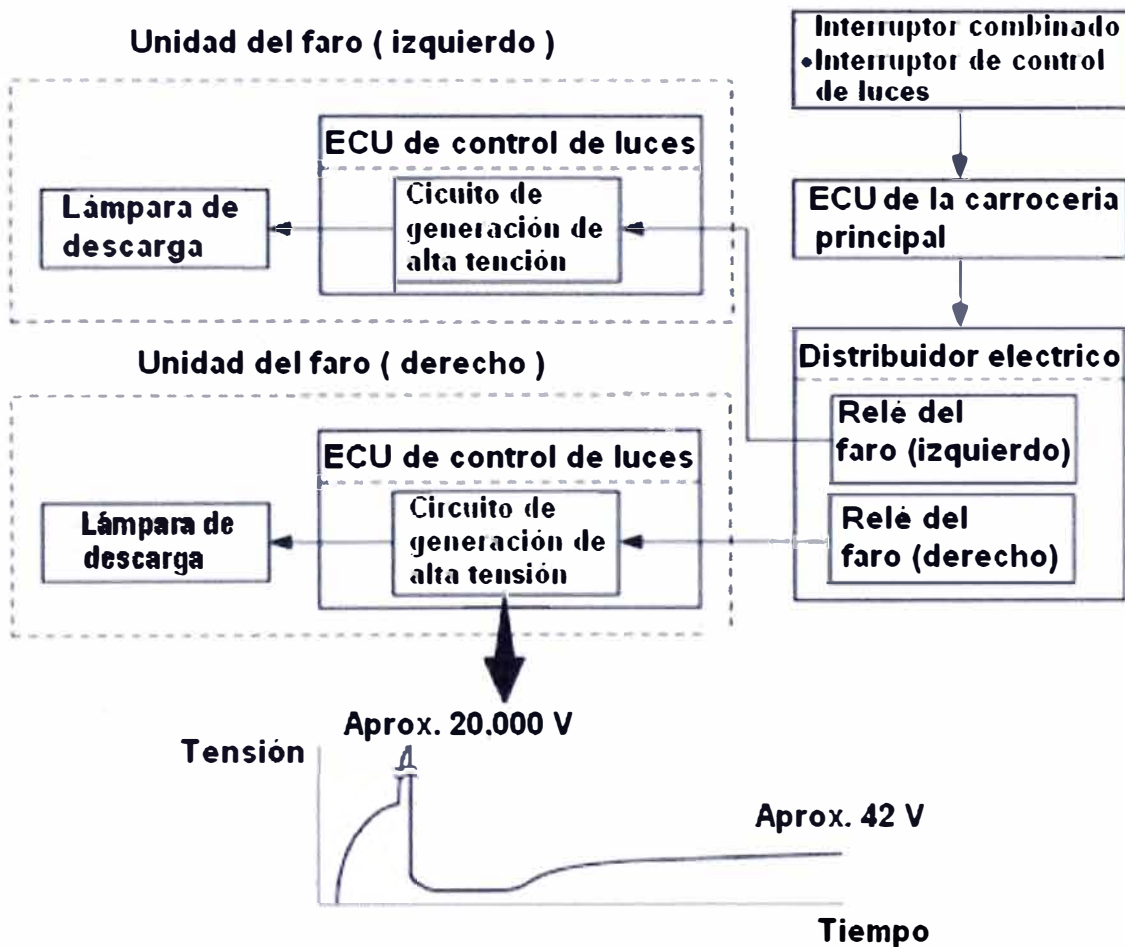


Figura 3.15 Esquema del sistema HID

3.2.2 Sistema de regulación del nivel de la luz de los faros

El modelo Canry de Toyota presenta dos opciones de regulación del nivel de la luz de los faros:

1. **Regulación manual del nivel de la luz de los faros:** Cuando la altura del vehículo cambia debido al número de pasajeros y del peso del equipaje, este sistema permite ajustar manualmente la altura de la luz de los faros (5 posiciones) hasta el nivel adecuado mediante el interruptor de regulación del nivel de la luz de los faros. La altura del haz de los faros se puede ajustar gracias a los actuadores integrados en las unidades de los faros. La Figura 3.17 muestra la ubicación y la Figura 3.18 el circuito del regulador manual.

2. **Regulación automática del nivel de la luz de los faros:** Presenta las siguientes características:

- Si el vehículo está detenido y los faros encendidos, el sistema de regulación del nivel de la luz activará el actuador de nivel de los faros de acuerdo con el cambio de posición del vehículo.
- El sistema automático de regulación del nivel de la luz de los faros consta principalmente de una ECU de regulación del nivel, un sensor de regulación de la altura de la parte trasera del vehículo y dos actuadores de nivel de los faros. En concreto, la ECU se encarga de controlar todo el sistema.
- La ECU de regulación del nivel de la luz de los faros calcula los cambios de la posición del vehículo a partir de las señales procedentes del sensor de regulación de la altura (parte trasera derecha) y el juego de instrumentos (ECU de los indicadores).
- De acuerdo con esta información, la ECU controla el actuador de nivel de los faros para cambiar el ángulo del reflector de los faros.

La Figura 3.19 muestra un auto con regulación automática y la Figura 3.20 el esquema de dicho sistema.

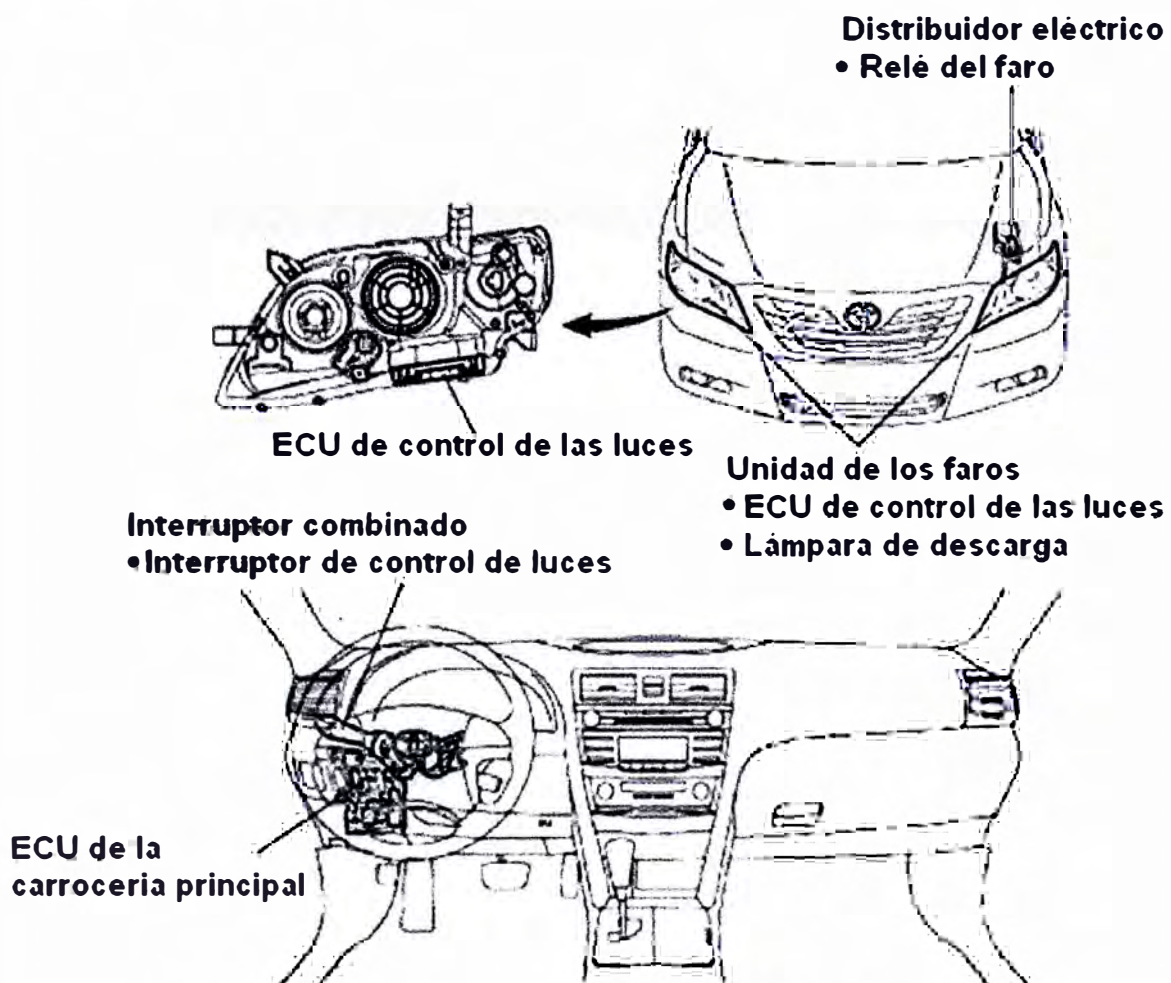


Figura 3.16 Distribución de los componentes principales

Interruptor de regulación del nivel de la luz de los faros

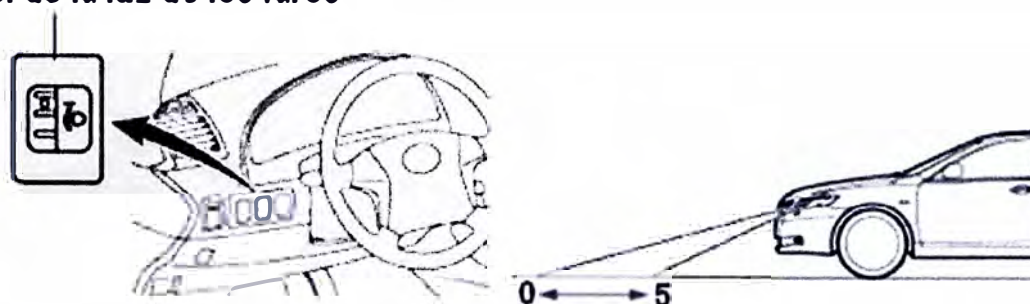


Figura 3.17 Interruptor del regulador manual

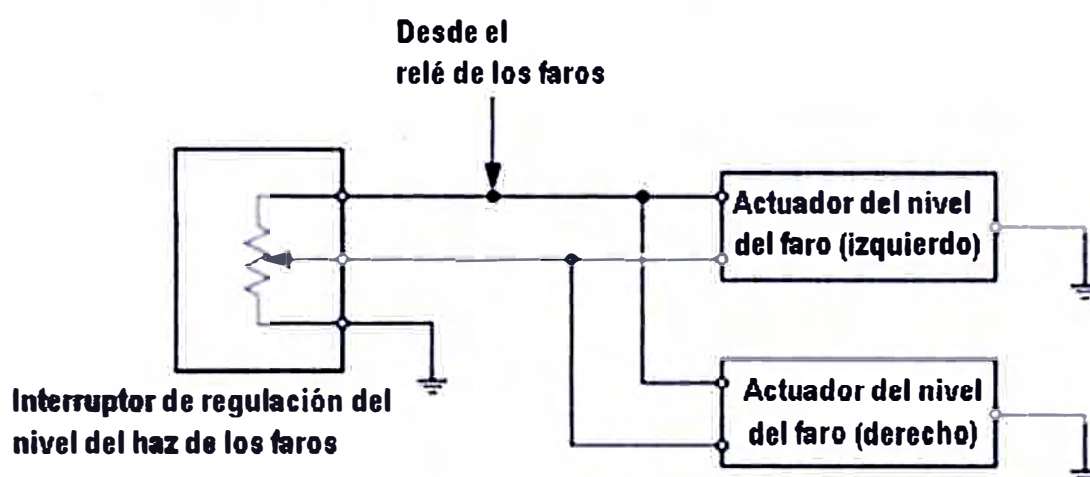


Figura 3.18 Diagrama de conexiones del regulador manual



Figura 3.19 Automóvil con regulación automática

3.2.3 Distribución de los componentes principales

Los principales componentes que intervienen en el sistema, se muestran en la Figura 3.21, son los siguientes:

- ECU de control del nivel de la luz de los faros
 - Esta ECU detecta la variación de la postura del vehículo basándose en las señales que recibe del sensor de control de altura, el sensor de detección de ocupante y el juego de instrumentos.
 - La ECU emite una señal de control, basada en el valor detectado, al actuador de ajuste de altura de los faros.
 - Cuando la ECU detecta una avería, emite una señal de solicitud de mensaje de advertencia en el juego de instrumentos (ECU de medidores).

- Esta ECU proporciona un control de ajuste inicial y una función a prueba de fallos.
- **Actuador del nivel de los faros**
 - Basándose en las señales recibidas de la ECU de control de altura de la luz de los faros, cada actuador de ajuste de altura desplaza el reflector de su faro para variar el haz de luz.
 - El actuador utiliza un motor de CC que regula con gran precisión el ángulo del reflector.
- **Sensor de control de altura (trasero derecho)**
 - Este sensor detecta la variación de la altura del vehículo, y emite este valor en forma de señal a la ECU de control de altura de la luz de los faros.
- **Juego de instrumentos**
 - Transmite la señal de velocidad del vehículo a la unidad ECU de control de altura de la luz de los faros.
 - Si el sistema tiene una avería, el juego de instrumentos (ECU de medidores) enciende el indicador de advertencia del sistema de graduación automática del nivel de la luz de los faros para alertar al conductor.

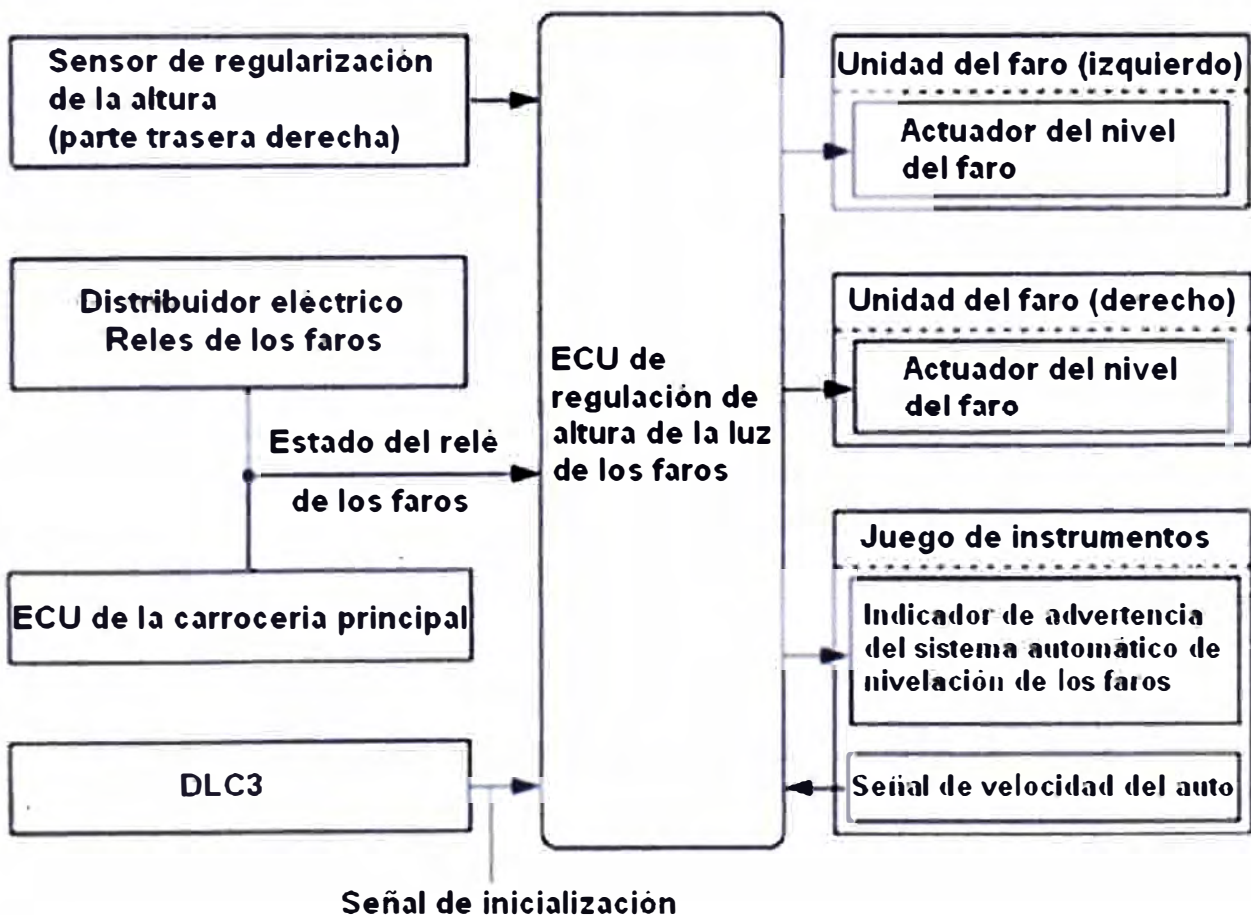


Figura 3.20 Esquema del sistema de regulación automática.

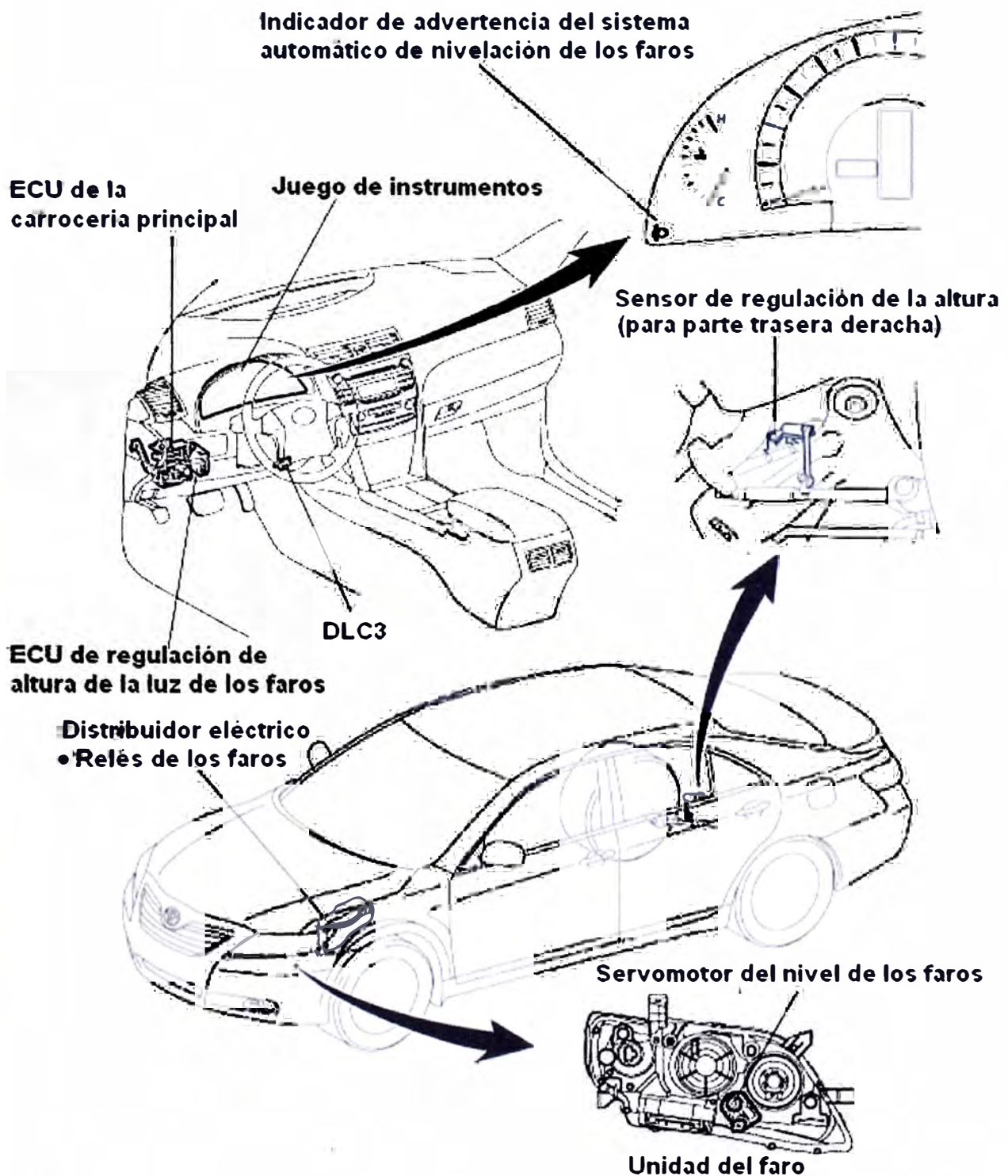


Figura 3.21 Distribución de los componentes principales del regulador automático

3.2.4 Función a prueba de fallos

Cuando se detecta alguna de las averías descritas a continuación, la ECU de regulación del nivel de la luz de los faros deja de transmitir señales al actuador del nivel de los faros, detiene la regulación del nivel de la luz de los faros y emite una señal de solicitud para un mensaje de advertencia en el juego de instrumentos.

Al recibir esta señal, el juego de instrumentos enciende el indicador de advertencia

del sistema de graduación automática del nivel de la luz de los faros para alertar al conductor.

Anomalías del sensor de control de la altura:

- Tensión irregular en la fuente de alimentación del sensor de control de la altura (4,6 V o menos)
- Tensión irregular de la señal del sensor de control de la altura (0,25 V o menos, o 4,75 V o más)

Anomalía de la tensión de la fuente de alimentación:

Tensión irregular de la fuente de alimentación de la ECU de regulación del nivel de la luz de los faros (18,5 V o más, o 9 V o menos)

Anomalía de la velocidad del vehículo:

Velocidad excesiva detectada en el vehículo

Anomalía en el reajuste de la ECU durante la conducción:

Reajuste de la ECU de regulación del nivel de la luz de los faros mientras el vehículo está en marcha (por ejemplo, cuando hay un circuito abierto provisionalmente en la fuente de alimentación de la ECU de regulación del nivel de la luz de los faros.

3.2.5 Diagramas de conexiones

Se presentan los principales diagramas del sistema de regulación de las luces

Circuito de la fuente de alimentación eléctrica de la ECU de nivelación de los faros: Este circuito detecta el estado del interruptor de encendido y envía la información a la ECU de regulación del nivel del haz de los faros. El circuito de nivelación de los faros se muestra en la Figura 3.22

Circuito del sensor de regulación de la altura: La ECU de regulación del nivel del haz de los faros recibe una señal del subconjunto del sensor de regulación de la altura trasero para detectar la altura del vehículo. El circuito de la regulación de la altura de los faros se muestra en la Figura 3.23

Circuito del actuador de control del nivel de la luz de los faros: La ECU de regulación del nivel del haz de los faros activa el motor de nivelación de los faros en función del estado del vehículo. El circuito del servomotor se muestra en la Figura 3.24

Circuito de advertencia del nivel del haz de los faros: El indicador de advertencia del sistema de regulación del nivel del haz de los faros del conjunto del juego de instrumentos se enciende durante unos 3 segundos tras colocar el interruptor de encendido en posición ON. El indicador de advertencia también se enciende cuando la ECU de regulación del nivel del haz de los faros detecta una avería. El circuito de advertencia del nivel del haz de los faros se muestra en la Figura 3.25

Circuito de la señal de velocidad: La ECU de control del nivel de la luz de los faros recibe

la señal de velocidad del vehículo del juego de instrumentos. El circuito que muestra la señal de velocidad para la ECU es el de Figura 3.26

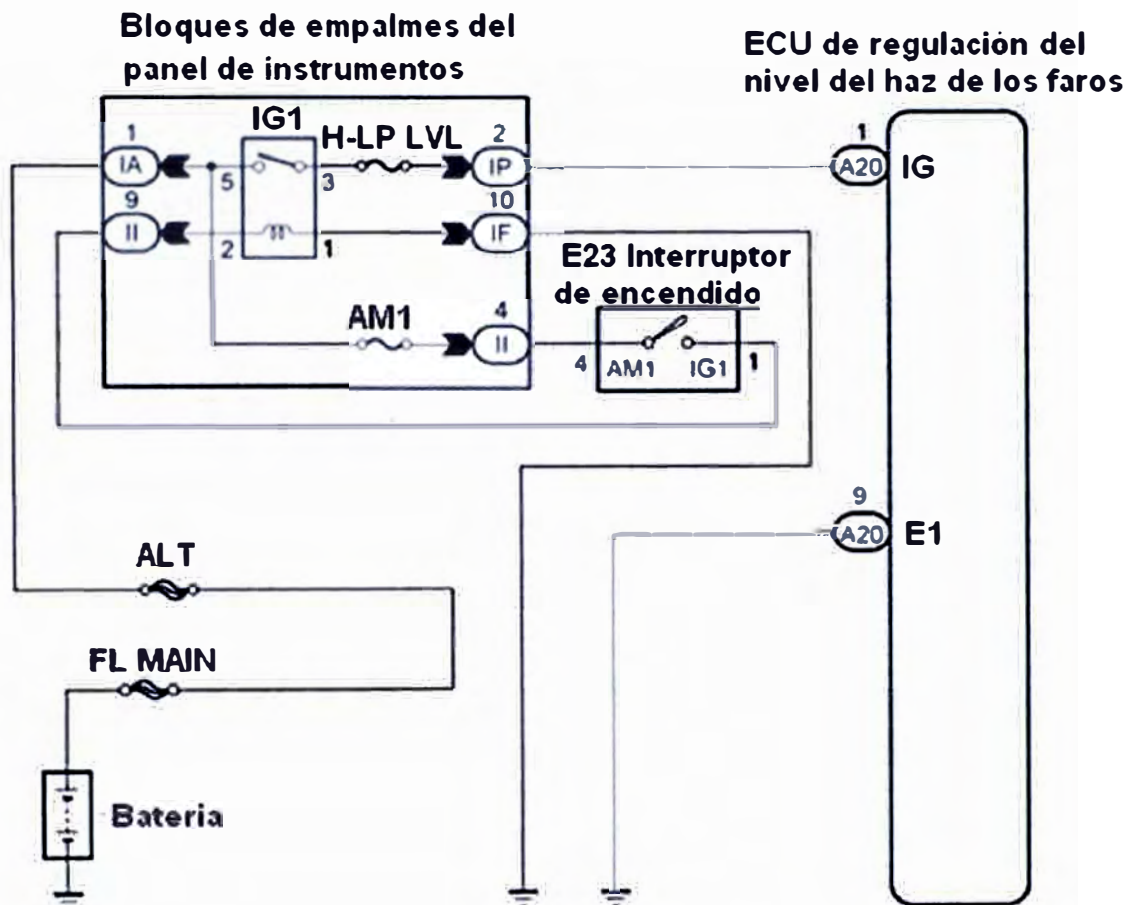


Figura 3.22 Circuito de la fuente de la ECU de nivelación de los faros

Sensor de regulación de altura

ECU de regulación del nivel del haz de los faros

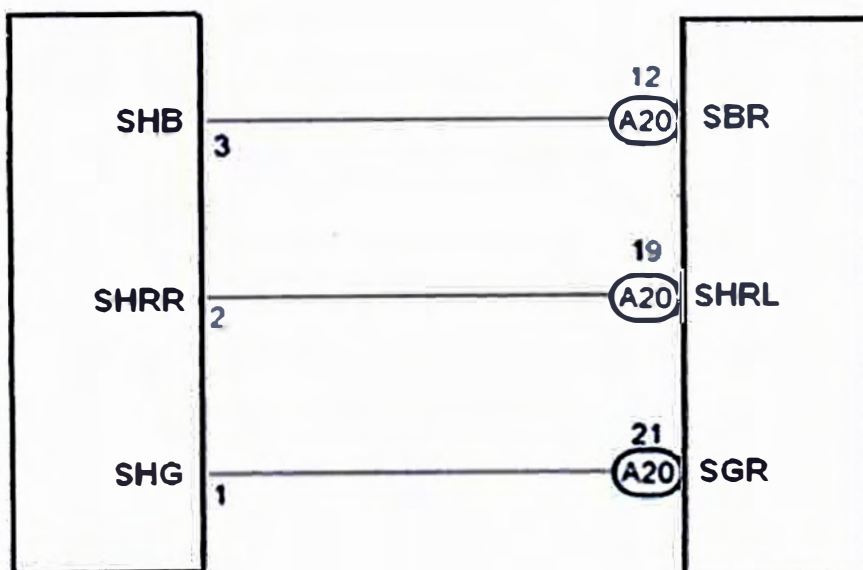


Figura 3.23 Circuito del sensor de regulación de la altura

Servomotor de nivelación de los faros izquierdos

ECU de regulación del nivel del haz de los faros

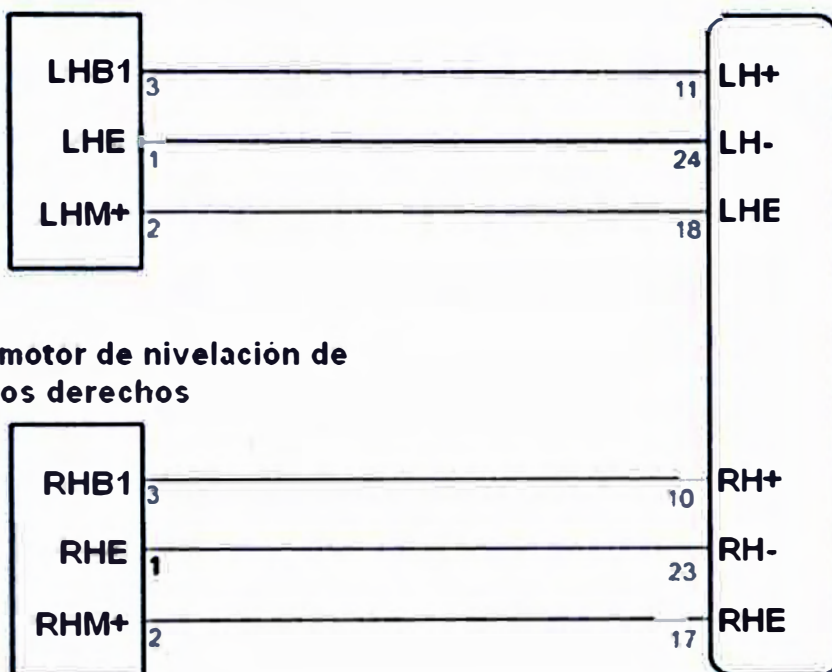


Figura 3.24 Circuito de los servomotores del nivel de los faros

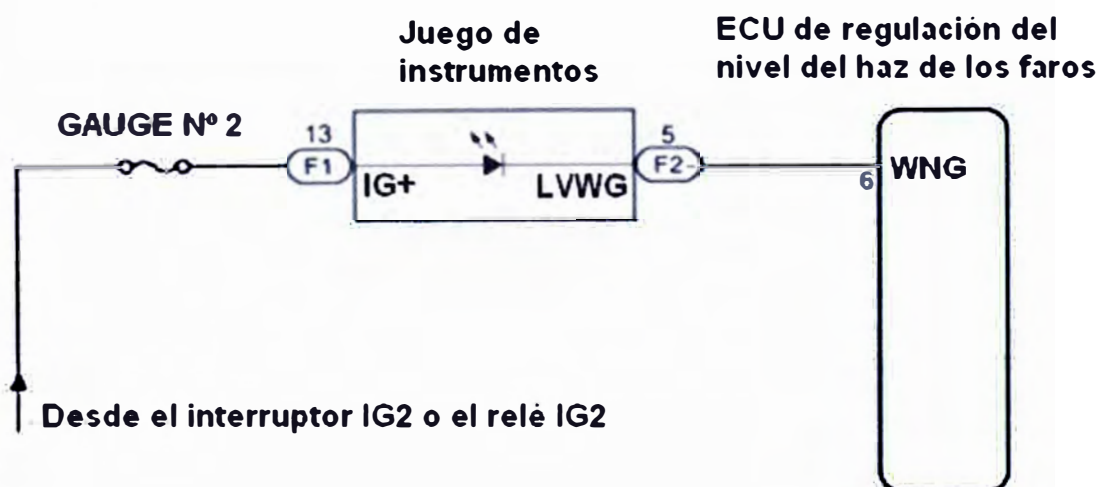


Figura 3.25 Circuito de alarma del nivel de los faros

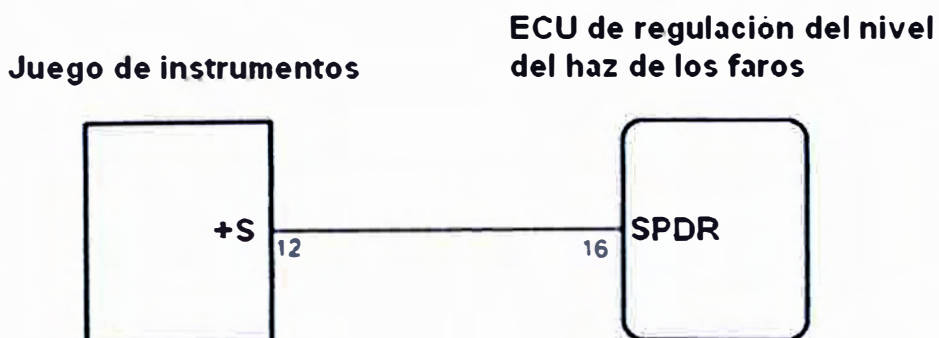


Figura 3.26 Circuito de la señal de velocidad

3.2.6 Despiece de componentes del faro:

Cada faro delantero se presenta como una sola pieza, en la Figura 3.27 se muestra las piezas que conforman la unidad del faro

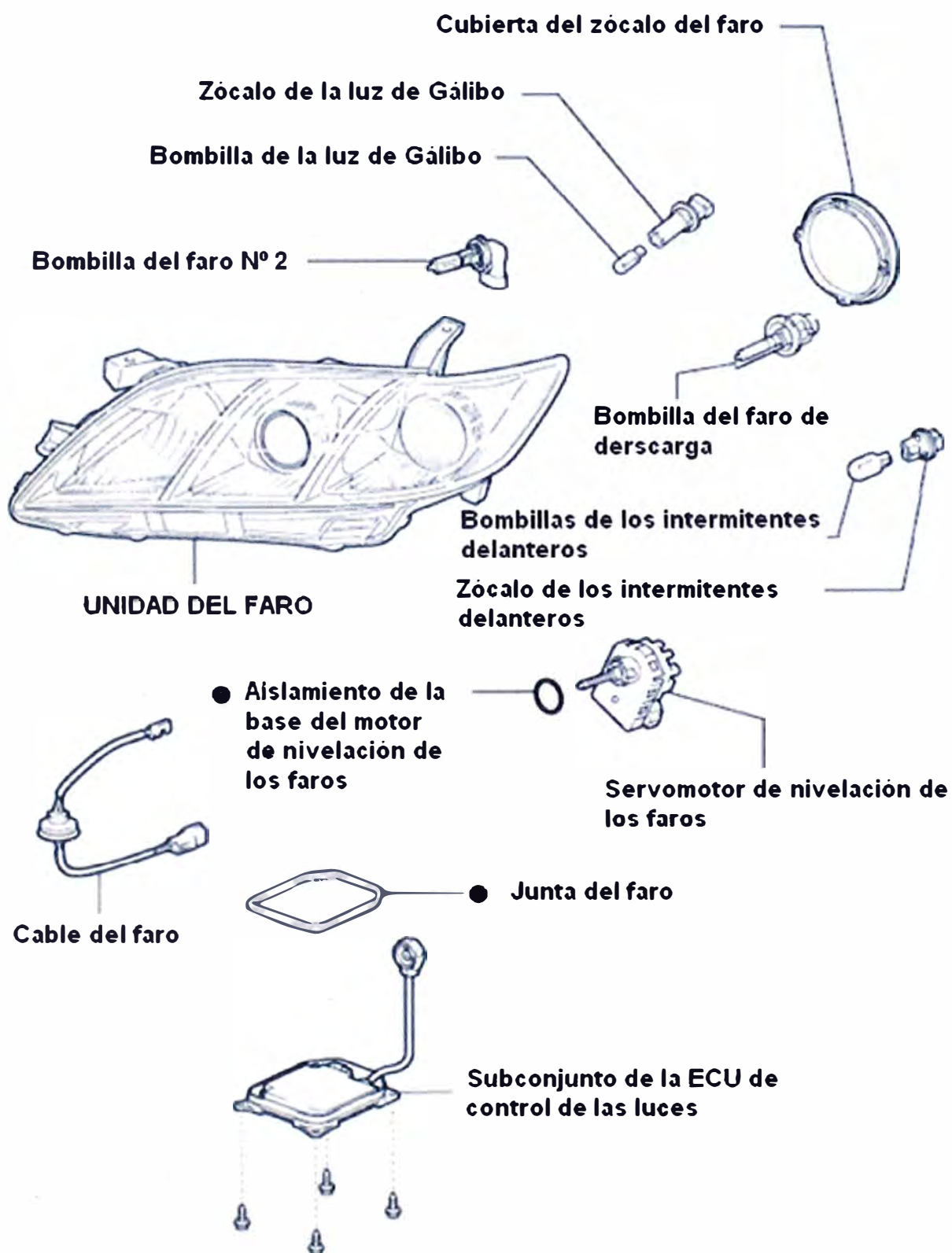


Figura 3.27 Despiece de componentes del faro

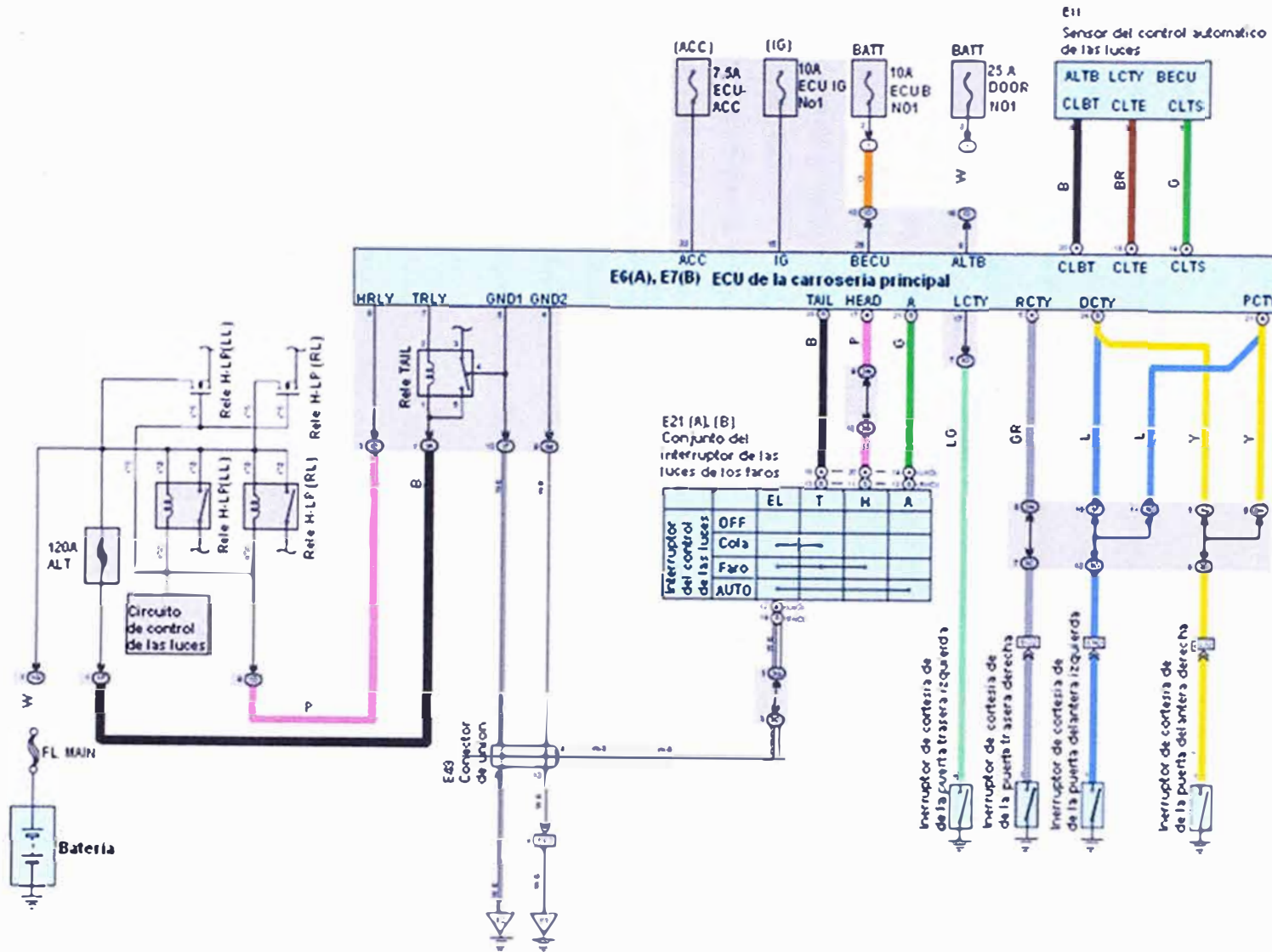


Figura 3.28 Control automático de nivel de las luces

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Introducción

La solución planteada se refiere a posicionar un tipo de servomotor que requiere una señal PWM de unas ciertas características, que dependiendo del ciclo de trabajo, hace que el servo se mueva hacia una u otra posición.

El enfoque planteado es el de diseñar un módulo hardware que se implemente en una FPGA de manera que libere a otro circuito de mayor jerarquía por ejemplo un microcontrolador, de todas las operaciones de posicionamiento del servomotor.

Para la simulación se programó el FPGA EPF10K20RC240-3 de ALTERA en un entorno MAX+PLUS II

4.2 Objetivos

Los objetivos de este capítulo son:

- Se estudian las ecuaciones de los parámetros del PWM para poder optimizar el hardware lo máximo posible, así como se determinan la relación entre optimización y precisión en el posicionamiento del servo.
- Se desarrolla un hardware optimizado capaz de generar una señal PWM necesaria para posicionar servomotores del tipo común, con una precisión determinada. (A nivel de bloques lógicos).
- Implementación en VHDL para ejecutarlo como un proceso hardware en un FPGA

4.3 Descripción del servomotor

En este apartado se describe el servomecanismo por utilizar, Casi todos los servos son compatibles, por lo que todo lo desarrollado en este proyecto será válido para otros modelos de servos. Se analiza la señal de control, y se definen una serie de parámetros que la caracterizan.

Una de las principales ventajas del servomotor es su reducido tamaño y la posibilidad de desmontarlo completamente

El movimiento del servomotor se diseñó en bucle abierto, es decir, se le envía una señal de control que le indica la posición en la que debe situarse el eje, pero no existe una señal de realimentación que nos indique cuando se ha realizado la operación; el bucle lo cierra internamente el propio Servo. Esta forma de control es muy buena en

aplicaciones en las que el servo tiene suficiente fuerza para poder girar, sabiendo que no van a existir obstáculos y que transcurrido un tiempo máximo el servo se posicionará

Para una aplicación en lazo cerrado, se tiene la posibilidad de conectar un potenciómetro interno de manera que el sistema de control pueda cerrar el bucle.

4.3.1 Señal de control.

El control de la posición de los servos se hace aplicando una señal de control como la mostrada en la figura 4.1 (señal de control).

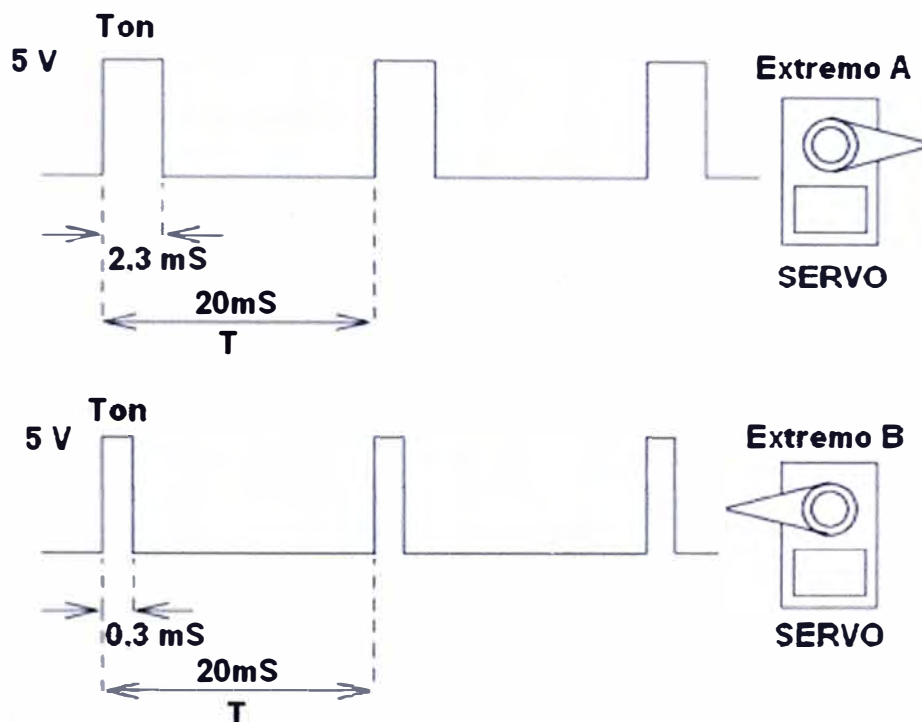


Figura 4.1 Señal de control del servomotor

Se trata de una señal periódica, de periodo $T=20\text{ms}$, que se encuentra activa sólo durante un pequeño intervalo de tiempo (T_{on}). Es la anchura de este pulso la que determina la posición del eje del servomotor. En la figura se muestran las dos posiciones extremas. El resto de posiciones se obtienen linealmente cuando la anchura del pulso varía entre $0,3\text{ms}$ y $2,3\text{ms}$. Así por ejemplo, para situar el servo en su posición central habrá que aplicar un ancho de $1,3\text{ms}$ ($T_{on} = 1,3\text{ms}$).

Mientras el servomotor reciba señal, permanecerá en la posición indicada, ejerciendo fuerza, de lo contrario puede perder fácilmente su ubicación.

La nomenclatura empleada para los parámetros de la señal PWM es la siguiente:

- T : Periodo de la señal.
- $T_{on}(\text{min})$ = Anchura mínima de la señal PWM
- $T_{on}(\text{max})$ = Anchura máxima de la señal PWM
- T_{on} : Tiempo durante el cual la señal de PWM está activa. T_{on} entre $T_{on}(\text{min})$ y $T_{on}(\text{max})$
- W : Margen dinámico en anchura de la señal de PWM: $W = T_{on}(\text{max}) - T_{on}(\text{min}) = 2\text{ms}$

4.4 Diseño Hardware.

Se propone un circuito de control genérico y se obtienen las ecuaciones necesarias que permiten su dimensionamiento, de manera que se pueda optimizar lo máximo posible según la precisión requerida para la aplicación.

Se desarrollan fórmulas para obtener un esquema hardware con una precisión suficientemente buena para la aplicación del movimiento del servomotor.

4.4.1 Arquitectura para el control del servomotor.

En la figura 4.2 se muestra el esquema de la solución planteada al Control de luces del automóvil.

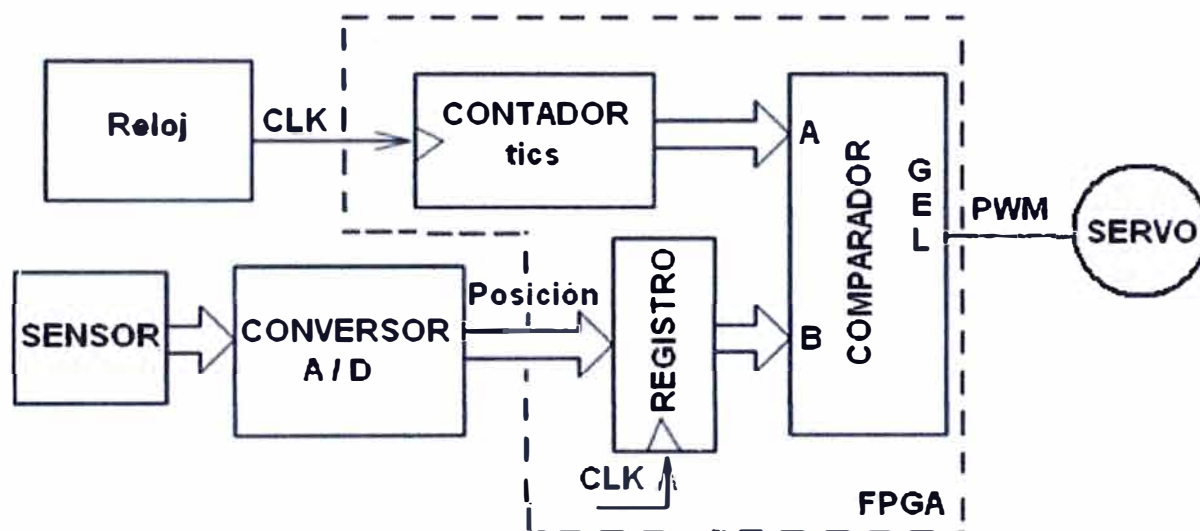


Figura 4.2 Esquema inicial para la generación de una señal PWM

El diseño muestra que mediante un sensor de nivel que envía la posición de la inclinación de la carrocería del automóvil, esta señal se convierte a digital a través de un convertidor A/D, que ingresa a un FPGA como lo muestra la figura 4.3

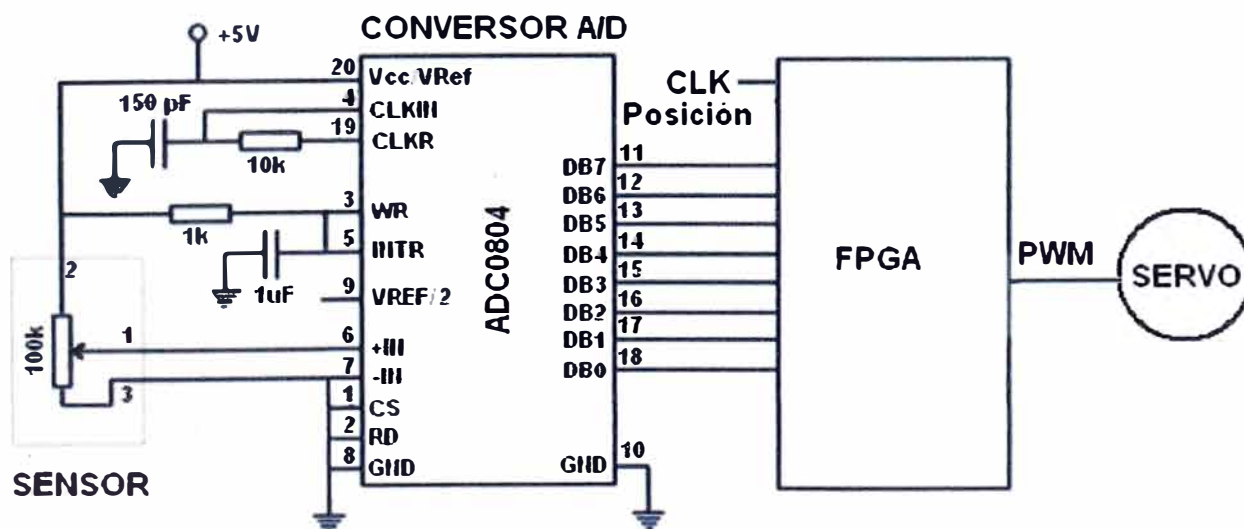


Figura 4.3 Esquema : Sensor, Conversor A/D y FPGA

El reloj del sistema incrementa un contador, de manera que se lleva la cuenta de cuántos tics de reloj han transcurrido desde que inicialmente se encontraba a cero.

Mediante un comparador se comprueba si el número de tics recibidos es menor que la posición especificada. Esta posición, que es en realidad el ancho del pulso de la señal PWM, se expresa también en tics de reloj, por lo que mientras que los tics contados sean menores que los tics del ancho del pulso, la señal de salida del comparador, L, permanecerá a nivel alto. En cuanto los tics superen este valor, la señal L se pone a cero.

Tanto el periodo T de la señal PWM como el ancho del pulso (T_{on}) se especifican en tics del reloj principal, de manera que cuanto mayor sea la frecuencia del reloj, mayor número de tics habrá que contar para tener el mismo ancho del pulso (el sistema necesitará un mayor número de bits) y cuando menor frecuencia el error en la determinación del ancho exacto es mayor, el error de discretización es mayor.

4.4.2 Caracterización de parámetros.

Los parámetros que intervienen en el análisis matemático para determinar las características del esquema hardware aplicado al movimiento del servomotor son:

a) Parámetros de la señal de reloj principal:

- T_{clk} : Periodo de la señal de reloj, o lo que es lo mismo, duración de un tic de reloj.
- $F_{clk} = \frac{1}{T_{clk}}$: Frecuencia de la señal de reloj.

b) Parámetros de la señal PWM:

Se pueden expresar en unidades de tiempo, pero también se pueden discretizar y expresarse en tics de reloj.

- De tiempo continuo:

$T, T_{on}, W, T_{on}(\min), T_{on}(\max)...$

- De tiempo discreto (en tics):

N_T : Periodo

N_{Ton} : Anchura de la señal PWM

- Ambos tipos de parámetros están relacionados por el valor del periodo del reloj principal (T_{clk})

$$T = N_T \cdot T_{clk}$$

$$T_{on} = N_{Ton} \cdot T_{clk}$$

c) Parámetros de precisión:

P: Precisión del posicionamiento del servo (grados/tic). Lo que se mueve el servo por cada tic de reloj.

d) Parámetros del hardware:

B_c : Número de bits del contador

B_r : Número de bits del registro

4.4.3 Dimensionamiento.

a) Planteamiento.

Tomando como punto de partida la precisión en la posición del servo (P) determinaremos los siguientes parámetros para poder implementar el esquema de la figura 4.2:

- **Número de bits del contador (B_c)**
- **Número de bits del registro (B_r)**
- **Frecuencia de la señal CLK (F_{clk}) (o su periodo T_{clk})**

La generación de la señal de PWM utilizando una arquitectura como la de la figura 6 implica una discretización. Hay que obtener la frecuencia mínima del reloj ($F_{clk}(\min)$) o su periodo máximo ($T_{clk}(\max)$) que garanticen una precisión de P grados. A partir de estos datos se pueden conocer todos los demás expresados en tics de reloj y a partir de ahí obtener los bits necesarios para el contador y el registro.

Los cálculos se tienen que hacer en dos fases. En la primera se determina N_T a partir de la precisión P con lo que calculamos el número mínimo de bits necesarios para el contador y el registro de posición. Sin embargo, el contador debe ser módulo N_T , es decir, que una vez que haya contado todos los tics del periodo de la señal, deberá comenzar desde cero. Por ello hay que tomar $N_T = 2^{B_c}$ y volver a calcular los parámetros anteriores, obteniéndose una nueva precisión P' que será mejor o igual que la precisión tomada inicialmente para los cálculos ($P' \leq P$).

b) Ecuaciones.

Margen dinámico discreto: El máximo recorrido del eje del servo es de 180° y la precisión de P($^\circ$ /tic), lo que implica que el margen dinámico sea:

$$N_w = \frac{180}{P} \text{ tics} \dots\dots\dots (4.1)$$

Valores extremos del reloj principal: Teniendo en cuenta que el margen dinámico es $W = N_w \cdot T_{clk} = 2\text{ms}$, y sustituyendo N_w según la ecuación 1, obtenemos el periodo máximo de la señal de reloj que permite tener una precisión en la posición de P($^\circ$ /tic):

$$T_{clk}(\max) = \frac{P}{90} \text{ ms} \dots\dots\dots (4.2)$$

Y su inversa nos determina la frecuencia mínima de funcionamiento:

$$F_{clk}(\min) = \frac{90}{P} \text{ kHz} \dots\dots\dots (4.3)$$

Periodo discreto de la señal PWM: El periodo de la señal PWM se divide en N_T tics de reloj partiendo de:

$$T = N_T \cdot T_{clk} \rightarrow N_T = \frac{T}{T_{clk}} = 20 \frac{90}{P} = \frac{180}{P}$$

Obtenemos la ecuación:

$$N_T = \frac{180}{P} \dots\dots\dots (4.4)$$

Cuanta más precisión en la posición del servo (menor valor de P), mayor será el número de tics que se deben contar y por tanto mayor será el número de bits Bc del contador, por lo que **cuanto mayor precisión queramos, más recursos emplearemos en la implementación.**

Anchura máxima discreta de la señal PWM: Discretizando la anchura máxima de la señal PWM, obtenemos la anchura máxima en tics de reloj, que nos servirá para determinar el número de bits (Br) del registro de posición:

$$T_{on(max)} = N_{Ton(max)} \cdot T_{clk} \rightarrow N_{Ton(max)} = \frac{T_{on(max)}}{T_{clk}} = \frac{2,3}{T_{clk}} = \frac{207}{P} \text{ tics}$$

$$N_{Ton(max)} = \frac{207}{P} \text{ tics} \dots\dots\dots (4.5)$$

Número de bits del contador: Se obtienen a partir de la inecuación:

$$2^{Bc} \geq N_T$$

Que indica que el contador debe tener los suficientes bits como para poder contar los tics de reloj del periodo de la señal PWM, al menos. Despejando Bc de esta fórmula:

$$B_c = E(\log_2 N_T + 1) \dots\dots\dots (4.6)$$

Número de bits del registro de posición: Se obtienen de manera similar al número de bits del contador, a partir de la inecuación:

$$2^{Br} \geq N_{Ton(max)}$$

Que expresa que necesitaremos un número de bits suficiente como para almacenar la anchura máxima de la señal PWM:

$$B_r = E(\log_2 N_{Ton(max)} + 1) \dots\dots\dots (4.7)$$

c) Proceso de cálculo.

Objetivo: Obtener el periodo de la señal de reloj (T_{clk}) o su frecuencia (F_{clk}) así como el **mínimo** número de bits del contador y del registro de posición, a partir de la precisión en la posición (P). Además el contador tiene que ser módulo N_T , de manera que una vuelta completa de este contador tarde lo mismo que el periodo de la señal PWM.

Teniendo esto en cuenta, la forma de realizar los cálculos es la siguiente:

1. Fase 1: Cálculo del número de bits del contador (B_c)

a) Tomando como partida un valor para la precisión de la posición (P), aplicar la fórmula 4 para obtener un primer valor de N_T .

b) Aplicando 6 obtenemos el número de bits del contador: B_c .

2. Fase 2: Cálculo del resto de parámetros

a) A partir de B_c obtenemos un segundo valor para N_T , que será el definitivo: $N_T = 2^{Bc}$

b) Calculamos el valor del periodo del reloj $T_{clk} = \frac{20}{N_T}$ ms (o de su frecuencia). Este valor

cumplirá que $T_{clk} < T_{clk}(\max)$.

c) A partir de la ecuación 7 obtenemos el número de bits del registro de posición (B_r)

d) El nuevo valor de N_T nos permite calcular la precisión final P' (Ecuación 4.4).

d) Aplicación.

Aplicaremos las fórmulas para calcular los parámetros de dimensionamiento de la unidad de PWM para una precisión inicial de $P=1$ y $P=0.5$.

• Parámetros para una precisión inicial de $P=1$

1. Fase 1:

$$a) N_T = \frac{1800}{P} = \frac{1800}{1} = 1800 \text{ tics}$$

b) Para representar un valor de 1800 necesitamos al menos 11 bits. $B_c = 11$ bits

c) Para esta precisión, la frecuencia mínima del reloj es:

$$F_{clk}(\min) = \frac{90}{P} = \frac{90}{1} = 90 \text{ kHz}$$

2. Fase 2:

a) Un contador de 11 bits cuenta $2^{11} = 2048$ eventos. Ese será el nuevo valor de $N_T = 2048$ tics

b) El periodo de reloj será: $T_{clk} = \frac{20}{NT} = \frac{20}{2048} = 0,009766\text{ms} = 9,766\mu\text{s}$. Se necesitará un reloj de frecuencia: $F_{clk} = 102,4\text{KHZ}$, que es mayor que la frecuencia mínima calculada anteriormente.

c) $N_{Ton}(\max) = \frac{2,3}{T_{clk}} = 236$ tics. Necesitamos 8 bits para almacenar ese número máximo.

$B_r = 8$ bits

d) $P' = \frac{1800}{NT} = \frac{1800}{2048} = 0,88$ °/tic. La precisión final es sensiblemente mejor que la precisión inicial, debido a que hay más tics de reloj de menor anchura

• Parámetros para una precisión inicial de $P=0.5$

1. Fase 1:

$$a) N_T = \frac{1800}{P} = \frac{1800}{0,5} = 3600 \text{ tics}$$

b) Necesitaremos al menos 12 bits. $B_c = 12$ bits

c) Frecuencia mínima del reloj: $F_{clk}(\min) = \frac{90}{P} = \frac{90}{0,5} = 180 \text{ kHz}$

2. Fase 2:

a) Nuevo valor del periodo discreto: $N_T = 2^{12} = 4096$ tics

b) Periodo del reloj: $T_{clk} = \frac{20}{NT} = \frac{20}{4096} = 0,004883 \text{ ms} = 4,883 \mu\text{s}$

Se necesitará un reloj de frecuencia: $F_{clk} = 204,79\text{KHZ}$

c) $N_{Ton}(\max) = \frac{2,3}{T_{clk}} = 471 \text{ tics}$, se necesitará 9 bits para almacenar la posición $B_r = 9 \text{ bits}$

d) $P' = \frac{1800}{NT} = \frac{1800}{4096} = 0,44 \text{ }^\circ/\text{tic}$

Tabla 4.1 Resumen de parámetros para $P=1$ y $P=0,5$:

	Precisión (P)	
	P=1	P=0,5
$T_{clk}(\max)$	11,11 μs	5,55 μs
$F_{clk}(\min)$	90 kHz	180 kHz
T_{clk}	9,766 μs	4,883 μs
F_{clk}	102,4KHZ	204,79KHZ
B_c	11 bits	12 bits
B_r	8 bits	9 bits
$N_{Ton}(\max)$	236 tics	471 tics
$N_{Ton}(\min)$	31 tics	62 tics
P'	0,88 $^\circ/\text{tic}$	0,44 $^\circ/\text{tic}$

Los parámetros $N_{Ton}(\max)$ y $N_{Ton}(\min)$ marcan los valores máximo y mínimo que se pueden almacenar en el registro de posición, que se corresponden con las posiciones extremas del servo.

4.4.4 Arquitectura detallada para una precisión máxima de $P=1$.

Una precisión de 1° es suficiente para la mayoría de las aplicaciones con este tipo de servos.

Además el que el registro de posición sea de 8 bits es muy adecuado para enviar esta información desde un convertidor A/D de 8 bits de una manera sencilla, proveniente del sensor de posición analógico. Con los datos obtenidos en el apartado anterior para una precisión máxima de $P=1^\circ/\text{tic}$, se puede dar una arquitectura más detallada del sistema de generación de PWM, que se muestra en la figura 4.4.

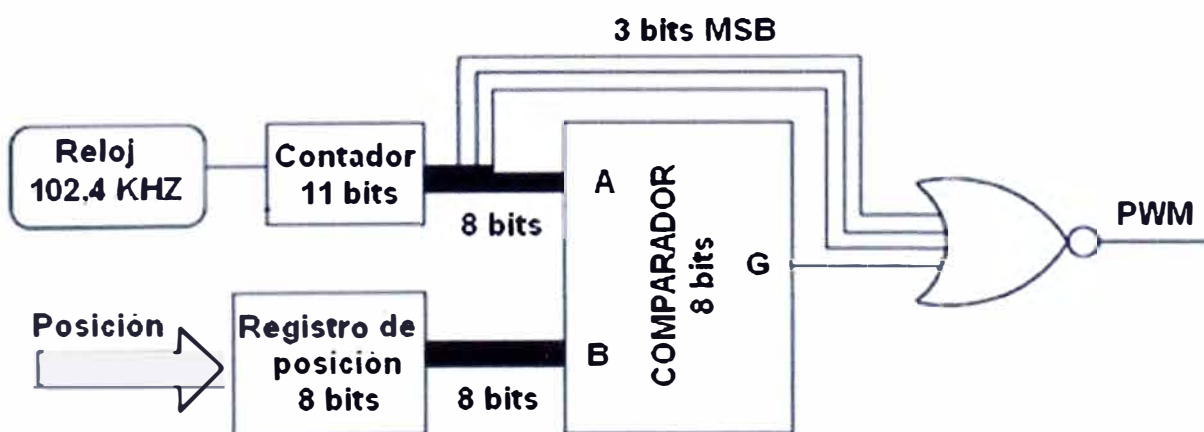


Figura 4.4 Arquitectura de una unidad PWM de precisión máxima $P=1$

De acuerdo a las deducciones de los cálculos anteriores es necesario utilizar un contador de 11 bits y un comparador de 8 bits. Del contador se segregan los tres bits más significativos, introduciéndose los 8 restantes en el comparador. Los 8 bits del registro de posición se comparan directamente con los 8 bits de menor peso del contador. Los tres

bits de mayor peso del contador, junto con la señal G del comparador (que se activa siempre que $A > B$, o sea, cuando el contador es mayor que el registro de posición) se introducen en una puerta NOR para obtener la señal PWM de salida.

La justificación de esta puerta NOR es la siguiente: Llamaremos C_{10} ; C_9 ; C_8 a los 3 bits más significativos del contador. Puesto que el comparador es de 8 bits, la señal L ($A < B$) se activará siempre que los 8 bits de menor peso del contador sean menores que los 8 bits del registro de posición. Sin embargo esto sólo es válido siempre que los bit de mayor peso del contador sean 0 ($C_{10} = C_9 = C_8 = 0$). En el caso de que alguno de estos sea '1', el contador tendrá un número mayor que la posición y por tanto la señal PWM deberá estar a cero. A la salida del comparador habrá que añadir una lógica adicional que tenga esto en cuenta. Habrá que diseñar un circuito combinacional que tengas como entradas C_{10} ; C_9 ; C_8 y L, y que vendrá descrito por la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Tabla de verdad de la compuerta NOR con salida PWM

C_{10}	C_9	C_8	L	PWM	Descripción
0	0	0	0	0	El valor del contador es MAYOR o IGUAL que el del registro de posición.
0	0	0	0	1	El valor del contador es MENOR que el del registro de posición.
0	0	1	x	0	El valor del contador es MAYOR que el del registro de posición. La señal de L hay que ignorarla
0	1	0	x	0	Idem.
0	1	1	x	0	Idem.
1	0	0	x	0	Idem.
1	0	1	x	0	Idem.
1	1	0	x	0	Idem.
1	1	1	x	0	Idem.

Desarrollando la señal PWM se obtiene que:

$$PWM = L \cdot \overline{C_{10}} \cdot \overline{C_9} \cdot \overline{C_8}$$

Y si en lugar de la señal L tomamos la señal G del comparador (Ya que podemos considerar que aproximadamente $L=G$, descartando la igualdad), la ecuación queda:

$$PWM = \overline{G \cdot \overline{C_{10}} \cdot \overline{C_9} \cdot \overline{C_8}} = \overline{G + C_{10} + C_9 + C_8} = NOR\{G, C_{10}, C_9, C_8\}$$

Es decir, que con la puerta NOR de 4 entradas implementamos la función PWM.

4.4.5 Arquitectura final con una precisión máxima de $P=1$.

A la hora de implementar el esquema aparece un problema con el reloj. La señal de reloj que se aplica a la FPGA es programable y se puede variar en un amplio rango. Sin embargo, al configurarlo para trabajar a 102,4 kHz, no aparece ningún mensaje de error y aparentemente se ha configurado correctamente, pero al medir con el osciloscopio se comprueba que esta señal se ha disparado a valores superiores a 50MHz.

En general, señales menores de 400kHz producen este efecto. Para solucionarlo hay

que configurar el reloj a una frecuencia de 409,6 kHz e implementar un divisor de frecuencia que divida esta señal entre 4, de manera que se obtengan los 102,4 kHz necesarios. Este divisor se llama prescaler, quedando la arquitectura definitiva de la unidad de PWM como la mostrada en la figura 4.5.

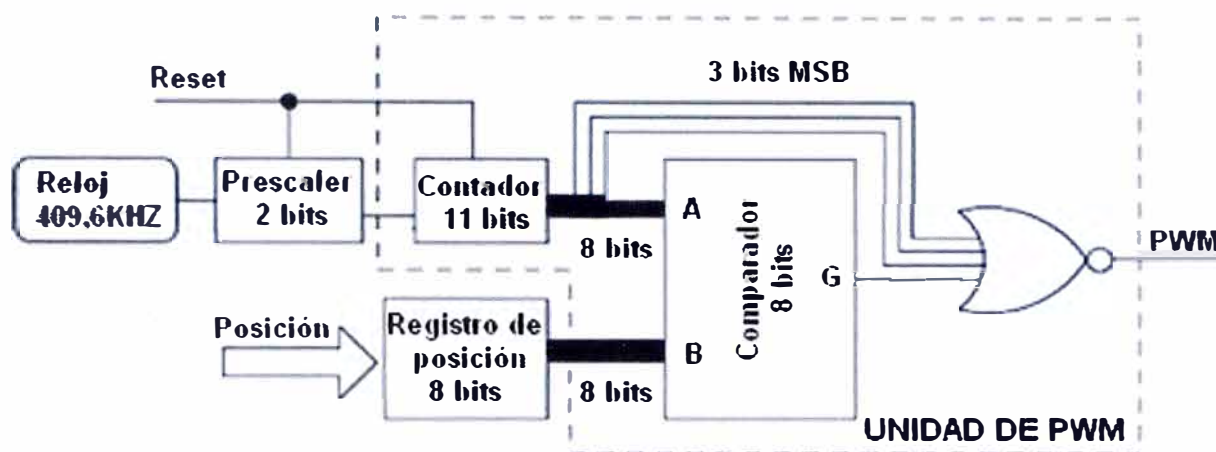


Figura 4.5 Arquitectura final de la unidad PWM para una precisión máxima de 1°/tic

Dentro de la línea de puntos se ha encerrado la unidad de pwm, que consta de las siguientes señales de interfaz:

a) Señales de entrada:

- **Clk:** Señal de reloj de frecuencia 102,4kHz
- **Reset:** Señal de reset para la inicialización del contador del PWM
- **Posición:** Dato de 8 bits que indica la posición, en tics de reloj, en la que se quiere situar el servo. Este valor debe estar comprendido entre los parámetros NTON (min) y NTON (max), que para esta precisión valen 31 y 236 respectivamente y que se corresponden con los extremos opuestos del eje de salida (Separados 180 grados).

b) Señal de salida:

- **PWM:** Señal de control que se introduce directamente por el pin de control del servo.

4.5 Programas en VHDL.

4.5.1 Arquitectura.

En la figura 4.6 se ha dibujado la entidad `pwm_unit`, especificándose los puertos de entrada, salida y las señales intermedias usadas, así como las entidades de menor nivel empleadas: entidad comparador y entidad contador.

Los 8 bits del registro son los que se introducen en la entidad `pwm` para el posicionamiento del servo. El reloj principal (`clk`) se introduce en la entidad `prescaler` para dividirlo por 4 y obtener así `pwm_clk` con una frecuencia de 102.4kHz que es la que necesita la entidad `pwm_unit`.

Los ficheros vhd empleados son los siguientes:

- **comparador.vhd**: Entidad comparador. Comparador de 8 bits.
- **contador.vhd**: Entidad contador. Contador de 11 bits.
- **prescaler.vhd**: Entidad prescaler. Divisor de frecuencia entre 4
- **pwm_unid.vhd**: Entidad pwm_unit. Unidad de generación de pwm

También se han implementado sus correspondientes bancos de pruebas para comprobar mediante simulación que el funcionamiento es correcto:

- **tb_contador.vhd**: Banco de pruebas para el contador
- **tb_comparador.vhd**: Banco de pruebas para el comparador
- **tb_pwm_unit.vhd**: Banco de pruebas para la unidad PWM

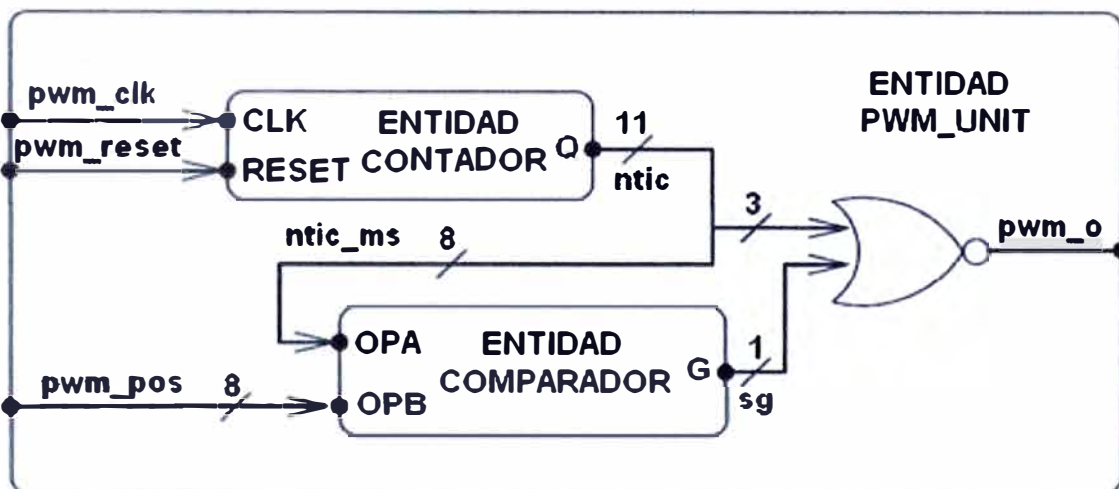


Figura 4.6 Entidad PWM_UNIT

4.6 Simulación.

En este apartado se presenta los resultados de la simulación de la unidad PWM,

4.6.1 Compilado.

El programa en VHDL se compilo siendo su archivo fuente el siguiente (Figura 4.7):

4.6.2 Simulación del diseño.

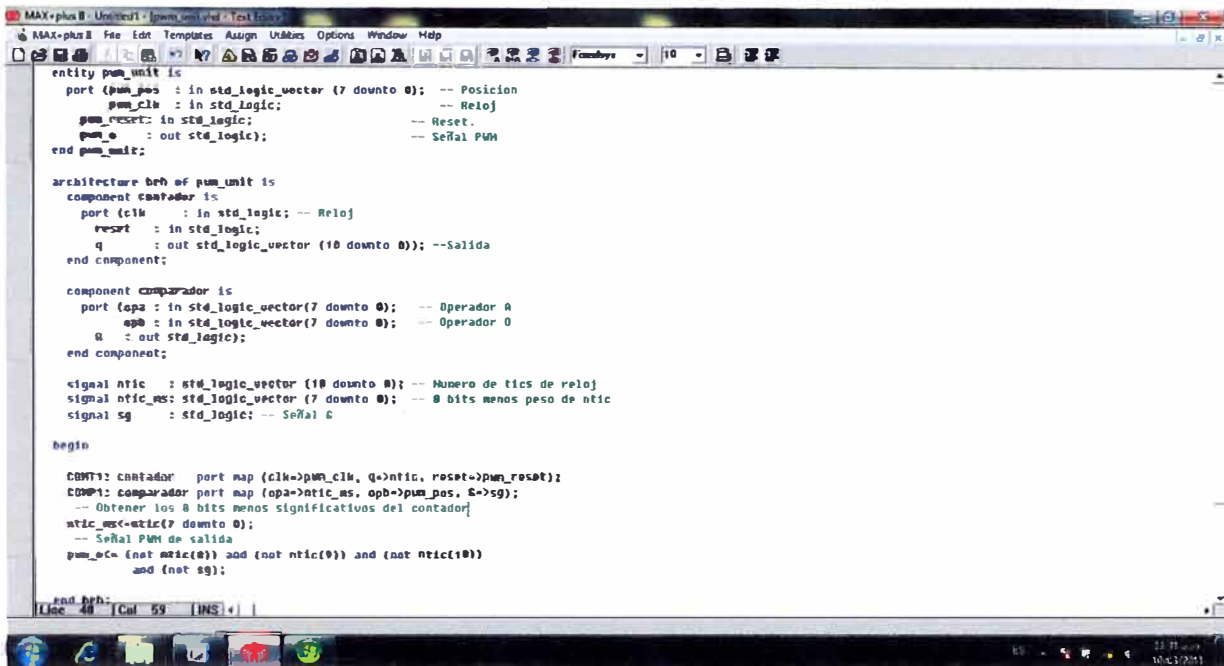
Para que la simulación se pueda realizar se proporcionaron los siguientes generadores de patrones de test en los puertos de entrada: pwm_reset, pwm_clk y pwm_pos que describirá las señales que se van a aplicar al diseño obteniendo la respuesta en el puerto de salida pwm_o.

Los resultados de la simulación deben coincidir con los dato de la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Periodos de las señales de posición

	Duración (ms)	Posición(dec)
T _{on} (min)	0,3	31
T _{on} (pos)	0,97	100
T _{on} (max)	2,3	236
T	20	2048

Se observa que tanto en la Figura 4.8 y en la Figura 4.9 no se representa un periodo del PWM, pero si en la Figura 4.10, además se verifica el contenido de la Tabla 4.1



```

entity pwm_unit is
  port (pwm_pos : in std_logic_vector (7 downto 0); -- Posición
        pwm_clk : in std_logic; -- Reloj
        pwm_reset : in std_logic; -- Reset.
        pwm_o : out std_logic; -- Señal PWM
  end pwm_unit;

architecture beh of pwm_unit is
  component contador is
    port (clk : in std_logic; -- Reloj
          reset : in std_logic;
          q : out std_logic_vector (10 downto 0)); --Salida
  end component;

  component comparador is
    port (opa : in std_logic_vector(7 downto 0); -- Operador A
          opb : in std_logic_vector(7 downto 0); -- Operador B
          a : out std_logic);
  end component;

  signal ntic : std_logic_vector (10 downto 0); -- Numero de tics de reloj
  signal ntic_res : std_logic_vector (7 downto 0); -- 8 bits menos peso de ntic
  signal sg : std_logic; -- Señal S

begin
  CONT1: contador port map (clk->pwm_clk, q->ntic, reset->pwm_reset);
  COMP1: comparador port map (opa->ntic_res, opb->pwm_pos, a->sg);
  -- Obtener los 8 bits menos significativos del contador
  ntic_res<=ntic(7 downto 0);
  -- Señal PWM de salida
  pwm_o<= (not ntic(8)) and (not ntic(9)) and (not ntic(10))
           and (not sg);
end beh;

```

Figura 4.7 Editor de texto del PWM

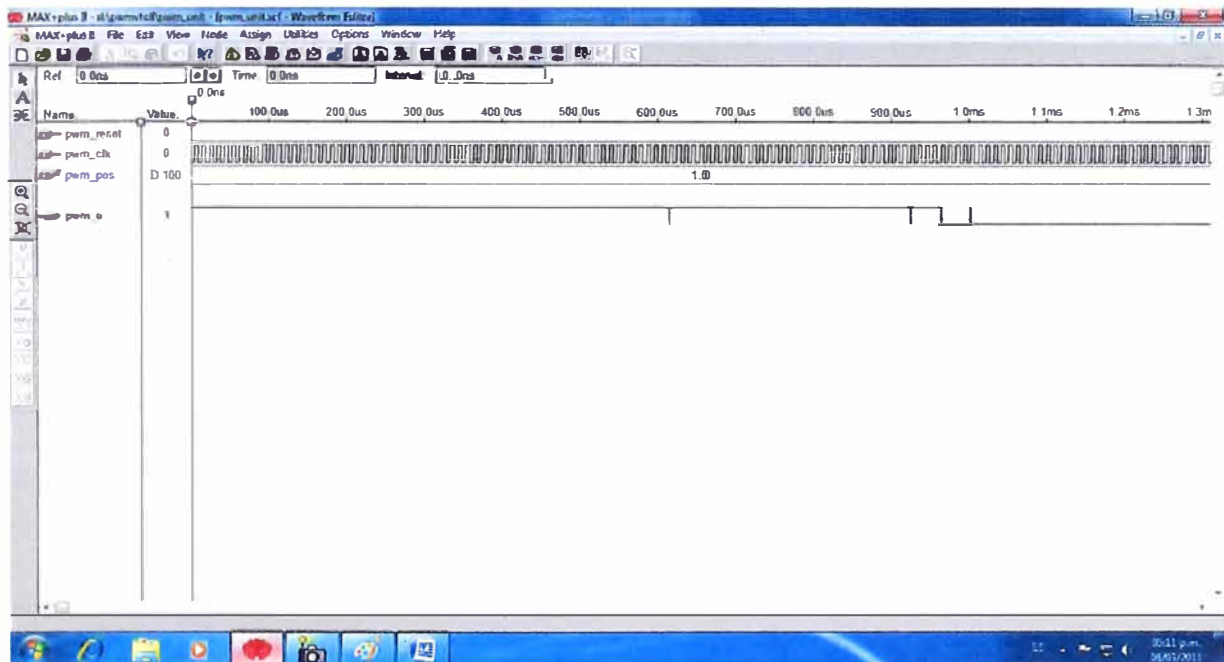


Figura 4.8 Muestra para $pwm_pos=100$, $T_{on}= 0,97$ ms con un tiempo máximo de 1,3ms

4.6.3 Asignación de pines.

El lugar físico (el número de pin) del FPGA en el que se van a conectar o cablear las entradas y la salida al diseño digital se muestran en las figuras (Figura 4.11 y Figura 4.12)

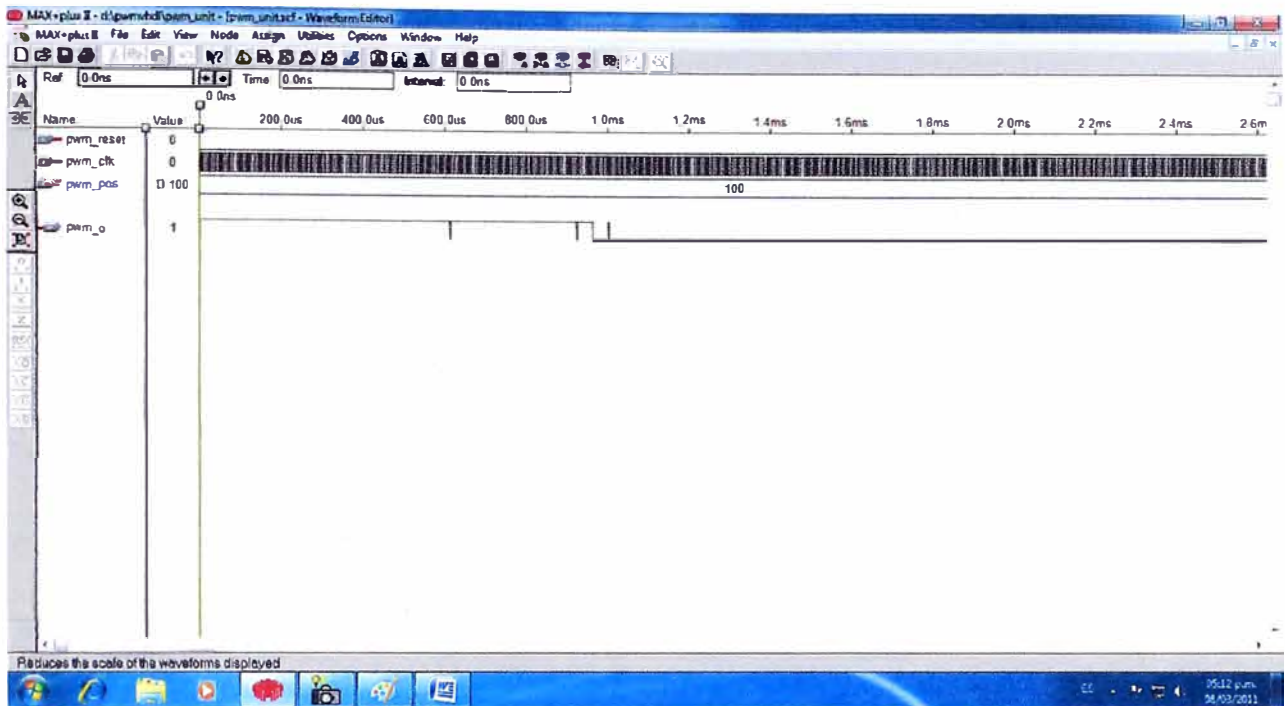


Figura 4.9 Muestra para $\text{pwm_pos}=100$, $T_{\text{on}}=0,97$ ms con un tiempo máximo de 2,6ms

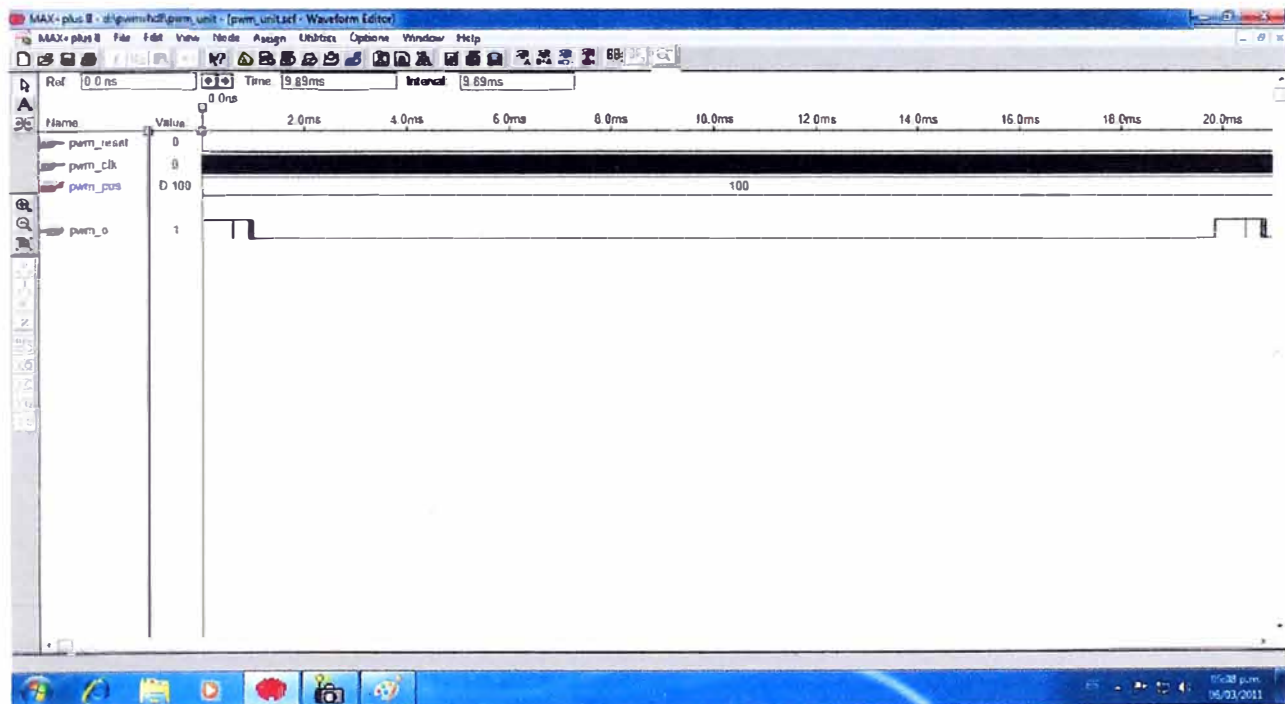


Figura 4.10 Muestra para $\text{pwm_pos}=100$, $T_{\text{on}}=0,97$ ms con un tiempo máximo de 20ms

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones obtenidas en el presente informe son las siguientes:

1. En el presente proyecto se enfocó una nueva alternativa para solucionar problemas de control, introduciendo nuevos conceptos impartidos en los cursos de Actualización de Conocimientos, sobre todo la asignatura: Tópicos Avanzados en Diseño Digital.
2. El proyecto es una aplicación a un problema real que en la mayoría de veces es resuelto con circuitos integrados convencionales y utilizando un microcontrolador generalmente un Pic.
3. En la industria automotriz, donde trabajo, se está utilizando FPGA en lugar del ASIC debido a sus ventajas como se indico en 2.1.3
4. Fundamentalmente se logró cumplir con el objetivo principal del proyecto consistente, en la obtención de una señal PWM para el control de un servomotor de posición mediante un FPGA .Se desarrollo un programa en VHDL que modelo a un FPGA y luego mediante la simulación de una señal procedente del sensor de posición de la carrocería se emitió una señal PWM que cumplió con los con el tiempo T_{on} calculado.

Las recomendaciones que surgen del presente informe son las siguientes:

5. Implementar el proyecto hasta instalarlo en un determinado auto.
6. Incrementar más funciones al proyecto original, con la finalidad de optimizar en control de luces de un automóvil

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

ABS	Sistema antibloqueo de frenos
ASIC	Circuito integrado de propósito específico
AFL	Sistema de iluminación adaptativa
AFS	Sistema de regulación de luz de viraje dinámico
ARS	Sistema avanzado de iluminación trasera
CAN	Red del área de controlador
CLB	Bloques lógicos configurables
CPLD	Dispositivo lógico programable complejo
DLC3	Conector de enlace de datos diagnóstico
ECU	Unidad de control electrónico
EDA	Automatización del diseño electrónico
FPGA	Arreglos de compuertas programables en campo
HID	Sistema de faros de descarga de alta intensidad
IOB	Bloques de entrada y salida
LUT	Generadores de funciones
MPX	Sistema de comunicaciones múltiples
PIP	Puntos de intersección programables
PLD	Dispositivo lógico programable
PWM	Modulación por ancho de pulso
SW	Dispositivo de conmutación distribuido
VHDL	Lenguaje de descripción en hardware

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. J. Carletti -"Servos: Características básicas", Cited 2007
- [2] Catálogo de servos de la casa Futaba. <http://www.futaba-rc.com/servos/futm0029>
- [3] Robert Bosch-"Los sensores en el automóvil"-Editorial Reverte, 2002
- [4] Fernando Pardo – José A Boluda - "Lenguaje para síntesis y modelado de circuitos", Editorial Alfa Omega ,2000
- [5] John F Wakerly – "Diseño digital principios y prácticas "- Editorial Prentice Hall,2001
- [6] David G Maxinez – Jessica Alcalá – "El arte de programar sistemas digitales", Compañía Editorial Continental.
- [7] José M. Alonso-"Técnicas del automóvil. Equipo eléctrico"-Editorial: Paraninfo,2009
- [8] REMLING -"Electricidad Automotriz"-Editorial Limusa,1998
- [9] Miguel de Castro-"Nueva enciclopedia del automóvil"-EditorialCEAC,1999
- [10] Hermogenes Gil Martínez- "Manual del automóvil" – Ediciones Cultural, 2009
- [11] GSIC-Centro mundial de información de servicio Toyota-CANRY/ ACV40 GSV40
- [12] Instituto de servicio SEAT S.A.- "Bixenón con luz de viraje dinámica"
- [13] HELLA-"Fundamentos sobre tecnologías de iluminación_Oct2006.pdf"
- [14] Página web propia del fabricante Altera: <http://www.altera.com/>
- [15] ALTERA MAX + PLUS II VHDL. 1996