

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**DISEÑO DE MÓDULO EMULADOR DE SEÑALES
SINCRONIZADAS DE CIGÜEÑAL Y ÁRBOL DE LEVAS PARA
NISSAN SENTRA B15**

**PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PABLO CÉSAR RAMÍREZ BRENES

TUTOR: ING. JOSÉ ROMERO MENESES

SAN JOSÉ, COSTA RICA

MARZO, 2020

Dedicatoria

En primer lugar, quiero dedicarle este proyecto a mi madre, por darme la vida y apoyarme durante todo mi proceso educativo.

En segundo lugar, agradezco a mis hermanos, por contribuir con las herramientas que necesité para mis estudios, principalmente en las etapas más tempranas de mi vida.

Por último, quiero agradecer a mi esposa, por su comprensión y soporte en esta etapa final de mi carrera.

Contenido

Dedicatoria	2
Declaración jurada.....	3
Carta de aprobación del tutor	4
Carta de solicitud de defensa.....	5
Copia de la cédula de identidad.....	6
Carta de aprobación filológica	7
Contenido	8
Figuras.....	12
Tablas	14
Resumen ejecutivo	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
Problema.....	16
Objetivos.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
Justificación	17
Alcances.....	18
Limitaciones	18
Antecedentes.....	19
Antecedente número 1	19
Antecedente número 2	20
Antecedente número 3	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
Funcionamiento del motor de émbolos alternativos de combustión interna	23

El motor Otto	23
Fases del motor de cuatro tiempos	23
Carrera de admisión	24
Carrera de compresión	24
Carrera de combustión	24
Carrera de escape	24
Bobina de encendido	25
Sistema COP de encendido directo.....	26
Bujía de encendido	27
Requerimientos	28
Inyección de combustible	29
Válvula de inyección o inyector	31
Válvula de mariposa	32
Unidad de control electrónico (ECU).....	33
Sensores de entrada a la ECU.....	34
Sensores de inducción	34
Sensores de cigüeñal y árbol de levas	35
Sensores de resistencia variable	36
Sensor de hilo (alambre) caliente	37
Termistores	38
Sensores de efecto Hall.....	39
Sensor de detonación	40
Sensores de oxígeno	42
Sensores de presión del múltiple de admisión.....	43
Calibrador de cedazo (galgas extensométricas).....	43

	10
Diagnóstico de a bordo OBD (On Board Diagnostic).....	44
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	46
Diagrama de flujo del diseño electrónico del módulo emulador de señales	47
CAPÍTULO IV: DESARROLLO.....	48
El microcontrolador.....	48
Características del Atmega328P	49
Integrado CH340C.....	49
Alimentación del módulo	51
Optoacopladores	52
Simulación de sensores.....	53
Pines de conexión de la ECU	53
Pines de alimentación	54
Pines de tierras	54
Señales de sensores.....	54
Actuadores	54
Comunicación	55
Programación del microcontrolador	55
Variable de programación.	56
Funciones de programación.	56
Sentencias condicionales.	57
Desarrollo del programa	57
Diseño del circuito esquemático.....	64
Fuente de alimentación.....	65
Interfase de comunicación USB a microcontrolador.....	66
Microcontrolador	67

Cálculo de la resistencia de control del 4N45	68
Cálculo del filtro paso bajo.....	70
Simulación de sensores.....	72
Comparativa entre señales CKP y CMP del vehículo, y las generadas por el módulo emulador	75
Diseño de la placa impresa de circuitos.....	76
Gabinete de proyecto	78
Análisis de rentabilidad	79
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
Conclusiones.....	84
Recomendaciones	86
Bibliografía.....	89
Glosario de términos	94
Anexos.....	95
Anexo 1. Diagrama de conexión de la ECU.....	95
Anexo 2. Hoja de datos: 4N35 Optoacoplador.....	100
Anexo 3. Hoja de datos: Atmega328P.	103
Anexo 4. Hoja de datos: L7805 Regulador de 5v.....	107

Figuras

Figura 1. Ciclo del motor de combustión de cuatro tiempos.	25
Figura 2. Estructura del transformador eléctrico.....	26
Figura 3. Conformación de una bobina individual tipo COP.....	27
Figura 4. Constitución de una bujía de encendido.	28
Figura 5. Señal del pulso de un inyector con el motor en ralentí (mínimo) y carga pesada.	30
Figura 6. Estructura de la válvula inyectora.....	31
Figura 7. Válvula de mariposa.	32
Figura 8. Unidad de control de motor de Nissan Sentra 2001.	33
Figura 9. Señales inductivas de sensores CKP y CMP.....	35
Figura 10. Sensor de posición de la mariposa de aceleración (ahogador).	36
Figura 11. Sensor de flujo de aire de hilo caliente.	37
Figura 12. Sensor de temperatura del refrigerante del motor.....	38
Figura 13. Sensor de efecto Hall.	39
Figura 14. Señal del sensor de efecto Hall.....	40
Figura 15. Sensor de golpeteo.....	41
Figura 16. Señal del sensor de golpeteo.....	41
Figura 17. Sensor de oxígeno.....	42
Figura 18. Señal del sensor de oxígeno.....	43
Figura 19. Sensor de presión del múltiple de admisión.	44
Figura 20. Composición del código OBD.....	45
Figura 21. Diagrama de flujo del diseño electrónico del módulo emulador de señales.....	47
Figura 22. Configuración de pines del Atmega328P.....	48
Figura 23. Configuración de pines del integrado CH340C.....	50
Figura 24. Encapsulado y configuración de pines del integrado L7805.	51
Figura 25. Encapsulado y distribución de pines del optoacoplador 4N35.....	52
Figura 26. Conector de la ECU Nissan Sentra B15.	53
Figura 27. IDE de programación.....	55
Figura 28. Sección 1 del desarrollo de programación.....	57
Figura 29. Sección 2 del desarrollo de programación.....	58
Figura 30. Sección 3 del desarrollo de programación.....	59
Figura 31. Sección 4 del desarrollo de programación.....	60

Figura 32. Sección 5 del desarrollo de programación.....	61
Figura 33. Sección 6 del desarrollo de programación.....	62
Figura 34. Sección 7 del desarrollo de programación.....	63
Figura 35. Diseño del circuito esquemático.....	64
Figura 36. Esquemático de la fuente de alimentación.....	65
Figura 37. Conexión USB a CH340C.....	66
Figura 38. Conexión del microcontrolador.....	67
Figura 39. Gráfica V_f versus I_f	69
Figura 40. Señales del módulo emulador sin filtro RC.....	71
Figura 41. Señales del módulo emulador con filtro RC.....	71
Figura 42. Gráfica de comportamiento de resistencia versus temperatura.....	72
Figura 43. Esquema de conexión del sensor de temperatura del motor y el IAT.....	73
Figura 44. Esquema de conexión para los sensores TPS y MAF.....	73
Figura 45. Esquema de conexión para los sensores.....	74
Figura 46. Señales CKP del vehículo versus señales generadas por el módulo emulador.....	75
Figura 47. Diseño y ubicación de componentes de la placa PCB.....	76
Figura 48. Vista superior del diseño de la placa impresa.....	77
Figura 49. Vista inferior del diseño de la placa impresa.....	77
Figura 50. Gabinete plástico para protección de proyectos.....	78

Tablas

Tabla 1. Análisis de rentabilidad	79
Tabla 2. Flujo de Caja Proyectado.....	80
Tabla 3. Punto de equilibrio, costos fijos y costos variables.....	81

Resumen ejecutivo

El presente trabajo se realiza con la finalidad de diseñar una herramienta para uso en un laboratorio dedicado a brindar el servicio técnico profesional de diagnóstico de unidades de control electrónico (ECU) para los vehículos de la marca Nissan Sentra, cuyo sistema de control se enfoca en el motor QG18DE.

La estructura de este documento se divide en tres partes; la primera presenta los conceptos claves para comprender el funcionamiento de un motor de combustión interna, así como los componentes asociados a un sistema moderno de control eficiente de motor. La segunda se enfoca en el desarrollo del módulo en cuestión, el cual abarca desde la concepción del circuito eléctrico, seguido por la programación del microcontrolador Atmega328P y, finalmente, los diseños de la placa PCB y el chasis con la disposición de los terminales para su aplicación. Por último, se desarrolla un análisis financiero para determinar su utilidad en el mercado laboral.

La documentación presentada funciona como un manual que permitirá al lector la construcción física del módulo con componentes asequibles para su aplicación en el mercado laboral; su bajo costo y su capacidad de reprogramación le permiten a este proyecto solventar nuevas necesidades apoyándose en su concepción original.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la evolución tecnológica tiene un gran dinamismo, principalmente en el área de la electrónica, y el sector automotriz no está exento de esta constante renovación, por lo tanto, es importante tener a mano las herramientas que permitan realizar el trabajo de diagnóstico de unidades de control electrónica (ECU) con la mayor precisión y eficiencia.

La incursión de la electrónica en los medios de transporte ha llegado a mejorar enormemente el rendimiento y control de los vehículos; con el paso de los años, la presencia de diferentes módulos de control en los automóviles ha ido en crecimiento, por lo que, hoy en día, en los autos se pueden encontrar módulos para el control del motor, transmisión, seguridad, confort, etc. Esta tendencia ha provocado la necesidad a nivel mundial de un servicio técnico profesional para el diagnóstico y reparación de unidades de control de aplicación automotriz. Claramente, Costa Rica no se ha mantenido al margen y cuenta con el soporte de diversas empresas privadas que brindan este importante servicio; dichas empresas son conformadas, fundamentalmente, por técnicos e ingenieros en las áreas de electrónica y electromecánica.

Para realizar un correcto diagnóstico en una unidad de control automotriz, se requiere la simulación de las condiciones que enfrenta la ECU mientras opera en el vehículo automotor, para esto es fundamental emular el comportamiento de las señales de los sensores de entrada y las conexiones de cargas actuadoras, como inyectores, sensores, válvulas, etc. Bajo este criterio, se incluye la simulación sincronizada de los sensores de levas y cigüeñal, ya que con dichas señales la ECU entra en modo de arranque y control del motor.

Problema

¿Cómo diseñar un módulo generador de señales electrónicas que permita simular correctamente la sincronización de las señales del sensor de cigüeñal y el sensor de árbol de levas de un motor QG18DE, para realizar el diagnóstico de las diferentes unidades de control electrónico (ECU) de los modelos Nissan Sentra del año 2000 al 2006?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una herramienta de diagnóstico, tipo módulo electrónico, para laboratorio electrónico automotriz, generadora de señales que permita emular de manera sincronizada las condiciones de funcionamiento de los sensores de cigüeñal y árbol de levas de un motor QG18DE de los modelos de Nissan Sentra desde el año 2000 hasta el año 2006, con un control variable de r.p.m.

Objetivos específicos

1. Reconocer la relación de las señales digitales generadas por los sensores de posición de cigüeñal (CKP) y árbol de levas (CMP) en los motores QG18DE.
2. Identificar qué problemas son provocados por una inadecuada sincronización de las señales de los sensores CKP y CMP.
3. Reproducir las señales que son necesarias para el diagnóstico de los problemas reportados por los clientes en sus unidades de control electrónico.
4. Determinar qué componentes electrónicos, herramientas de diseño y de programación se requieren para llevar a cabo la construcción del módulo simulador de señales.
5. Precisar la rentabilidad de la producción del módulo generador descrito para la aplicación automotriz.

Justificación

A diferencia de otros servicios del área automotriz que requieren la presencia del automóvil en el taller, para el diagnóstico de los módulos electrónicos en el laboratorio, se necesita solamente la unidad de control por diagnosticar; por esta razón, el servicio técnico requiere de ciertas herramientas específicas que permitan simular las condiciones de giro del motor, así como las señales de los sensores principales.

Existen diversos retos en el diagnóstico de fallas de las unidades de control electrónicas (ECU), no basta con simular las formas de ondas eléctricas que generan los sensores en el

automotor, debe existir una concordancia entre las mismas en el momento que se aplican a la ECU, principalmente, debe existir una sincronización correcta de las pulsaciones producidas por los sensores de posición de cigüeñal (sensor de CKP) y del árbol de levas (sensor CMP).

La programación presente en la ECU exige que esta sincronización de las señales provenientes de los sensores CKP y CMP sean muy precisas. En caso de que el motor tenga un armado incorrecto de la distribución, provocará un desfase de las señales de posición del motor, esto provoca que la ECU no realice la activación coordinada de la inyección de gasolina y el salto de chispa en las bujías, lo que no permitirá el arranque del motor.

El desarrollo de este módulo pretende eliminar el margen de error en el servicio de diagnóstico por causas de una mala simulación de las condiciones sincronizadas de los sensores de CKP y CMP.

Alcances

Este proyecto tiene como finalidad el diseño de un módulo emulador de señales, por lo tanto, contempla el proceso de selección de los componentes electrónicos necesarios, proceso de programación de un microcontrolador y diseño de la PCB. El trabajo no incluye la construcción en físico del proyecto final.

Al finalizar la tesis, se entregará toda la información obtenida y el desarrollo del diseño, esto permitirá al lector la posterior construcción física del mismo con sus respectivos componentes y tarjeta impresa. Este módulo electrónico tendrá la capacidad de generar dos señales CKP y CMP de forma simultánea y sincronizada con control variable de r.p.m.

Limitaciones

La implementación de este módulo en el área profesional requiere de un conocimiento previo sobre el funcionamiento de una unidad de control electrónico (ECU), por lo tanto, su desarrollo está orientado para que lo utilice personal capacitado en el área de diagnóstico electrónico automotriz.

El desarrollo del diseño del circuito electrónico está sujeto a los componentes disponibles en el mercado, por lo cual, dicho diseño se debe ajustar al uso de componentes a los cuales se tiene acceso. Esto implica que, en diversas ocasiones, se deba realizar modificaciones al plan original del proyecto.

Por otra parte, la información técnica de servicio es brindada de manera exclusiva por el fabricante del vehículo y es recogida, principalmente, a través de las enciclopedias automotrices Mitchell On Demand y Alldata Repair,

Debido a la gran gama de sistemas de control automotriz, este proyecto se enfocará exclusivamente en los modelos Nissan Sentra desde el año 2000 hasta el 2006.

Antecedentes

La fabricación de módulos emuladores para bancos de trabajo a nivel internacional cubre solo algunas de las necesidades generales; estos se enfocan, principalmente, en simular las marcas de mayor distribución a nivel mundial. Esta característica generalizada de los dispositivos en el mercado margina una gran cantidad de vehículos de diversas marcas que circulan en el país, por lo cual, la capacidad de reprogramación del diseño desarrollado en el presente proyecto le brinda una importancia relevante, ya que permite adecuar sus prestaciones enfocándolas en los requerimientos del mercado nacional.

Antecedente número 1

- Título: *Implementación de un banco de pruebas para la unidad de control electrónico de vehículos con sistemas de inyección electrónica para la Escuela de Ingeniería Automotriz.*
- Institución: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
- Año: 2012
- Autor: William Marcelo Laica Cunalata

El objetivo fundamental de este antecedente es el diseño y construcción de un banco de comprobación para la unidad de control electrónico de vehículos con sistemas de inyección

electrónica, específicamente, para cuatro unidades de control electrónico (ECU) de la marca Chevrolet.

En su contenido, Laica (2012) indica que la razón principal por la que se eligen estos cuatro modelos de Chevrolet es debido al volumen de estos vehículos en circulación en el país ecuatoriano. En el desarrollo muestra todo el proceso de construcción, desde el diseño del circuito y selección de los componentes, hasta el ensamble físico del módulo.

El resultado de este proyecto es un módulo funcional en el que se comprobaron las cuatro unidades de control para las que se desarrolló con un resultado muy positivo. El módulo electrónico consiguió poner en modo de funcionamiento dichas unidades, adicionalmente, simuló los sensores principales con los que la ECU define el tiempo del pulso de inyección.

Antecedente número 2

- Título: *Guía de detección de averías y comprobaciones de los principales sistemas eléctricos automotrices.*
- Institución: Universidad Internacional de las Américas
- Año: 2011
- Autor: Jorge Villalobos Rodríguez.

La finalidad de dicha investigación es realizar una guía de consulta rápida para la detección de averías y comprobaciones de los principales sistemas eléctricos automotrices, con lenguaje accesible para personas con conocimientos mínimos de mecánica.

El autor realiza una descripción de los elementos eléctricos presentes en los automóviles, describe su funcionamiento e indica los procedimientos de verificación más adecuados para determinar la causa del problema en materia eléctrica del automotor. Con respecto a las herramientas, se destaca la descripción de las funciones del multímetro digital y el uso correcto de mediciones de voltaje, corriente y continuidad.

Parte del desarrollo de la tesis se enfoca en el estudio de requisitos necesarios para brindar de manera legal en Costa Rica el servicio de taller eléctrico automotriz; define los diferentes trámites como uso de suelo, patentes, seguro de responsabilidad civil que se deben realizar en las instituciones gubernamentales, como lo son la municipalidad, el Ministerio de Salud y el Instituto Nacional de Seguros. Como nota aclaratoria, en este trabajo resalta que en ninguna de estas instituciones se le exige al solicitante tener documentos o estudios afines al servicio que pretende brindar.

Las conclusiones de este trabajo reflejan varias carencias en la formalidad del servicio técnico para el área automotriz en Costa Rica, ya que, cuando un propietario lleva su auto para un diagnóstico, no tiene ninguna garantía de la capacitación de los empleados del taller. Adicionalmente, el autor indica, según su estudio, que los talleres de servicio recurren a terceros en ciertas ocasiones para realizar trabajos a modo de subcontrato en materia de reparación dando en muchas ocasiones prioridad a las utilidades por encima de la calidad.

Finalmente, el estudio refleja la pobre fiscalización por parte del Estado con respecto a los servicios de reparación en condición clandestina que compiten deslealmente con aquellos que tienen en orden todos los requisitos mencionados para brindar el servicio técnico; este ejercicio informal debilita directamente las labores sociales a cargo del propio Estado.

Antecedente número 3

- Título: *Construcción y caracterización de un banco de pruebas de encendido sin distribuidor*
- Institución: Universidad Internacional SEK, Quito.
- Año: 2017
- Autor: Esteban Marcelo Sevilla Sarmiento.

El objetivo de este proyecto es la construcción de un banco didáctico de sistemas de encendido electrónico automotriz DIS (Direct Ignition System) y COP (Coil On Plug) sin distribuidor, para ser utilizado como apoyo práctico en la materia de *Electrónica del Vehículo*, carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.

En este trabajo, Sevilla (2017) presenta las diferencias entre ambos sistemas de encendido y brinda una descripción de sus ventajas, las cuales resaltan, principalmente, cuando son comparadas con el diseño más antiguo, el sistema con distribuidor de encendido.

Las pruebas en el banco desarrollado reflejan la eficiencia de estos sistemas y demuestran por qué son los métodos de control de encendido utilizados en la actualidad.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Con la finalidad de brindar al lector las herramientas necesarias para comprender la presente investigación, se expondrán ciertos conceptos fundamentales que se relacionan con el funcionamiento de un motor de combustión y el control electrónico del mismo. En concreto, el desarrollo de este trabajo se enfocará en el sistema de inyección electrónica del motor QG18 desarrollado por la marca automotriz Nissan.

Funcionamiento del motor de émbolos alternativos de combustión interna

De acuerdo con Bosch (1996), la descripción del funcionamiento del motor de émbolos alternativos de combustión interna es:

En todos los motores de émbolos alternativos, se comprime periódicamente aire o una mezcla de aire y combustible dentro del cilindro de trabajo, se enciende la mezcla o el combustible que se inyecta en el aire caliente y comprimido, y entra en función la combustión del combustible. El trabajo útil producido se transforma por medio del eje cigüeñal en un par de giro que se aplica al extremo de ese eje. (p. 361)

El motor Otto

El motor Otto descrito por Bosch (1996) se define de la siguiente forma:

Se entiende por motor Otto el de pistones con formación de mezcla homogénea, interior o exterior y encendido externo. La mezcla homogénea de combustible y aire se comprime luego en el tiempo de compresión a unos 20 a 30 bar ($\epsilon = 8$ a 10). La temperatura final resultante de la compresión, de 400 a 500 °C, queda todavía por debajo de los límites de autoencendido de la mezcla, por lo que poco antes de PMS hay que encenderla (sic) con una chispa. (p. 364)

Fases del motor de cuatro tiempos

El comportamiento de un motor de cuatro tiempos es definido por las fases de su ciclo. Estas fases se denominan carreras y rigen el comportamiento de pistón dentro del cilindro; la

primera de estas cuatro carreras es la de admisión, la segunda es la de compresión, la tercera carrera es la de combustión o expansión y la última es la de escape.

Carrera de admisión

Durante esta fase, el pistón desciende mientras la válvula de admisión permanece abierta, esto permite el ingreso de la mezcla de aire y gasolina de forma atomizada a la cámara de combustión. Durante este proceso, la válvula de escape se mantiene cerrada, el desplazamiento del pistón va desde el PMS al PMI, de esta manera, todo el volumen del cilindro se ha llenado de la mezcla.

Carrera de compresión

La segunda carrera, la de compresión, inicia a partir del momento que el pistón comienza a subir de nuevo, cerrándose la válvula de admisión mientras la válvula de escape se mantiene cerrada; este ejercicio comprime en un espacio hermético la mezcla de aire y combustible. De este modo, el aire se calienta y provoca la evaporación de la gasolina, la cual se mezcla con el aire de forma más homogénea.

Carrera de combustión

Una vez que el pistón llega de nuevo al PMS, la mezcla alcanza la presión máxima, es en este momento cuando se produce el salto de chispa en la bujía presente en el cilindro; la mezcla se inflama y empuja el pistón de nuevo hacia abajo; una vez cerca del PMI, los gases han disminuido su temperatura y presión, este nuevo estado no es aprovechable en este momento, por lo que serán expulsados en la próxima carrera del pistón.

Carrera de escape

La última carrera se encarga de la expulsión de los gases quemados, para esto la válvula de escape se abre, mientras el pistón realiza el movimiento ascendente empujando los gases hacia el múltiple de escape; una vez llegado el pistón de nuevo al PMS, se prepara para reiniciar el proceso de cuatro tiempos de nuevo.

El ejercicio de desplazamiento de los pistones en el motor tiene la finalidad de convertir un movimiento lineal en un movimiento rotacional, esto se produce por medio de las bielas que unen los pistones con el cigüeñal.

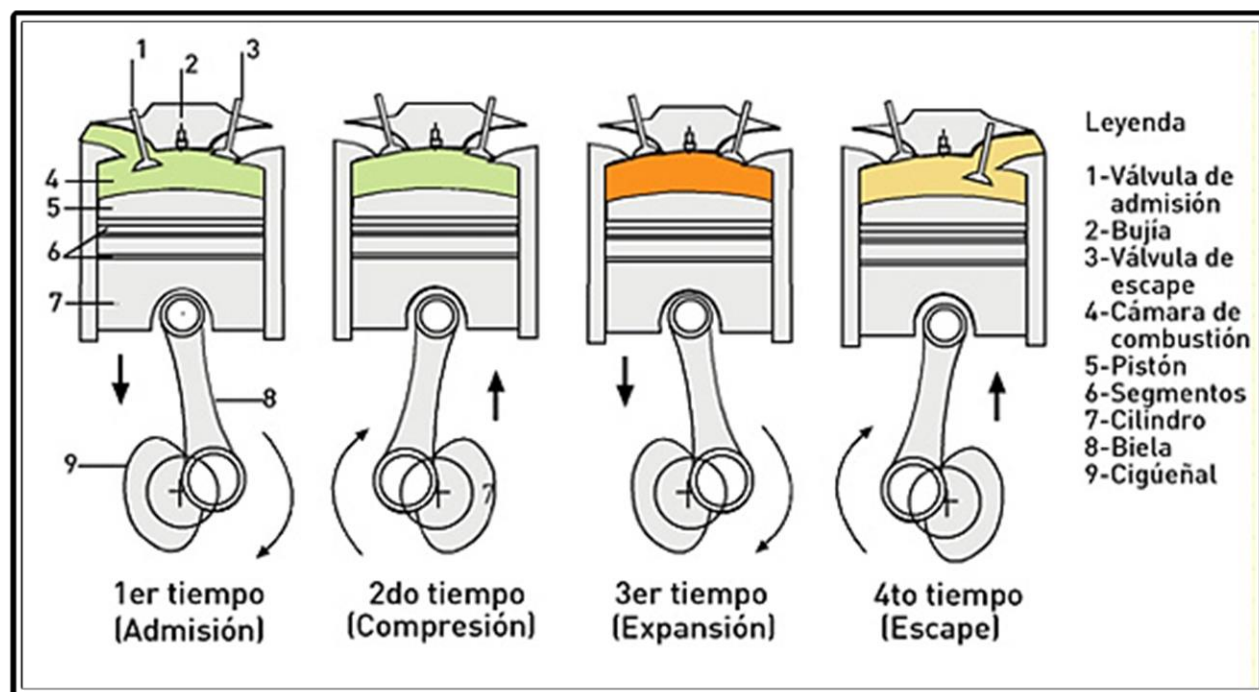


Figura 1. Ciclo del motor de combustión de cuatro tiempos.
Fuente: Revista moto (2017).

Bobina de encendido

Según BERU Parts (s.f.):

Las bobinas de encendido funcionan según el principio del transformador. Básicamente, se componen de un bobinado primario, un bobinado secundario, el núcleo de hierro, una carcasa con material de aislamiento y, actualmente, también resina epoxi de dos componentes. En el núcleo de hierro de finas hojas de acero individuales se aplican dos elementos a la bobina, por ejemplo:

- El bobinado primario, hecho de cable de cobre grueso con unas 200 vueltas (diámetro aproximado de 0,75 mm²).
- El secundario, de cable de cobre fino con unas 20.000 vueltas (diámetro aproximado de 0,063 mm²).

Tan pronto como se cierra el circuito de la bobina primaria, en la bobina se genera un campo magnético. La tensión inducida se genera por autoinducción. Durante el encendido, la corriente de la bobina se corta en la etapa final. El campo magnético, que se colapsa de forma instantánea, genera una alta tensión de inducción en el bobinado primario. Este se transforma en la parte secundaria de la bobina y se convierte en la relación de «número de bobinados secundarios frente a primarios». En la bujía de encendido se produce una descarga disruptiva de alta tensión, que a su vez provoca la ionización del alcance de las chispas y, por tanto, un flujo de corriente. Esto continúa hasta que se descarga la energía guardada. Conforme va saltando, la chispa enciende la mezcla de aire-combustible. La tensión máxima depende de:

- La relación entre el número de vueltas del bobinado secundario y el bobinado primario
- La calidad del núcleo de hierro
- El campo magnético.

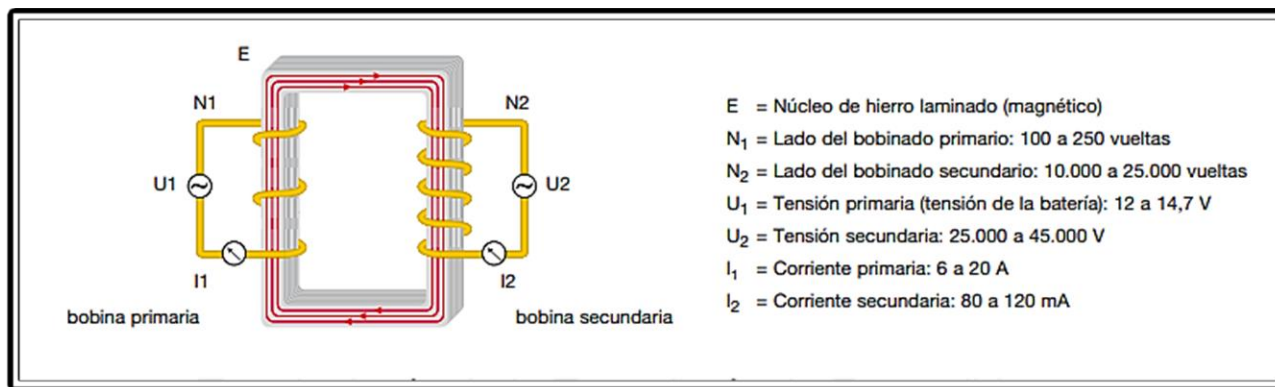


Figura 2. Estructura del transformador eléctrico.

Fuente: BERU Parts (s.f.).

Sistema COP de encendido directo

Como lo indica Denton (2016), la descripción de encendido directo es la siguiente:

El sistema usa una bobina de inducción por cada cilindro. Estas bobinas se colocan directamente sobre las bujías. El uso de una bobina individual por cada bujía permite que el tiempo de elevación de los embobinados primarios de baja inductancia sea

muy rápido. Esto permite que se produzca una chispa de alta energía a muy alto voltaje. Este voltaje, que puede exceder los 400 kV, da un inicio eficiente al proceso de combustión bajo condiciones de arranque en frío y con mezclas débiles (p. 177)

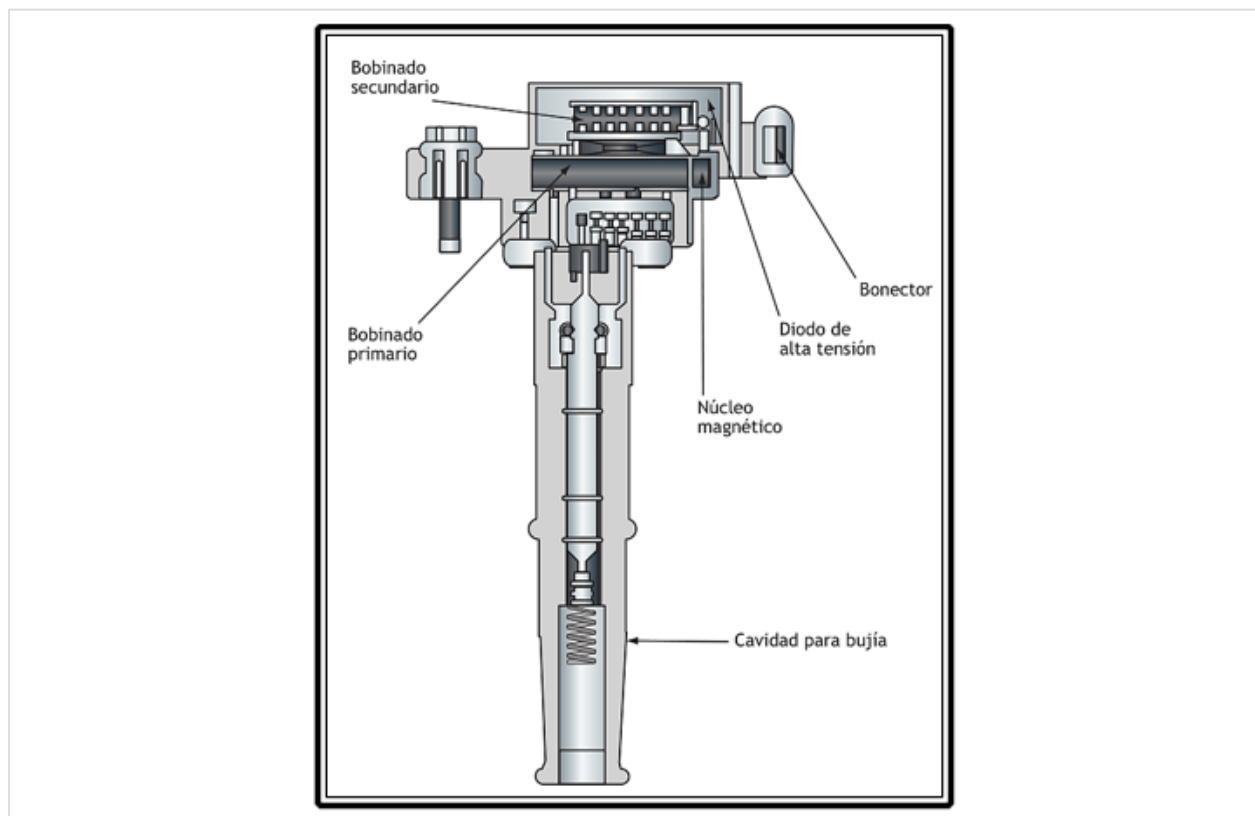


Figura 3. Conformación de una bobina individual tipo COP.

Fuente: Auto y técnica (s.f.).

Bujía de encendido

La descripción que se obtiene por parte de Bosch (1996) sobre la función y constitución de la bujía de encendido es la siguiente:

La misión de la bujía es introducir, en la cámara de combustión, la alta tensión generada por la bobina de encendido e inflamar la mezcla de aire-combustible haciendo saltar una chispa entre los electrodos. De esta manera la bujía determina decisivamente el rendimiento óptimo del motor y su funcionamiento fiable. Esto es válido especialmente en los modernos sistemas de gobierno del motor, donde la concepción especial de la bujía adquiere una importancia creciente. (p.440)

Requerimientos

Según Bosch (1996):

Los requerimientos de la bujía son complejos: está expuesta tanto a los procesos periódicos en la cámara de combustión como a las condiciones climáticas del exterior del motor.

Un requerimiento importante eléctrico es su capacidad para funcionar a tensiones de más de 30 000 v, de manera que su capacidad aislante quede garantizada también a temperaturas del orden de los 1000 °C. (p. 441)

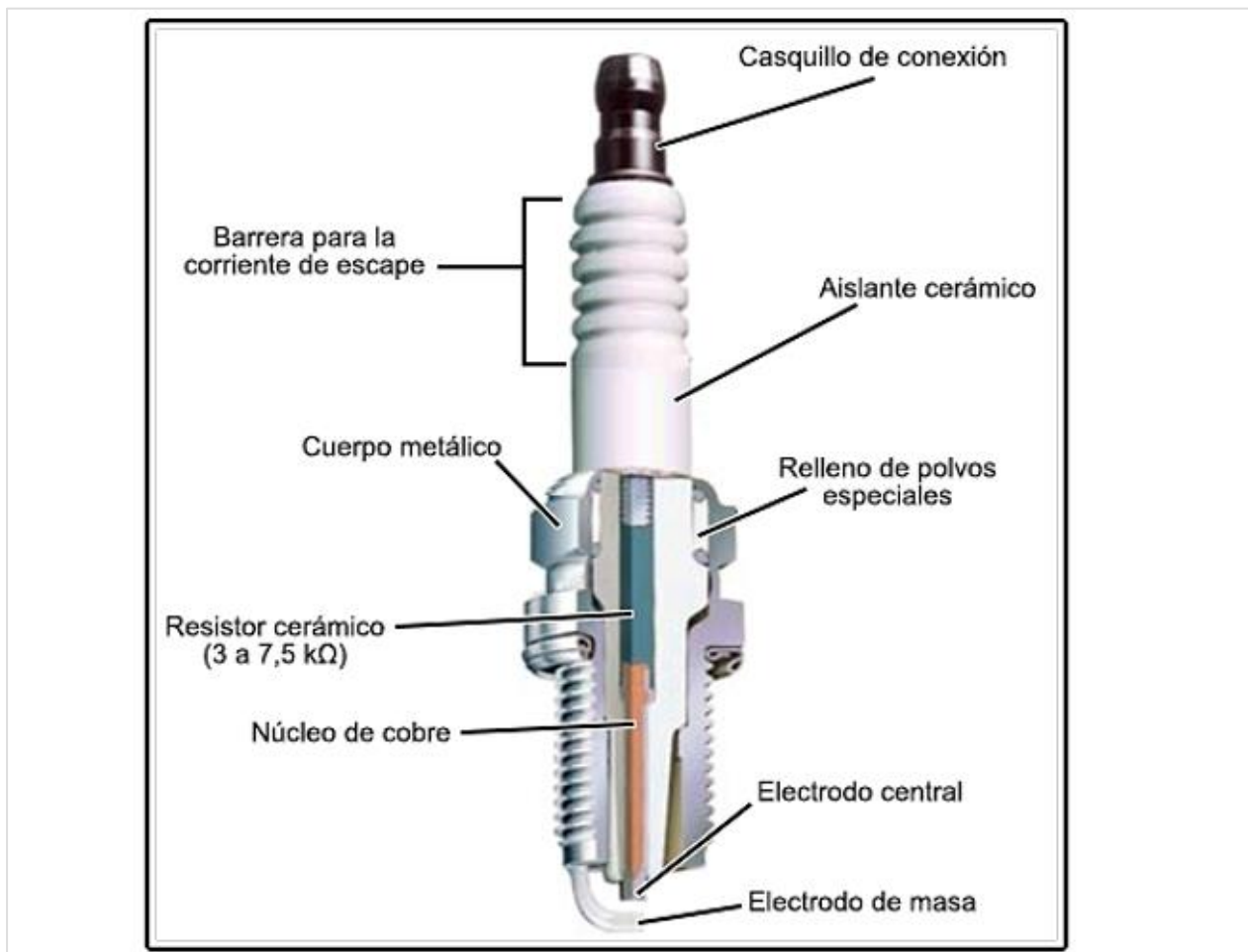


Figura 4. Constitución de una bujía de encendido.

Fuente: Blog mecánicos (2018).

Inyección de combustible

La descripción de Denton (2016), con respecto a la inyección del combustible, indica:

La relación aire-combustible ideal es de 14.7:1. Esta es la cantidad de aire que en teoría se necesita para que el combustible se quemara completamente. Se le da un valor lambda (λ) de 1.

Se altera la relación aire-combustible durante las siguientes condiciones de operación de un motor para mejorar su eficiencia, manejabilidad, consumo y emisiones:

- Arranque en frío: se necesitan mezclas más ricas para compensar la condensación del combustible y mejorar la manejabilidad;
- Carga o aceleración: más rica para mejorar el rendimiento;
- Crucero o cargas pequeñas: más débiles por economía;
- Saturado: combustible muy débil (en su caso), para mejorar las emisiones y la economía.

Entre más preciso sea el control de la relación aire-combustible para atender las diferentes condiciones externas, mejor será la operación general del motor.

La mayor ventaja de un sistema de inyección de combustible es, por tanto, el control preciso de la cantidad de combustible que se inyecta al motor. El principio básico de la inyección de combustible es que si el petróleo se abastece a un inyector (válvula controlada eléctricamente), a una presión constante, entonces la cantidad de combustible inyectado será directamente proporcional al tiempo de apertura del inyector. (p. 189)

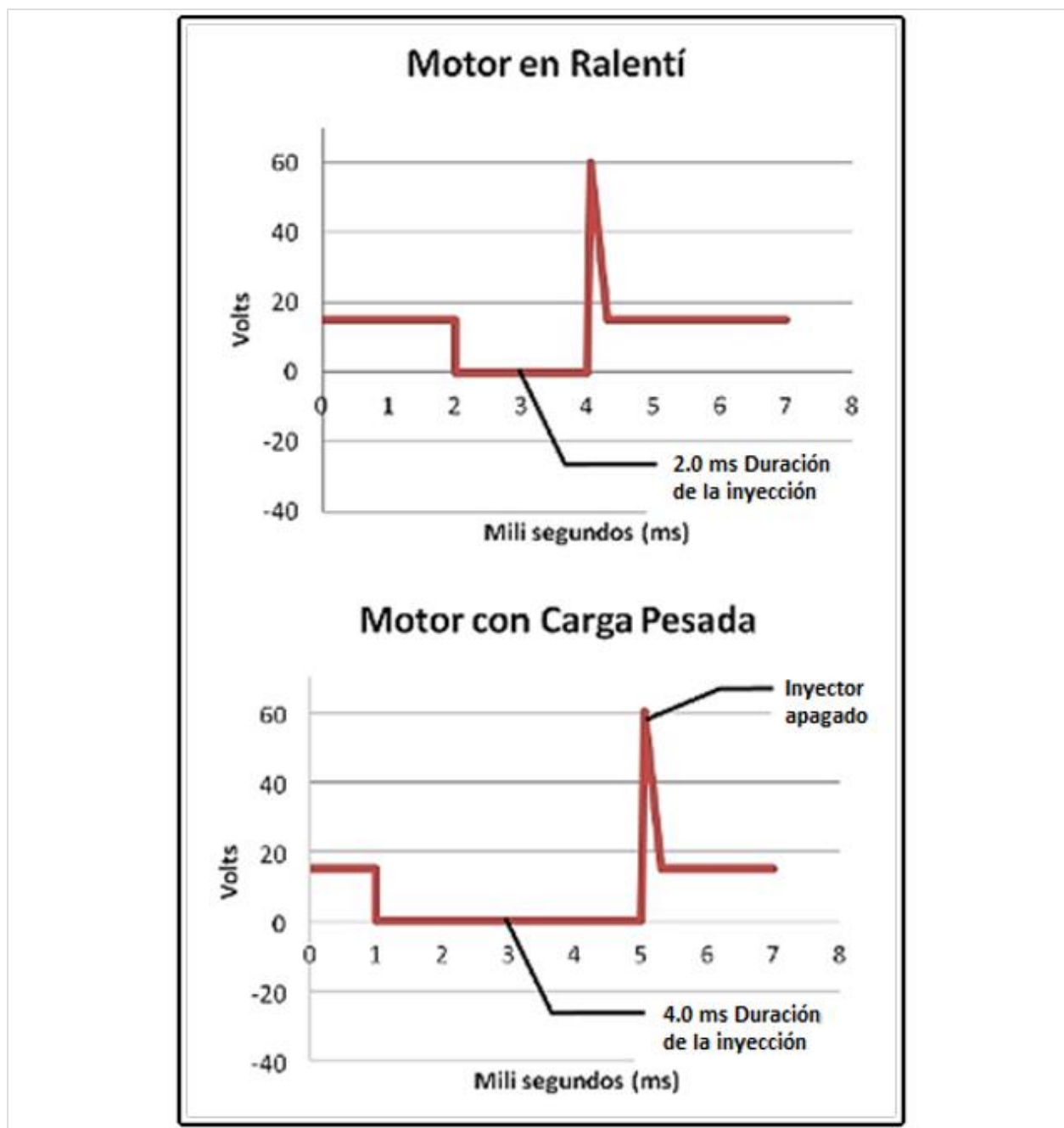


Figura 5. Señal del pulso de un inyector con el motor en ralentí (mínimo) y carga pesada.
Fuente: E-auto (s.f.)

Válvula de inyección o inyector

Bosch (1996) se refiere al comportamiento de la válvula de inyección como:

La válvula de inyección se abre automáticamente a una sobrepresión de aproximadamente 3,6 bar, y no tiene ninguna función dosificadora. Se abre y cierra con una frecuencia aprox. De 1.500 (chirría) y efectúa con esto una buena pulverización del combustible.

Para su fijación se utiliza una pieza moldeada de goma. Se ajusta a presión; no se rosca. El hexágono sirve para aguantarla cuando se atornilla a la tubería de combustible. (p.465)

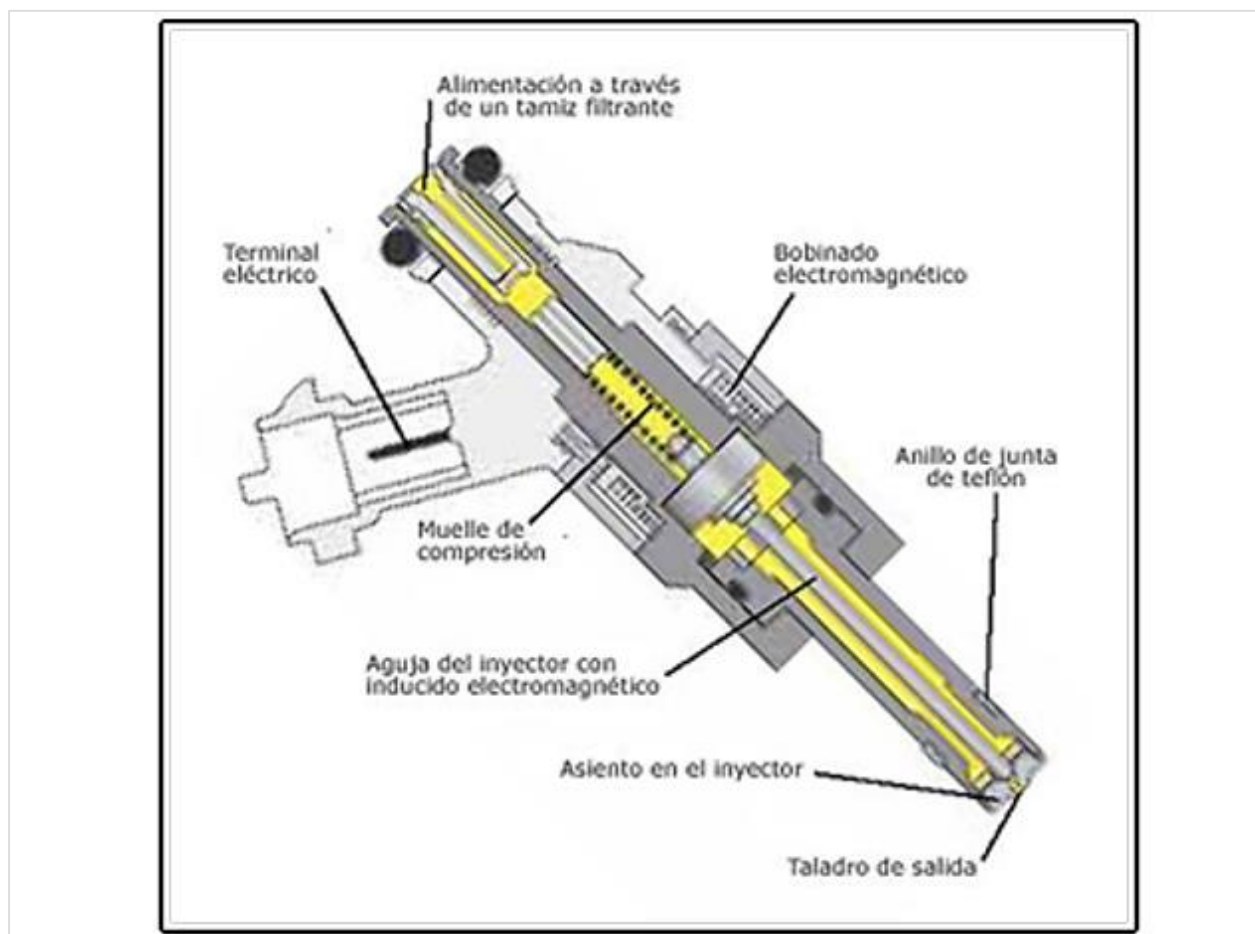


Figura 6. Estructura de la válvula inyectora.

Fuente: Blogicars (s.f.).

Válvula de mariposa

Según Red Operativa de Desaguaces Españoles (RO-DES) (s.f.):

Las válvulas de mariposa de un vehículo propias de los motores de gasolina con inyección de combustible, formando parte de su sistema de admisión. Estos dispositivos son los responsables del control de aire que accede a los cilindros mediante el circuito de colectores de admisión, ubicándose entre éste y el filtro de aire.

Se encargan, por tanto, de regular el flujo de aire que formará parte del proceso de combustión, aumentando o disminuyendo el paso mediante la llamada placa de mariposa que gira sobre un eje.

La ventaja que supone el uso de estas válvulas es que ayudan a reducir el consumo de combustible, potenciando así el cumplimiento de los requisitos medioambientales y de seguridad que dicta la normativa vigente y ahorrando dinero al consumidor.

Son válvulas de un cuarto de vuelta que cuentan con un disco circular con el eje de su orificio en ángulo recto al sentido de la circulación del flujo. (párr.1-4)

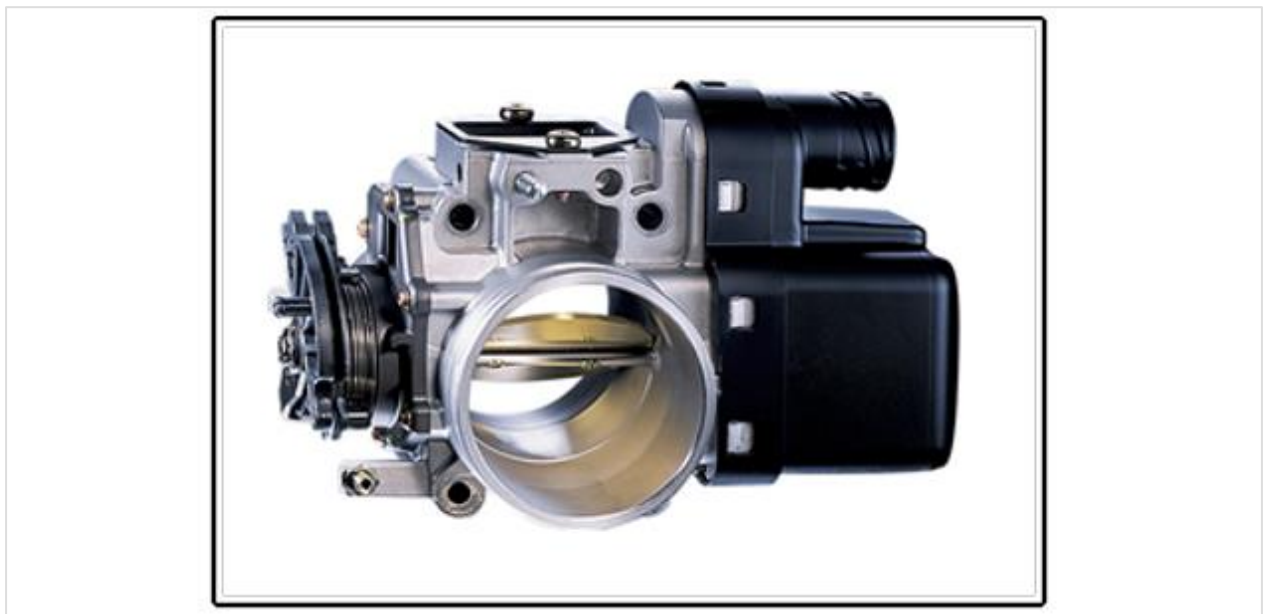


Figura 7. Válvula de mariposa.

Fuente: RO-DES (s.f.).

Unidad de control electrónico (ECU)

Según Car-tec (s.f.):

La ECU es la unidad de control electrónico que regula el motor. Se trata del corazón de un sistema electrónico compuesto por sensores y actuadores en la que los sensores informan a la unidad central y ésta envía la orden necesaria a los actuadores para transformar dicha información inicial. La función de los sensores es la de registrar diversos parámetros sobre el funcionamiento del vehículo (tales como las revoluciones del motor, temperatura de los sistemas, señal de la posición del acelerador...). Estos sensores actúan como puente hasta el sistema central o ECU y transforman dichas magnitudes físicas en electrónicas. Los actuadores son los encargados de convertir las señales eléctricas recibidas en magnitudes mecánicas. Como los inyectores de combustible, electroventiladores o demás sistemas que reciben la información y consecuentemente actúan de manera mecánica sobre alguna función en el vehículo. (párr. 2)



Figura 8. Unidad de control de motor de Nissan Sentra 2001.

Fuente: Mundo repuesto (s.f.).

Sensores de entrada a la ECU

Los sensores son aquellos componentes electrónicos que envían la información a la ECU para que esta realice los cálculos y ejecute en respuesta a estas señales de entrada, la activación de los elementos actuadores. Una descripción más detallada se puede obtener por parte de la obra de Denton (2016), en la cual se describe lo siguiente:

Un sensor es un dispositivo que mide una cantidad física y la convierte en una señal que puede ser leída por una unidad de control electrónico (ECU), un observador o un instrumento. Por precisión, la mayoría de los sensores se calibran contra estándares conocidos. La mayoría de los sensores de vehículos producen una señal eléctrica, así que checar su salida en el osciloscopio es muchas veces el método más recomendado. Sin embargo, muchos también pueden revisarse utilizando un multímetro. (p. 67)

Los sensores de aplicación automotriz vinculados a la ECU se clasifican en grupos:

- Sensores de inducción
- Sensores de resistencia variable
- Sensor de hilo (alambre) caliente
- Termistores
- Sensores de efecto Hall
- Sensor de detonación
- Sensores de oxígeno
- Sensores de presión del múltiple de admisión.

Sensores de inducción

Conforme a lo descrito por Denton (2016):

Los sensores de tipo inductivo se usan principalmente para la medición y posicionamiento de componentes en rotación. Trabajan en el muy básico principio de inducción eléctrica (un flujo magnético cambiante inducirá una fuerza electro

motiva (sic) en una bobina). El voltaje de salida de la mayoría de los sensores de tipo inductivo es aproximadamente una onda seno. La amplitud de esta señal depende de la frecuencia de cambio de flujo. (p.69)

Sensores de cigüeñal y árbol de levas

Según Denton (2016):

Los sensores de tipo inductivo para cigüeñal y árbol de levas funcionan de la misma manera. Un solo diente, o rueda dentada, induce un voltaje al embobinado del sensor. El sensor del árbol da información sobre la posición del motor al igual que sobre cuál(sic) cilindro está en qué movimiento. El sensor de cigüeñal proporciona la velocidad del motor y también da la posición del motor, usando en muchos casos el “diente faltante”. (p. 70)

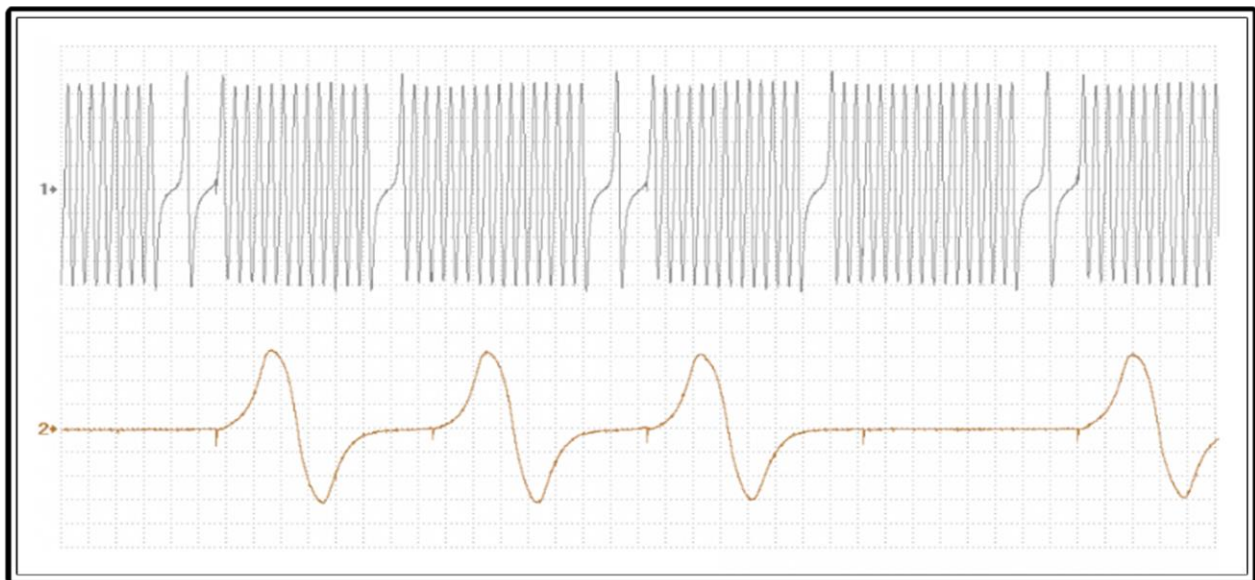


Figura 9. Señales inductivas de sensores CKP y CMP.
Fuente: Rotkee (s.f.).

Sensores de resistencia variable

Conforme a lo descrito por Denton (2016):

Los dos mejores ejemplos de aplicaciones vehiculares para sensores de resistencia variable son los sensores de posición del ahogador y los sensores de flujo de aire de tipo aleta. El sensor de posición del ahogador es un potenciómetro en que, cuando se suministra un voltaje estable muchas veces 5v, el voltaje del contacto limpiador será proporcional a la posición del ahogador. (p.74)



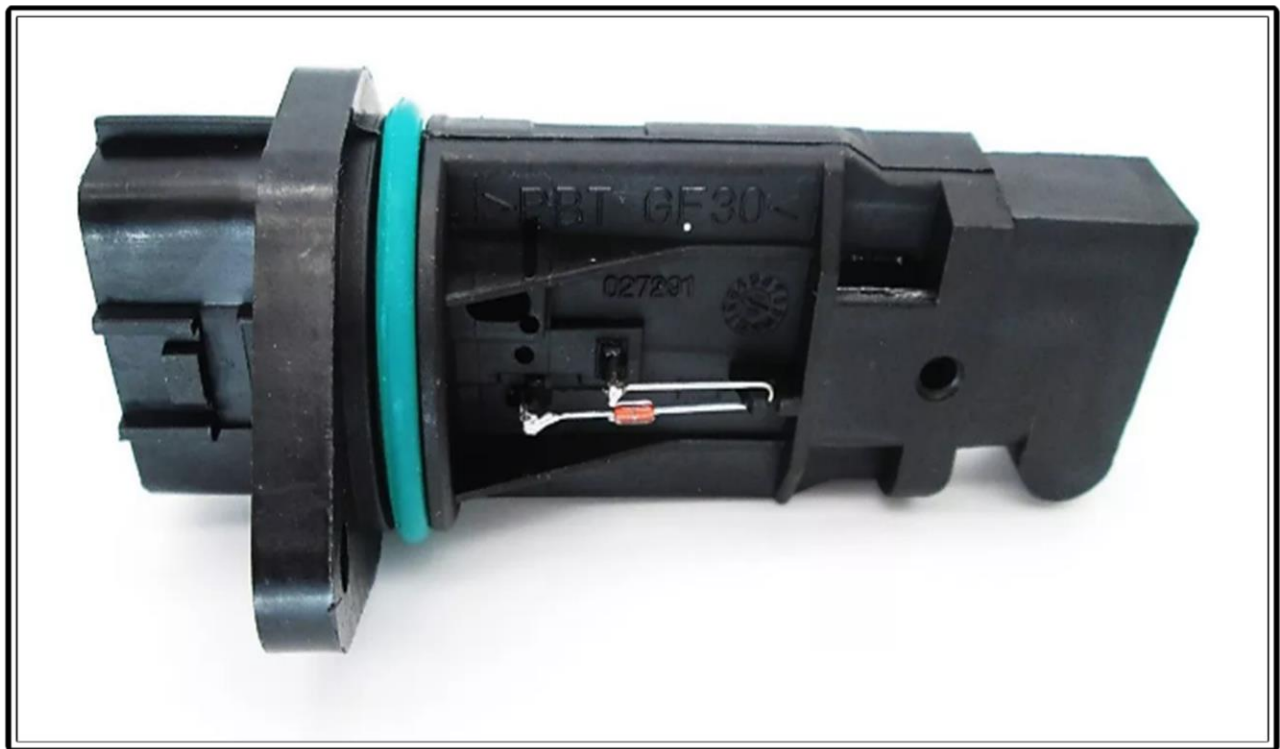
*Figura 10. Sensor de posición de la mariposa de aceleración (ahogador).
Fuente; Mercado Libre (s.f.a.).*

Sensor de hilo (alambre) caliente

Con respecto a lo expuesto por Denton (2016):

El principio básico es que conforme el aire pasa por un alambre caliente, trata de enfriar el alambre. Si se crea un circuito de tal manera que aumente la corriente dentro del cable, entonces esta corriente será proporcional al flujo del aire.

La salida del circuito involucrado con el sensor de alambre caliente es un voltaje a través de un resistor de precisión (p. 77).



*Figura 11. Sensor de flujo de aire de hilo caliente.
Fuente: Mercado Libre (s.f.b.).*

Termistores

Con respecto a estos sensores, Denton (2016) indica que:

Los termistores son los dispositivos más comúnmente usados para mediciones de temperatura en vehículos automotores. El principio de medición es que un cambio en la temperatura causará un cambio en la resistencia del termistor y, por tanto, una señal eléctrica proporcional a la temperatura que está siendo medida. La mayoría de los termistores de uso común son de tipo coeficiente de temperatura negativo (NTC, Negative Temperature Coefcient). La respuesta real del termistor puede variar desde varios kilo-ohms a 0 °C hasta varios cientos de ohms a 100 °C. (p. 78)



*Figura 12. Sensor de temperatura del refrigerante del motor.
Fuente: Mercado Libre (s.f.c.).*

Sensores de efecto Hall

Denton (2016) indica que:

Los sensores de efecto Hall se usan de distintas maneras. El distribuidor de encendido era muy común pero ya no se usa actualmente.

Esta forma de dispositivo de disparador es un interruptor sencillo de “prendido/apagado” que produce una salida de onda cuadrada que es reconocida y procesada por el módulo de control de encendido o por el ECU de gestión del motor.

El sensor generalmente tendrá tres conexiones: una fuente de voltaje estabilizado (muchas veces 4 o 5 v), una tierra y una salida de señal. Al ser monitoreada en el osciloscopio, la onda cuadrada puede variar un poco en amplitud esto generalmente no es problema, ya que lo importante es la frecuencia. Sin embargo, en la mayoría de los casos la amplitud/voltaje se mantendrá constante (p.80).



Figura 13. Sensor de efecto Hall.

Fuente: Mercado Libre. (s.f.d.).

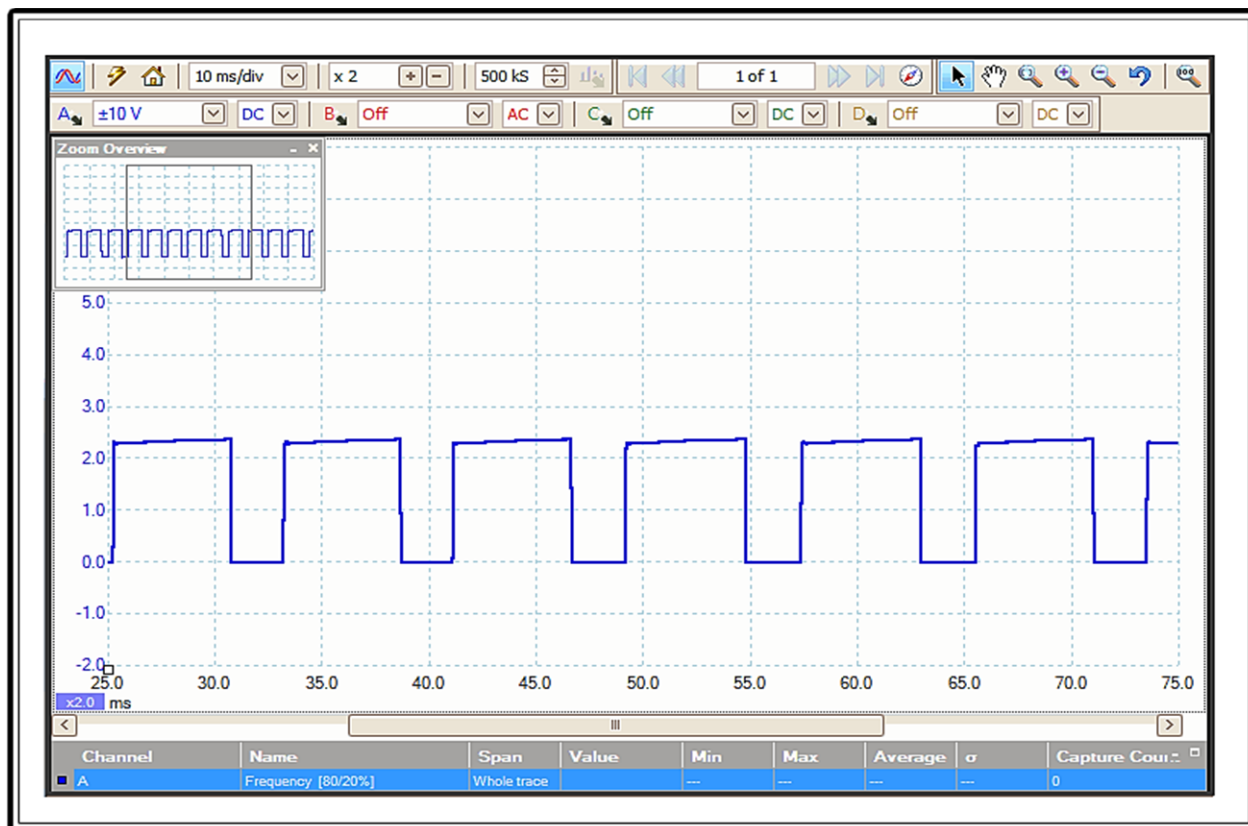


Figura 14. Señal del sensor de efecto Hall.

Fuente; Picoauto (s.f.a.).

Sensor de detonación

Denton (2016) dice que:

Un acelerómetro piezoeléctrico es un dispositivo de masa sísmica que utiliza un cristal piezoeléctrico para convertir la fuerza en la masa debida a la aceleración en una señal eléctrica de salida. El cristal no solo actúa como transductor, sino también como resorte de suspensión para la masa. El cristal está metido entre el cuerpo del sensor y la masa sísmica y se mantiene bajo compresión. Las fuerzas de aceleración actuando como masa sísmica causan variaciones en la cantidad de compresión sobre el cristal y así generan un voltaje piezoeléctrico.

El sensor, cuando se utiliza como sensor de detonación en el motor, también detecta otras vibraciones del motor. Éstas se mantienen al mínimo con sólo buscar golpeteos unos grados antes y después en el punto muerto superior (TDC. Top Dead Centre). (p. 83)

El punto óptimo en el cual la bujía enciende la mezcla de aire/combustible es justo antes de que ocurra el golpeteo.



Figura 15. Sensor de golpeteo.
Fuente; Winparts (s.f.).

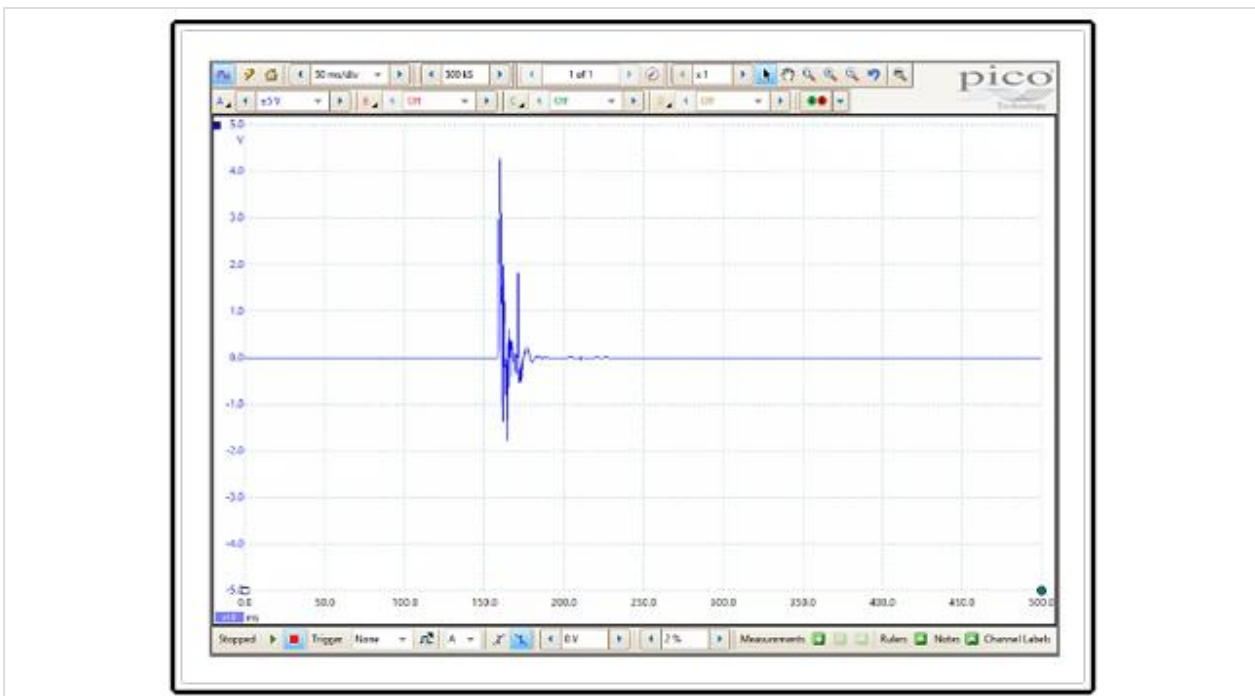


Figura 16. Señal del sensor de golpeteo.
Fuente: Picoauto. (s.f.b.).

Sensores de oxígeno

La descripción de estos sensores, según Denton (2016), es la siguiente:

La aplicación para un sensor de oxígeno en un vehículo es la de proporcionar un sistema de retroalimentación de circuito cerrado para el control de gestión del motor de la relación aire/combustible. La cantidad de oxígeno percibida en el escape está directamente relacionada a la fuerza de la mezcla, o relación aire/combustible. La relación ideal de aire/combustible es de 14.7:1 por masa y es conocido como un valor lambda (λ) de 1.

Los sensores de oxígeno del gas de escape (EGO, Exhaust Gas Oxygen) se colocan en la tubería del escape cerca del múltiple para asegurar un calentamiento adecuado. Los sensores operan mejor a temperaturas de más de 300 °C. En algunos casos incorporan un elemento calentador para asegurar que esta temperatura se alcance rápidamente. (p. 84)



Figura 17. Sensor de oxígeno.

Fuente: Autorecambios Store (s.f.).

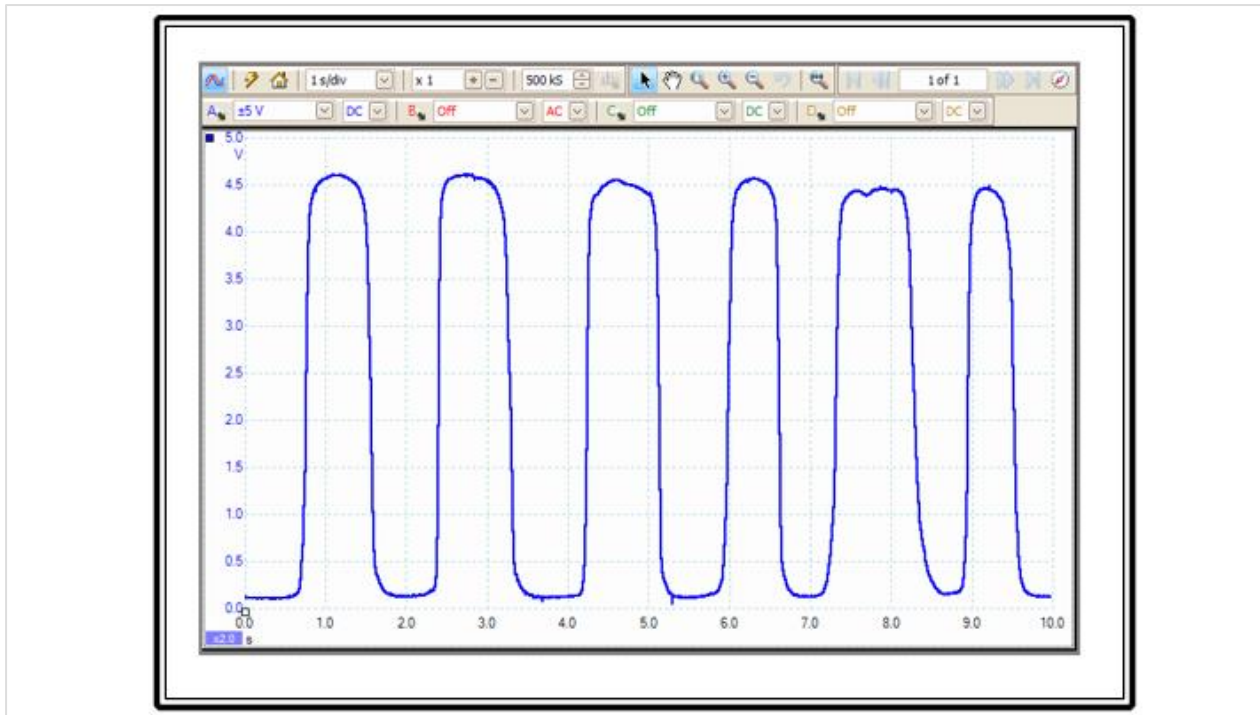


Figura 18. Señal del sensor de oxígeno.
Fuente: Picoauto. (s.f.c.).

Sensores de presión del múltiple de admisión

Calibrador de cedazo (galgas extensométricas)

Denton (2016) indica que:

Cuando un calibrador se estira su resistencia aumenta y cuando se comprime, disminuye. La mayoría de las galgas extensiométricas consisten de una capa delgada de película fijada a una hoja de forro flexible. Está a su vez va unida a la parte donde se medirá el estiramiento.

Las galgas extensométricas muchas veces se utilizan indirectamente para medir la presión en el múltiple del motor. Cuando los cambios en la presión del múltiple actúan sobre el diafragma, los calibradores detectan el esfuerzo. La salida de los circuitos es a través de un amplificador diferencial, que debe tener una muy alta resistencia de entrada de tal manera que no se afecte el balance del puente. Los cambios de temperatura se compensan usando cuatro calibradores que al ser afectados en forma similar cancelen cualquier cambio. (p. 87)



*Figura 19. Sensor de presión del múltiple de admisión.
Fuente. OLX (s.f.).*

Diagnóstico de a bordo OBD (On Board Diagnostic)

Con forme a lo descrito por Denton (2016):

Un diagnóstico de a bordo contemporáneo, basado en un microprocesador, o sistema OBD, está diseñado para auto diagnosticar(sic) y reportar cuando el funcionamiento de los sistemas o componentes del control de emisiones se han degradado. Cuando se produce un problema, el sistema OBD (sic) enciende una luz que se conoce como luz indicadora de fallas (MIL, Malfunction Indicator Lamp) o indicador de mal funcionamiento (MI) en el tablero de instrumentos.

Cuando la falla ocurre, el sistema almacena el código de problema de diagnóstico que puede ser utilizado para localizar e identificar la falla. El sistema también almacenará información importante sobre las condiciones de operación del vehículo en el momento en que ocurrió la falla. Un técnico de servicio debe ser capaz de conectar una herramienta de diagnóstico por escaneo o un lector de códigos que se comuniquen con el microprocesador y recupere esta información. Esto permitirá al técnico diagnosticar y rectificar la falla, hacer la reparación/reemplazo, reiniciar el sistema OBD y restaurar los sistemas de control de emisiones del vehículo a un estado útil- (p. 123)

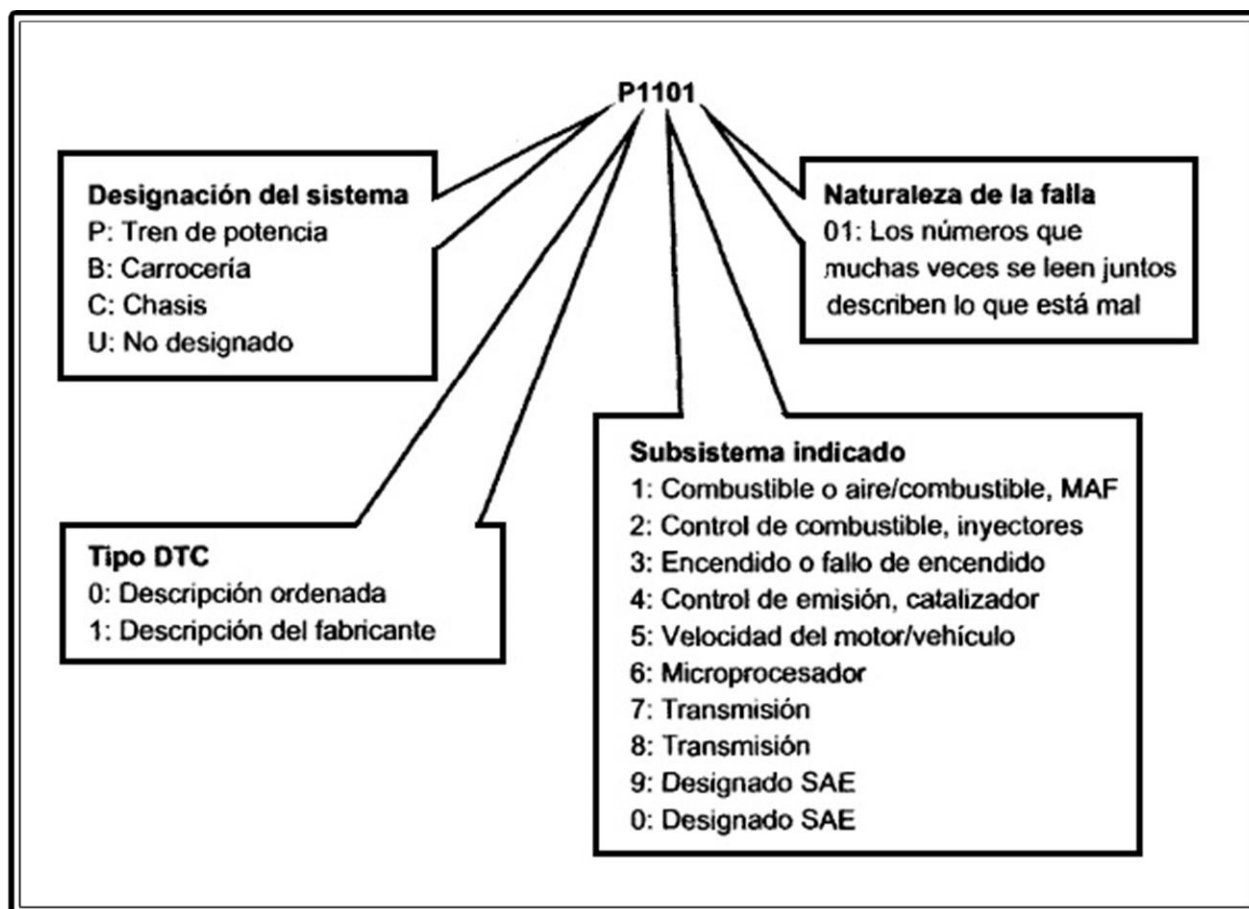


Figura 20. Composición del código OBD.

Fuente: Denton (2016).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este proyecto se utilizará una metodología dividida en tres etapas:

- Fundamento teórico
- Diseño del circuito
- Análisis de rentabilidad

El fundamento teórico se enfocará en las características de los componentes electrónicos por utilizar para el diseño del módulo emulador, así como su función particular en el diseño. Por su parte, el diseño contempla tanto las conexiones del esquemático como el ruteo de pistas y ubicación de los componentes en el PCB.

Por último, se realizará un análisis para determinar la viabilidad del proyecto en materia económica, se estimará el costo del diseño y producción. Además, se realizará una proyección de los casos que permitirá solventar en tema de diagnóstico y reparación de las ECU, para el cual será diseñado en la aplicación para una empresa dedicada a brindar este servicio en el mercado nacional.

Diagrama de flujo del diseño electrónico del módulo emulador de señales

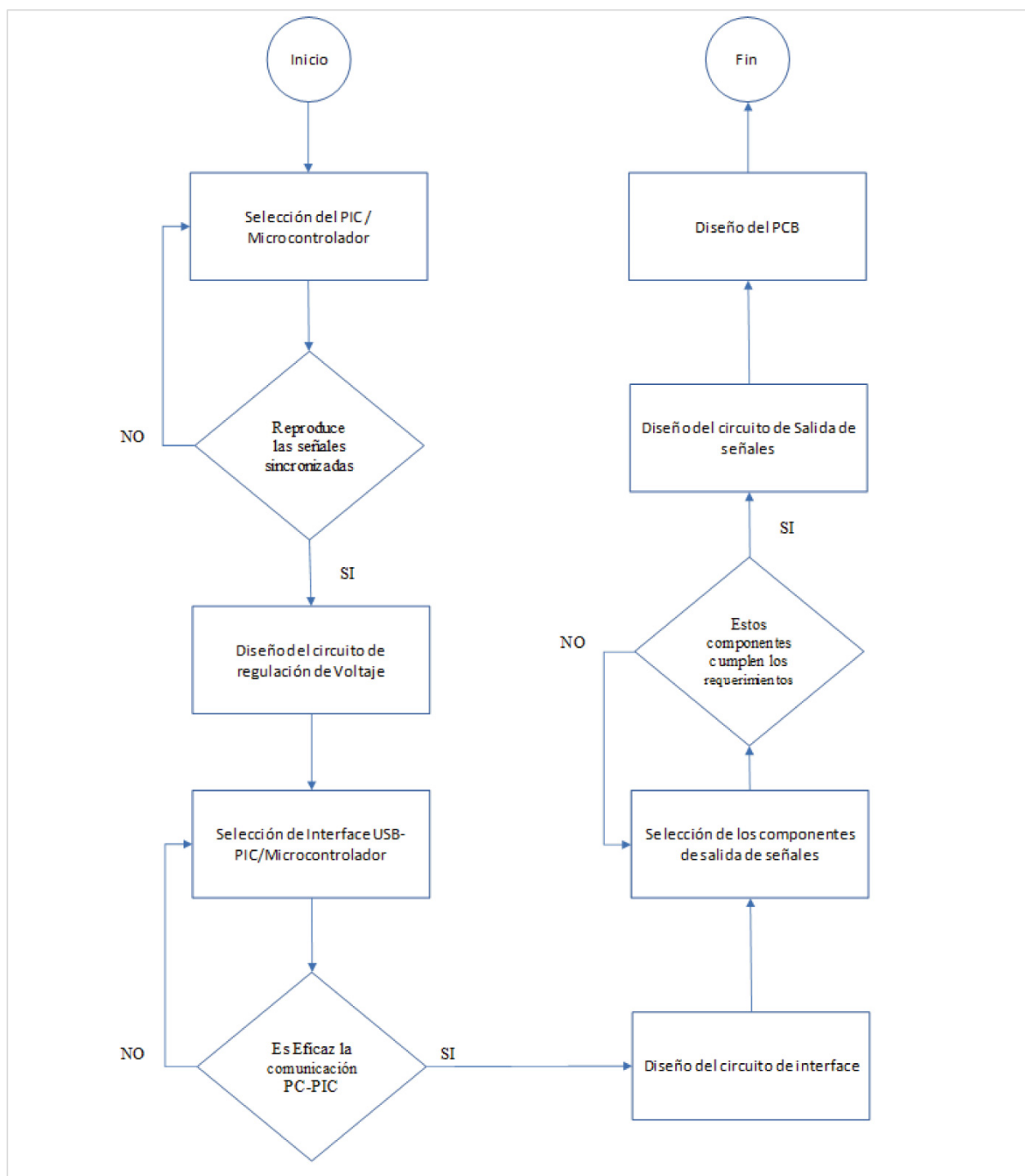


Figura 21. Diagrama de flujo del diseño electrónico del módulo emulador de señales.
Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO

El microcontrolador

El microcontrolador es el elemento principal para lograr la simulación de las señales con una correlación entre ellas, para este caso se ha seleccionado el Atmega328P de la empresa ATMEL.

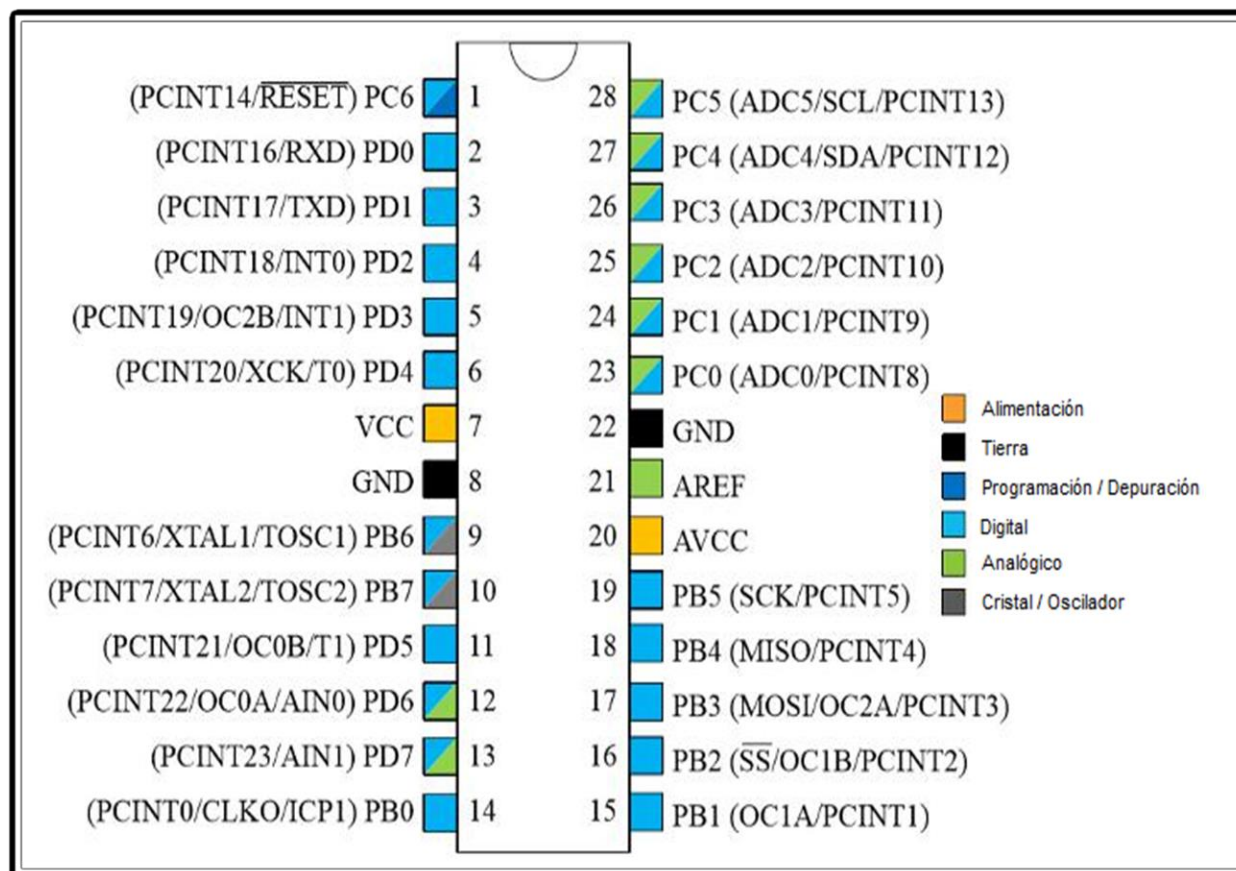


Figura 22. Configuración de pines del Atmega328P.

Fuente: Pérez (2018).

Características del Atmega328P

- Tiene 131 instrucciones potentes, la mayoría ejecutada en un solo ciclo de reloj.
- Un banco de 32x8 registros de propósito general.
- Hasta 20 MIPS (Millones de instrucciones por segundo) a 20 MHz.
- Un multiplicador *hardware on-chip* de 2 ciclos.
- Memoria de programa FLASH de 32 KBytes, programable dentro del sistema.
- Memoria SRAM interna de 2 KBytes.
- Memoria EEPROM de 1 KByte.
- Cuenta con 2 Timers/Contadores de 8 bits.
- Un Timer/Contador de 16 bits.
- Seis canales PWM.
- Seis canales analógicos para el ADC.
- Un puerto serial USART.
- Un interface serial SPI.
- Un interface serial 2-Wire, compatible con I2C.
- Un Timer watchdog.
- Un comparador analógico on-chip.
- Interrupciones.
- Varios modos de bajo consumo.

Integrado CH340C

El Atmega328P no tiene una conexión nativa a USB (Bus Serie Universal), esta comunicación es fundamental para cargar el programa en el microcontrolador y, en caso de ser requerido, poder reprogramarlo; por este motivo, se utilizará el integrado CH340C.

Este integrado se encarga de la comunicación serial entre el microcontrolador y el puerto USB de la PC; el CH340C no requiere una conexión externa de un cristal, ya que lo tiene incorporado en su diseño. Esta característica y su bajo costo definieron su utilización para este proyecto. El protocolo de comunicación que utiliza es el UART (Receptor-Transmisor Asincrónico Universal).

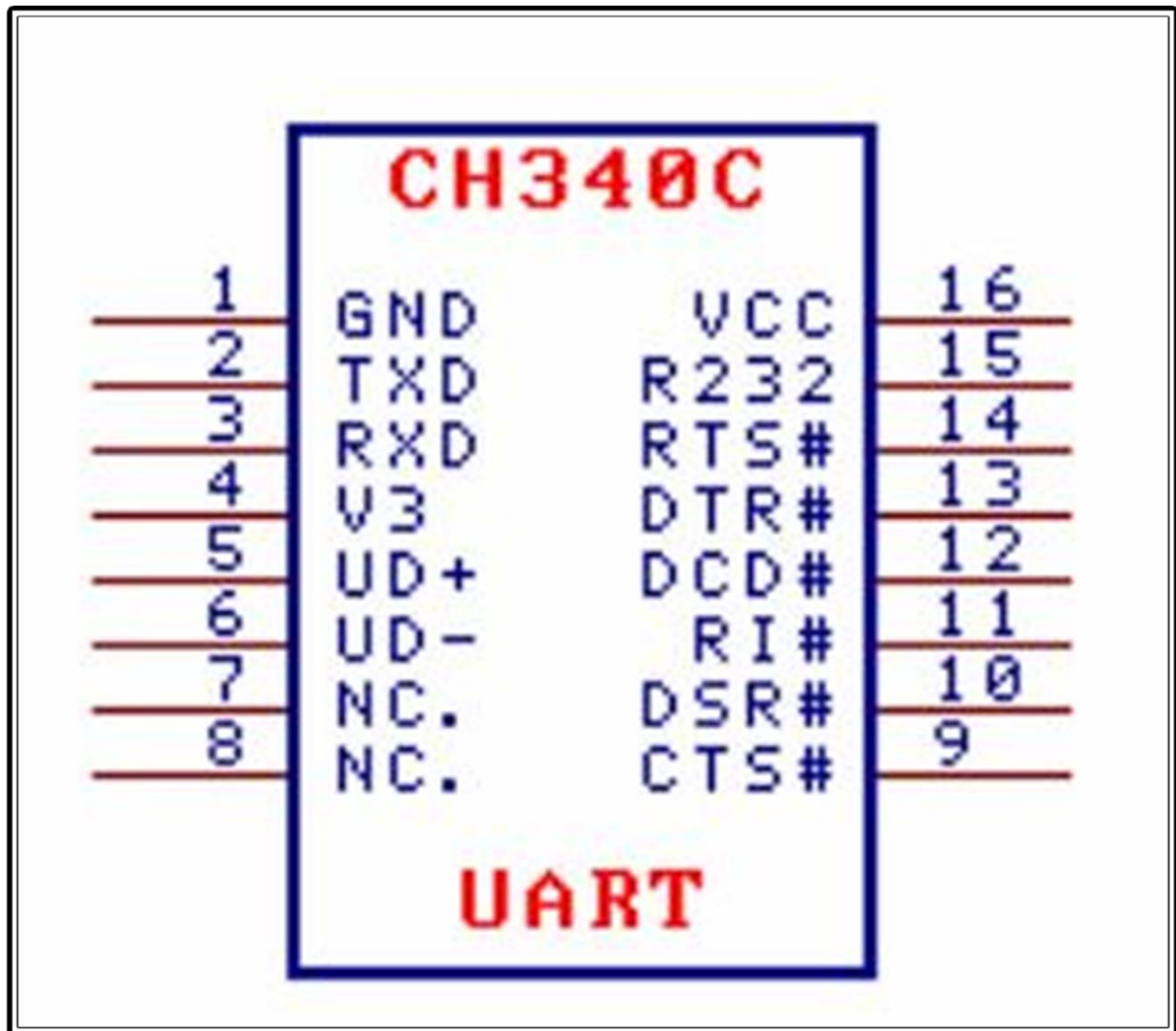


Figura 23. Configuración de pines del integrado CH340C.
Fuente: DatasheetCafe (2016).

Del total de pines que conforman el CH340C, solo será necesario conectar los siguientes:

- Pin 1. Tierra del integrado
- Pin 2. Transmisor de datos hacia el microcontrolador
- Pin 3. Receptor de datos desde el microcontrolador
- Pin 4. Se coloca un capacitor de desacoplo debido a que el CH340C se alimentará con 5v.
- Pin 5. Conexión directa al terminal D+ del USB
- Pin 6. Conexión directa al terminal D- del USB

- Pin13. Terminal de datos listo, se conecta al pin de reinicio del microcontrolador a través de un capacitor, este pin se mantendrá en estado alto, mientras no se pulse el botón de reinicio.

Alimentación del módulo

Este módulo está concebido para funcionar en un banco profesional de laboratorio, el cual debe contar, entre otros equipos, con una fuente DC de alimentación regulada. La fuente energizará a la ECU y a los actuadores (inyectores, bobinas, relés, etc.) que lo requieran para el diagnóstico; dada esta situación, no será necesario diseñar una etapa de rectificación para una toma de corriente de 120v AC. Este módulo se conectará de igual manera a dicha fuente de DC, la cual realizará la función de la batería del carro; como este nivel de voltaje en el automóvil oscila su valor entre los 12 y 14v, debido a la generación del alternador, la fuente de poder del banco de trabajo se fijará entre esos valores de voltaje; por este motivo y con el fin de no requerir otra fuente de alimentación adicional, para el módulo se diseñará una etapa de regulación de 5v para su correcta operación. Para este fin se utilizará el circuito integrado de regulación de voltaje positivo L7805 en su configuración característica.

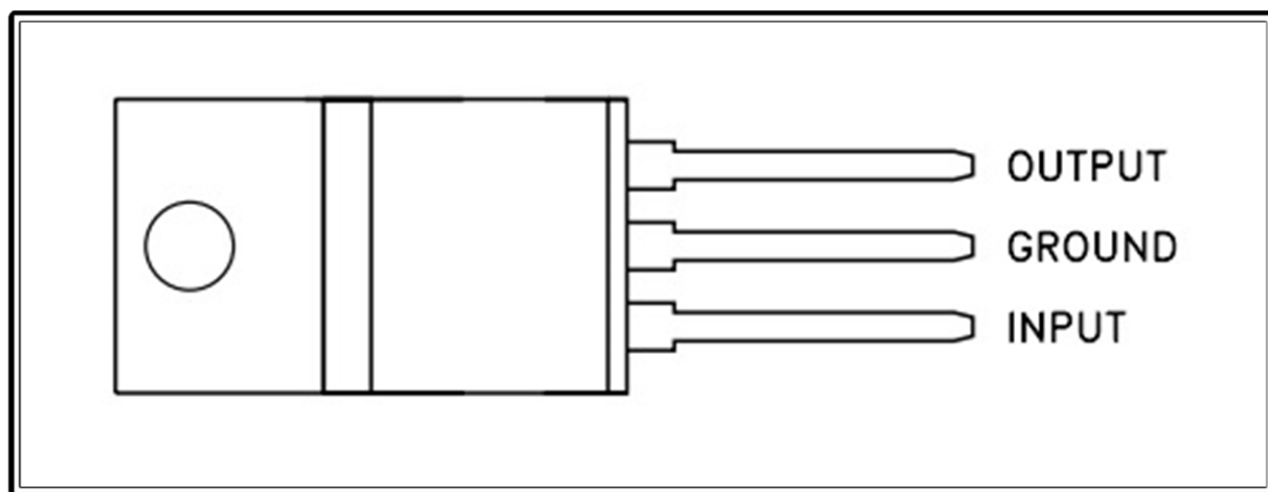


Figura 24. Encapsulado y configuración de pines del integrado L7805.
Fuente: DatasheetCafe (2019).

Optoacopladores

Una vez que el Atmel328p genere las señales CKP y CMP en sus pines digitales de salida, estos no irán directamente conectados a la ECU, se debe utilizar un elemento que funcione de interfase para evitar que un error en la conexión por parte del usuario, o incluso una ECU en mal estado, pueda dañar el microcontrolador. Para este fin se utilizará el optoacoplador 4N35 para cada salida.

El optoacoplador es un componente electrónico que combina un semiconductor emisor de luz y un fotorreceptor, a ambos elementos los separa un espacio por el cual se transmite la luz. El fotorreceptor en el 4N35 es un fototransistor. El elemento de entrada es un diodo emisor de luz que transforma una señal eléctrica en una señal luminosa; esta señal llega a la base del fototransistor que en este caso es un BJT de tipo NPN. Para el fin práctico de este proyecto, el fototransistor trabajará solo en las condiciones de corte (como un interruptor abierto) y saturación (como un interruptor cerrado).

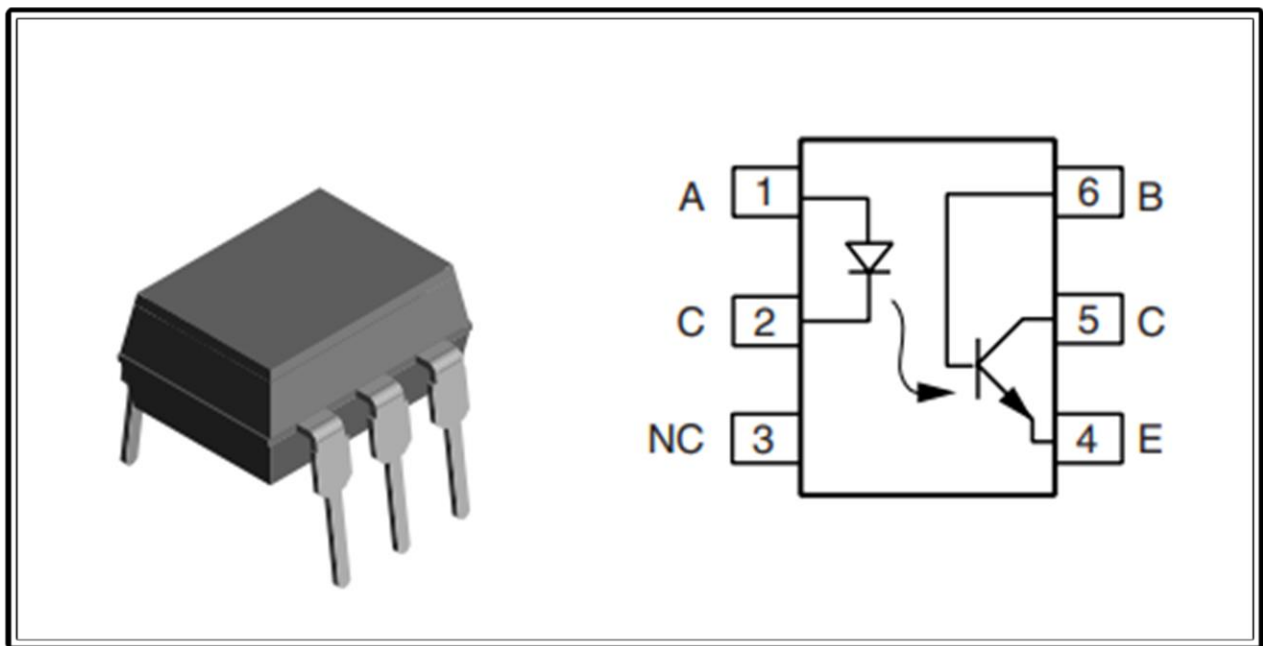


Figura 25. Encapsulado y distribución de pines del optoacoplador 4N35.
Fuente: JAMECO (2004).

Pines de alimentación

- **67 – BATT:** alimentación de voltaje de batería constante.
- **43 – IGNSW:** voltaje positivo de batería cuando el llavín se encuentra en la posición de ignición.
- **110 – VB:** voltaje positivo de batería, proviene de la activación del relé principal.
- **41 – STSW:** señal de arranque, presenta positivo de batería cuando el llavín está en la posición de arranque.

Pines de tierras

- **48 – GND:** Tierra del sistema.
- **57 – GND:** Tierra del sistema.
- **106 – GND:** Tierra del sistema.
- **108 – GND:** Tierra del sistema.

Señales de sensores

- **75 – POS:** señal proveniente del sensor de cigüeñal.
- **76 – PHASE:** señal proveniente del sensor de árbol de levas.
- **61 – QA+:** señal proveniente del sensor de flujo del aire.
- **92 – TVO:** señal proveniente del sensor de la mariposa de aceleración.
- **62 – HO2S1B1:** señal proveniente del sensor frontal de oxígeno banco 1.
- **94 – HO2S1B2:** señal proveniente del sensor frontal de oxígeno banco 2.
- **70 – TW:** señal proveniente del sensor de temperatura del refrigerante del motor.
- **64 – TA:** señal proveniente del sensor de temperatura del aire de admisión.

Actuadores

- **21 – FPR:** control negativo del relé de la bomba
- **31 – SSOFF:** control negativo del relé principal.
- **101 – INJ1:** activación negativa del inyector 1.
- **103 – INJ2:** activación negativa del inyector 2.
- **105 – INJ3:** activación negativa del inyector 3.

- **107 – INJ4:** activación negativa del inyector 4.
- **35 – IGN 1:** señal de control de la bobina del cilindro 1.
- **36 – IGN 2:** señal de control de la bobina del cilindro 2.
- **37 – IGN 3:** señal de control de la bobina del cilindro 3.
- **38 – IGN 4:** señal de control de la bobina del cilindro 4.

Comunicación

- **115 – KLINE 4:** señal de comunicación al pin 7 del conector OBDII

Programación del microcontrolador

Con respecto al proceso de programación del microcontrolador, se utilizó la IDE del programa Arduino, el cual es basado en el lenguaje de programación *Processing*, este lenguaje es similar a C++.



Figura 27. IDE de programación.

Fuente; edición propia.

Variable de programación.

Dentro del lenguaje de programación se encuentran las variables, estas se definen al inicio del programa con un identificador (nombre) y un tipo. Las variables son espacios reservados en la memoria, cuyo valor contenido, como lo indica su nombre, cambia mientras se ejecuta el programa.

Existen diferentes tipos de variables, para la ejecución del programa solo se utilizarán las siguientes:

- **int:** esta variable puede almacenar un número entero comprendido entre -32.768 y 32.768 almacenado en 16 bits.
- **unsigned long:** puede almacenar un número natural comprendido entre 0 y 4.294.967.296 en 32 bits de memoria.
- **const int:** almacena un valor constante de “solo lectura”, se utiliza normalmente para asignar un pin del microcontrolador.

Funciones de programación.

Las funciones son bloques de código a las cuales se les asigna un nombre y contienen un conjunto de instrucciones que se ejecutan cuando se llama la función. A continuación, se mencionan las funciones que se utilizarán en la programación del módulo:

- **void setup ():** dentro de esta función se configuran las funciones que ejecutará el microcontrolador, es la primera función en ejecutarse.
- **void loop ():** esta función se ejecuta de manera infinita, en forma cíclica hasta que se apague o reinicie el microcontrolador.
- **digitalWrite:** introduce un nivel lógico alto o bajo a un pin digital específico.
- **analogRead:** realiza la lectura de un nivel de voltaje y lo transforma a un valor digital de 10 bits, es decir, un valor entero entre 0 y 1023.
- **map:** esta función convierte un número de un rango de entrada a otro rango de salida.
- **pinMode:** configura un pin ya sea como entrada o como salida.
- **micros ():** devuelve un número natural indicando el tiempo medido en microsegundos desde que el microcontrolador comenzó a trabajar.
- **!:** función de negación booleana.

Sentencias condicionales.

Las sentencias condicionales tienen la finalidad de hacer que el programa ejecute una instrucción u otra dependiendo de cada situación, para este programa solo se hará uso de la condición *if*.

- **if:** esta sentencia evalúa una condición, si esta condición es verdadera, se ejecutan las instrucciones que contiene la sentencia; si es falsa, el programa ignora esta sección de código y continúa con los demás procesos.

Desarrollo del programa

La primera etapa del proceso de programación es la declaración de variables y la asignación de los pines de entrada y salida.

```
1 /*
2                                     Proyecto de Tesis UIA
3     Emulador de señales de cigüeñal y levas para Nissan Sentra B15
4
5 */
6
7 int SensorPin = A0;
8 int ValorSensor = 0;
9
10 unsigned long Val = 0;
11 const int CrankPin = 13;
12 const int CamPin = 12;
13
14 int Estado = LOW;
15 int Estado2 = LOW;
16
17 unsigned long MicrosPrevio = 0;
18 unsigned long Intervalo = 500;
19 unsigned long time = 0;
20
21 int i = 0;
```

Figura 28. Sección 1 del desarrollo de programación.

Fuente: edición propia.

- **Línea 7** – Declara el pin Analógico 0 del microcontrolador como variable entera y lo nombra “SensorPin” (los pines analógicos automáticamente se asignan como entradas).
- **Línea 8** – Declara una variable entera como “ValorSensor” y le asigna un valor inicial de 0.
- **Línea 10** – Declara una variable extendida sin signo como “Val” y le asigna un valor inicial de 0.
- **Línea 11** – Declara el pin digital 13 del microcontrolador como constante entera y lo nombra “CrankPin”.
- **Línea 12** – Declara el pin digital 12 del microcontrolador como constante entera y lo nombra “CamPin”.
- **Línea 14** – Declara una variable entera como “Estado” y le asigna un valor booleano bajo.
- **Línea 15** – Declara una variable entera como “Estado2” y le asigna un valor booleano bajo.
- **Línea 17** – Declara una variable extendida sin signo “MicrosPrevio” y le asigna un valor de 0.
- **Línea 18** – Declara una variable extendida sin signo como “Intervalo” y le asigna un valor de 500.
- **Línea 19** - Declara una variable extendida sin signo como “time” y le asigna un valor de 0.
- **Línea 21** - Declara una variable entera como “i” y le asigna un valor inicial de 0.

```
24 void setup()
25 {
26
27   pinMode(CrankPin, OUTPUT);
28   pinMode(CamPin, OUTPUT);
29
30 }
```

Figura 29. Sección 2 del desarrollo de programación.
Fuente: edición propia.

- **Línea 24** – Función de configuración.
- **Línea 25** – Apertura de la función de configuración.
- **Línea 27** – Define el pin digital 13 (señal CKP) como salida.
- **Línea 28** – Define el pin digital 12 (señal CMP) como salida.
- **Línea 30** – Cierre de la función de configuración.

```

32 void loop()
33 {
34   ValorSensor = analogRead(SensorPin);
35   Intervalo = map(ValorSensor, 0, 1023, 65, 1595);
36
37   unsigned long MicrosActual = micros();
38
39   time = MicrosActual - MicrosPrevio;

```

Figura 30. Sección 3 del desarrollo de programación.

Fuente: edición propia.

- **Línea 32** – Función de bucle.
- **Línea 33** – Apertura de la función de bucle.
- **Línea 34** – Esta sentencia lee el valor de entrada analógica del sensor en el pin A0 (potenciómetro de control de las r.p.m.) y lo asigna a la variable “ValorSensor”.

Si se toma como ejemplo un nivel de voltaje de entrada en el pin “A0” de 2v, el microcontrolador lo convierte en un valor entre 0 y 1023. Como el rango del nivel de entrada está entre 0 y 5v, se realiza una interpolación entre el voltaje medido y el valor entero que será asignado en la variable conforme a la fórmula de la ecuación 1.

$$Y = Y_1 + \left[\left(\frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \right) (Y_2 - Y_1) \right] \quad (1)$$

Al desarrollar la ecuación para la variable “ValorSensor”, se asignan los valores a la fórmula, se obtiene el resultado que se muestra en el ejemplo de la ecuación 2:

$$Y = 0 + \left[\left(\frac{2-0}{5-0} \right) (1023 - 0) \right] = 409.2 \quad (2)$$

Como resultado se obtiene que $y = 409.2$, sin embargo, como la variable donde se almacenará está declarada como entera (“int”), el dato que se almacena en “ValorSensor” que será **409**.

- **Línea 35** – Toma el dato de “ValorSensor”, lo compara con el primer rango de 0 a 1023, luego lo interpola dentro del rango de 65 a 1595 y el resultado lo almacena en la variable “Intervalo”. Nuevamente, en este caso se aplica la fórmula 4.1. Ahora la variable “y” toma el valor de 409 según lo obtenido en el ejemplo anterior.

En la ecuación 3, se muestra el desarrollo para la variable “Intervalo”. El resultado de la ecuación arroja un valor de $y = 676.7$, al igual que en el caso anterior, la variable es de tipo entera, por lo tanto, la variable “Intervalo” almacenará un valor de **677**.

$$Y = 65 + \left[\left(\frac{409-0}{1023-0} \right) (1595 - 65) \right] = 676.7 \quad (3)$$

- **Línea 37** – Toma el valor en microsegundos desde el inicio de la ejecución del programa por parte del microcontrolador y lo almacena en la variable “MicrosActual”.
- **Línea 39** – Almacena la diferencia entre el valor entero natural almacenado entre “MicrosActual” y “MicrosPrevio” en la variable “time”.

```

40  if (time > Intervalo)
41  {
42      MicrosPrevio = MicrosActual;
43      i++;
44      if (i <= 128)
45      {

```

Figura 31. Sección 4 del desarrollo de programación.
Fuente: edición propia.

- **Línea 40** – Función de condición, si el valor almacenado en la variable “time” es mayor que el valor almacenado en “Intervalo”, se ejecuta el código dentro de la función de condición.
- **Línea 41** – Apertura de llave de la función “if”.
- **Línea 42** – Actualiza el valor de “MicrosPrevio” con el dato almacenado en “MicrosActual”.
- **Línea 43** – La expresión “i++” es equivalente a “i = i+1”, es decir, toma el valor almacenado en la variable “i”, le suma una unidad y el resultado de esta suma lo almacena de nuevo en la variable “i” reemplazando así su valor anterior.
- **Línea 44** – Función de condición anidada, dentro de la primera función “if” se ejecutará esta sección de código, mientras se cumpla la condición que “i” es menor o igual que 128.
- **Línea 45** – Apertura de llave de la función anidada.

```
46 | Estado = !Estado;  
47 | digitalWrite(CrankPin, Estado);
```

Figura 32. Sección 5 del desarrollo de programación.
Fuente: edición propia.

- **Línea 46** – Almacena en la variable booleana Estado el valor lógico negado de él mismo, es decir, Estado tiene actualmente un valor alto o “HIGH”, al llegar a esta instrucción la variable estado toma el valor bajo o “LOW”.
- **Línea 47** – Almacena el estado lógico de la variable “Estado” en la variable “CrankPin”.

```
50     }  
51  
52     if (i == 32)  
53     {  
54         digitalWrite(CrankPin, LOW);  
55         Estado2 = !Estado2;  
56         digitalWrite(CamPin, Estado2);  
57     }  
58     }
```

Figura 33. Sección 6 del desarrollo de programación.

Fuente: edición propia.

- **Línea 50** – Cierre de llave de la función anidada.
- **Línea 52** – Segunda condición anidada, si el valor de i alcanza es exactamente igual a 32, se ejecuta la sección entre llaves de esta función.
- **Línea 53** – Apertura de llave de la segunda condición anidada.
- **Línea 54** – Almacena un estado booleano bajo en la variable “CrankPin”.
- **Línea 55** – Asigna a la variable “Estado2” el valor booleano opuesto al que contiene.
- **Línea 56** – Escribe dentro de la variable “CamPin” la condición booleana que ha tomado la variable “Estado2”.
- **Línea 58** – Cierre de llave de la segunda función anidada.

A partir de la línea de programación 59, las funciones se encargan de cambiar de estado las variables para generar las señales digitales de forma de onda características de los sensores CKP y CMP, para desarrollar este comportamiento se utilizan las mismas instrucciones con valores diferentes, debido a esto, se retomará el código hasta la línea 205.

```
205     if (i == 133 || i == 134)
206     {
207
208         i = 0;
209     }
210
211 }
212 }
```

Figura 34. Sección 7 del desarrollo de programación.

Fuente: edición propia.

- **Línea 205** – Última función condicional, esta línea de código involucra la función lógica “OR” de la siguiente manera: si “i” es igual a 133 o igual a 134, ejecute el código entre llaves.
- **Línea 206** – Apertura de llaves de la última función condicional.
- **Línea 208** – Almacena en la variable “i” el valor 0.
- **Línea 209** – Cierre de llaves de la última función condicional.
- **Línea 211** – Cierre de llaves de la función “if” de la línea 41 del programa.
- **Línea 212** – Cierre de llaves de la función “void loop” de la línea 33 del programa. Esta línea finaliza el código de programación del módulo.

Diseño del circuito esquemático

Para elaborar el diseño del circuito eléctrico, se utilizó el programa Eagle en su versión 9.5.2. Se eligió esta herramienta debido a la amplia librería que contiene e información en internet de sus prestaciones por parte de otros usuarios a modo de tutoriales y ejemplos (ver figura 35).

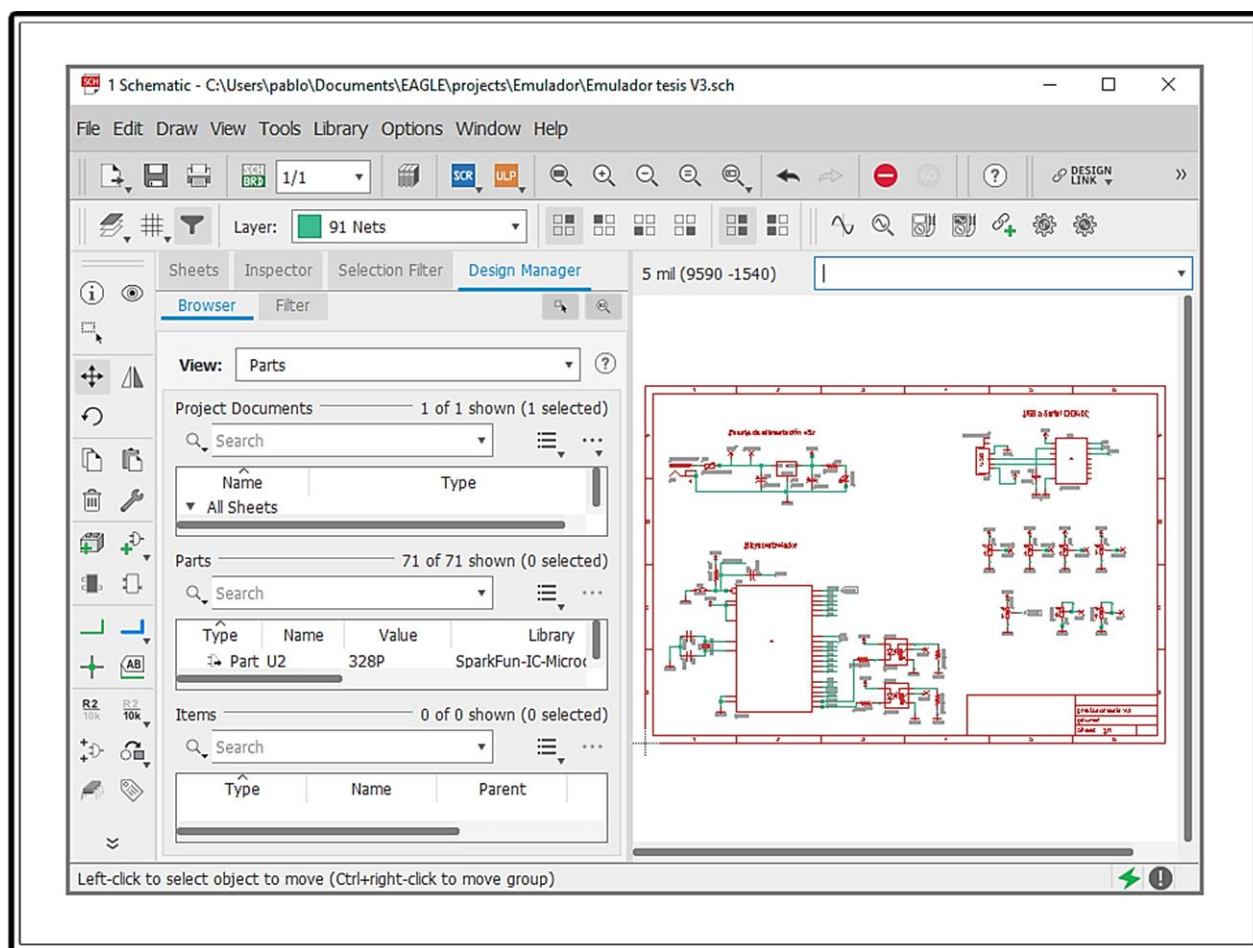


Figura 35. Diseño del circuito esquemático.

Fuente: edición propia con el programa de diseño Eagle versión 9.5.2.

Fuente de alimentación

El desarrollo del esquemático inicia con la fuente de alimentación, para este caso, debido a que este módulo se utilizará como una herramienta más del banco de trabajo, esta etapa obtendrá un suministro de voltaje proveniente de una fuente de alimentación regulada que deberá ajustarse a un nivel entre 12v y 13.5v, debido a esto, no se diseñó el módulo para conexión a la corriente alterna con un transformador reductor y una etapa de rectificación.

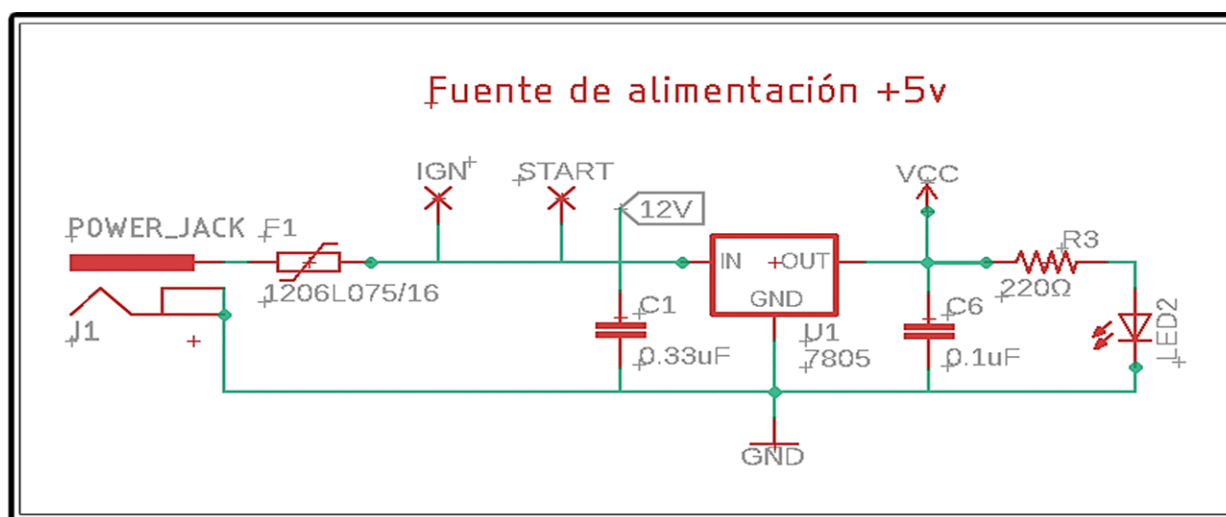


Figura 36. Esquemático de la fuente de alimentación.
Fuente: edición propia.

Esta etapa de regulación se basa en el integrado L7805 en su configuración de diseño por parte del fabricante.

En la entrada, la fuente posee un conector de alimentación, un fusible de protección y tiene dos terminales de conexión de salida hacia la ECU; la primera para colocar un interruptor que permita la alimentación de ignición a la ECU como lo hace la activación del llavín en el auto y el segundo terminal tiene la finalidad de simular la posición momentánea de arranque (“Start”) a través de un botón pulsador; adicionalmente, se coloca un capacitor cerámico de entrada de $0.33\mu\text{F}$, el cual se recomienda cuando el integrado 7805 se encuentra a una distancia considerable de la etapa de filtrado de la fuente de poder. El capacitor cerámico de salida no es necesario para mejorar la estabilidad, sin embargo, mejora la respuesta de transitorios eléctricos y tiene un valor de $0.1\mu\text{F}$. Por último, se coloca un led con su respectiva resistencia de protección en serie, con el fin de indicar que está encendido del módulo.

Interfase de comunicación USB a microcontrolador

La programación del módulo requiere un integrado que funcione como nexo entre la PC y el microcontrolador Atmega328P, con el fin de establecer la comunicación bidireccional. Para este diseño, se optó por utilizar el CH340C, este circuito integrado se comunica con el PC a través del protocolo USB y con el microcontrolador por medio del protocolo UART.

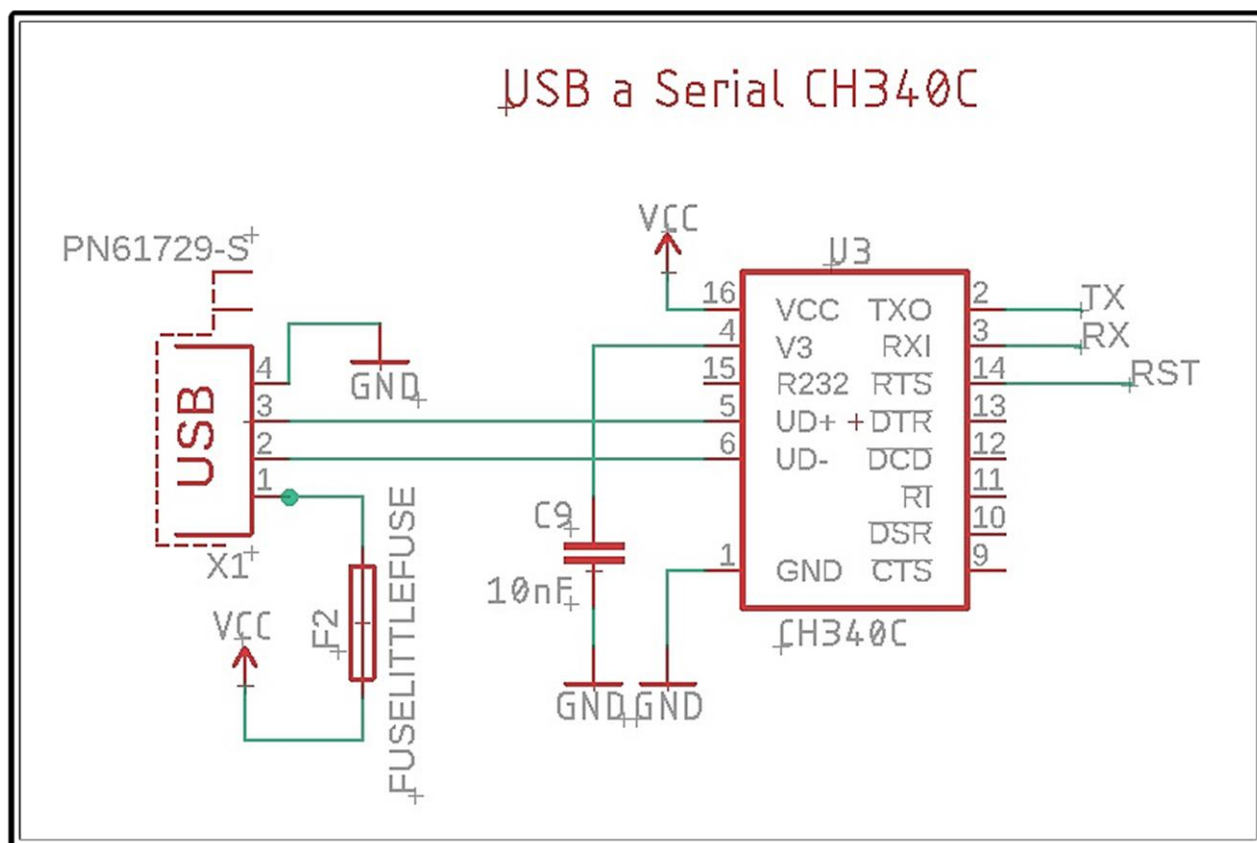


Figura 37. Conexión USB a CH340C.
Fuente: edición propia.

En la figura 37, se observa el conector USB conectado en sus terminales 2 (D-) y 3 (D+) directamente a los pines 6 y 5 del CH340C respectivamente. El conector USB es alimentado en su terminal 1 a través de un fusible de protección a la fuente de 5v de la figura 37 y su referencia a masa se realiza por medio del pin de conexión 4.

El integrado CH340C se alimenta por medio de la terminal 16 con la misma fuente de 5v y su conexión a masa se da en el pin número 1. En la terminal 4, si el integrado se alimenta con 5v, se coloca un capacitor a masa por indicación del fabricante.

Los terminales 2 y 3 se encargarán de la transmisión y recepción de datos con el microcontrolador, el TX de un componente se vincula al RX del otro. Por último, el pin 14 estará unido al botón pulsador de reinicio por medio de un capacitor de 0.1 μ F. El resto de los pines del integrado no serán utilizados para esta aplicación.

Microcontrolador

Las alimentaciones del microcontrolador corresponden a los pines 7, 20 y 21, estos tres terminales se unen ente sí y se alimentan de la fuente de 5v representada en la figura 38. Las terminales 8 y 22 se conectan a la tierra del circuito. El pin número 1 es la terminal de reinicio, este reinicio se da cuando en esta terminal se presenta un estado lógico bajo, es debido a esto que se utiliza una resistencia de “pull-up” a 5v cuyo valor es de 10k Ω .

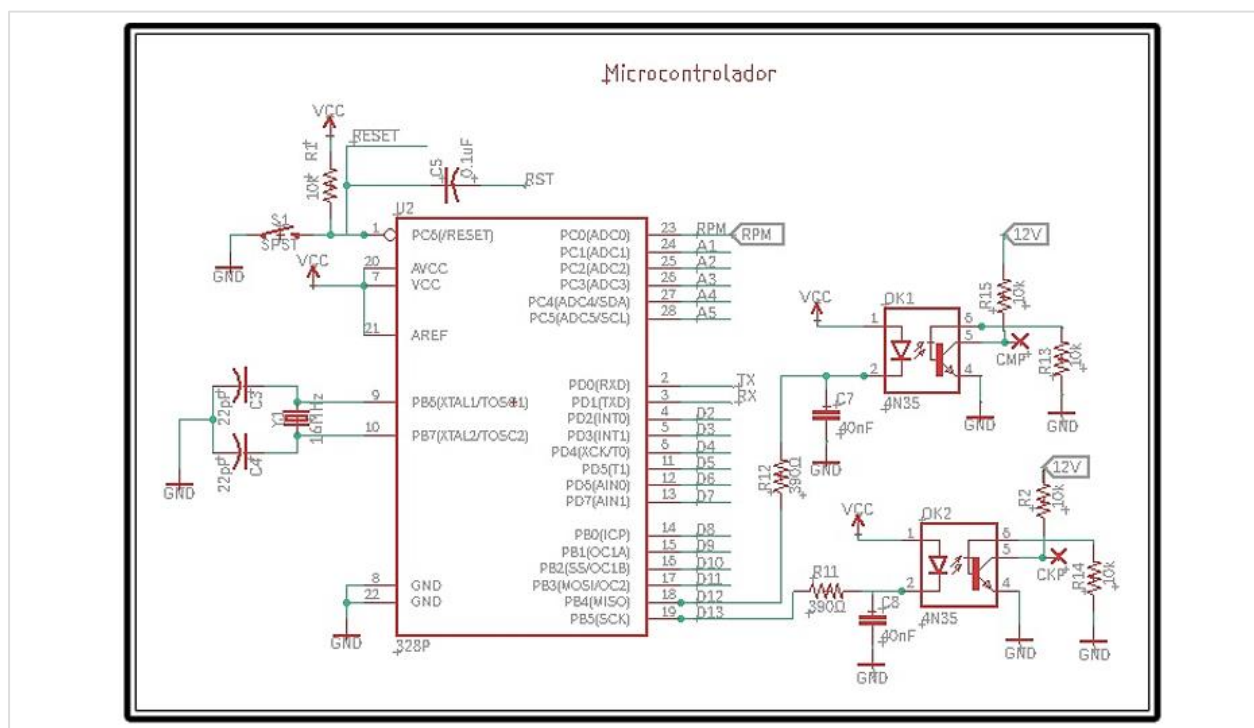


Figura 38. Conexión del microcontrolador.
Fuente: edición propia.

El funcionamiento de este integrado requiere de un cristal de 16Mhz cuyas terminales se unen a los pines 9 y 10. Para el correcto funcionamiento del cristal, se requiere el uso de dos capacitores de 22pF, uno para cada terminal del cristal. Estos capacitores están directamente conectados en su otra terminal a tierra.

Para regular frecuencia de las señales CKP y CMP, se utiliza un potenciómetro de 10kΩ conectado a la terminal de entrada analógica número 1 del Atmega328P. Los terminales de comunicación con el CH340 son los pines 2 (RX) y 3 (TX).

Los pines de salida donde se emulan las señales CKP y CMP son las terminales 18 (CMP, el cual corresponde a la salida digital número 12) y el 19 (CKP que es asignado como salida digital 13 para efectos de la programación).

Finalmente, con el fin de proteger las terminales de salida del microcontrolador, se utiliza un optoacoplador para cada una de las señales; para este caso se eligió el 4N45 compuesto por un LED infrarrojo y un fototransistor NPN. Debido a que los sensores CKP y CMP en el auto generan una señal de 0 a 12v, se utiliza una resistencia de 5kΩ como “pull-up” a batería para cada salida.

Cálculo de la resistencia de control del 4N45

Con la información brindada por el fabricante, se obtiene la gráfica de la figura 39, la corriente de funcionamiento (I_f) versus el voltaje de funcionamiento (V_f). En condiciones típicas a temperatura ambiente, la I_f es de 10 mA, por lo tanto, por medio de la gráfica, se obtiene el valor aproximado V_f de 1.12v.

Con los valores obtenidos de la gráfica de la figura 39, se calcula la resistencia de control entre la salida del microcontrolador y la activación del led en el optoacoplador aplicando la ley de voltajes de Kirchoff. Ver ecuación 4 que corresponde a la fórmula de voltajes de un circuito serie.

$$V_{CC} = V_F + V_R \quad (4)$$

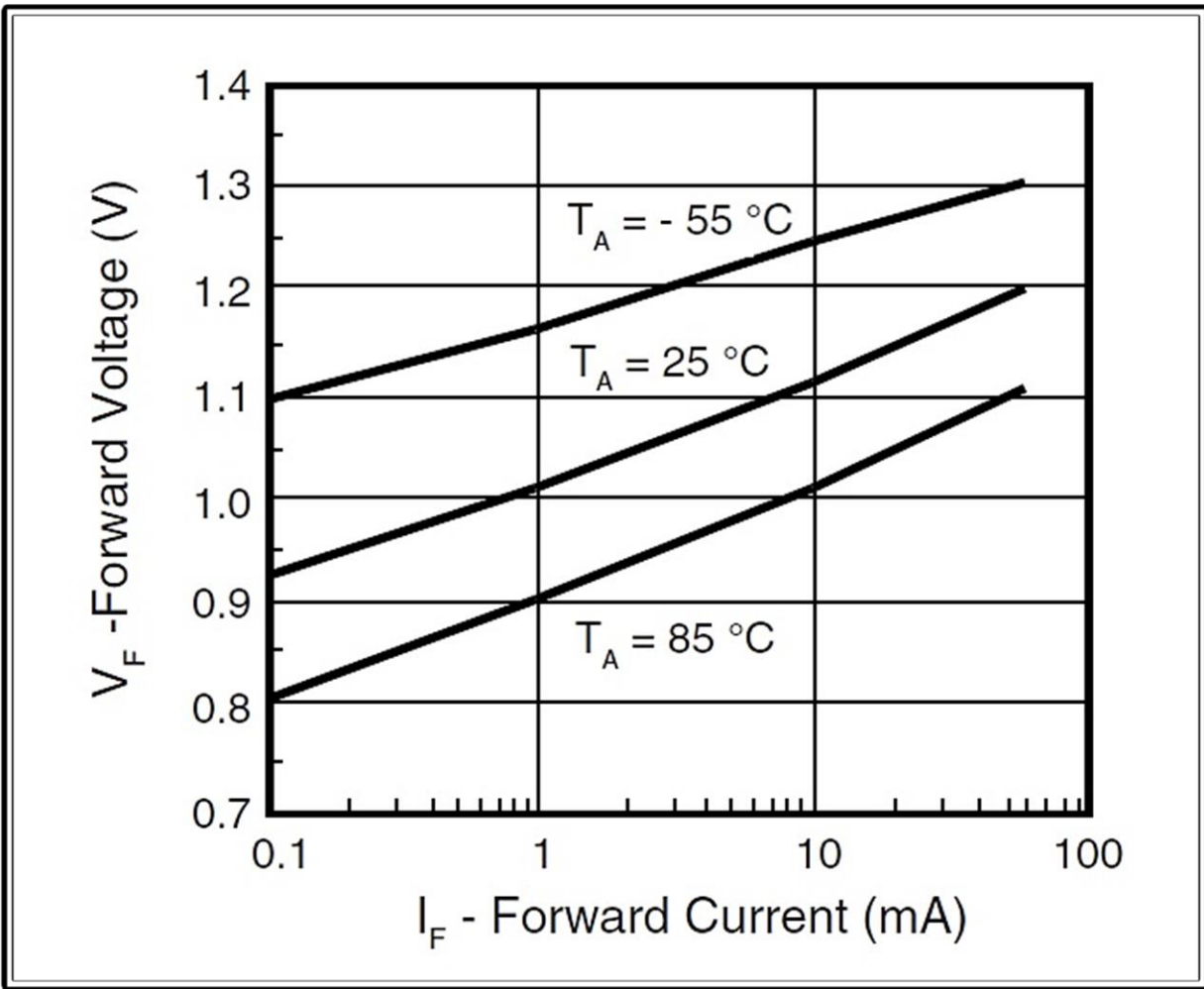


Figura 39. Gráfica V_f versus I_f .
Fuente: edición propia.

La señal de salida del microcontrolador es un estado booleano de 0v (bajo) o 5v (alto), por lo tanto, al momento de tener un estado alto V_{cc} , adquiere un valor de 5v, se colocan los valores en la ecuación y se obtiene el valor de la resistencia de control (ver ecuación 5).

$$V_{cc} = V_F + (I_R * R)$$

$$5 = 1.12 + (10 \times 10^{-3} * R)$$

$$3.88 = 10 \times 10^{-3} * R$$

$$R = 388 \Omega$$

(5)

El valor resultante de la resistencia no es un valor comercial, en este caso, el valor comercial más próximo es de 390 Ω .

Cálculo del filtro paso bajo

Con el fin de eliminar cualquier señal indeseada a las salidas de las señales CKP y CMP, se debe colocar un filtro que permita el paso exclusivo de frecuencias bajas. Debido a que las señales en el vehículo y, por tanto, en el módulo, no superan los 10 kilohercios se aplica un filtro que no permite pasar frecuencias superiores a este valor, para este fin, se utiliza la fórmula de la ecuación 6 de frecuencia de corte.

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R C} \quad (6)$$

La fórmula de la ecuación 7 permite calcular el valor del capacitor por utilizar, el valor de resistencia que se utiliza es de 390 Ω , ya que la resistencia de control también funciona como resistencia del filtro.

$$C = \frac{1}{2 \pi R f_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \pi 390 * 10.000}$$

$$C = 48,8 \text{ nF} \quad (7)$$

De igual manera, como ocurrió con la resistencia, se debe ajustar el valor teórico obtenido en la ecuación a un valor comercial, el valor de capacitancia que más se ajusta al obtenido es de 40 nF.

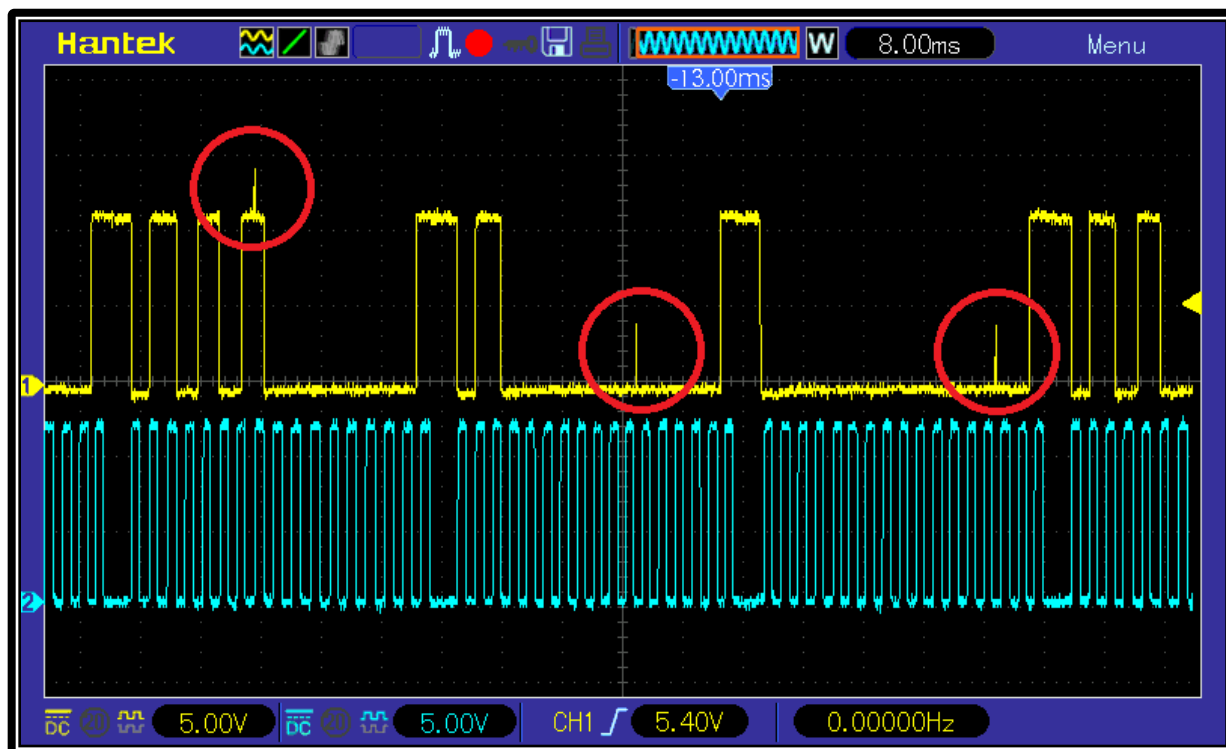


Figura 40. Señales del módulo emulador sin filtro RC.
Fuente: edición propia.

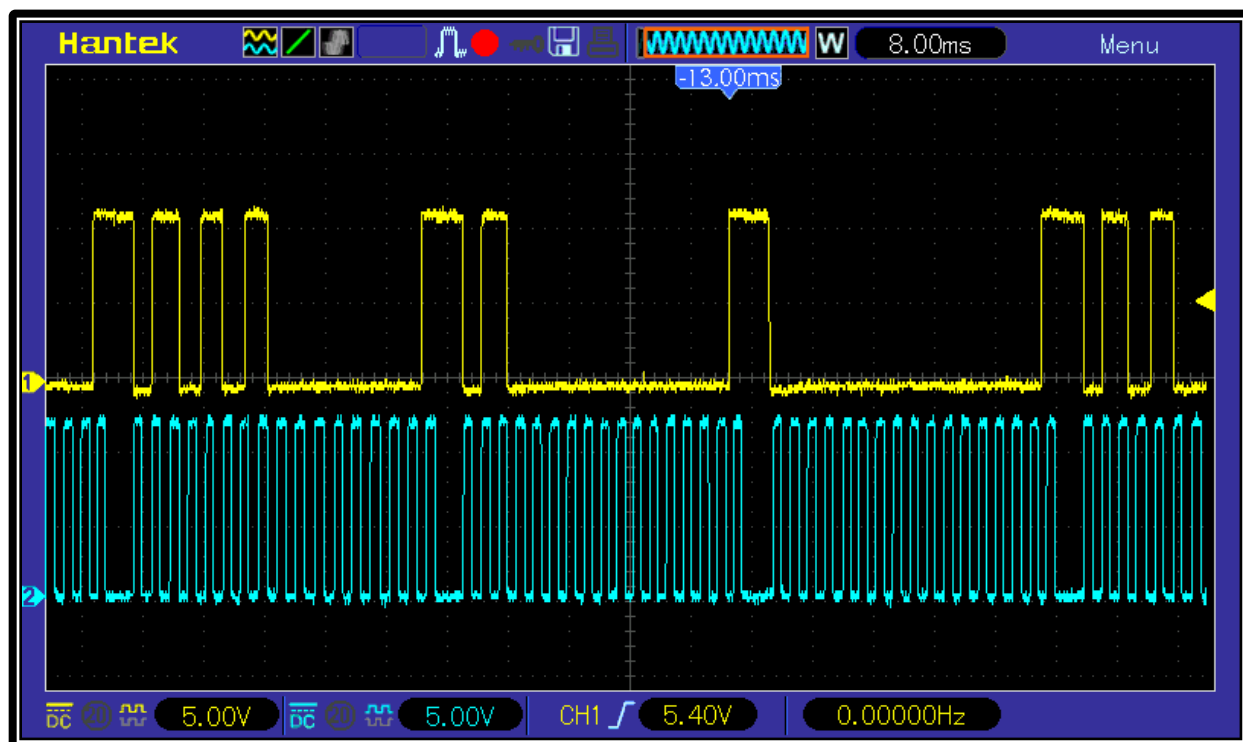


Figura 41. Señales del módulo emulador con filtro RC.
Fuente: edición propia.

Simulación de sensores

La simulación de los sensores principales completa la función del módulo emulador, para el diagnóstico en el banco, es importante determinar si la ECU es capaz o no de reconocer estas señales y, además, responder a través de los actuadores de salida correctamente.

Para el caso de los sensores de temperatura, no se requiere de una alimentación adicional, la ECU brinda un voltaje de referencia de 5v. Estos sensores en el vehículo son de tipo resistivo y su valor de resistencia es inversamente proporcional al incremento de la temperatura.

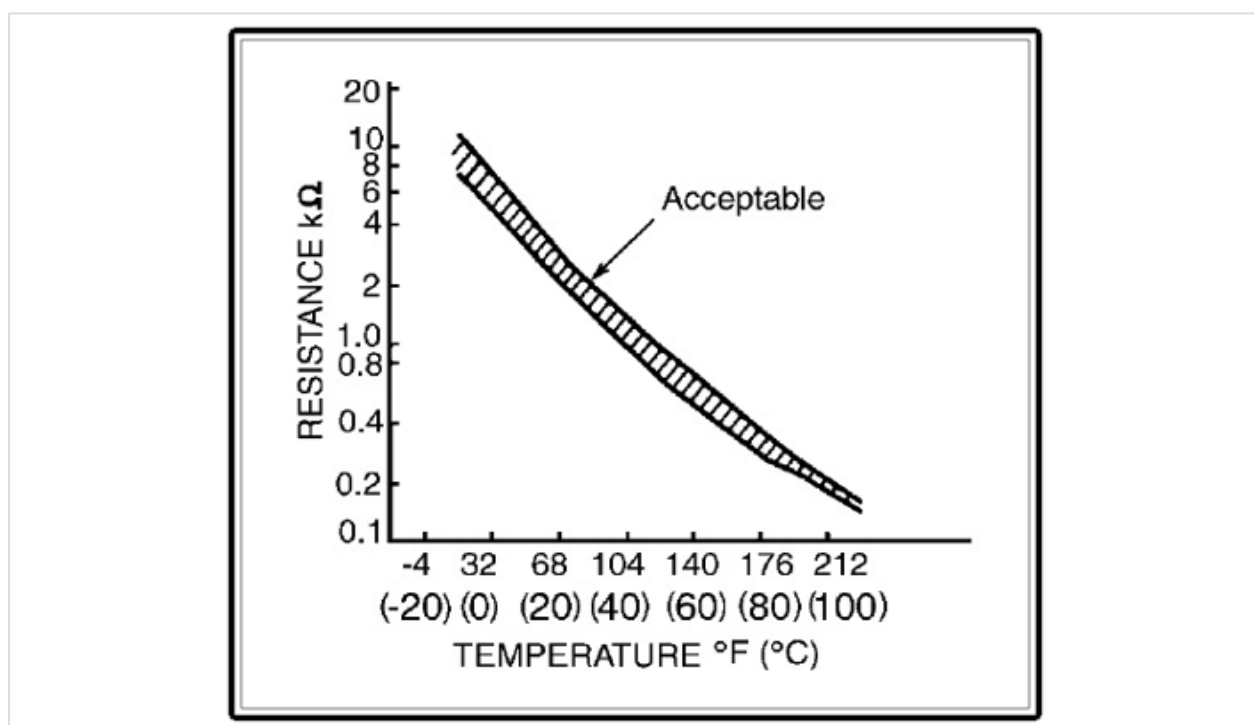


Figura 42. Gráfica de comportamiento de resistencia versus temperatura.
Fuente: edición propia.

Este gráfico de comportamiento aplica tanto para el sensor de temperatura del aire como para el sensor de temperatura del refrigerante del motor.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 42, el valor de resistencia para temperaturas en un rango entre menos 20 grados centígrados y hasta 100 grados centígrados tiene como valor máximo los 10kΩ, por esta razón, en el módulo se utilizan potenciómetros de 10kΩ para simular estos sensores como se muestra en la figura 43.

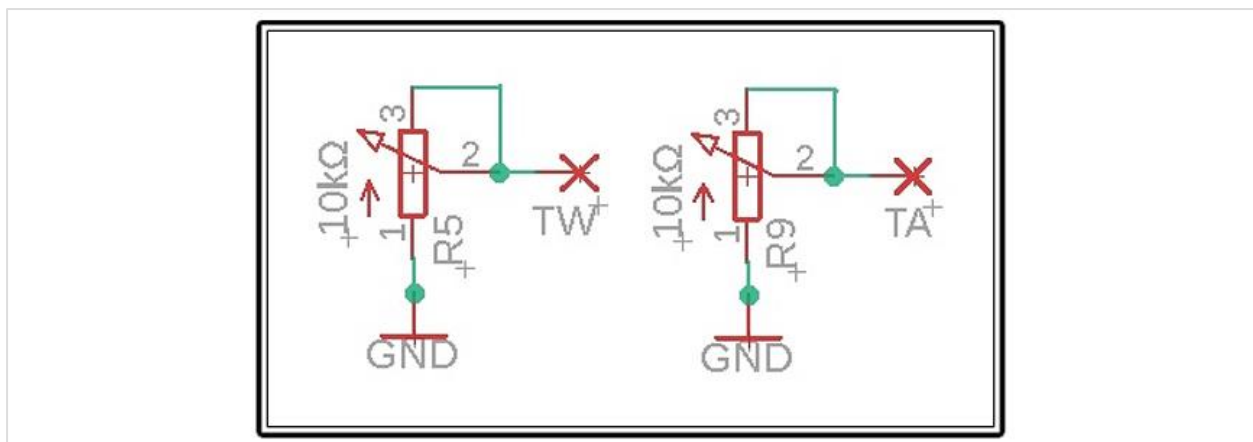


Figura 43. Esquema de conexión del sensor de temperatura del motor y el IAT.
Fuente: edición propia.

Para simular el comportamiento de los sensores de la mariposa de aceleración y flujo del aire de admisión, se requiere una señal de cero a cinco voltios, el sistema de autodiagnóstico de la ECU determina que uno de estos sensores tiene problemas si superan los límites de voltaje de funcionamiento, por ejemplo, los rangos de operación correctos oscilan entre 0.5v y 4.5v aproximadamente. Si los valores que brindan estos sensores exceden tanto el rango superior como el inferior, la ECU genera el reporte de un código de falla y enciende la luz de servicio requerido en el panel de instrumentos. Estas señales se simulan en el módulo con potenciómetros de 10k Ω conectados en un extremo a la alimentación de 5v y su otro extremo a tierra como se puede observar en la figura 44.

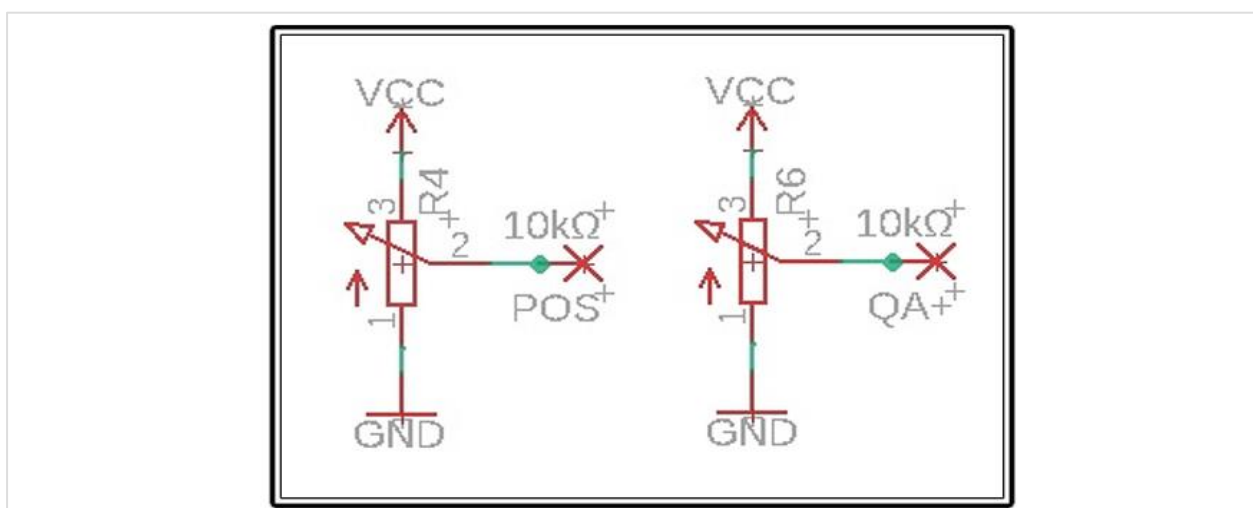


Figura 44. Esquema de conexión para los sensores TPS y MAF.
Fuente: edición propia.

Con respecto a los sensores de oxígeno, su comportamiento debe tener una variación que oscila por encima y por debajo de un voltaje umbral de 0.47v; este comportamiento refleja el estado de las emisiones de los gases de escape. Cuando los valores del sensor de oxígeno son inferiores a 0.47v, la ECU determina que la mezcla aire/combustible es pobre, es decir, que tiene una cantidad mayor de lo esperado de oxígeno en la mezcla. Cuando el sistema se encuentra en la condición de lazo cerrado y tiene una lectura de mezcla pobre, la ECU amplía el tiempo de activación de los inyectores de combustible para conseguir la relación estequiométrica de aire y combustible en la cámara de combustión. Al igual que ocurre con los sensores de TPS y MAF, las señales de los sensores frontales de oxígeno se simulan con un potenciómetro de 10k Ω con una alimentación de 5v y tierra para cada sensor. Esta configuración se muestra en la figura 45.

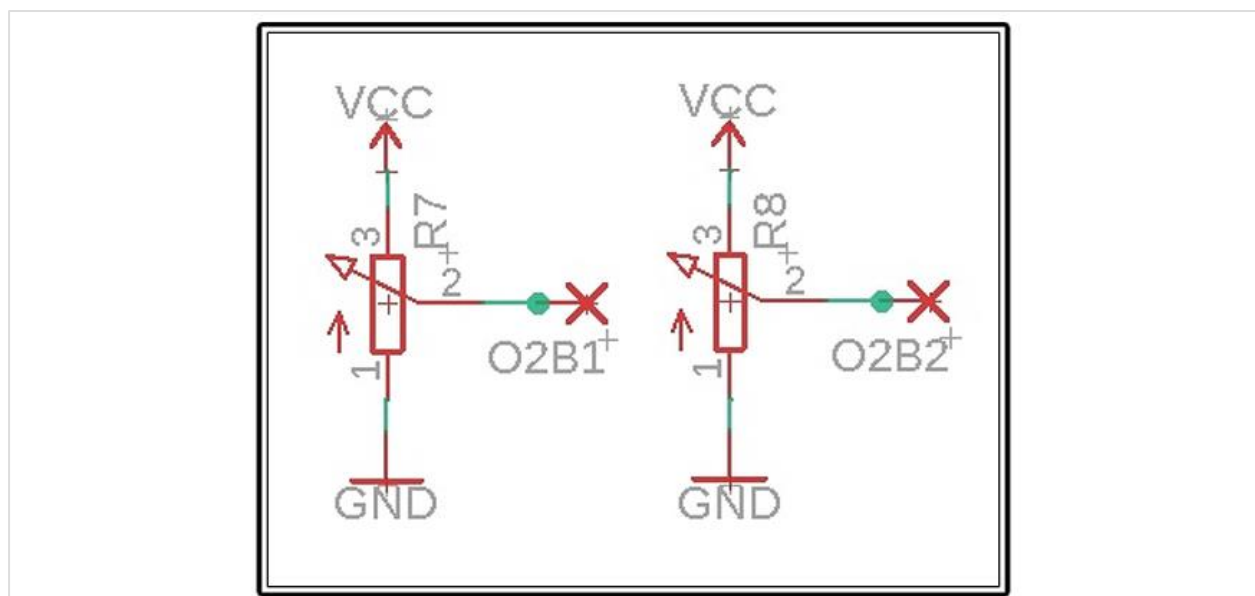


Figura 45. Esquema de conexión para los sensores.
Fuente: edición propia.

Comparativa entre señales CKP y CMP del vehículo, y las generadas por el módulo emulador

En la figura 46, se muestran dos señales capturadas en osciloscopio del comportamiento de los sensores de cigüeñal y árbol de levas. La imagen de la izquierda representa las señales tomadas directamente de un vehículo en buen estado por medio de un osciloscopio marca OWON, modelo XDS2102A; al lado derecho de la imagen se puede apreciar la señal generada por el módulo directamente conectado al osciloscopio marca Hantek, modelo DSO8102E.



Figura 46. Señales CKP del vehículo versus señales generadas por el módulo emulador.
Fuente: elaboración propia.

Diseño de la placa impresa de circuitos

Mediante la herramienta Autodesk Eagle, se realiza el diseño de la placa donde se instalarán los componentes electrónicos para construir el módulo emulador de señales. La placa posee un circuito impreso tanto en la cara superior (pistas de color rojo) como en la cara inferior (pistas de color celeste).

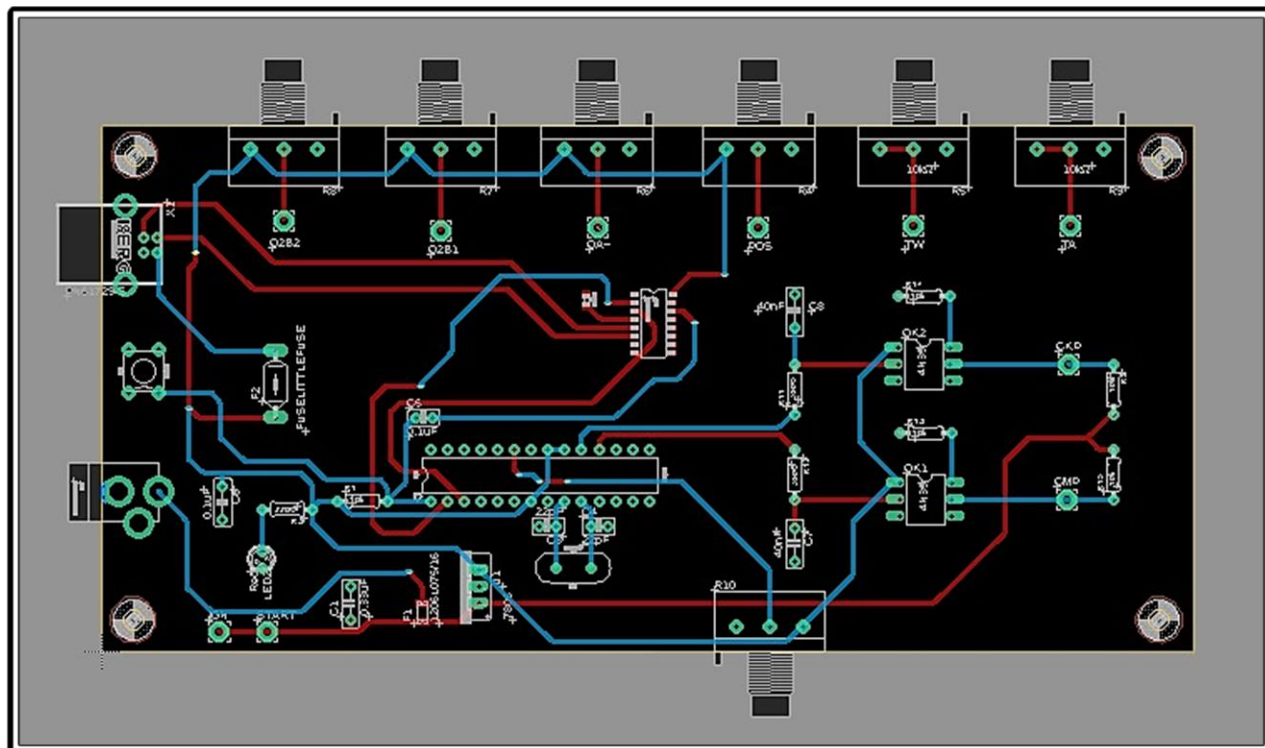


Figura 47. Diseño y ubicación de componentes de la placa PCB.
Fuente: edición propia.

En la figura 47 se puede observar la distribución de todos los componentes, de igual manera, se aprecia el trazo de las pistas de conexión de ambas caras de la placa; para mejorar la apreciación de las pistas, se omite en la figura la capa de conexión de tierras de las dos caras; todos los pines de los componentes representados en la figura 45 que no aparecen conectados en una de sus terminales irán físicamente a la pista de tierra.

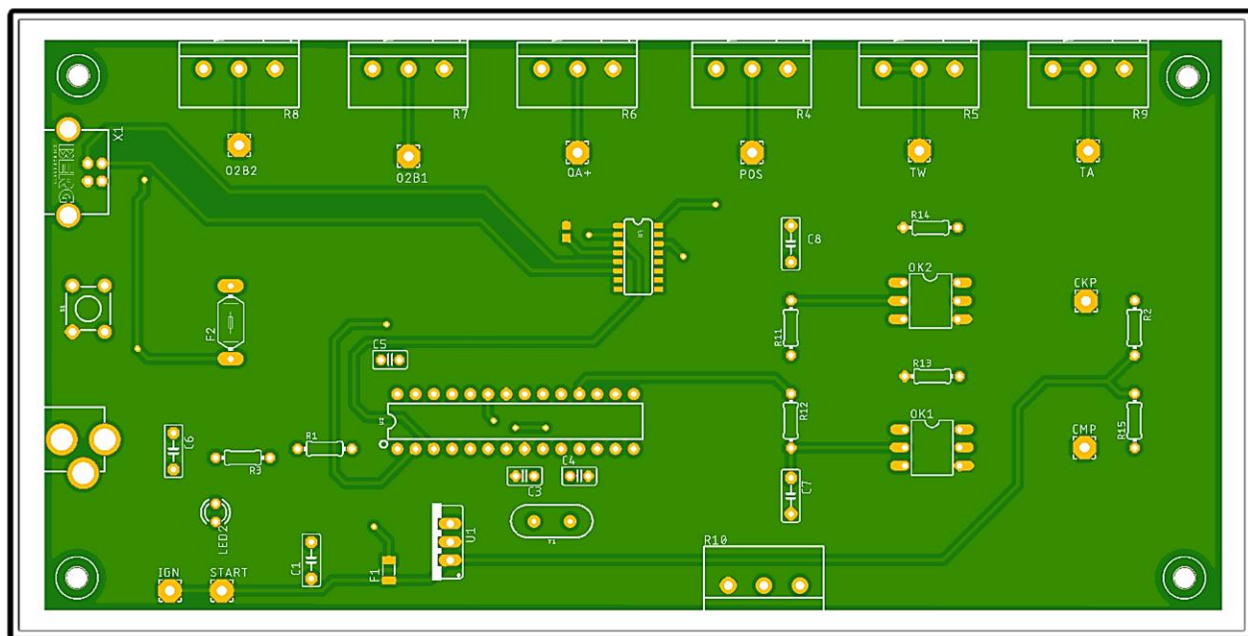


Figura 48. Vista superior del diseño de la placa impresa.
Fuente: edición propia.

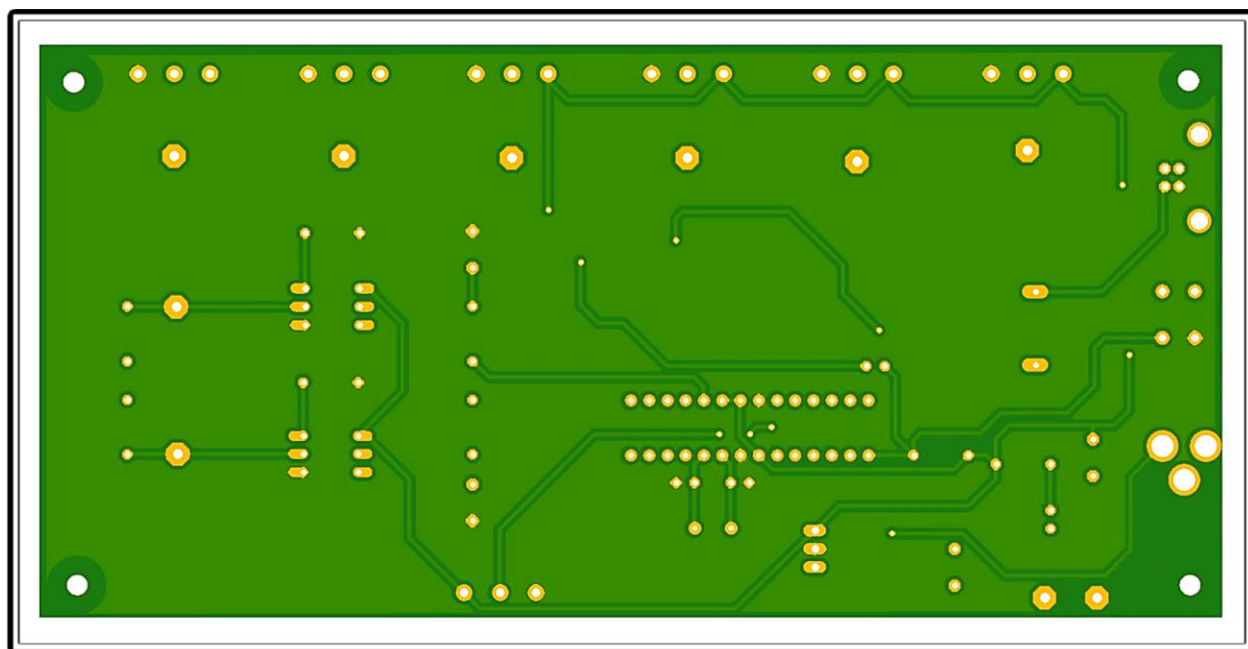


Figura 49. Vista inferior del diseño de la placa impresa.
Fuente: edición propia.

Gabinete de proyecto

La placa PCB tiene unas dimensiones de 16.5 x 8cm, el chasis del proyecto puede ser un gabinete de plástico para protección de proyectos electrónicos como el que se muestra en la figura 50.



Figura 50. Gabinete plástico para protección de proyectos.

Fuente: edición propia.

Notas: la dimensión es de 18 x 11 x 6.5 cm.

Análisis de rentabilidad

Se realiza un flujo proyectado del primer año para determinar la rentabilidad del módulo diseñado en este trabajo.

Los costos de la inversión inicial se pueden detallar de la siguiente manera y corresponden a un monto de 29.864,20 CRC (Veintinueve mil ochocientos sesenta y cuatro colones con veinte céntimos).

Tabla 1. Análisis de rentabilidad

Qty	Value	Device	Package	Parts	Description	Unit Cost	Total cost CRC
6		3,17/1,3	3,17/1,3	CKP, CMP, O2B1, O2B2, TA2 TW	THROUGH-HOLE PAD	€580.00	€3,480.00
1	0.1uF	C-US025-025X050	C025-025X050	C5	CAPACITOR, American symbol	€145.00	€145.00
1	0.1uF	C5/2.5	C5B2.5	C6	CAPACITOR	€145.00	€145.00
1	0.33uF	C5/2.5	C5B2.5	C1	CAPACITOR	€145.00	€145.00
5	10k	R-US_0204/7	0204/7	R1, R2, R13, R14,R15	RESISTOR, American symbol	€34.80	€174.00
1	10nF	10NF-0603-50V-10%	603	C9	0.01uF/10nF/10,000pF ceramic	€145.00	€145.00
2	1206L075/16	1206L075/16	1206L	F1	Polyfuse Resettable PTC	€145.00	€290.00
1	16MHz	CRYSTAL-16MHZPTH-HC49US	HC49US	Y1	16MHz Crystal	€551.00	€551.00
1	220Ω	R-US_0204/7	0204/7	R3	RESISTOR, American symbol	€34.80	€34.80
2	22pF	C-US025-025X050	C025-025X050	C3, C4	CAPACITOR, American symbol	€145.00	€290.00
1	328P	ATMEGA328P_PDIP	DIP28	U2	Atmel 328P	€3,451.00	€3,451.00
2	390Ω	R-US_0204/7	0204/7	R11, R12	RESISTOR, American symbol	€34.80	€69.60
2	40nF	C5/2.5	C5B2.5	C7, C8	CAPACITOR	€145.00	€290.00
2	4N35	4N35	DIL06	OK1, OK2	MOTOROLA OPTO COUPLER	€551.00	€1,102.00
1	7805	78XXS	78XXS	U1	VOLTAGE REGULATOR	€348.00	€348.00
1	CH340C	CH340C	SO016	U3		€1,450.00	€1,450.00
1	PN61729S	PN61729-S	PN61729-S	X1	BERG USB connector	€870.00	€870.00
1	POWER JACK	POWER_JACK	POWER_JACK_PTH	J1	Power Jack Connector	€319.00	€319.00
1	Red	LED3MM	LED3MM	LED2	LED	€121.80	€121.80
1	SPST	MOMENTARY-SWITCH-SPST-PTH-6.0MM	TACTILE_SWITCH_PTH_6.0MM	S1	Momentary Switch (Pushbutton)	€435.00	€435.00
1					Placa	€7,482.00	€7,482.00
2					Interruptores	€522.00	€1,044.00
1					Chasis	€7,482.00	€7,482.00
Costo total creación módulo							€29,864.20

Fuente: elaboración propia.

Luego de determinar la inversión inicial, se procede a realizar la proyección del flujo de efectivo para el primer año luego de la creación del módulo. El resultado de dicho flujo de efectivo es positivo, ya que los insumos necesarios para su aplicación son relativamente bajos y la ganancia de la reparación de cada equipo ronda los 95.000 CRC + Impuesto de Valor agregado. Además, se proyecta implementar el módulo en tres computadoras por semana aproximadamente.

Tabla 2. Flujo de Caja Proyectado

Ingresos Proyectados		
Descripción	Año 0	Año 1
Ingresos estimados	0.00	14,808,600.00
Egresos Proyectados		
Descripción	Año 0	Año 1
Compras estimadas (Materia Prima)	0.00	7,326,360.00
Total compras	0.00	7,326,360.00
Gastos		
Electricidad	0.00	540,000.00
Salarios	0.00	674,480.77
Cargas Sociales	0.00	182,109.81
Agua	0.00	90,600.00
Patente	0.00	450,000.00
Servicio telefónico	0.00	240,000.00
Internet	0.00	180,000.00
Intereses financiamiento	0.00	0.00
Total gastos	0.00	2,357,190.58
Total Egresos proyectados	0.00	9,683,550.58
Utilidad antes impuestos	0.00	5,125,049.42
Impuestos a Pagar (30%)	0.00	-1,537,514.83
Utilidad Después impuestos	0.00	3,587,534.60
Depreciaciones	0.00	0.00
Inversión Inicial	29,864.20	0.00
Financiamiento para Inversión creación modulo y materias primas primer mes	0.00	0.00
Flujo de Caja	29,864.20	3,587,534.60

Fuente: elaboración propia.

Se determina realizar el cálculo del punto de equilibrio para determinar la cantidad de unidades que se debe diagnosticar con el módulo diseñado en este trabajo, para cubrir los costos fijos y variables para la realización del proyecto. El punto de equilibrio se define como: “referencia al punto de actividad en donde los ingresos son iguales a los costos; es decir, al punto de actividad en donde no existe ganancia ni pérdida” (CreceNegocios, 2019, párr.1).

Para cubrir los costos fijos y los costos variables unitarios, se debe diagnosticar con el módulo un mínimo de cuatro equipos al mes.

Tabla 3. Punto de equilibrio, costos fijos y costos variables.

Punto equilibrio en unidades mensuales		
Punto equilibrio en unidades:	Costos Fijos / (Precio venta - Costo variable unitario)	
Costos Fijos	161,432.55	
Precio venta unitario	95,000.00	
Costo variable unitario	49,656.15	
Punto equilibrio en unidades	3.56	
Costos Fijos		
Electricidad		45,000.00
Salarios		56,206.73
Técnico 3 horas por semana	56,206.73	
Cargas sociales 27%	15,175.82	15,175.82
Agua		7,550.00
Patente		37,500.00
Total costos fijos		161,432.55
Piezas estimadas vendidas	13.00	12,417.89
Costos variables		
Telefono		20,000.00
Internet		15,000.00
Materia Prima		610,530.00
Total costos variables		645,530.00
Piezas estimadas vendidas	13.00	49,656.15

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La implementación de un módulo emulador de señales, que tenga la capacidad de simular correctamente en el banco de trabajo las condiciones que presenta la unidad de control, viene a disminuir el margen de error en el diagnóstico; si en su lugar se aplican señales de forma aleatoria en frecuencia, la ECU es incapaz de generar la señal de control de encendido en su totalidad, debido a su programación; con el caso del pulso de inyección, la unidad de control ejecuta la activación de los inyectores de manera intermitente. Esta situación genera incertidumbre sobre el verdadero estado actual del equipo en diagnóstico, lo cual puede prolongar el tiempo de diagnóstico y generar un resultado incluso equivocado.

En caso de no tener las señales en la condición programada por el fabricante, el diagnóstico de abordaje OBD no podría ser realizado adecuadamente, la incapacidad de alcanzar las diferentes condiciones de revoluciones del motor no permitirá observar la activación apropiada de la válvula de control de ralentí. Tampoco se daría la activación de la válvula de recirculación de gases de escape (EGR) o la válvula de control de evaporación del tanque de combustible (EVAP).

La capacidad de reproducir la señal de los otros sensores también es de gran importancia, ya que esta unidad de control presenta regularmente múltiples problemas, por ejemplo, la posibilidad de introducir a la ECU la señal del sensor del refrigerante del motor con el módulo emulador, además de permitir verificar su propio reconocimiento mediante el escáner conectado a la ECU, permite analizar el comportamiento del pulso de inyección, ya que, con el incremento de la señal de temperatura, se espera observar una disminución en el tiempo de activación de los cuatro inyectores de combustible en el osciloscopio y en los datos en tiempo real del escáner conectado a la ECU durante su proceso de diagnóstico.

Uno de los problemas típicos que presenta la ECU en estos vehículos es la incapacidad de regular las emisiones; esto es muy importante, sobre todo en el tema ambiental y para aprobar la revisión técnica anual del vehículo, el no contar con la posibilidad de simular los sensores frontales de oxígeno imposibilitará determinar si la ECU en diagnóstico tiene la capacidad de entrar en el modo de lazo cerrado de control y corregir las lecturas de mezcla por medio del ajuste del tiempo de inyección.

Los equipos ingresan al laboratorio de diagnóstico obligatoriamente con una descripción de los problemas que presenta el vehículo y su relación con un posible daño en la ECU; la descripción del o los problemas normalmente tiene adjunto un reporte de código de falla obtenido mediante un escaneo previo en el automóvil. En las ocasiones que el cliente reporta el código de error P0120 “mal funcionamiento del sensor de la mariposa de aceleración”, es indispensable tener la capacidad de generar la señal, tal como se da en el vehículo, de lo contrario, no sería posible determinar el estado del equipo.

Sin duda, una de las señales que más influye en la aceleración y, por lo tanto, en el tiempo que rige la apertura del pulso de inyección, es la del sensor de flujo del aire de admisión; este problema ocupa el tercer lugar en frecuencia de daños propios de la ECU, superado en primer lugar por los daños en la etapa de control de encendido y en segundo lugar por problemas de reconocimiento de las señales de los sensores CKP y CMP. De igual manera, como ocurre en la simulación de señales de los casos anteriores, el desconocimiento del tipo de señal del flujo del aire de admisión que espera la ECU o la incapacidad de simular su comportamiento correctamente lleva a incurrir en errores que habitualmente se traducen en la compra de repuestos que no ofrecen la solución del problema, generando así gastos innecesarios para el propietario del vehículo.

Durante el desarrollo del diseño, se puso a prueba el resultado de las señales programadas de los sensores CKP y CMP instalando el microcontrolador en una placa de pruebas (“protoboard”) junto con sus componentes esenciales. El resultado en principio no fue el esperado, al conectarlo a una ECU, esta solo mantuvo la señal de encendido e inyección por unos segundos; al observar las señales generadas por el microcontrolador, se logró apreciar que, junto a las señales requeridas, aparecieron picos de voltaje de igual amplitud que la señal programada. Estas señales la ECU las contaba como pulsos válidos, a pesar de ser producidas en fracciones de segundo, el resultado de este fenómeno eléctrico fue la desincronización del sistema. Para corregir esta situación, se decidió colocar un filtro pasivo, en este caso un filtro paso bajo, con esta medida los picos de voltaje, si bien no desaparecieron del todo, se atenuaron lo suficiente para no perturbar la sincronización en la ECU y lograr mantenerla en modo de funcionamiento.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Cada fabricante de vehículos determina el comportamiento que deben tener sus motores y cómo obtener su mayor rendimiento; para lograr este objetivo, la gestión del motor actualmente está en manos de un control electrónico.

Específicamente para el sistema del motor QG18DE, la empresa Nissan encargada de su manufactura desarrolló una ECU que debe determinar la posición física de los pistones en el cilindro, además de cuál carrera está realizando cada pistón en todo momento.

Para determinar la velocidad de giro del cigüeñal y la posición específica de los pistones, el fabricante programó su ECU con la capacidad de reconocer la secuencia que producen los sensores de CKP y CMP. Esta relación de señales, utilizadas por el fabricante para el reconocimiento de la posición del cigüeñal y el árbol de levas, consiste, para el caso de la señal de cigüeñal, de una sucesión de 18 pulsos menos uno (18 -1); y con respecto a la identificación de giro del árbol de levas, es claramente identificable la posición del PMS de cada cilindro, esto debido a que la cantidad de pulsos generados por el sensor de árbol de levas coincide con el número de cilindro específico.

2. Un mal armado de la distribución del motor en este vehículo altera la sincronización de las mediciones de los sensores de posición de levas y cigüeñal, por lo tanto, esas señales resultantes no coincidirán con las preestablecidas en la programación de la ECU. Esta diferencia en la secuencia impide que la ECU ejecute correctamente las activaciones tanto de los inyectores como de las señales que van a controlar las bobinas de encendido, por lo cual el motor no entrará en funcionamiento.

Se determinó que la menor variación entre las señales de CKP y CMP, incluyendo un ruido eléctrico entre sus pulsaciones digitales, inhabilita a la ECU el accionar sincronizado de los inyectores y las activaciones de encendido encargadas de producir la chispa de ignición, por este motivo, si existe el más mínimo error en las secuencias de las señales CKP y CMP por parte del módulo emulador, la ECU no entraría en el modo de funcionamiento correcto para realizar su respectivo diagnóstico en el laboratorio de electrónica automotriz.

3. El vehículo Nissan Sentra B15 es conocido por sus recurrentes problemas, principalmente en el área de control del motor, por este motivo, este trabajo de investigación tuvo la finalidad de desarrollar una herramienta para el diagnóstico de su unidad de control que sea capaz de simular las señales de entrada a la ECU.

Con base en la información recopilada, se determinaron las características de las principales señales de entrada a la ECU y su efecto en la activación de los actuadores conectados a dicha unidad de control. A diferencia de otros sistemas que utilizan señales de frecuencia para algunos de sus sensores, se identificó que en este vehículo los sensores utilizados para la gestión del motor tienen un comportamiento por variación de voltaje. Esta característica simplificó su simulación limitándose al uso de un potenciómetro por cada señal. Con respecto a las señales de los sensores de flujo, TPS y ambos sensores de oxígeno, se necesitó que el módulo brindara una alimentación de 5 voltios, sin embargo, para los sensores de temperatura, se logró determinar que no era necesario recibir un voltaje de alimentación, esto debido a que la ECU les proporciona un voltaje de referencia, cuyo sensor se encarga de modificar reduciendo este nivel de voltaje (el cual es precisamente también de 5 voltios) con el incremento de la temperatura monitoreada respectivamente.

Además del tipo de señal, se identificaron las condiciones en las que estas señales son acusadas por el sistema de autodiagnóstico, ya sea por superar los límites de voltaje predefinidos en la programación de la ECU o por su falta de oscilación de señal en el caso particular de los sensores de oxígeno.

4. Con respecto al diseño del módulo emulador, desde su concepción se proyectaron varias etapas para su desarrollo. Inicialmente, se definió el microcontrolador que sería programado con las señales, luego se definió el *software* de desarrollo de entorno integrado (IDE), en este caso, se optó por el IDE de Arduino, ya que el microcontrolador que se eligió es el Atmega328P. Este microcontrolador satisfizo los requerimientos para la emulación de las señales debido a la amplia variedad en su lenguaje de programación.

Para el diseño del circuito esquemático y de la placa PCB, las cualidades del programa Eagle permitieron llevar a cabo con éxito ambas etapas del proceso.

Durante el diseño se fue presentando la necesidad de agregar ciertos componentes electrónicos que inicialmente no estaban contemplados, en algunos casos como elementos supresores de ruido, en otros, como ocurrió con los optoacopladores, se descubrió la importancia de su aplicación como elemento protector de las etapas de salida del microcontrolador.

La herramienta de diseño elegida para desarrollar el esquemático y la PCB fue EAGLE de la empresa Autodesk, esto debido a sus útiles herramientas y al hecho de que los archivos producidos por este *software* son compatibles con las herramientas utilizadas por los fabricantes de PCB a nivel local e internacional.

Con respecto al proceso de programación del microcontrolador Atmega328p, la solución elegida fue el IDE de la empresa Arduino, esto se debió a que dicho microcontrolador es el corazón de su placa Arduino Uno y permitió programar todas las funciones requeridas para este proyecto.

5. Luego de realizar el análisis de rentabilidad, se determina que el diagnóstico de las unidades de control electrónico del vehículo NISSAN Sentra B15 utilizando el módulo diseñado en el proyecto generaría grandes ganancias para el laboratorio teniendo en cuenta que se deben diagnosticar mínimo cuatro de estos equipos al mes para cubrir los costos de materiales y mano de obra, entre otros.

Se estima que un laboratorio puede recibir tres equipos por semana, ya que, al ser módulos pequeños, normalmente se trabaja con clientes de todo el país y la reparación de cada unidad de control de este tipo tiene actualmente un costo de 95.000 CRC + IVA.

Recomendaciones

1. Debido a que, en sus tablas de diagnóstico OBDII, la ECU del Nissan Sentra B15 no cuenta con un código de falla que sea capaz de revelar una inadecuada sincronización entre sus señales

CKP y CMP, como sí ocurre en otros vehículos, es recomendable para el técnico automotriz tener a mano las gráficas de osciloscopio de estas señales en su sincronización correcta. Esto permitirá comparar las señales que el vehículo está produciendo al girar el motor en el momento de arranque y con esto ahorrar mucho tiempo en el diagnóstico, en caso de estar frente a una anomalía de sincronización o un defecto en alguno de los dos sensores mencionados.

2. Para obtener una simulación más fiel en el laboratorio a las condiciones de funcionamiento de la ECU, mientras se encuentra trabajando con el motor, es importante contar con un registro del valor de los sensores en cada condición del régimen del motor, por ejemplo, en ralentí las lecturas de los sensores del TPS y el MAF tienen su valor mínimo, mientras que en condiciones de aceleración, sus valores se ven incrementados proporcionalmente al aumento de las r.p.m. Por su parte, los sensores de temperatura mantienen el mismo valor, ya sea acelerado a media o plena carga. Con respecto a los sensores de oxígeno, su comportamiento varía constantemente, sin embargo, en ciertas condiciones de manejo, se espera que entren en una condición de mezcla específica, por ejemplo, cuando el conductor libera el pedal del acelerador mientras el vehículo continúa en movimiento, se entra en estado de compresión; en esta situación, la ECU debe cortar el pulso de inyección mientras el motor reduce sus r.p.m. hasta llegar de nuevo a ralentí; la ausencia del pulso de inyección provoca una lectura de mezcla pobre en los sensores frontales de oxígeno. Tener claro el comportamiento de la ECU en cada condición mientras está controlando el motor permite obtener un diagnóstico acertado en el banco de pruebas.
3. El módulo está diseñado con los elementos de protección para evitar daños internos, sin embargo, se recomienda, antes de ser energizado por la fuente de voltaje, verificar el valor al cual está regulada la fuente, ya que la manipulación del equipo con voltajes elevados puede provocar desperfectos en el mismo; la recomendación de voltaje de alimentación es el mismo que debe tener la ECU.

Se debe capacitar al personal técnico antes de utilizar este equipo, una manipulación incorrecta puede poner en riesgo la integridad de este e incluso la del equipo en diagnóstico.

4. A nivel financiero, se recomienda llevar un flujo mensual de efectivo como el proyectado en este trabajo, para determinar si efectivamente el diagnóstico mediante la aplicación del módulo es capaz de generar las ganancias estimadas y, a su vez, que sirva de herramienta para la toma de decisiones sobre posibles innovaciones basadas en este diseño, ya que cuentan con la capacidad de ser reprogramable y adaptable a nuevas necesidades y mercados.

Bibliografía

- Auto y técnica. (s.f.). *Partes de una bobina individual*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://autoytecnica.com/encendido-electronico-dis-integral/partes-de-una-bobina-individual/>
- Autorecambios Store (s.f.). *Sonda Lambda (N.º de artículo 3922L0035) de RIDEX*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.autorecambiosstore.es/ridex/sonda-lambda-13628691>
- BERU Parts. (s.f.). *Información completa sobre las bobinas de encendido*. Recuperado de <https://www.beruparts.es/content/dam/marketing/emea/beru/brochure/es-all-about-ignition-coils.pdf>
- Blogicars. (s.f.). *Inyectores de Gasolina: Partes, Tipos y Funcionamiento*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.blogicars.com/2017/01/inyectores-de-gasolina-partes-tipos-y-funcionamiento/>
- Blog mecánicos. (30 de octubre de 2018). *Tipos de bujías según la disposición y material de fabricación de los electrodos de la bujía*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de http://www.blogmecanicos.com/2018/10/tipos-de-bujias-segun-la-disposicion-y_30.html
- Bosch, R. (1996). *Manual de la técnica del automóvil*. España: Reverté S.A.
- Car-tec. (s.f.). *¿CÓMO FUNCIONA UNA ECU?* Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.car-tec.es/blog/como-funciona-una-ecu/>
- CreceNegocios. (14 de Setiembre de 2019). *¿Qué es el punto de equilibrio?* Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.crecenegocios.com/punto-de-equilibrio/>
- DatasheetCafe (2016, 17 de noviembre). *CH340 Datasheet PDF – USB to Serial Chip – CH340G – WCH*. Recuperado el 03 de abril de 2020 de <http://www.datasheetcafe.com/ch340-datasheet-usb-to-serial-chip/>

DatasheetCafe. (2019, 1 de abril). *L7805CV Datasheet – 5V, 1.5A, Voltage Regulator – ST*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <http://www.datasheetcafe.com/l7805cv-datasheet-voltage-regulator/>

Denton, T. (2016). *Diagnóstico Avanzado de Fallas Automotrices*. México: Alfaomega.

E-auto. (s.f.). *Timing de Inyección*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=262

ECURED. (s.f.). *Motor de cuatro tiempos*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://www.ecured.cu/Motor_de_cuatro_tiempos

JAMECO. (2004). *Part number 320371VSH: 4N35/ 4N36/ 4N37/ 4N38 Vishay Semiconductors* [Document Number 83717]. Recuperado de <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/320371VSH.pdf>

Laica, W. (2012). *Implementación de un banco de pruebas para la unidad de control electrónico de vehículos con sistemas de inyección electrónica para la Escuela de Ingeniería Automotriz* (tesis de ingeniería automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador). Recuperado de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3867/1/65T00033.pdf>

Mitchell On Demand5. (2011). *Mitchell Repair Information Company* [programa versión: 5.8.2.35]. Recuperado de <https://www.prodemand.com/>

Mercado Libre. (s.f.a). *Acelerador Posición Sensor (tps) Ajustes: Toyota 4runner*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-459755324-del-acelerador-posicion-sensor-tps-ajustes-toyota-4runner-_JM

Mercado Libre. (s.f.b). *Sensor Maf Nissan Sentra B15 Pathfinder Maxima*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-544205550-sensor-maf-nissan-sentra-b15-pathfinder-maxima->

_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=8bacf908-f228-47be-b708-42d188c965ba

Mercado Libre. (s.f.c). *Sensor de temperatura Nissan sentra b15*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://listado.mercadolibre.com.mx/sensor-de-temperatura-nissan-sentra-b15_Tienda_all#

Mercado Libre. (s.f.d). *Sensor De Cigüeñal Ckp B15 Sentra 1.8 2001-2007 Oferta*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-481652814-sensor-de-ciguenal-ckp-b15-sentra-18-2001-2007-oferta-_JM?quantity=1

Mundo repuesto. (s.f.). *Computadora del Motor para Nissan Sentra 2002 Marca CARDONE Remanufacturado Número de Parte 72-30018*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.mundorepuesto.com/parte/computadora-del-motor-para-nissan-sentra-2002-marca-cardone-remanufacturado-numero-de-parte-72-30018>

OLX. (s.f.). *Sensor Map Hyundai Accent Elantra Tiburón Tucson Santa Fe Terracan Veloster Kia Rio Sportage Cerato Picanto Sorento Soul*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.olx.com.gt/item/sensor-map-hyundai-accent-elantra-tiburon-tucson-santa-fe-terracan-veloster-kia-rio-sportage-cerato-picanto-sorento-soul-iid-1030317641>

Pérez, A. (2018, 3 de julio). *Conociendo El Microcontrolador Núcleo (Core) Atmega328p De Arduino Uno. (MIC019S)*. Recuperado el 3 de abril de 2020 <https://www.incb.com.mx/index.php/articulos/78-microcontroladores-y-dsps/2546-conociendo-el-microcontrolador-nucleo-core-atmega328p-de-arduino-uno-mic019s>

Picoauto. (s.f.a). *Señal del sensor de efecto Hall*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://www.picoauto.com/images/uploads/screenshots/_lrg/hall_pick-up.png

Picoauto. (s.f.b). *Knock sensor*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/knock-sensor/>

Picoauto. (s.f.c). *Sensor lambda de titanio*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.picoauto.com/es/library/automotive-guided-tests/sensor-lambda-de-titanio/>

Rebelcar. (s.f.). *Débitmètre d'air reconditionné pour Peugeot 205 GTI 1.9 130 chevaux*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.rebelcar.fr/debimetre-air-205-gti-1-9-130-0280202109.htm>

Red Operativa de Desaguaces Españoles (RO-DES). (s.f.). *¿Qué son las mariposas del motor y qué función realizan?* Recuperado de <https://www.ro-des.com/mecanica/mariposas-del-motor-y-funcion/>

Revista moto. (14 de julio de 2017). *¿SABES CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE UN MOTOR DE 2 TIEMPOS Y UNO DE 4 TIEMPOS?* Recuperado el 3 de abril de 2020 de https://revistamoto.com/wp_rm/sabes-cual-es-la-diferencia-entre-un-motor-de-2-tiempos-a-uno-de-4-tiempos/

Rotkee. (s.f.). *Waveform Library*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://rotkee.com/en/waveform-library>

Sevilla, E. (2017). *Construcción y caracterización de un banco de pruebas de encendido sin distribuidor* (tesis de ingeniería mecánica, Universidad Internacional SEK, Quito). Recuperado de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2645/1/esteban%20sevilla%20tesis%202017.pdf>

Villalobos, J. (2011). *Guía de detección de averías y comprobaciones de los principales sistemas eléctricos automotrices* (tesis de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica). Universidad Internacional de las Américas, Costa Rica.

Winparts (s.f.). *Knock Sensor 6PG 009 108-971 Hella*. Recuperado el 3 de abril de 2020 de <https://www.winparts.co.uk/sensors-electronics/sensors/knock-sensor/c1666/knock-sensor-6pg-009-108-971-hella/p601613.html>

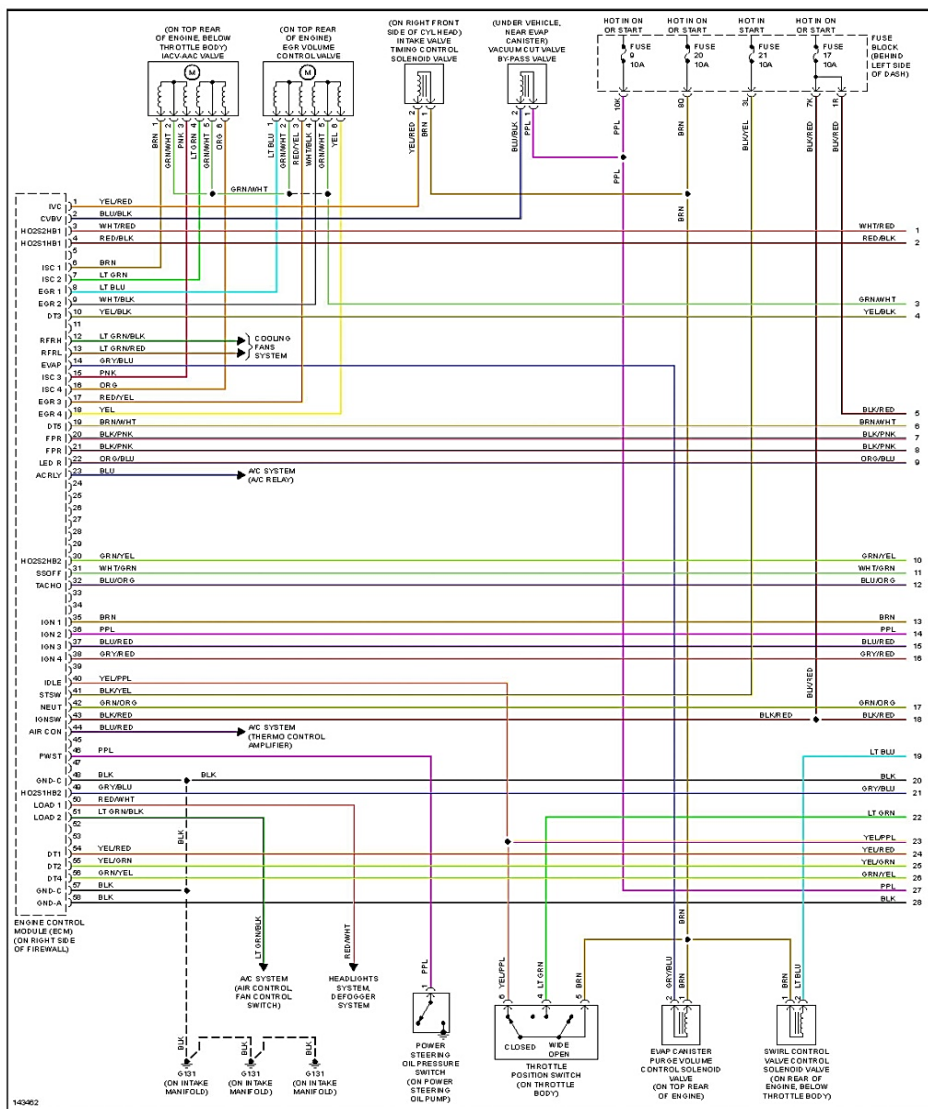
Glosario de términos

Concepto	Definición
ADC	Convertido analógico digital
Aislante	Material con escasa capacidad de conducción eléctrica
Biela	Elemento mecánico que transforma movimiento rectilíneo en rotacional
BJT	Transistor de unión bipolar
Bujía	Dispositivo que produce la chispa eléctrica que inflama la mezcla en el motor de combustión
Cigüeñal	Eje del motor con varios codos, en los cuales se ajusta una Biela
CKP	Sensor de posición de cigüeñal
CMP	Sensor de posición del árbol de levas
COP	Definición de bobina en el conector del cilindro
Corriente eléctrica	Flujo de carga eléctrica que recorre un material
DIS	Sistema de ignición directa
ECU	Unidad de control electrónico
EEPROM	Memoria de solo lectura electricamente borrable y programable
EGO	Sensor de oxígeno de los gases de escape
EGR	Recirculación de gases de escape
Electrodo	Extremo de un conductor con un medio que conduce corriente eléctrica
EVAP	Emisiones de evaporación del tanque de combustible
Frecuencia	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de una señal
Función Anidada	Funciones contenidas dentro de otra función en programación
Hercio	Unidad de frecuencia
IDE	Entorno de desarrollo integrado
IVA	Impuesto valor agregado
LED	Diodo emisor de luz
MAF	Sensor de flujo másico del aire de admisión
MIL	Lámpara indicadora de mal funcionamiento
NTC	Coficiente de temperatura negativo
OBD	Diagnóstico de abordó
PC	Computadora personal
PCB	Tarjeta de circuito impreso
PMI	Punto muerto inferior
PMS	Punto muerto superior
PWM	Modulación por ancho de pulso
RPM	Revoluciones por minuto
RX	Recepción de datos
SPI	Interface periférico serial
TDC	Punto muerto superior
TPS	Sensor de posición de la mariposa de aceleración
TX	Transmisión de datos
USART	Transmisor / receptor - sincrónico / asincrónico universal
USB	Serie universal

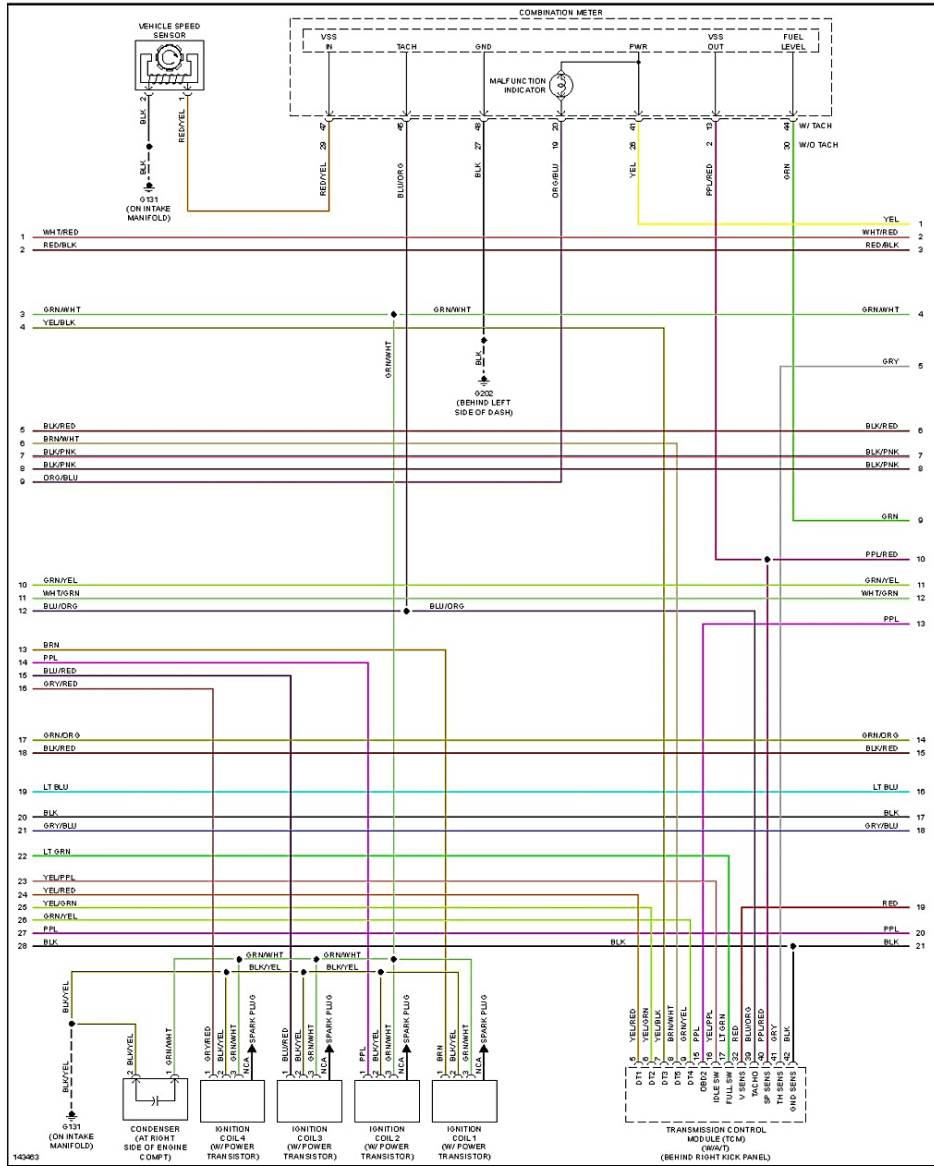
Anexos

Anexo 1. Diagrama de conexión de la ECU

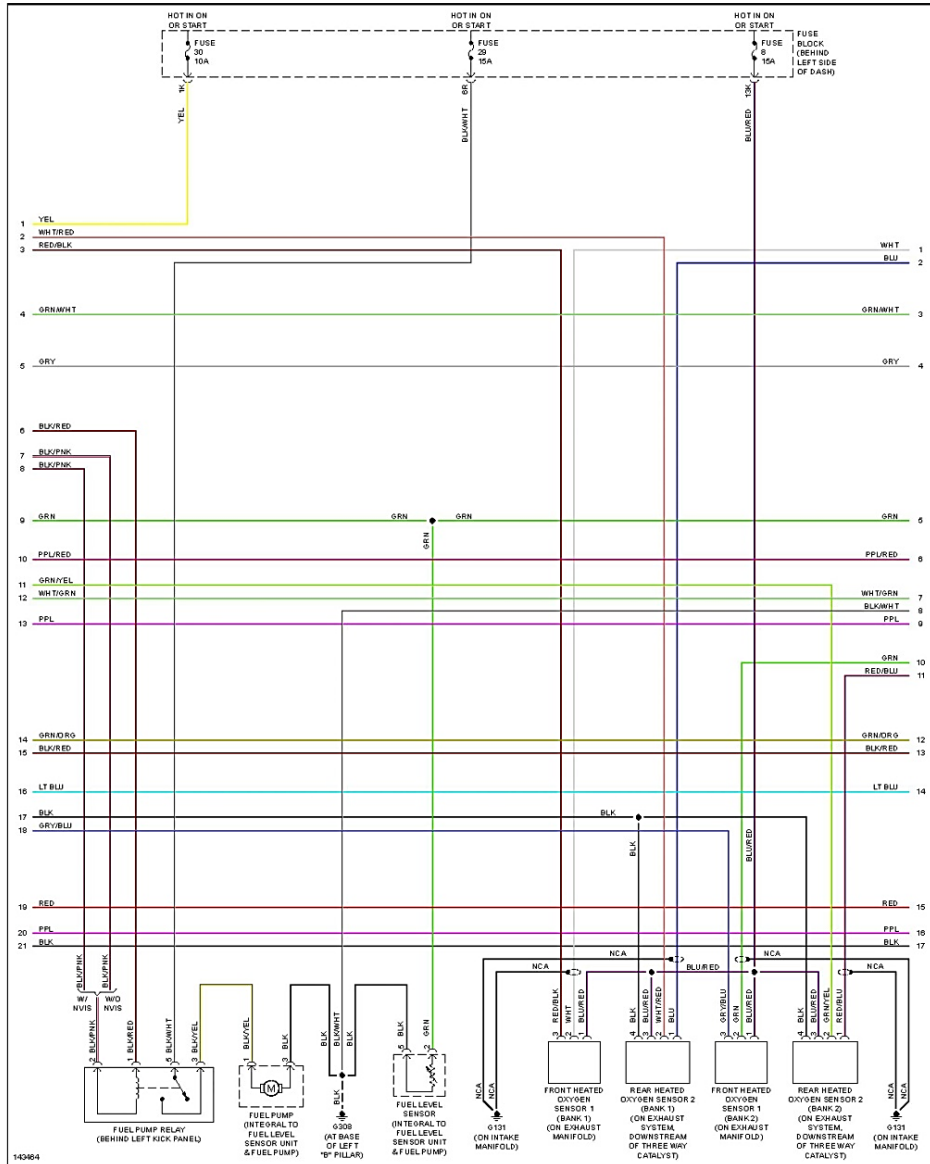
2001 Nissan Sentra GXE
SYSTEM WIRING DIAGRAMS
Fig. 19: 1.8L, Engine Performance Circuits, Except California (1 of 5)



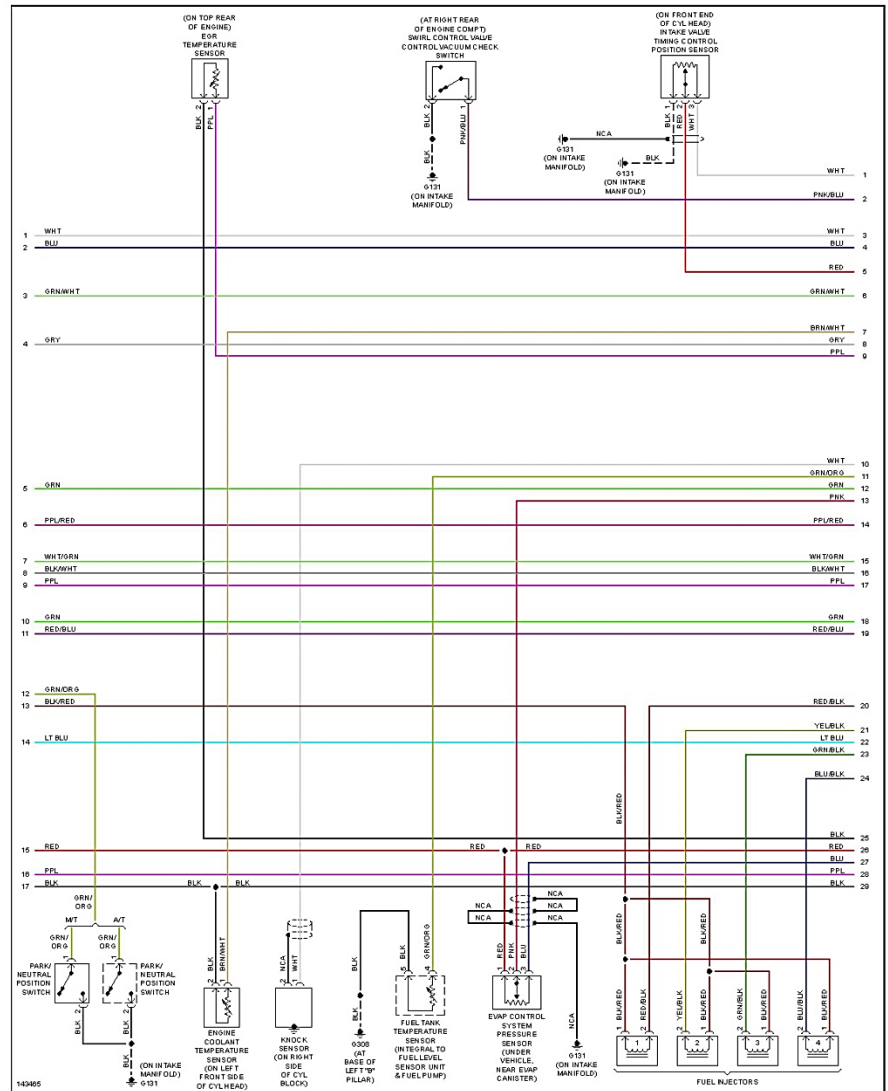
2001 Nissan Sentra GXE
SYSTEM WIRING DIAGRAMS
Fig. 20: 1.8L, Engine Performance Circuits, Except California (2 of 5)



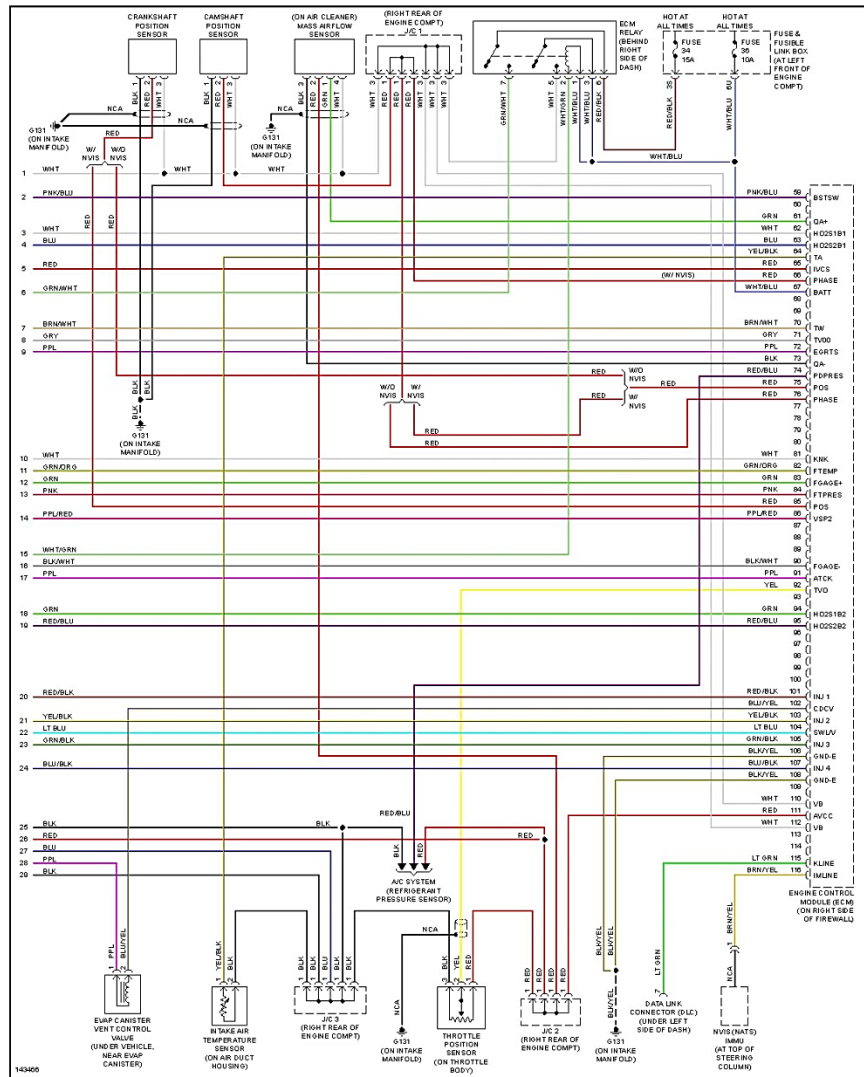
2001 Nissan Sentra GXE
SYSTEM WIRING DIAGRAMS
Fig. 21: 1.8L, Engine Performance Circuits, Except California (3 of 5)



2001 Nissan Sentra GXE
SYSTEM WIRING DIAGRAMS
Fig. 22: 1.8L, Engine Performance Circuits, Except California (4 of 5)



2001 Nissan Sentra GXE
SYSTEM WIRING DIAGRAMS
Fig. 23: 1.8L, Engine Performance Circuits, Except California (5 of 5)



Anexo 2. Hoja de datos: 4N35 Optoacoplador



High Gain Darlington Output Optocouplers

Technical Data

Features

- **High Current Transfer Ratio—1500% Typical**
- **Low Input Current Requirement—0.5 mA**
- **Performance Guaranteed over 0°C to 70°C Temperature Range**
- **Internal Base-Emitter Resistor Minimizes Output Leakage**
- **Gain-Bandwidth Adjustment Pin**
- **Safety Approval**
UL Recognized -2500 V rms for 1 Minute
CSA Approved

Applications

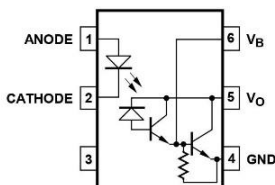
- **Telephone Ring Detector**
- **Digital Logic Ground Isolation**
- **Low Input Current Line Receiver**
- **Line Voltage Status Indicator—Low Input Power Dissipation**
- **Logic to Reed Relay Interface**
- **Level Shifting**
- **Interface Between Logic Families**

Description

The 4N45/46 optocouplers contain a GaAsP light emitting diode optically coupled to a high gain photodetector IC.

The excellent performance over temperature results from the inclusion of an integrated emitter-base bypass resistor which shunts photodiode and first stage leakage currents as well as bleeding off excess base drive to ground. External access to the second stage base provides the capability for better noise rejection than a conventional photodarlington detector. An external resistor or capacitor at the base can be added to make a gain-bandwidth or input current threshold adjustment. The base lead can also be used for feedback.

Functional Diagram



4N45 4N46

The high current transfer ratio at very low input currents permits circuit designs in which adequate margin can be allowed for the effects of optical coupling variations.

The 4N46 has a 350% minimum CTR at an input current of only 0.5 mA making it ideal for use in low input current applications such as MOS, CMOS and low power logic interfacing. Compatibility with high voltage CMOS logic systems is assured by the 20 V minimum breakdown voltage of the output transistor and by the guaranteed maximum output leakage (I_{OH}) at 18 V.

The 4N45 has a 250% minimum CTR at 1.0 mA input current and a 7 V minimum breakdown voltage rating.

Selection for lower input current down to 250 μ A is available upon request.

TRUTH TABLE (POSITIVE LOGIC)

LED	OUTPUT
ON	L
OFF	H

*JEDEC Registered Data
**JEDEC Registered up to 70°C.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

Ordering Information

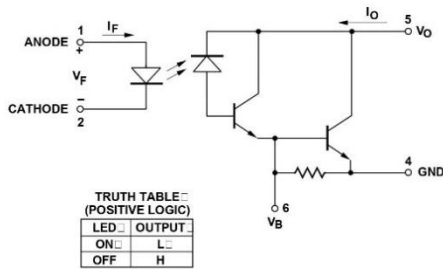
Specify part number followed by Option Number (if desired).

4N45#XXX

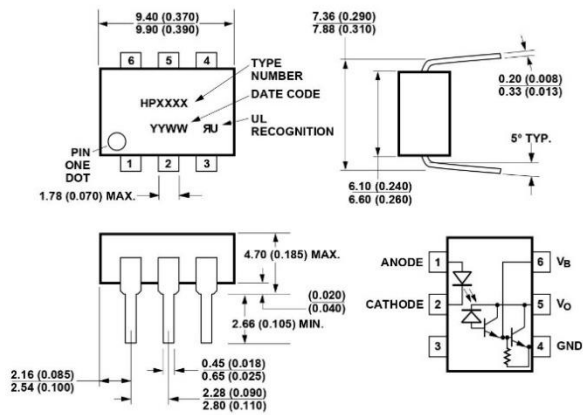
- 300 = Gull Wing Surface Mount Lead Option
- 500 = Tape/Reel Package Option (1 K min)

Option data sheets available. Contact your Hewlett-Packard sales representative or authorized distributor for information.

Schematic

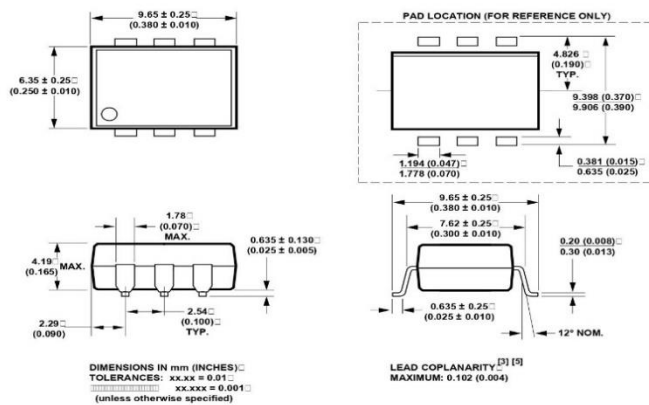


Outline Drawing



DIMENSIONS IN MILLIMETERS AND (INCHES).

Outline Drawing - Option 300



Thermal Profile (Option #300)

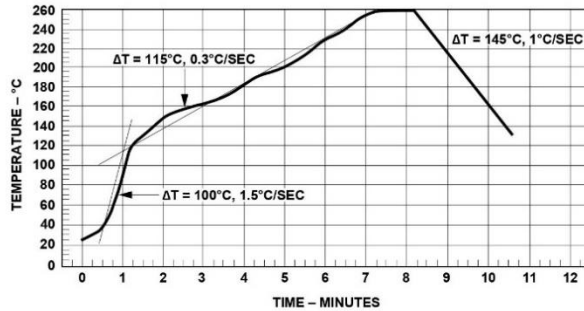


Figure 1. Maximum Solder Reflow Thermal Profile.
(Note: Use of non-chlorine activated fluxes is recommended.)

Regulatory Information

The 4N45 and 4N46 have been approved by the following regulatory organizations:

UL

Recognized under UL 1577, Component Recognition Program, File E55361.

CSA

Approved under CSA Component Acceptance Notice #5, File CA 88324.

Insulation and Safety Related Specifications

Parameter	Symbol	Value	Units	Conditions
Min. External Air Gap (External Clearance)	L(IO1)	7.1	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance through air
Min. External Tracking Path (External Creepage)	L(IO2)	7.4	mm	Measured from input terminals to output terminals, shortest distance path along body
Min. Internal Plastic Gap (Internal Clearance)		0.08	mm	Through insulation distance, conductor to conductor, usually the direct distance between the photoemitter and photodetector inside the optocoupler cavity
Tracking Resistance (Comparative Tracking Index)	CTI	200	Volts	DIN IEC 112/VDE 0303 PART 1
Isolation Group		IIIa		Material Group (DIN VDE 0110, 1/89, Table 1)

Option 300 – surface mount classification is Class A in accordance with CECC 00802.

Absolute Maximum Ratings

- Storage Temperature, T_S -55°C to +125°C
- Operating Temperature, T_A -40°C to +85°C
- Lead Solder Temperature, max 260°C for 10 s
(1.6 mm below seating plane)
- Average Input Current, I_F 20 mA^[1]
- Peak Input Current, I_F 40 mA
(50% duty cycle, 1 ms pulse width)
- Peak Transient Input Current, I_F 1.0 A
($\leq 1 \mu$ s pulse width, 300 pps)
- Reverse Input Voltage, V_R 5 V
- Input Power Dissipation, P_1 35 mW^[2]
- Output Current, I_O (Pin 5) 60 mA^[3]
- Emitter-Base Reverse Voltage (Pins 4-6) 0.5 V
- Output Voltage, V_O (Pin 5-4)
- 4N45 -0.5 to 7 V
- 4N46 -0.5 to 20 V
- Output Power Dissipation 100 mW^[4]
- Infrared and Vapor Phase Reflow Temperature (Option #300) see Fig. 1, Thermal Profile

Anexo 3. Hoja de datos: Atmega328P.

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48P/88P/168PV
 - 2.7 - 5.5V for ATmega48P/88P/168P
 - 1.8 - 5.5V for ATmega328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - ATmega48P/88P/168PV: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega48P/88P/168P: 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
 - ATmega328P: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48P/88P/168P:
 - Active Mode: 0.3 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.8 µA (Including 32 kHz RTC)



**8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega48P/V
ATmega88P/V
ATmega168P/V
ATmega328P**

Preliminary

Summary

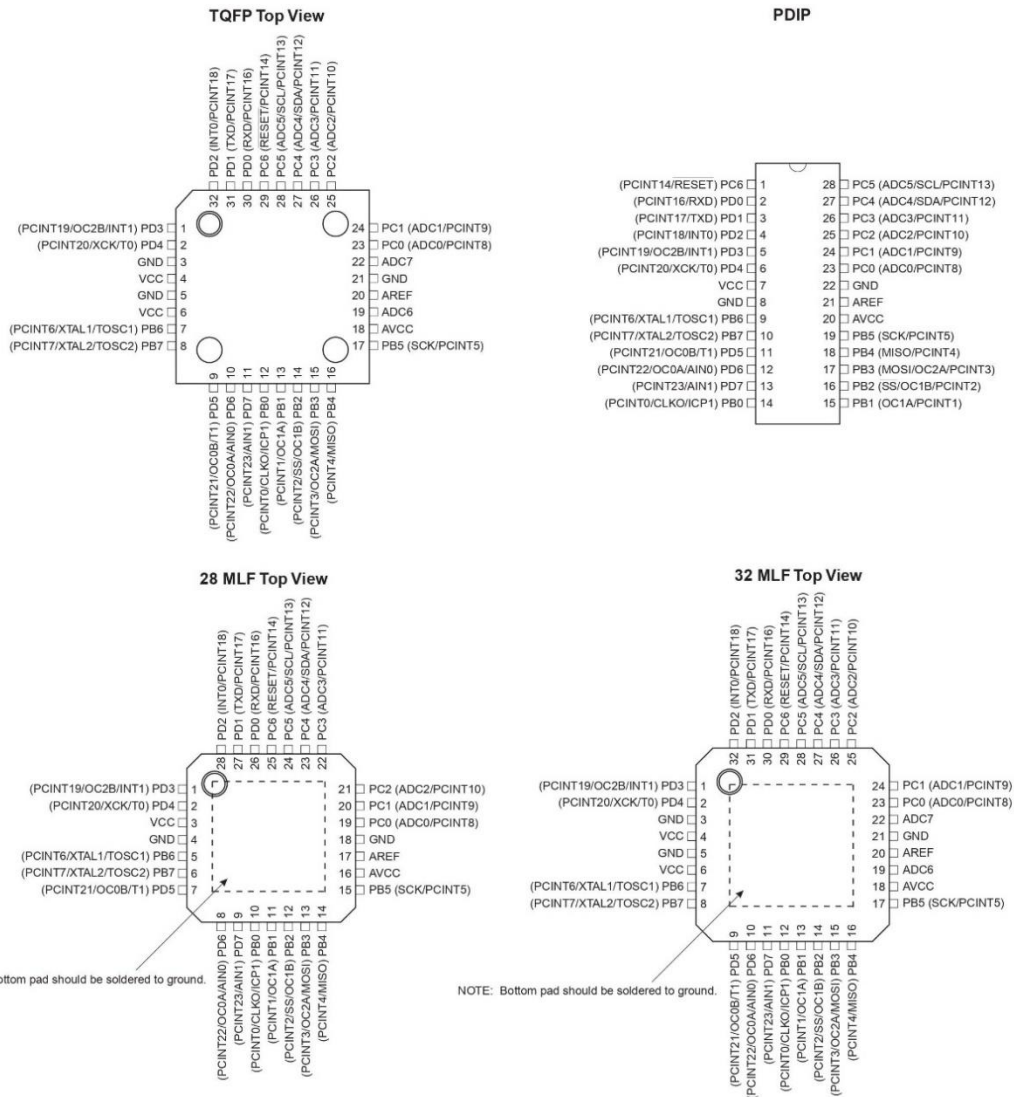
Rev. 8025FS-AVR-08/08





1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48P/88P/168P/328P



ATmega48P/88P/168P/328P

1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "[Alternate Functions of Port B](#)" on page 82 and "[System Clock and Clock Options](#)" on page 26.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 28-3 on page 320](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "[Alternate Functions of Port C](#)" on page 85.

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.



The various special features of Port D are elaborated in "Alternate Functions of Port D" on page 88.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

1.2 Disclaimer

Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

Anexo 4. Hoja de datos: L7805 Regulador de 5v



L78xx, L78xxC L78xxAB, L78xxAC

Positive voltage regulator ICs

Datasheet – production data

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)

Description

The L78xx series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3, D²PAK and DPAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications.

These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

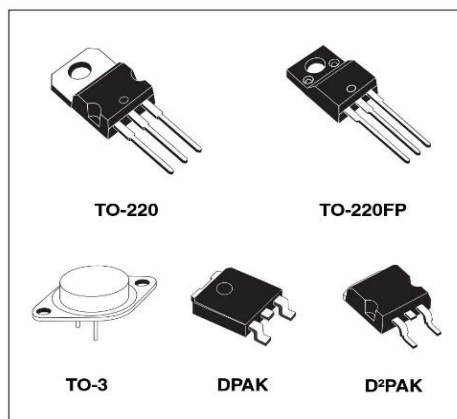


Table 1. Device summary

Part numbers			
L7805	L7806AC	L7809AB	L7815AB
L7805C	L7808C	L7809AC	L7815AC
L7805AB	L7808AB	L7812C	L7818C
L7805AC	L7808AC	L7812AB	L7824C
L7806C	L7885C	L7812AC	L7824AB
L7806AB	L7809C	L7815C	L7824AC