



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECANICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE
ENCENDIDO ELECTRÓNICO PARA LA DISMINUCIÓN
DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN UN MOTOR
MONO CILÍNDRICO OHV 200CC DE DOBLE BUJÍA DE
ORIGEN CHINO ”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JOSÉ LUIS CAJAS PEREIRA

JORGE ABRAHAN VELASCO AGUIAR

DIRECTOR: Ing. JOHNNY MARCELO PANCHAS RAMOS

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, José Luis Cajas Pereira & Jorge Abrahan Velasco Aguiar

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, José Luis Cajas Pereira y Jorge Abrahan Velasco Aguiar declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de julio de 2021

José Luis Cajas Pereira

C.I: 0705316966

Jorge Abrahan Velasco Aguiar

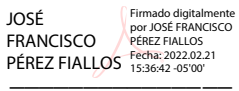
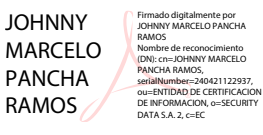

C.I: 1207743236

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **Diseño y construcción de un módulo de encendido electrónico para la disminución de las emisiones contaminantes un motor mono cilíndrico ohv 200cc de doble bujía de origen chino**, realizado por los señores: **José Luis Cajas Pereira y Jorge Abrahan Velasco Aguiar**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DE TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por JOSÉ FRANCISCO PÉREZ FIALLOS Fecha: 2022.02.21 15:36:42 -05'00'	2021-07-15
Ing. Johnny Pancho Ramos DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por JOHNNY MARCELO PANCH RAMOS Nombre de reconocimiento (DN): cn=JOHNNY MARCELO PANCH RAMOS, serialNumber=240421122937, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A., c=EC	2021-07-15
Ing. Javier Gavilánez Carrión MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado digitalmente por JAVIER JOSE GAVILANES CARRION Fecha: 2022.02.20 18:32:01 -05'00'	2021-07-15

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres: Francisco Cajas y Mercy Pereira, que siempre velaron por mí brindándome su apoyo, su motivación, sus consejos, que fueron fundamentales para alcanzar este objetivo, logrando forjar un hombre de bien. A mis hermanas Doris Cajas y Lady Cajas de Sánchez que siempre me ayudaron y estuvieron pendientes de mí durante mi preparación académica.

José Luis Cajas Pereira

Dedico este trabajo con mucho afecto y eterna gratitud a mis padres: Abrahan Velasco y Nancy Aguiar y a mis hermanas: Yomaira Velasco y Esther Velasco, porque han sido mi inspiración y aliento diario. A mis amigos que la vida me dio, personas con un gran corazón: Alicia Chugñay, José Cajas, Rómulo Ruiz, Santiago Sarango, Edgar Sapatanga, Willian Plasencia, Andrés Marcillo y Steeven Rodríguez, que los lazos de amistad no se disipen y que se fortalezcan a través del tiempo.

Jorge Abrahan Velasco Aguiar

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud principalmente a mis padres por nunca dejarme abandonado en el rumbo que tome hace varios años con la intención de ser un gran profesional el mismo que hoy finaliza exitoso, a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para enfrentar todas las adversidades que se presentaron y así salir victorioso en este camino. A mi compañero de trabajo de titulación por su apoyo y total disposición para realizar este proyecto. A mi novia que siempre estuvo conmigo en todas las situaciones que se presentaron a lo largo de mi carrera. A mis amigos Jorge Velasco, William Plasencia, Rómulo Ruiz, Steven Rodríguez, Edgar Sapatanga, Edison Sarango y Andrés Marcillo que siempre brindaron su amistad y su apoyo incondicional. Al Ing. Johnny Pancha Ramos por acompañarnos en este último proyecto y ser un soporte fundamental en este logro. A mis amigos de Electromecánica Venecia que me dieron su amistad y que compartieron sus conocimientos fortaleciendo así mi vida profesional.

José Luis Cajas Pereira

Pongo de manifiesto mi gratitud hacia Dios por bendecirme a lo largo del camino hasta conseguir ésta meta propuesta hace unos años atrás, que a pesar de las adversidades nunca estuvo ausente su promesa de fortalecer al débil y renovar los ánimos al cansado por medio de mi familia, mis padres, hermanas, profesores, compañero de trabajo de titulación, amigos y personas que han sido un apoyo incondicional. Agradezco a la institución “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” que me ha brindado la oportunidad de estar en sus aulas para adquirir nuevos aprendizajes a través de los docentes de la escuela de Ingeniería Automotriz, quienes han demostrado su entrega y profesionalismo en cada área, expreso también mi agradecimiento al ingeniero Jhonny Pancha por confiar y aceptar caminar junto a nosotros para conseguir este logro.

Jorge Abraham Velasco Aguiar

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE GRAFICOS	XII
RESUMEN.....	XIII
SUMMARY	XIV
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Formulación del problema.....	1
1.3 Justificación	2
1.3.1 Justificación Teórica	2
1.3.2 Justificación Metodológica	2
1.3.3 Justificación práctica.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Ciclo Otto.....	4
2.2 Ciclo Otto de cuatro tiempos.....	6
2.3 Trabajo Indicado.....	9
2.4 Presión media efectiva.....	9
2.5 Torque.....	10
2.6 Potencia.....	10
2.7 Eficiencia térmica.....	11
2.8 Eficiencia volumétrica	11
2.9 Eficiencia efectiva.....	13
2.10 Eficiencia mecánica	13

2.11	Consumo de combustible	14
2.12	Sistema de encendido de motocicleta de baja cilindrada.	14
2.13	Componentes del sistema de encendido.....	15
2.13.1	Generador de voltaje.	15
2.13.2	Pulser.....	15
2.13.3	Modulo del CDI.	15
2.13.4	Bobina de encendido.	15
2.13.5	Bujía.	16
2.14	Grado Térmico.	18
2.15	Disposición de los electrodos.....	20
2.16	Distancia disruptiva.....	20
2.17	Aspecto de una bujía.	21
2.18	Funcionamiento del CDI.....	24
2.19	Energía del capacitor.....	25
2.20	Avance al encendido	26
2.20.1	Funcionamiento del avance de encendido.....	26
2.21	Encendido de doble bujía.	27
2.22	Ventajas del encendido de doble bujía.....	28
2.23	Emisiones contaminantes	28
2.24	Proceso de emisión de los vehículos	29
2.24.1	Emisiones por el tubo de escape	29
2.25	Contaminantes emitidos por las fuentes vehiculares y sus impactos en el medio ambiente y la salud.....	30
2.26	Elementos del módulo de encendido de doble bujía	31
2.26.1	Filtro paso alto	32
2.26.2	Filtro RC paso alto	32
2.26.3	Amplificador operacional.....	33
2.26.4	Compuerta lógica CD 4093.....	34
2.26.5	Arduino nano.....	34
2.26.6	Transistor de efecto de campo.....	37
2.26.7	Transistor IGBT	37
CAPITULO III.....		39
3.	METODOLOGIA	39
3.1	Parámetros de diseño.....	39
3.2	Diseño de módulo de encendido.	40

3.3	Arduino nano.....	40
3.4	Terminales de entradas y salidas de módulo de control.....	41
3.5	Etapas de acondicionamiento de señal de bobina captadora	42
3.5.1	Filtraje de señal de bobina captadora	42
3.5.2	Etapas de conversión analógica digital.....	45
3.5.3	Etapas de procesamiento de datos y ejecución de acciones.....	48
3.5.4	Etapas de potencia	49
3.6	Programación	50
3.6.1	Deducción de fórmula para el cálculo del ángulo para avance al encendido.....	51
3.6.2	Algoritmo de programación	55
3.7	Construcción de placa de módulo de control.	56
3.8	Pruebas de funcionamiento.	58
3.8.1	Prueba de análisis de gases con el sistema original de moto.....	59
3.8.2	Prueba de análisis de gases con el módulo de control diseñado con salto de chispa en configuración asincrónica	60
3.8.3	Prueba de análisis de gases con el módulo de control diseñado con salto de chispa en configuración sincrónica.	61
3.8.4	Análisis de resultados.....	62
CAPITULO IV.....		63
4	GESTIÓN DEL PROYECTO.....	63
4.1	Cronograma.....	63
4.2	Costos directos	63
4.2.1	Costos indirectos	64
4.2.2	Costo total	65
CONCLUSIONES		66
RECOMENDACIONES		68
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Especificaciones del motor.....	39
Tabla 2-3: Condiciones de operación del módulo de encendido.	39
Tabla 3-3: Características de arduino nano.....	40
Tabla 4-3: Características del transistor mosfet.....	50
Tabla 5-3: Datos para cálculo de avance	54
Tabla 6-3: Coordenadas para ecuación de avance de encendido	55
Tabla 7-3: Registro de emisiones con sistema de encendido original.....	59
Tabla 8-3: Media aritmética del registro de emisiones de la tabla 7-3	59
Tabla 9-3: Desviación media del registro de emisiones de la tabla 7-3.....	60
Tabla 10-3: Registros promediados de emisiones contaminantes con el módulo de encendido de doble bujía en configuración asincrónica.....	60
Tabla 11-3: Registro de emisiones con el salto de chispa en configuración sincrónica	61
Tabla 12-3: Media aritmética del registro de emisiones de la tabla 11-3	61
Tabla 13-3: Desviación media del registro de emisiones de la tabla 11-3.....	61
Tabla 14-3: Registro promediado de emisiones con salto de chispa sincrónico a diferentes RPM	62
Tabla 1-4: Cronograma de actividades.	63
Tabla 2-4: Costos directos.	64
Tabla 3-4: Costos indirectos.	64
Tabla 4-4: Costo total.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Diagrama presión – volumen ciclo Otto.	5
Figura 2-2: Diagrama Temperatura-Entropía ciclo Otto.	6
Figura 3-2: Carrera de compresión con su diagrama presión-desplazamiento.	7
Figura 4-2: Carrera de compresión con su diagrama presión-desplazamiento.	7
Figura 5-2: Carrera de trabajo con su diagrama presión-desplazamiento.....	8
Figura 6-2: Carrera de escape con su diagrama presión desplazamiento.	8
Figura 7-2: Disposición interior de una bujía.	17
Figura 8-2: Tipos de asientos de bujía.	18
Figura 9-2: Temperaturas de funcionamiento de una bujía.	19
Figura 10-2: Concepto de grado térmico.	19
Figura 11-2: Diferentes disposiciones de electrodos.	20
Figura 12-2: Distancia disruptiva.	21
Figura 13-2: Aspecto ideal de una bujía.	21
Figura 14-2: Bujía carbonizada.....	22
Figura 15-2: Bujía engrasada.	22
Figura 16-2: Cráteres por detonación.	23
Figura 17-2: Fusión de los electrodos.....	23
Figura 18-2: Depósitos por aditivos.....	24
Figura 19-2: Arduino nano	36
Figura 1-3: Placa.....	57
Figura 2-3: Módulo de encendido de doble bujía	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Configuración de un CDI.	24
Gráfico 2-2: Curvas de avance de diferentes fabricantes.	27
Gráfico 3-2: Configuración RC filtro paso alto	32
Gráfico 1-3: Conexión del socket del módulo de encendido de doble bujía.....	41
Gráfico 2-3: Filtro RC paso alto.	43
Gráfico 3-3: Circuito conversor análogo-digital.	45
Gráfico 4-3: Oscilograma.....	46
Gráfico 5-3: Circuito de potencia.....	48
Gráfico 6-3: Circuito de potencia.....	49
Gráfico 7-3: Oscilograma.....	51
Gráfico 8-3: Oscilograma.....	52
Gráfico 9-3: Oscilograma.....	53
Gráfico 10-3: Avance de encendido en función de las RPM.	54
Gráfico 11-3: Diagrama de procesos	56
Gráfico 12-3: Circuito de la placa.....	57

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo reducir los valores de emisiones de gases contaminantes mediante la aplicación de un módulo de control electrónico para el sistema de encendido con la implementación de una doble bujía en un motor mono cilíndrico ohv 200cc carburado de procedencia china. Una vez conocido los aspectos técnicos del motor se seleccionó los elementos electrónicos necesarios para diseñar y construir el módulo de control de encendido, y un Arduino encargado de gestionar la señal de entrada proveniente de la bobina captadora de posición del cigüeñal (trigger) debidamente acondicionada mediante un filtro de paso alto para luego ser amplificada y convertida de análoga a digital para su análisis, además para comandar una señal de salida para la activación de la bobina de alta tensión la misma que es sometida a una etapa de potencia, adicionalmente se empleó una ecuación de avance de encendido en función de las revoluciones por minuto dentro de su programación para que el salto de chispa en cada bujía ocurra en el momento preciso y de esta manera la combustión sea lo más completa posible. Para el análisis estadístico se utilizó herramientas como la media aritmética para poder reducir las cantidades provenientes de varias mediciones, a una sola por cada condición de funcionamiento dando como resultado una diferencia significativa entre las configuraciones sincrónica y asincrónica; siendo la configuración sincrónica mejor para lograr combustiones más eficientes. Se concluye que al utilizar un módulo de encendido que controle dos bujías se obtiene en consecuencia una disminución en las emisiones contaminantes del motor monocilíndrico. Se recomienda complementar el sistema de encendido de doble bujía con un sistema de inyección electrónica de combustible con la finalidad de obtener dosificaciones más precisas que las proporcionadas por el sistema a carburador.

Palabras clave: <MÓDULO ELECTRÓNICO>, <DOBLE BUJÍA>, <EMISIONES CONTAMINANTES>, <SALTO DE CHISPA SINCRÓNICO>, <AVANCE DE ENCENDIDO>.

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS
VARGAS
DN: cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS c=EC
s=RIOBAMBA
Motivo: Soy el autor de este
documento
Ubicación:
Fecha: 2021-09-10
14:23:05.00



1773-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this degree work is to reduce the values of gas emissions pollutants by applying an electronic control module to the ignition with the implementation of a double spark plug in a 200cc OHV single cylinder engine carburetion of Chinese origin. Once the technical aspects of the engine were known, the necessary electronic elements were chosen to design and build the ignition control module, and an Arduino is in charge of managing the input signal from the position pickup coil of the crankshaft (trigger). Which is properly conditioned through a high-pass filter and then amplified and converted from analog to digital for analysis. Moreover, controlling a signal of output for the activation of the high voltage coil which is subjected to a step of power. Additionally, an ignition advance equation was used as a function of the revolutions per minute within its programming so that the spark gap at each spark plug occurs at the precise moment, and in this way, the combustion is as complete as possible. Tools such as the arithmetic mean were used for statistical analysis to reduce the quantities from several measurements. One for each operating condition giving as result in a significant difference between synchronous and asynchronous configurations. The synchronous configuration was the best for more efficient combustion. It is concluded that when using an ignition module that controls two spark plugs results in a decrease in ignition pollutant emissions from the single-cylinder engine. It is recommended to supplement the dual spark ignition with an electronic fuel injection system for the purpose to obtain more precise dosages than those provided by the carburetor system.

Keywords: <Electronic module>, <Double spark plug>, <Pollutant emissions>, <Synchronous spark gap>, <Ignition advance>.



Firmado electrónicamente por:
PATRICIA PILAR
MOYOTA AMAGUAYA

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes.

Los vehículos automotores emiten gases contaminantes hacia el medio ambiente desde el depósito de combustible, cárter, carburador en el caso de poseerlo y en la salida de gases de escape; en este último se debe a una mala combustión especialmente por una mezcla estequiométrica desproporcional o a una chispa ineficiente. La mayoría fabricantes automotrices después de diversas investigaciones han venido implementando diferentes tecnologías para lograr contrarrestar esta problemática, enfocándose especialmente sistemas de inyección electrónica para lograr tener una mezcla estequiométrica ideal para la combustión, además de sistemas anticontaminantes como: sistemas de recirculación de gases de escape (EGR), sistemas de control evaporativo de combustible (EVAP), convertidor catalítico, filtro antipartículas, todo esto con el único objetivo de reducir la contaminación de los vehículos automotores. A pesar de todo aquello mencionado en la actualidad, aún siguen la producción de vehículos automotores de baja cilindrada especialmente aquellos de procedencia china que carecen de monitores para una gestión electrónica de su funcionamiento, los mismos que han tenido gran acogida en el mercado ecuatoriano, frente aquello nace la necesidad de la implementación de otros sistemas fiables y accesibles que se adapten a su estructura de fábrica, el diseño de un módulo para el control de una segunda bujía en su sistema de encendido para proveer otra fuente de energía dentro de la cámara de combustión para que la mezcla aire-combustible sea eficientemente combustionada con ello se pretende reducir contaminación hacia el medio ambiente desde los gases de escape.

1.2 Formulación del problema.

La introducción de vehículos automotores de baja cilindrada de procedencia china en el mercado ecuatoriano ha tenido una respuesta positiva, a pesar de que su principio de funcionamiento es obsoleto, es decir no lleva algún sistema de control electrónico para su funcionamiento; las prestaciones que otorga en comparación con el costo hace que el consumidor se sienta conforme del producto, pero observándolo desde un punto de vista contaminante se contemplan otras de sus desventajas, entre ellas se destaca, la no aplicación de sistemas anticontaminantes.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación Teórica

Mediante el presente trabajo de grado se utilizarán los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Automotriz para lograr de forma eficaz y eficiente un sistema de inyección electrónica adaptado a las necesidades del vehículo, mediante las pruebas en el dinamómetro, analizador de gases y de consumo de combustible se validará el proyecto.

1.3.2 Justificación Metodológica

Para la realización del proyecto se comenzará con una investigación detallada y minuciosa de todos los parámetros que se deben considerar para poder adaptar un sistema de inyección electrónica en un motor con sistema de carburador. Una vez se haya generado un marco teórico que sustente el trabajo se procederá con la elección de elementos que se acoplen y cumplan de forma eficiente las necesidades del motor.

Con el hardware instalado en el vehículo se procede a trabajar en el software del control motor, realizando distintas pruebas en el dinamómetro para asegurar que es la configuración y puesta a punto más eficiente del motor.

1.3.3 Justificación práctica

El proyecto de titulación generará un impacto positivo en aspectos de eficiencia energética y medio ambiente, ya que al poder controlar la cantidad de combustible y avance de chispa se trabajará cerca de la mezcla estequiométrica perfecta, lo cual da como resultado una máxima potencia con la menor cantidad de gases contaminantes emitidos por el tubo de escape. Esta precisión en el control de combustible es imposible de realizar en un sistema de carburador, por lo que al pasar un vehículo con este sistema a uno de inyección electrónica se obtendrá un vehículo que genera un menor impacto ambiental.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Reducir los valores de emisiones de gases contaminantes mediante la aplicación de un módulo de control electrónico para el sistema de encendido con la implementación de una doble bujía en un motor mono cilíndrico ohv 200cc carburado de procedencia china.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Adquirir bibliografía referente al diseño, funcionamiento y construcción de circuitos electrónicos junto con sus respectivos procesos de manufactura.
- Modificar la culata del motor monocilíndrico de tal manera que permita mecanizar un alojamiento para la segunda bujía.
- Establecer los componentes necesarios para el diseño y construcción del módulo de control electrónico de encendido para un sistema de doble bujía para ser implementado en el motor mono cilíndrico.
- Realizar pruebas de emisión de gases contaminantes del motor antes y después de implementar el sistema de encendido de doble bujía mediante el método de análisis de prueba estática en ralentí.
- Analizar el conjunto de resultados obtenidos de emisiones contaminantes de cada prueba para determinar si estos se encuentran dentro de los parámetros establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 136 (1R) “Motocicletas”

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ciclo Otto.

Un ciclo termodinámico es aquel en el que un líquido pasa por una progresión de procesos que se cierra al volver a visitar su estado subyacente y que igualmente mantiene uniformes los factores termodinámicos dentro del volumen de control, lo que implica que se salvaguarda el equilibrio térmico. (Stone y Ball, 2004).

El ciclo de Otto se aísla en seis procesos termodinámicos, dos de ellos adiabáticos o sin movimiento de calor, lo que implica que son isentrópicos o de entropía constante. (Stone y Ball, 2004).

(Pulkrabek, 1997) Estos procesos, administrados por los gráficos de presión- volumen y temperatura-entropía del ciclo de aire estándar de Otto, junto con sus condiciones de supervisión, se muestran a continuación:

- Ingreso isobárico de aire

$$W_{6-1} = P_0(V_1 - V_6) \quad \text{Ecuación 1}$$

- Compresión isentrópica

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{K-1} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^K \quad \text{Ecuación 3}$$

$$W_{1-2} = C_V(T_1 - T_2) \quad \text{Ecuación 4}$$

- Adición de calor isocórica

$$q_{2-3} = C_V(T_3 - T_2) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$W_{2-3} = 0 \quad \text{Ecuación 6}$$

- Expansión isentrópica

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{K-1} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^K \quad \text{Ecuación 8}$$

$$W_{3-4} = C_V(T_3 - T_4) \quad \text{Ecuación 9}$$

- Expulsión de calor isocórica

$$q_{4-5} = C_v(T_1 - T_4) \quad \text{Ecuación 10}$$

- Expulsión isobárica de gases

$$W_{5-6} = C_v(v_6 - v_1) \quad \text{Ecuación 11}$$

Siendo:

W	Trabajo
T	Temperatura
P	Presión
V	Volumen
v	Volumen específico
k	Relación de calores específicos
C_v	Coefficiente de calor específico a volumen constante
q	Calor específico

Los coeficientes de cada condición se comparan con cada punto de referencia de los gráficos de volumen de presión-volumen y temperatura-entropía y se sitúan en ellos como se demuestra a continuación:

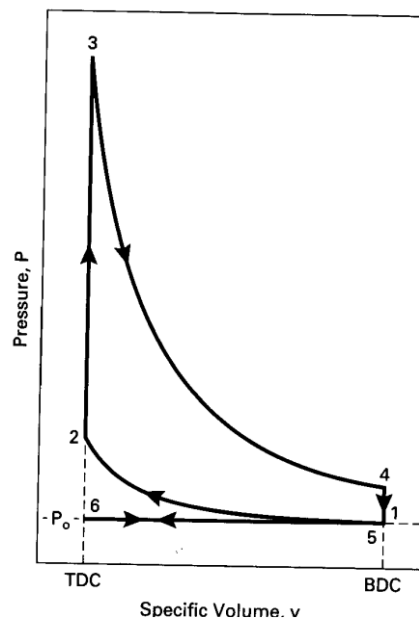


Figura 1-2: Diagrama presión – volumen ciclo Otto.

Fuente: (Pulkrabek, 1997).

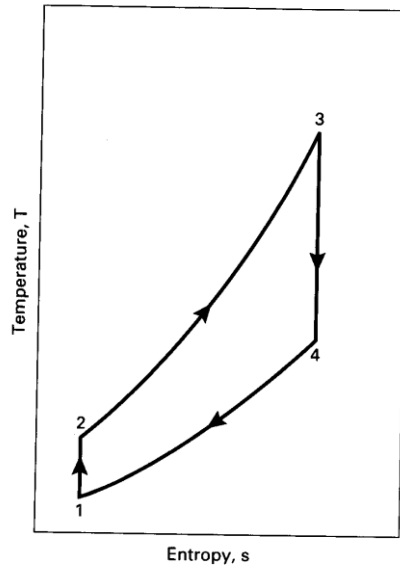


Figura 2-2: Diagrama Temperatura-Entropía ciclo Otto.

Fuente: (Pulkrabek, 1997).

2.2 Ciclo Otto de cuatro tiempos.

Se le conoce como ciclo de cuatro tiempos porque requiere cuatro desplazamientos del pistón para terminar un ciclo completo; una carrera descendente para admitir la combinación aire-combustible, una carrera ascendente para la presión de los gases, una carrera descendente para el trabajo y una carrera ascendente para la eliminación de gases.

Los procesos que ocurren en cada desplazamiento se pueden retratar de la siguiente manera:

- En el tiempo de admisión, la válvula de entrada de gases se abre y la válvula de salida de gases se cierra, el pistón se desplaza verticalmente hacia abajo desde el PMS creando una caída del factor de presión que fluctuará según su velocidad, que comúnmente es 0.12bar en lo normal por debajo de la presión atmosférica, e impulsa la combinación de aire y combustible para entrar en la cámara, razón por la cual los motores con este tipo de alimentación de mezcla se denominan naturalmente aspirados. (Crolla, 2009)

En esta carrera descendente del pistón se muestra gráficamente la presión isentrópica del aire.

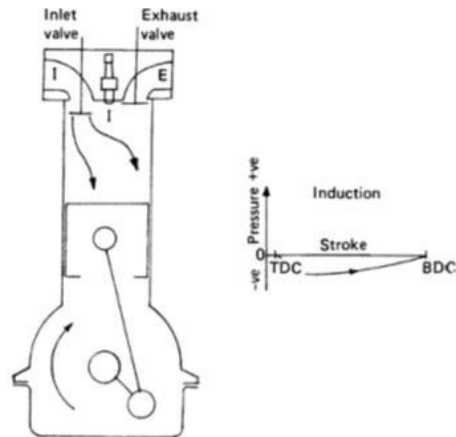


Figura 3-2: Carrera de compresión con su diagrama presión-desplazamiento.
Fuente: (Crolla, 2009).

- En el tiempo de compresión, la válvula de entrada de gases se cierra y la válvula de salida de gases se mantiene cerrada todavía mientras el pistón realiza un desplazamiento ascendente desde el PMI hacia el PMS comprimiendo la combinación de aire-combustible en el orden de un octavo o un décimo del volumen inicial correspondiente a la cilindrada unitaria. El resultado es un incremento tanto en la temperatura como en la presión, misma que puede oscilar entre 8 bar y 14 bar. (Crolla, 2009)

En esta fase se realiza el aporte de calor a volumen constante a través de la bujía mediante un salto de chispa, misma que realiza el encendido de la mezcla en la cámara de combustión.

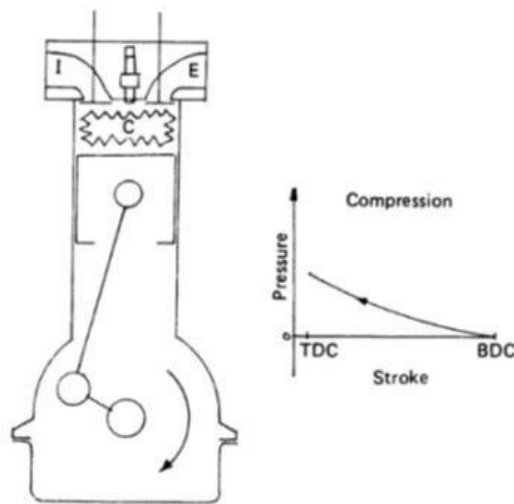


Figura 4-2: Carrera de compresión con su diagrama presión-desplazamiento.
Fuente: (Crolla, 2009).

- En el tiempo de combustión las válvulas de entrada y salida de gases continúan cerradas para impedir fugas de la elevada presión proveniente del encendido de la mezcla y así aprovechar dicha presión para impulsar el pistón con un movimiento descendente desde el PMS hacia el PMI

realizando una carrera conocida como trabajo. Las presiones dentro del cilindro van desde 60 bares cuando el pistón está totalmente arriba, hasta 4 bares cuando el pistón ha llegado a su punto muerto inferior. (Crolla, 2009)

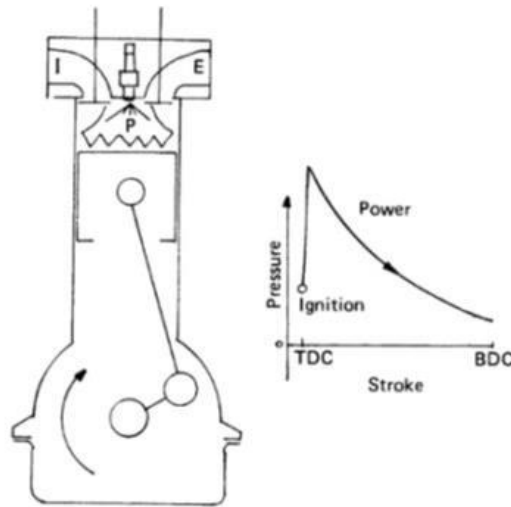


Figura 5-2: Carrera de trabajo con su diagrama presión-desplazamiento.

Fuente: (Crolla, 2009).

- En el tiempo de escape el pistón realiza un desplazamiento ascendente desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS), la válvula de salida de gases se abre para dar paso a que los mismos salgan hacia el ambiente debido a la presión residual dentro del cilindro, mientras que el restante de gases son empujado hacia afuera por el movimiento que realiza el pistón en ese momento disminuyendo el valor de presión hasta igualarse con la atmosférica. (Crolla, 2009)

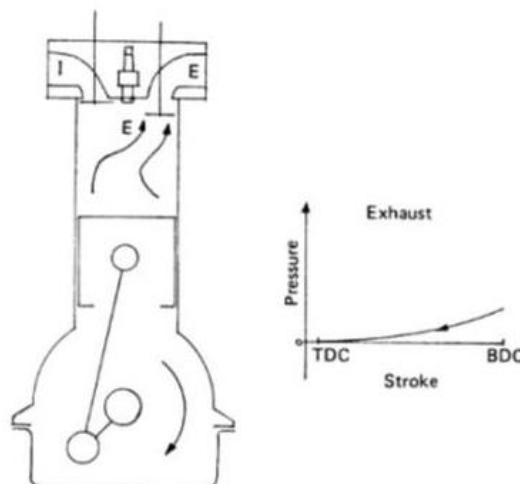


Figura 6-2: Carrera de escape con su diagrama presión desplazamiento.

Fuente: (Crolla, 2009).

2.3 Trabajo Indicado.

El trabajo es el último elemento útil que da cualquier motor de combustión y se produce por el factor de presión de los gases dentro de la cámara de encendido que empuja el pistón hacia abajo; Este trabajo es comparable a la región dentro de la curva del contorno del volumen del factor de presión y se llama trabajo indicado. (Pulkrabek, 1997)

Teniendo en cuenta que el movimiento rápido del pistón multiplicado por la región de la corona del mismo equivale al volumen momentáneo que ingresa al motor, el trabajo se puede componer de la siguiente manera:

$$W_i = \int P dV \quad \text{Ecuación 12}$$

Al aislar la articulación pasada para la masa combinada que ingresa a la cámara, se consigue el trabajo específico:

$$w_i = \int P dv \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

W_i	Trabajo indicado
w_i	Trabajo indicado específico
P	Presión dentro de la cámara de combustión
dV	Diferencial de volumen
dv	Diferencial de volumen específico

2.4 Presión media efectiva.

Como es evidente, el factor de presión dentro de la cámara está cambiando constantemente, por lo que la presentación de la idea de factor de prensado medio viable es vital, ya que permite tener un límite de análisis entre motores independientemente del tamaño o velocidad de trabajo.

La presión media efectiva se expresa de la siguiente manera:

$$mep = \frac{W}{v_d} \quad \text{Ecuación 14}$$

O en términos del trabajo específico:

$$mep = \frac{w}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 15}$$

En dependencia al tipo de trabajo empleado para realizar los cálculos, la presión media efectiva toma otros calificativos, por ende:

$$bmep = \frac{w_b}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$imep = \frac{w_i}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

mep	Presión media efectiva
bmep	Presión media efectiva al freno
imep	Presión media efectiva indicada
W	Trabajo durante un ciclo
w	Trabajo indicado durante un ciclo
Vd	Desplazamiento volumétrico del cilindro
Δv	Variación de volúmenes específicos

2.5 Torque.

Es la fuerza con la que gira el cigüeñal y por ende también todo lo que este acoplado al mismo respecto al eje de giro. Se calcula multiplicando la magnitud de fuerza aplicada a lo largo de la línea de acción del brazo de biela por la distancia perpendicular entre la fuerza ejercida y el punto pivote de giro. (Crolla, 2009)

La fuerza de giro es un indicador decente de la capacidad del motor para abordar el trabajo y se identifica con ella de la manera siguiente:

$$\tau = \frac{w_i}{2\pi} \quad \text{Ecuación 18}$$

O en términos de la presión media efectiva, se tiene:

$$\tau = \frac{bmep * V_d}{4\pi} \quad \text{Ecuación 19}$$

2.6 Potencia

Es la relación existente entre el trabajo realizado por unidad de tiempo, siendo la magnitud de potencia dependiente de la velocidad de giro del cigüeñal, aumentando cuando el trabajo ejecutado incrementa hasta en dos tercios del rango de rpm que posee el motor. Cuando el motor se encuentra funcionando en un alto régimen el llenado del cilindro es deficiente debido al poco tiempo que se dispone para admitir mezcla fresca y evacuar los gases quemados, quedando residuos en el interior del cilindro e incidiendo de manera negativa en la presión media efectiva. (Crolla, 2009)

La potencia se encuentra relacionada con el torque en la siguiente expresión:

$$P = 2 * \pi * N * \tau \quad \text{Ecuación 20}$$

O en términos de la presión media efectiva:

$$P = \frac{mep * A_p * C_p}{4} \quad \text{Ecuación 21}$$

La utilización del factor de presión convincente normal provoca la determinación de varias fuerzas según el tipo de factor de presión viable normal utilizado, habiendo mostrado de esta manera la fuerza o la potencia de frenado en general.

2.7 Eficiencia térmica

Es el cociente entre trabajo útil generado por el motor y la magnitud de energía que admite el motor, oscilando la eficiencia térmica entre el 20% y el 30% para motores que funcionan con el ciclo Otto, siendo los porcentajes anteriormente mencionados afectados por la relación de compresión que posea cada motor. (Pulkrabek, 1997)

La eficiencia térmica queda definida por la siguiente expresión:

$$n_t = \frac{W_{net}}{q_{in}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

n_t	Eficiencia térmica
W_{net}	Trabajo neto
q_{in}	Calor ingresado

O a su vez:

$$n_t = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} \quad \text{Ecuación 23}$$

Siendo q_{out} calor evacuado.

2.8 Eficiencia volumétrica

Es la razón existente entre la magnitud de carga aire-combustible que admite el motor a cada cilindro y la carga que en teoría debe ingresar, siendo la eficiencia volumétrica un indicador de la mezcla fresca que se mantiene dentro del cilindro después de haber concluido la fase de admisión. (Basshuysen y Schäfer, 2004)

La sumatoria de masas, tanto de aire como de combustible que admite el motor, se le conoce como la carga real que ingresa al mismo.

$$m_r = m_a + m_c \quad \text{Ecuación 24}$$

Siendo:

m_r Masa real de mezcla
 m_a Masa real de aire
 m_c Masa real de combustible

Por otra parte, la masa aire-combustible que debería ingresar idealmente al cilindro en la fase de admisión, se denomina carga teórica. Calculado en términos de densidad teórica de la mezcla.

$$m_t = (V_{cil} + V_{cc}) * \delta_m \quad \text{Ecuación 25}$$

Siendo:

m_t Masa teórica de la mezcla
 V_{cil} Volumen del cilindro
 V_{cc} Volumen de la cámara de combustión
 δ_m Densidad de la mezcla

A partir del enunciado de eficiencia volumétrica se obtiene el cociente:

$$n_v = \frac{m_r}{m_t} \quad \text{Ecuación 26}$$

Siendo n_v la eficiencia volumétrica.

Después de reemplazar las variables por el equivalente de cada uno, la expresión de eficiencia volumétrica queda de la siguiente manera:

$$n_v = \frac{m_a + m_c}{(V_{cil} + V_{cc}) * \delta_m} \quad \text{Ecuación 27}$$

2.9 Eficiencia efectiva

Esta eficiencia viene determinada por la energía que se encuentra contenida en el combustible, es decir, es la relación existente entre la energía admitida al sistema por cada unidad de tiempo que tarda la misma (Basshuysen y Schäfer, 2004)

Se expresa de la forma:

$$E_c = m_c * H_c \quad \text{Ecuación 28}$$

Siendo:

E_c	Energía contenida en el combustible
m_c	Flujo de masa de combustible
H_c	Poder calorífico del combustible

Continuando con el motor de combustión interna como objeto de análisis, sabemos que se admite energía en forma de combustible y el motor entrega potencia, considerando aquello la expresión queda de la siguiente manera:

$$n = \frac{P}{m_c + H_c} \quad \text{Ecuación 29}$$

En dependencia al dato de potencia que se utilice en la ecuación se obtiene el resultado en términos de eficiencia indicada o eficiencia efectiva, de la siguiente forma:

$$n_i = \frac{P_i}{m_c + H_c} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$n_e = \frac{P_e}{m_c + H_c} \quad \text{Ecuación 31}$$

2.10 Eficiencia mecánica

Es la relación existente entre la eficiencia efectiva y la eficiencia indicada. (Basshuysen y Schäfer, 2004)

$$n_m = \frac{n_e}{n_i} \quad \text{Ecuación 32}$$

Al trabajar la ecuación anterior reemplazando los datos de cada eficiencia respectivamente, se obtiene:

$$n_m = \frac{P_e}{P_i} \quad \text{Ecuación 33}$$

2.11 Consumo de combustible

Para determinar el consumo de combustible de un motor que emplea el ciclo Otto en su funcionamiento, es necesario medir la cantidad de volumen o a su vez la cantidad de masa de combustible que ingresa a cada cilindro. (Basshuysen y Schäfer, 2004)

$$m_c = \frac{m_c}{t} \quad \text{Ecuación 34}$$

Expresando la ecuación en términos del flujo volumétrico se obtiene:

$$m_c = \delta_c + V_c \quad \text{Ecuación 35}$$

En la búsqueda por incrementar la precisión en el cálculo, también es de gran utilidad comparar el consumo de combustible con una referencia de potencia efectiva o potencia indicada con la finalidad de conseguir el consumo específico efectivo o a su vez el consumo específico indicado. (Basshuysen y Schäfer, 2004)

$$b_e = \frac{m_c}{P_e} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$b_i = \frac{m_c}{P_i} \quad \text{Ecuación 37}$$

2.12 Sistema de encendido de motocicleta de baja cilindrada.

La propia directriz de la actividad motora exige que se complete un ciclo de encendido en su interior, para lo cual son esenciales tres componentes: combustible, aire y calor.

(Bremond y Merceron, 2004) En los motores de baja cilindrada, como las motocicletas, su sistema de encendido es diseñado en base a la descarga capacitiva o CDI (Capacitive Discharge Ignition).

2.13 Componentes del sistema de encendido.

En las motocicletas de baja cilindrada su sistema de encendido se caracteriza por su sencillez de funcionamiento siendo conformado por los siguientes elementos:

2.13.1 *Generador de voltaje.*

Los circuitos del sistema requieren de alimentación voltaica relativamente alta para lograr que el capacitor del CDI cargue.

Los generadores que utilizan las motocicletas son monofásicos y trifásicos, su funcionamiento es a través de imanes permanentes incorporados en su volante de inercia que al girar solidarios al mismo inducen un voltaje e las bobinas del estator; dicho voltaje varía en función de la velocidad angular del cigüeñal oscilando entre los 100V y 400V RMS. (Lam, 2004)

2.13.2 *Pulser.*

Este elemento tiene la misión de identificar la posición angular en la que se encuentra el cigüeñal para que el sistema se encargue de hacer saltar la chispa dentro de la cámara de combustión, el pulser es el equivalente a un sensor CKP del tipo inductivo. (Lam, 2004)

Es una pequeña bobina montada sobre el estator del generador que a través de una protuberancia equivalente al diente de una rueda fónica ubicado en la periferia del volante de inercia induce un voltaje en la bobina y envía señales analógicas que varían en amplitud y frecuencia en función de la velocidad angular del cigüeñal. (Lam, 2004)

2.13.3 *Modulo del CDI.*

Tiene la tarea de gestionar el momento de activación de la bobina de encendido a través del procesamiento de la señal proveniente del pulser y enviando la señal voltaica hacia el bobinado primario y se realice el trabajo. Se sitúa entre el generador y la bobina de encendido, controlando la actividad del último por lo que puede considerarse como la mente de este marco.

2.13.4 *Bobina de encendido.*

Este elemento se encarga de incrementar el voltaje proveniente del CDI y enviar la alta tensión hacia la bujía para que salte una chipa entre sus electrodos; el voltaje elevado que sale de la bobina

depende del diseño de la misma y también de las necesidades del motor, generalmente su valor oscila entre 10Kv y 45Kv. (Hella KgaA Hueck y Co., 2009)

Está constituido por un núcleo de acero laminado cubierto por dos arrollamientos de alambre de cobre esmaltado que se denominan bobinado primario, encargado de recibir el voltaje de carga, y bobinado secundario a través del cual pasa la elevada tensión. Este último bobinado está conformado por 50000 vueltas de alambre de diámetro 0.05mm a 0.1mm mientras que el bobinado primario posee una relación de vueltas de alambre de 1:100 con diámetro de 0.6mm a 0.9mm. (Hella KgaA Hueck y Co., 2009)

2.13.5 Bujía.

Es el último componente en la cadena del sistema de encendido cuya misión es hacer saltar la chispa que aporta calor para que reaccione el combustible con el aire contenido en la cámara de combustión. (Lam, 2004)

El motor de combustión interna incrementa su eficiencia cuando en la bujía se produce una chispa de calidad, aproximadamente 20 mJ son necesarios para que se produzca una chispa aceptable.

El curso de la corriente se establece entre el electrodo focal y la terminal (es) de tierra, debido a la forma en que los electrones dejan un conductor caliente de manera más efectiva que uno frío, y el electrodo focal es más caliente que el electrodo de tierra. Además, el frente de fuego se mueve hacia el pistón, provocando que la onda expansiva progrese de manera similar, que es la más demostrada para aprovechar los impactos de la combustión. (Belló, 2017)

El electrodo focal está hecho de una amalgama de níquel, cromo, manganeso y silicio, los dos últimos unidos en pequeñas cantidades. Asimismo, todavía están hechos de cobre aleado con níquel, a pesar de que su vida útil es mucho menor, por lo que son incompatibles con los tramos de mantenimiento actuales dirigidos por los fabricantes de vehículos. En los encendidos actuales, con tramos de sustitución de bujías más notables de 100.000 km, se utiliza iridio en el electrodo medio, dadas sus características sobresalientes de resistencia y duración. (Belló, 2017)

En casos especiales, para su uso en competición, también se fabrican en platino, e incluso en plata, representados por una alta protección contra el desgaste y una alta conductividad, tanto térmica como eléctrica. Los de plata son de tamaño más modesto que los de cobre. Por tanto, los de platino son más modestos que los de plata. El electrodo de tierra está hecho de una combinación de níquel-cromo. (Belló, 2017)

El electrodo focal tiene una cubierta cerámica que actúa como protector, sin embargo, da inflexibilidad al ensamble. Ésta cubierta se lleva adicionalmente a la cámara de combustión, dejando solo los últimos 2-3 mm del electrodo focal sin aislar, ya que en cualquier otro caso la formación de la chispa estaría restringida. En el aumento del electrodo focal, conocido como cierre de asociación, en su parte superior hay una cuerda a la que la tuerca de asociación con la línea se conecta. Por lo tanto, hacia el exterior, la cubierta cerámica tiene ondulaciones (ver figura), para evitar fugas de corriente entre la asociación de hilos de asociación superior y la pieza metálica del cuerpo de la bujía. Dichas ondulaciones expanden la superficie cerámica, mejorando la protección. (Belló, 2017)

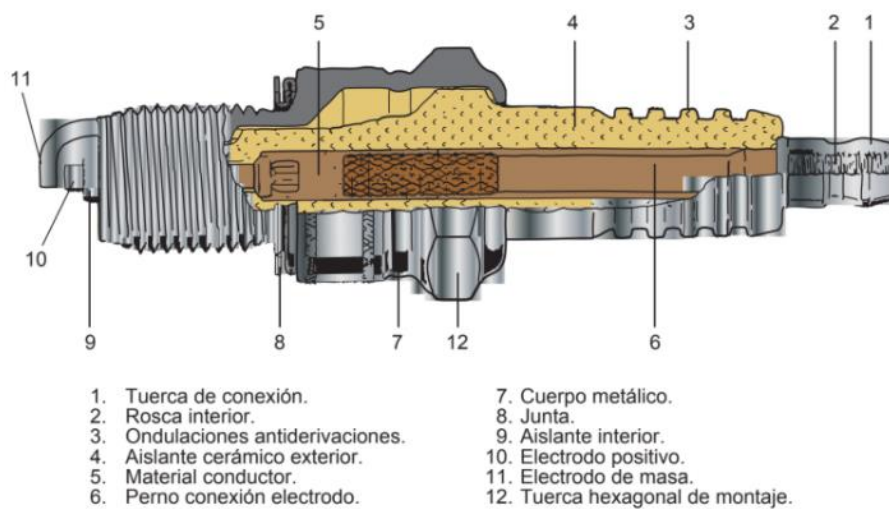


Figura 7-2: Disposición interior de una bujía.

Fuente: (Belló, 2017)

La bujía también tiene una parte metálica, a través de la cual se fija en el cabezote de la cámara y sirve como una conexión de tierra. Hacia el final de la rosca hay una junta no removible, para garantizar el ajuste entre la bujía y su alojamiento en el cabezal de la cámara, evitando fugas en la cámara de encendido. También hay conexiones brillantes en que la fijación se logra mediante métodos para el estado cónico de su región de asiento, quedando cortas sin la junta, lo que las hace menos utilizadas. (Belló, 2017)



Figura 8-2: Tipos de asientos de bujía.
Fuente: (Belló, 2017)

Hay varios anchos en la rosca de fijación, siendo los más reconocidos 14, 12 y 10 mm. La tendencia es utilizar cada vez menos dimensión diametral, para minimizar las cámaras de combustión, a pesar de que la expansión en la cantidad de válvulas por cámara ha disminuido el espacio accesible. Asimismo, la rosca puede tener varias longitudes. (Belló, 2017)

2.14 Grado Térmico.

Una de las cualidades fundamentales que caracteriza a una bujía es su grado térmico, que es su límite de salida de calor. La bujía debe funcionar constantemente en un rango de temperatura en el que se produzca la llamada autolimpieza, evitando la acumulación de depósitos de carbón y otras sustancias compuestas en sus electrodos. Por lo tanto, la vida útil es mayor, ya que se presenta menos al ataque de compuestos que se crean durante el encendido, a pesar de que su conductividad eléctrica no se reduce. La autolimpieza comienza a producirse entre 400 y 500 grados Celsius. Por otra parte, también debe evitarse que la temperatura llegue a niveles extremos, ya que podría provocar el autoencendido. Se establece un referente en torno a los 850 – 900 grados Celsius como la máxima referencia de temperatura, después de lo cual existe un peligro real de que la combinación se autoinflame. (Díaz y Diego, 2008)

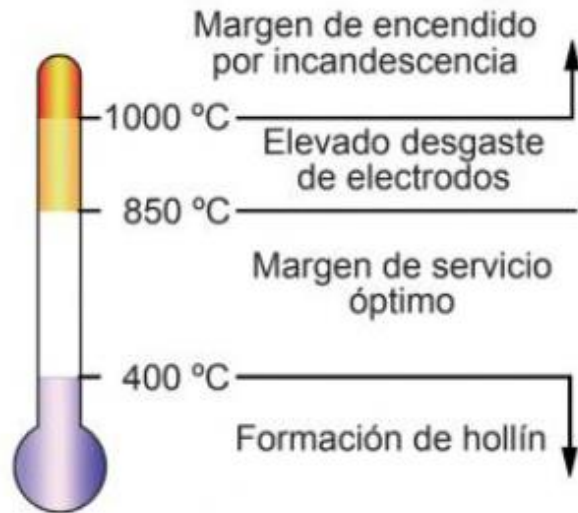


Figura 9-2: Temperaturas de funcionamiento de una bujía.

Fuente: (Belló, 2017)

El grado de calor depende del plano de la bujía y del curso de acción de la cubierta en la base del electrodo focal, cuanto más extenso y largo sea dicho protector, más limitada será la forma en que la energía calorífica necesita dispersarse. , por lo que tendrá la opción de vaciar una medida más prominente de calor. En consecuencia, la bujía tendrá una calificación de calor baja. Se dice que una bujía está fría cuanto más calor puede eliminar y, posteriormente, su grado de calor es menor. Es tendencia en los fabricantes de bujías aludir al grado térmico numerándolos desde una perspectiva ascendente, de modo que un registro de grado térmico 2 se relaciona con una bujía más fría que una cuyo valor es 8. No obstante, estos registros no son absolutamente idénticos entre varios productores, por lo que la bujía sugerida por el fabricante del motor debe instalarse en cada motor. (Díaz y Diego, 2008)

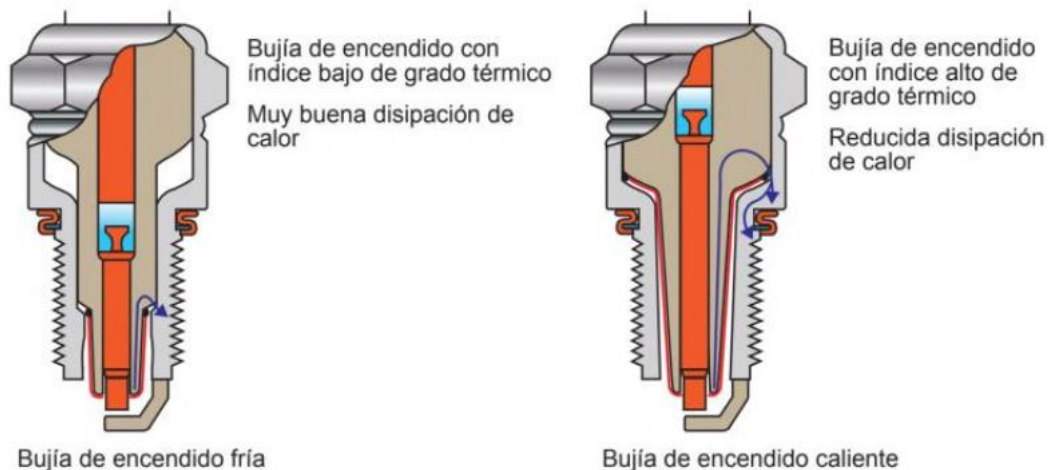


Figura 10-2: Concepto de grado térmico.

Fuente: (Belló, 2017)

2.15 Disposición de los electrodos.

Las bujías también pueden agruparse según el número de sus electrodos. Los que obtienen mejores resultados en el encendido son los nombrados de electrodo proyectado donde los dos electrodos sobresalen mucho del cuerpo de la bujía, por lo que la combustión comienza en una región más focal de la cámara de combustión. Este diseño disminuye el peligro de detonación ya que el frente de llama llega antes a los cierres más distantes de la cámara. En diferentes casos, los dos terminales están pensados para no sobresalir tanto, también hay diseños en los que no sobresalen en absoluto del cuerpo encordado. Esto para adaptarse a las distintas formas y perfiles de la cámara de encendido y la culata. Se ha vuelto común utilizar más de un electrodo de tierra, teniendo 2, 3 y hasta 4 terminales de tierra. En diferentes casos, el terminal de tierra tiene una muesca para favorecer la propagación del frente de llama. También hay bujías con una resistencia eléctrica inherente, también llamada supresor, para evadir la impedancia electromagnética producida por la sección de flujo. (Serpa et al., 2019)



Figura 11-2: Diferentes disposiciones de electrodos.
Fuente: (Belló, 2017)

2.16 Distancia disruptiva.

Es muy sabido que la parte principal de una bujía es la distancia disruptiva o la distancia entre los electrodos. Para calibrarlo, el terminal de tierra tiene cierta flexibilidad, por lo que muy bien se puede arquear cómodamente, con el objetivo de que se acerque o se aleje del electrodo focal. La configuración de la planta de procesamiento no necesita armonizar con la establecida por el fabricante del motor, por lo que debe revisarse antes de instalar otra bujía. Si ocurre que tiene más de un electrodo focal, la distancia disruptiva no se puede cambiar. A veces, la distancia disruptiva se muestra en su nomenclatura. (González, et al., 2019)

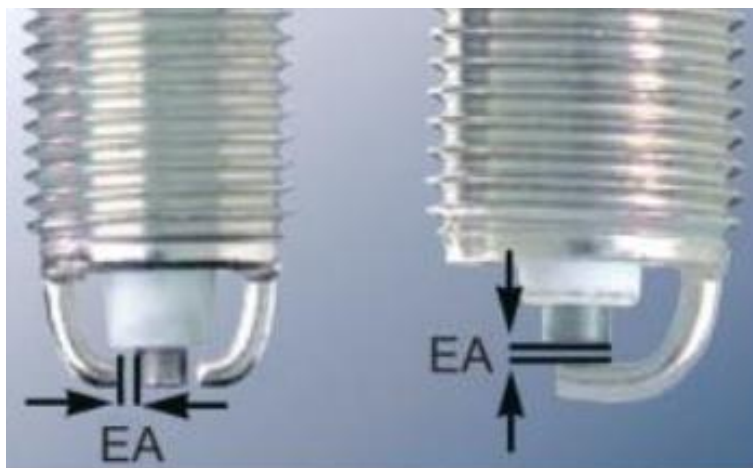


Figura 12-2: Distancia disruptiva.
Fuente: (Belló, 2017)

2.17 Aspecto de una bujía.

La apariencia de la bujía posterior a haber trabajado en un motor hace concebible conocer las condiciones en las que se produce el encendido. A continuación se muestran algunos modelos:

- El aspecto habitual debe ser de color blanco a marrón en tonos (Ver figura 13-2). Cuanto más oscura es, más enriquecida tiene la mezcla que suministra al motor. En el caso de que el aspecto sea demasiado blanquecino, la mezcla es excesivamente pobre. (Belló, 2017)



Figura 13-2: Aspecto ideal de una bujía.
Fuente: (Belló, 2017)

- Una bujía con elementos oscuros muestra una imperfección de dosificación genuina en la mezcla, debido a un canal de aire sucio, dispositivo de arranque en frío defectuoso, controlador de presión del riel de combustible, etc. (Belló, 2017)



Figura 14-2: Bujía carbonizada.
Fuente: (Belló, 2017)

- Si la bujía está cubierta de aceite, significa que el motor está consumiendo abundante lubricante, ya sea a través de los anillos del pistón o de las guías de las válvulas. (Belló, 2017)



Figura 15-2: Bujía engrasada.
Fuente: (Belló, 2017)

- Si se observan pequeñas cavidades en la protección del electrodo central, particularmente en su base, significa que hay detonación. En casos concretos, un cristal amplificador con tres o cuatro amplificaciones es excepcionalmente útil para desdeñar este suceso, dado el inminente peligro de rotura. (Belló, 2017)



Figura 16-2: Cráteres por detonación.
Fuente: (Belló, 2017)

- Si los terminales están fundidos, es porque el motor se ha calentado exorbitantemente o el nivel de calor de la bujía está excesivamente caliente. (Belló, 2017)



Figura 17-2: Fusión de los electrodos.
Fuente: (Belló, 2017)

- Los depósitos de plomo a nivel superficial muestran que el combustible es de baja calidad. Hoy en día, esto no augura nada bueno, ya que el combustible no tiene plomo. (Belló, 2017)



Figura 18-2: Depósitos por aditivos.
Fuente: (Belló, 2017)

2.18 Funcionamiento del CDI.

Como su nombre lo muestra, este módulo funciona cargando y liberando un condensador, que está acoplado a un par de componentes semiconductores que desempeñan la capacidad de coordinar el rumbo del flujo de corriente según lo necesite el circuito.

El arreglo más esencial es el siguiente:

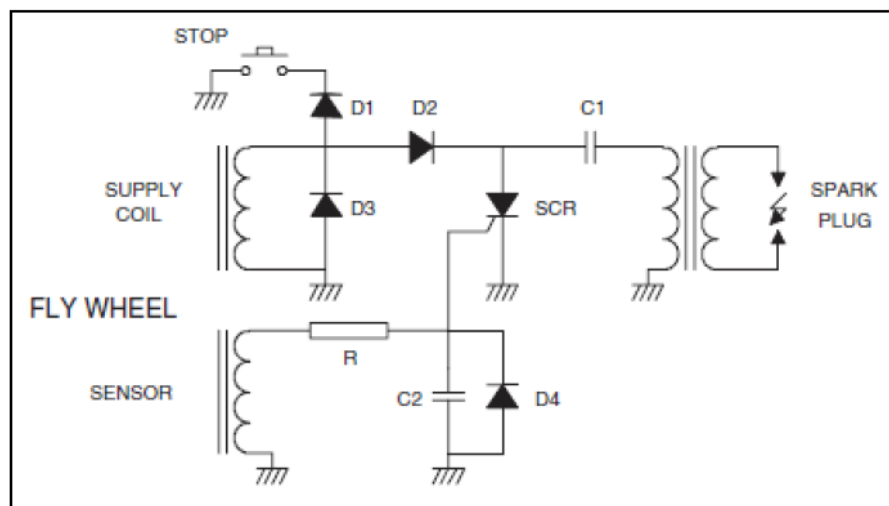


Gráfico 1-2: Configuración de un CDI.
Realizado por: (Bremond y Merceron, 2004)

La fuente (supply coil) envía un voltaje de sustitución aproximadamente sinusoidal al circuito, cuya máxima estima cambia como un elemento de la velocidad de revolución del motor.

Durante el pináculo positivo, la señal pasa por el diodo D2, dado que el SCR no se activa, la corriente puede fluir hacia el capacitor, que comienza su ciclo de carga; Este ciclo de carga continúa hasta que se cierra el círculo positivo o hasta que el capacitor está completamente energizado, por lo tanto, considerando todo, el voltaje del capacitor llega a su punto más extremo y se interfiere el flujo de corriente. (Bremond y Merceron, 2004)

Durante el ciclo negativo, la corriente que fluye hacia el otro lado, intenta pasar por el condensador en el otro sentido, lo que lo liberaría, sin embargo, el diodo D2 evita que la corriente continúe con su camino y, en consecuencia, mantiene la carga.

Para liberarse, el CDI necesita que se inicie el SCR, para lo cual existe el circuito de activación, que se activa cuando el sensor da la señal de que el pistón está en el punto necesario para que la chispa salte. (Lam, 2004)

En el momento en que el sensor imparte la señal, se adapta mediante métodos para la obstrucción R, el condensador C2 y el diodo D4, que permiten que la corriente se mantenga estable y llegue a la entrada o puerta SCR activándola, lo que crea que la carga guardada en el condensador C1 se entrega y envía una corriente que recorrerá lo esencial del bucle de arranque iniciando un voltaje en él, que de esta manera activará un voltaje más alto en el opcional, lo que producirá la chispa en la bujía. Los diodos D3 y D1 están organizados de modo que cuando necesite apagar el motor, el contacto de parada se cierra y la corriente del generador fluye directamente a tierra, evitando así que el ciclo de carga y liberación del condensador C1 se repita. (López et al., 2017)

2.19 Energía del capacitor.

Dado que una de las principales utilidades del condensador es almacenar energía, es fundamental establecer un enfoque para decidir cuánta energía se puede almacenar en él, para lo cual comienza con la medida de trabajo necesaria para cargar sus placas, teniendo posteriormente que esta es idéntica a la energía potencial almacenada en dichas placas. (Rees, 2007)

La expresión utilizada para el cálculo de la energía del capacitor es la siguiente:

$$W_c = \frac{C \cdot V^2}{2} \quad \text{Ecuación 38}$$

Siendo:

W_c	Energía del capacitor
C	Capacitancia
V	Voltaje de carga

2.20 Avance al encendido

Como se mostró anteriormente, el módulo CDI está compuesto por un circuito que recepta la señal del pulser y la prepara para activar el scr, sin embargo, ésta configuración mantiene constante la posición angular en que realiza el aporte de chispa a través de todos los regímenes en que el motor pueda trabajar.

La velocidad con la que se propaga el frente de llama es aproximadamente constante, en cualquier caso, la velocidad del pistón dependerá de las revoluciones por minuto del motor y, a medida que éstas aumenten, la explosión no tendrá la opción de finalizar en el tiempo apropiado y no lo hará suceder de tal manera que la presión de combustión pueda empujar productivamente el pistón en la carrera de trabajo. (Zareei y Kakaee, 2013)

Esto demuestra que para que el encendido de la mezcla aire combustible tenga la opción de ser completo y efectivamente, es esencial que comience antes de que el pistón llegue a la parte superior en la carrera de compresión.

Para abordar este problema, es importante unir en el marco un componente que permita anticipar la situación en la que ocurre el salto de chispa para que pueda transmitir la mejor medida de energía solidaria al desplazamiento del pistón.

Sin embargo, los diferentes límites que se identifican directamente con el avance de encendido son la eficiencia y las emisiones, lo que aumenta la importancia de este factor, ya que permite que los motores se aclimaten a las normas ecológicas actuales y establezcan enfoques para lo que está por venir. (Zareei y Kakaee, 2013)

2.20.1 Funcionamiento del avance de encendido

Los primeros sistemas de avance al encendido se componían de sistemas centrífugos, conformados por dos resortes que permitían controlar en la medida de lo posible el adelanto al salto de chispa, al igual que la medida del mismo. (Belló, 2017)

Sin embargo, hoy en día los avances en la electrónica han permitido la producción de módulos más exactos y adaptables que su socio mecánico, en su diseño más esencial, obtienen datos sobre la velocidad del motor mediante el pulser o ckp y de ahí calculan los niveles de avance que

necesita el motor o mirar la estimación de una tabla guardada en la memoria interior y tomar desde ese punto la cantidad de niveles de avance requeridos. (Banish, 2007)

Es concebible obtener una curva característica de la conexión entre la velocidad del motor y los niveles de avance, llamada curva de avance de inicio, que puede tomar varias estructuras dependiendo del motor en el que está funcionando, teniendo de todos modos un seguimiento ordinario específico que se puede sin mucho esfuerzo percibir. (Belló, 2017)

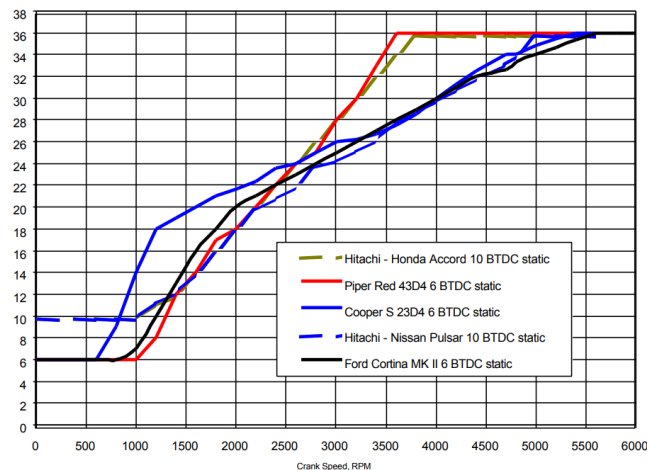


Gráfico 2-2: Curvas de avance de diferentes fabricantes.

Realizado por: (Chichak, 2002).

2.21 Encendido de doble bujía.

Es una disposición que se ha aplicado a motores con cualidades únicas, incluso en los primeros años del siglo XX, con la que se abordan ciertos problemas experimentados con un encendido habitual de una bujía solitaria para cada cámara. Se utiliza, de manera especial, en motores con una gran superficie de cámara de combustión, ya sea por un alto valor de cilindrada unitaria, por una proporción diámetro carrera muy por encima de la unidad (motores supercuadrados), o por una combinación de ambos. En estos motores, el problema es que el frente de llama tarda más de lo debido en llegar al conjunto situado en los cierres de la cámara. Para prevenir el evento de explosión en esta parte de la mezcla, el avance de inicio debe reducirse, perdiendo así rendimiento térmico. Se dispone una bujía adicional, controlada por un circuito de encendido libre, en cualquiera de sus variaciones. En ciertos modelos, el salto de chispa entre dos bujías de una cámara común no se realiza simultáneamente, saltando primero en la bujía más allá de la parte focal. (Belló, 2017)

2.22 Ventajas del encendido de doble bujía.

La velocidad de combustión es mucho más alta, lo que reduce el peligro de autoencendido y se puede organizar un punto de avance inicial más alto. El rendimiento térmico es adicionalmente mucho mayor, ya que al acelerar el quemado de la mezcla, se disminuyen las pérdidas por calor, obteniendo una mejora en las prestaciones del motor con menor consumo de combustible.

Menores salidas de hidrocarburos (partículas de combustible no quemadas). Volviendo de nuevo a los motores en los que la bujía está distante de algún extremo de la cámara de encendido, existe el peligro de que la mezcla que se encuentra allí no se consuma y produzca contaminación.

Es un método poco utilizado generalmente en vehículos, a pesar de que en ciertas motocicletas se lo emplea cuando poseen una cilindrada unitaria grande. En los últimos tiempos, su utilización se ha vuelto más amplia por la disminución lograda en las descargas contaminantes que por la mejora que implica en las prestaciones del motor, que además se percibe al suavizar la curvatura del torque motor. Los intervalos de mantenimiento no se ven afectados y las bujías deben reemplazarse con una recurrencia como la de los encendidos habituales. (Belló, 2017)

2.23 Emisiones contaminantes

Quizás las principales conversaciones actuales sobre el cambio ambiental se refieren al tema de los subproductos bajos de combustibles fósiles y su impacto en el bienestar humano. La energía utilizada en versatilidad cubre más del 25% del suministro energético mundial, el interés mundial por el petróleo se concentra en el área de vehículos con más de la mitad, y la mayor parte en el transporte urbano. El marco de transmisión más utilizado hoy en día es el motor de combustión interna MCI. Con mucho, la mayoría de los estudios identificados con MCI dependen de la disminución de la utilización de combustible y la disminución de las emanaciones de suciedad. Las emanaciones de vehículos son una fuente importante de contaminación del aire metropolitano. La contaminación del aire es un problema notable que va desde problemas de calidad del aire cercanos hasta los impactos mundiales que enfrenta la humanidad. Después del Foro Internacional de Transporte, las descargas de CO₂ del área de vehículos abordan el 23% en todo el mundo y el 30% de la OCDE de las emanaciones completas de CO₂ de la copia de fuentes de energía no renovables. (Tipanluisa et al., 2017)

Las normas de emisiones de vehículos son los instrumentos de disposición especializados para aliviar las emanaciones de vehículos. Los sistemas de prueba de flujo de salida para vehículos ligeros dependen de un ciclo de cambio que aborda el ejemplo de conducción de un país específico. Los ciclos de vehículos ligeros de obligación son FTP-75 y NEDC utilizados en la metodología de prueba de Estados Unidos y Europa, por separado. Los factores de emanación son

la medida normal de las toxinas irradiadas por una especie de vehículo. Estos se comunican en cuanto a la masa de contaminación radiada por unidad de distancia recorrida o por unidad de combustible consumido. Decidir estos componentes aborda increíbles dificultades para los especialistas en ecología. (Tipanluisa et al., 2017)

Para obtener el patrón de conducción normal de la ciudad y medir las emanaciones de innumerables vehículos manteniendo las técnicas estándar, se han creado algunos trabajos para localizar el patrón de conducción promedio de cada ciudad. Las descargas se evalúan mediante ASM 5015, ASM 2525 o un tipo de prueba comparable. (Tipanluisa et al., 2017)

2.24 Proceso de emisión de los vehículos

Como regla general, los vehículos propulsados por motores de encendido provocado producen tres tipos de salidas de gases sucios: a) emisiones evaporativas y b) emisiones por el tubo de escape, al igual que c) emisiones de partículas debido al desgaste de los dos frenos y de los neumáticos. A continuación se examinan solo las emisiones por el tubo de escape, ya que las emanaciones de partículas del desgaste de los frenos y neumáticos y las salidas de evaporación no están cubiertas por el alcance de este estudio. (Iñiguez et al., 2017)

2.24.1 Emisiones por el tubo de escape

Las salidas del tubo de escape son el resultado del consumo de combustible (ya sea gas, diesel u otros, por ejemplo, gas licuado o biocombustibles) e implican una progresión de toxinas, por ejemplo, monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y partículas. Además, ciertas sustancias extrañas presentes en el combustible, por ejemplo, el azufre y, hasta hace unos años antes, el plomo se entregan al clima a través del ciclo de ignición. Las emanaciones del tubo de escape se basan en las cualidades del vehículo, su innovación y su marco de control de descarga; Los vehículos más pesados o aún más impresionantes producirán en general mayores salidas por kilómetro de viaje y las normas que dirigen el desarrollo del vehículo deciden tanto su innovación como la presencia o no aparición de hardware de control de descarga, por ejemplo, sistemas de escape. Las variables de mantenimiento y funcionamiento del vehículo, el ritmo de conducción, la recurrencia y la fuerza de las velocidades crecientes y los atributos del combustible (por ejemplo, su contenido de azufre) desempeñan un papel decisivo en las salidas de humos. (Iñiguez et al., 2017)

2.25 Contaminantes emitidos por las fuentes vehiculares y sus impactos en el medio ambiente y la salud

La gasolina y el diesel son esencialmente combinaciones de hidrocarburos, intensifica que contienen hidrógeno y partículas de carbono. En el caso de que la combustión en un motor fuera perfecta, el oxígeno perceptible a su alrededor cambiaría todo el hidrógeno del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono. Como regla general, el ciclo de encendido no es bueno y, posteriormente, los motores irradian diferentes tipos de toxinas. (Contreras et al., 2020)

Su significado explícitamente en cuanto a sus efectos sobre el bienestar y el clima se describe momentáneamente a continuación:

- **Hidrocarburos (HC):** Las salidas de hidrocarburos se producen cuando el combustible del motor no está totalmente quemado. Existe una increíble variedad de hidrocarburos vertidos al aire y de ellos los más fascinantes, por sus efectos sobre el bienestar y el clima, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estas mezclas son antecedentes de ozono y algunas de ellas, por ejemplo, benceno, formaldehído y acetaldehído, tienen una alta toxicidad para las personas. (Contreras et al., 2020)
- **Monóxido de carbono (CO):** el monóxido de carbono es el resultado de una combustión inadecuada y ocurre cuando el carbono del combustible se oxida de forma incompleta. El monóxido de carbono se adhiere eficazmente a la hemoglobina en la sangre y disminuye la progresión del oxígeno en el sistema circulatorio, provocando modificaciones en los marcos ansioso y cardiovascular. (Rivera y Vera, 2018)
- **Óxidos de nitrógeno (Nox):** Bajo las condiciones de alta temperatura y factor de presión que ganan en el motor, las partículas de nitrógeno y oxígeno perceptibles responden al monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y otros óxidos de nitrógeno menos comunes, en el marco todo conocido como Nox. Los óxidos de nitrógeno, similares a los hidrocarburos, son precursores del ozono. De la misma manera, con la presencia de bochorno en el clima, se vuelven corrosivos nítricos, lo que se suma a la maravilla conocida como aguacero corrosivo. La apertura intensa al NO₂ puede incrementar las infecciones respiratorias, particularmente en los jóvenes y en las personas con asma. La apertura persistente a esta toxina puede reducir las protecciones contra la contaminación respiratoria. (Caiza y Portilla, 2011)
- **Dióxido de azufre (SO₂):** El SO₂ es un gas insípido con olor sólido, que se crea debido a la presencia de azufre en el combustible. En el momento en que se oxida en el clima, produce sulfatos, que son importantes para la materia particulada. Este compuesto es molesto para los ojos, la nariz y la garganta y exaspera los efectos secundarios del asma y la bronquitis. La apertura prolongada al dióxido de azufre disminuye la capacidad pulmonar y causa enfermedades respiratorias. (Contreras et al., 2020)

- Partículas (PM): Las partículas son, además, el resultado de medidas de encendido en los motores de los vehículos. Esta contaminación es una de las que más afecta al bienestar humano; se ha relacionado con indicaciones ampliadas de infecciones respiratorias, disminución del trabajo pulmonar, combustible del asma y muertes prematuras por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. (Rivera y Vera, 2018)
- Plomo (Pb) y otras sustancias metálicas añadidas: Su utilización como antidetonante en el gas ha provocado desde hace bastante tiempo emanaciones que afectan gravemente el coeficiente intelectual de los niños. En cualquier caso, desde 1998 el combustible que se anuncia no contiene plomo. (Caiza y Portilla, 2011)
- Amoníaco (NH₃): Las descargas de amoníaco son naturalmente significativas debido a la forma en que este veneno normalmente responde con Sox y Nox para formar partículas secundarias, por ejemplo, sulfato de amonio [(NH₄)₂SO₄] y nitrato de amonio (NH₄NO₃), que afectan esencialmente disminución de la perceptibilidad. La apertura a altas centralizaciones de esta toxina puede causar molestias en la piel, irritación pulmonar e incluso edema pulmonar. (Contreras et al., 2020)
- Dióxido de carbono (CO₂): el dióxido de carbono no es peligroso para el bienestar, pero es un gas con un impacto invernadero que atrapa el calor de la tierra y realmente se suma a la alteración de la temperatura mundial. (Rivera y Vera, 2018)
- Metano (CH₄): El metano es además una sustancia que agota la capa de ozono creada durante las medidas de ignición en los vehículos. Tiene un potencial de calentamiento varias veces mayor que el del dióxido de carbono. (Caiza y Portilla, 2011)
- Óxido nitroso (N₂O): Esta contaminación, que tiene un lugar con el grupo de óxidos de nitrógeno, también se suma al impacto invernadero y su potencial de calentamiento es varias veces más prominente que el dióxido de carbono. (Rivera y Vera, 2018)

2.26 Elementos del módulo de encendido de doble bujía

El diseño dispone de una serie de componentes electrónicos agrupados por circuitos e interconexiones por medio de una instalación eléctrica. Actualmente los sistemas automotrices cada vez sustituyen los sistemas mecánicos por los electrónicos. Por ejemplo la unidad de control electrónico es el corazón de un vehículo debido a sus múltiples funciones como el control de la combustión que en el presente trabajo se le otorga especial atención.

El módulo de encendido diseñado para controlar una configuración de doble bujía necesita de elementos electrónicos capaces de brindar la mayor precisión posible, mismos que se citan a continuación:

2.26.1 Filtro paso alto

El filtro de paso alto es un circuito que permite el paso de señales de alta recurrencia y obstaculiza el paso de las señales de baja recurrencia, es decir, las señales de alta recurrencia atraviesan el circuito de manera considerablemente más efectiva mientras que las señales de baja recurrencia tienen problemas más prominentes para atravesarlo, convirtiéndolo en un circuito de paso alto. (Gutiérrez, 2009)

Los filtros de paso alto emplean para su manufactura resistencias combinadas con capacitores o inductores, y en función de la configuración que se le dé al filtro se puede obtener un filtro RC de paso alto cuando se ha utilizado la combinación resistencia y capacitor, o a su vez se puede obtener también un filtro RL de paso alto si se utiliza la combinación resistencia e inductor. (Taboada et al., 2004)

2.26.2 Filtro RC paso alto

El filtro RC de paso alto tiene la función de permitir que atraviesen el mismo únicamente las señales que poseen alta frecuencia, para que esto sea posible la configuración del filtro debe combinar el uso de resistencia y capacitor colocados en serie con la señal que ingresa al circuito, como se muestra en el siguiente gráfico:

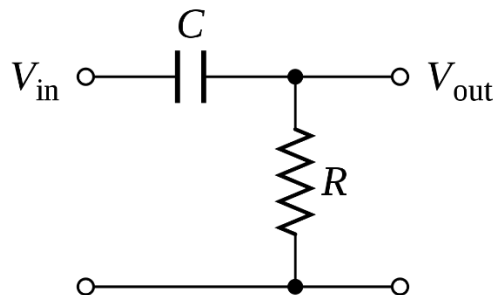


Gráfico 3-2: Configuración RC filtro paso alto

Realizado por: Sandoya, 2020

Teniendo en cuenta lo reactivo que es un capacitor es posible aprovechar las variadas resistencias que éste presenta a las diversas frecuencias que ingresan, de ésta manera favorece al filtrado la elevada resistencia del capacitor hacia las señales de baja frecuencia y a su vez la baja resistencia que presenta ante las señales de elevada frecuencia.

Debido a que presenta una gran resistencia contra las señales de corriente continua, impide su entrada, como se observa en el gráfico anterior. Posteriormente, este tipo de canal solo permite que los signos de alta recurrencia pasen por DC. El capacitor elegido para ésta configuración

también actúa como un capacitor de acoplamiento, ya que acopla la señal de CA comenzando con una pieza de un circuito y luego con la siguiente, mientras obstaculiza la señal de CC. (Sandoya, 2020)

Los filtros de paso alto tienen frecuente aplicación y se aplican en diversos tipos de circuitos. Por ejemplo, una aplicación puntual de éste circuito es en la manufactura de micrófonos que a su vez necesita de señales de corriente continua como de corriente alterna para su funcionamiento. El micrófono utiliza la corriente continua como fuente de alimentación y la corriente alterna la utiliza para poder grabar ruidos, música, y el mismo habla humana. Por tanto, gestionan los dos tipos de signos. Simplemente se espera que la corriente continua controle el micrófono sin que ésta aparezca en el rendimiento con la señal de corriente alterna. La corriente continua es solo para potencia y no debe mezclarse con la señal de sonido. Entonces, para obtener la señal de corriente alterna e impedir la señal de corriente continua, se emplea un filtro de paso alto, por lo que solo la señal de corriente alterna se observa en el rendimiento. (Sandoya, 2020)

2.26.3 Amplificador operacional

Gran parte del control y estimación de los ciclos mecánicos se completa mediante métodos para circuitos electrónicos, siendo el potenciador operacional un módulo fundamental de dichos circuitos de control. Aunque en un grado cada vez mayor, el manejo de datos y la dinámica del marco se completa con circuitos avanzados o marcos basados en microchip, cambiando los factores estimados (temperatura, presión, velocidad, etc.) en factores eléctricos: flujo o voltaje (en sensores), o transformación opuesta (en actuadores simples), requiere circuitos simples, donde el locutor operacional asume una parte crucial. (Pereira et al., 2014)

Una razón de la fama del amplificador de operación es su flexibilidad que le permite hacer casi cualquier cosa con él. Mucho más significativo, el intensificador operacional del circuito incorporado (IC) muestra atributos que apenas llegan a lo que se considera ideal. Esto sugiere que es muy sencillo configurar circuitos utilizando el amplificador de operación IC. Asimismo, los circuitos del amplificador de operación funcionan a niveles extremadamente cercanos a la ejecución hipotética que se anticipa. (Franco et al., 2005)

Un potenciador de críticas negativas o un hablante de críticas es un intensificador electrónico que quita una pequeña parte de su rendimiento de su información, por lo que la entrada negativa restringe el primer signo. La crítica negativa aplicada puede mejorar su exposición (adquirir seguridad, linealidad, reacción de recurrencia, reacción escalonada) y disminuir la afectación a las variedades límite debido al montaje o al clima. En vista de estos puntos de interés, numerosos mejoradores y marcos de control utilizan información negativa. (Laime, 2018)

2.26.4 Compuerta lógica CD 4093

Este segmento electrónico se trabaja con innovación CMOS (semiconductores de óxido metálico recíprocos) introduciendo alta impedancia y afectabilidad de la información. Las fuentes de información están aseguradas contra la liberación de electricidad estática por diodos asociados con VDD y VSS. Funciona con un fundamento positivo, es decir, el nivel de voltaje del fundamento “1” es más alto que el fundamento “0”. Tiene dos capacidades esenciales:

- Dado por sus cuatro puertas NAND de 2 entradas. Esta puerta es una entrada lógica que ejecuta la combinación inteligente desacreditada, cuando en cualquier caso una de sus fuentes de información está en cero consistente, el rendimiento será uno sensible, mientras que si todas las fuentes de datos están en una legítima, el rendimiento será cero coherente. . Esta entrada es excepcionalmente valiosa cuando necesita percibir un cero en cualquiera de sus fuentes de datos. Es como la entrada AND invalidada. (Callisaya y Márquez, 2016)
- La capacidad posterior proviene de la actividad de los circuitos de disparo Schmitt en sus fuentes de información. El rendimiento cambia de “1” coherente a “0” legítimo cuando la contribución en el borde ascendente pasa por el punto (V_p), y se vuelve constante 1 cuando la contribución en el borde descendente pasa por el punto (V_n). La distinción de voltaje entre estos dos focos se conoce como voltaje de histéresis (V_h) y asegura la falta de susceptibilidad a la conmoción de los circuitos de disparo Schmitt. (Zúñiga et al., 2013)

Las señales de información con formas de onda no rectangulares (sinusoidal, diente de sierra, rendimiento de captación atractiva u óptica, etc.) se percibirán con mucha atención al pasar por estos enfoques. Esta parte electrónica se presenta en un paquete DIL-14, separado por la letra de adición. Para la preparación de arcilla D y F, E es para preparación de plástico y H para forma de chip. (Castro, 2015)

2.26.5 Arduino nano

Arduino es una etapa de creación de gadgets de código abierto, que depende de equipos y programación gratuitos, adaptables y fáciles de usar para fabricantes y diseñadores. Esta etapa permite la fabricación de varios tipos de microcomputadoras de placa única que pueden ser utilizadas por el ingeniero del área local para diversos tipos de utilización. (Deshmukh y Shinde, 2016)

Para comprender esta idea, primero debe comprender las ideas de equipo y programación gratuitos. Los equipos libres son los gadgets cuyas determinaciones y gráficos se abren abiertamente con el objetivo de que cualquiera pueda recrearlos. Esto implica que Arduino ofrece las bases para que algún otro individuo u organización pueda hacer sus propias hojas, teniendo la opción de ser diverso entre ellas pero igualmente útil al comenzar desde una base similar. (Santosa y Waluyanti, 2019)

La programación gratuita son programas de PC cuyo código está disponible para cualquier persona para que cualquier persona que lo necesite pueda utilizarlo y ajustarlo. Arduino ofrece la etapa Arduino IDE (Integrated Development Environment), que es un clima de programación con el que cualquiera puede realizar aplicaciones para hojas Arduino, por lo que se le puede dar una amplia gama de utilidades. (Asmi y Candra, 2020)

La empresa se lanzó al mundo en 2003, cuando algunos suplentes del Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia, fomentaron la entrada y la utilización de la electrónica y la programación. Lo hicieron para que los suplentes de gadgets tuvieran una opción menos costosa en comparación con los sellos BASIC convencionales, placas que estaban valoradas en más de cien dólares en ese momento, y que no todas las personas podían soportar. (Kurniawan y Rivai, 2018)

El resultado fue Arduino, una placa con todos los componentes esenciales para conectar los periféricos a las fuentes de información y rendimientos de un microcontrolador, y que se puede modificar en Windows, macOS y GNU / Linux. Una empresa que promueve la teoría del aprender haciendo, lo que implica que el enfoque más ideal para aprender es el mencionado. (Kumar et al., 2019)

Arduino es una placa cuya actividad depende de un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos incorporados en los que se pueden grabar direcciones, que compones con el lenguaje de programación que puedes usar en el clima Arduino IDE. Estas pautas le permiten crear programas que cooperen con el hardware de la placa. (Umarkar y Karwankar, 2016)



Figura 19-2: Arduino nano

Fuente: Asmi y Candra, 2020

El microcontrolador Arduino tiene lo que se llama una interfaz de información, que es una asociación en la que podemos interconectar varios tipos de periféricos en la placa. Los datos de estos periféricos con los que interactúas se trasladarán al microcontrolador, que se encargará de manejar la información que llegue a través de ellos. (Kumar et al., 2019)

El tipo de periféricos que puede utilizar para enviar información al microcontrolador depende en gran medida del uso que esté pensando. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, consolas para ingresar información o varios tipos de sensores. (Santosa y Waluyanti, 2019)

Asimismo, tiene una interfaz de rendimiento, que se encarga de transmitir los datos que se han manejado en el Arduino a diferentes periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en los que duplicar la información preparada, sin embargo también pueden ser diferentes hojas o reguladores. (Umarkar y Karwankar, 2016)

Arduino es una empresa y no un modelo de placa en particular, lo que implica que al compartir su plan esencial se pueden descubrir varios tipos de hojas. Vienen en diferentes formas, tamaños y tonos para abordar los problemas de la empresa que está realizando, hay algunos sencillos o con aspectos destacados mejorados, arduinos situados en el Internet de las cosas o la impresión 3D. (Kumar et al., 2019)

Además, las hojas de Arduino también tienen diferentes tipos de segmentos llamados Shields o mochilas. Es una especie de carga que interactúa con la carga principal para agregar una horda de capacidades, por ejemplo, GPS, cronometradores continuos, red de radio, pantallas de contacto LCD, cargas de avance y un etcétera excepcionalmente largo de componentes. Incluso hay tiendas

con segmentos que representan una autoridad considerable en estos componentes. (Santosa y Waluyanti, 2019)

2.26.6 Transistor de efecto de campo

El semiconductor de impacto de campo de semiconductor de óxido de metal o MOSFET (semiconductor de impacto de campo de semiconductor de óxido de metal) es un semiconductor que se utiliza para intensificar o cambiar señales electrónicas. Es el semiconductor más utilizado en el negocio de la microelectrónica, independientemente de si se trata de circuitos simples o avanzados, aunque el semiconductor de intersección bipolar fue considerablemente más común en algún momento. A todos los efectos, todos los microchips comerciales dependen de semiconductores MOSFET. (Maloberti et al., 2015)

El MOSFET es un dispositivo de cuatro terminales llamado Source (S, Source), Drain (D, Drain), Gate (G, Gate) y Substrate (B, Bulk). Sea como fuere, el sustrato está asociado en general dentro del terminal de origen y, por lo tanto, se pueden encontrar dispositivos MOSFET de tres terminales. (Rojas, 2017)

El término ‘metal’ en el nombre MOSFET es actualmente inexacto ya que el aluminio que era el material de entrada hasta mediados de la década de 1970 fue reemplazado por silicio policristalino debido a su capacidad para dar forma a puertas autoajustables. Las entradas de metal están adquiriendo ubicuidad una vez más, dado el problema de acelerar los semiconductores sin utilizar segmentos de metal en la puerta. Además, el ‘óxido’ utilizado como protección en la entrada también ha sido suplantado por diferentes materiales para obtener canales sólidos con el uso de tensiones más bajas. (Rosero y Castillo, 2017)

Un semiconductor de impacto de campo de puerta protegida (IGFET) es un término conectado que es idéntico a un MOSFET. El término IGFET es más completo, ya que numerosos semiconductores MOSFET utilizan una entrada que no es metálica y un protector de puerta que no es un óxido. Otro dispositivo conectado es el MISFET, que es un semiconductor de impacto de campo semiconductor con separador de metales. (Guevara et al., 2020)

2.26.7 Transistor IGBT

El semiconductor bipolar de puerta protegida (conocido por la abreviatura IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor) es un dispositivo semiconductor que se aplica como un interruptor controlado en circuitos electrónicos de fuerza. Este dispositivo tiene los atributos de señal de puerta de los

semiconductores de impacto de campo con la capacidad de alta corriente y bajo voltaje de inmersión del semiconductor bipolar, uniendo un FET de entrada desconectado para la entrada de control y un semiconductor bipolar como interruptor en un dispositivo solitario. El circuito de conducción del IGBT se asemeja al del MOSFET, mientras que los atributos de conducción se parecen a los del BJT. (Iwamuro y Laska, 2017)

Los semiconductores IGBT han permitido mejoras que no habían sido prácticas hasta ese momento, específicamente en inversores de recurrencia así como en aplicaciones en máquinas eléctricas, convertidores de potencia, mecanización de viviendas y Sistemas de Energía Ininterrumpida, entre diferentes aplicaciones. (An et al., 2018)

El semiconductor IGBT es razonable para intercambiar velocidades de hasta 100 kHz y ha suplantado al BJT en numerosas aplicaciones. Se utiliza en aplicaciones de energía media y alta como fuente intercambiada, control de apoyo en motores y cocinas de aceptación. Los grandes módulos IGBT se componen de numerosos dispositivos en igualdad de condiciones que pueden manejar altos flujos a pedido de muchos amperios con voltajes de tensión de 6.000 voltios. (Baliga, 2015)

El IGBT puede considerarse un semiconductor Darlington cruzado. Tiene el límite de corriente de un bipolar pero no necesita la corriente de base para seguir dirigiendo. De todos modos, la base que intercambia flujos transitorios puede ser igualmente alta. En aplicaciones de hardware de fuerza, se encuentra en el medio entre tiristores y MOSFET. Maneja más fuerza que las siguientes, siendo más lenta que ellas y todo lo contrario respecto a las iniciales. Este es un gadget para intercambiar en marcos de alto voltaje. El voltaje de control de la puerta es de alrededor de 15 V. Esto ofrece la ventaja de controlar los marcos de fuerza mediante la aplicación de una señal de información eléctrica frágil en la puerta. (Smirnov, 2017)

CAPITULO III

3. METODOLOGIA

3.1 Parámetros de diseño

Para dar inicio al diseño del módulo de control de encendido se debe de considerar las especificaciones del motor y sus modos de operación, que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 1-3: Especificaciones del motor

Parámetros	Valor
Cilindrada	196.8 cc
Régimen de giro de motor (Ralentí)	1000 rpm
Máximo régimen de giro de motor	10000 rpm
Temperatura óptima funcionamiento	117 °C
Sistema de dosificación	Carburador

Fuente: Autores, 2021

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Además, mantener la originalidad del motor tratando de no modificar su estructura a excepción de la culata del motor, la cual debe ser mecanizada para lograr el montaje de la segunda bujía; también utilizar los mismos componentes eléctricos del motor como el sensor de posición de cigüeñal o bobina captadora y la bobina de alta tensión; otro factor importante son las condiciones de operación para el módulo de encendido, se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 2-3: Condiciones de operación del módulo de encendido.

Parámetros	Valor
Voltaje de alimentación DC	8-15 V
Voltaje de señal bobina captadora AC	60 Vp

Fuente: Autores, 2021

Realizado por: Cajas Pereira José, 2021

Nota: Cabe recalcar que no se usará las bobinas de alimentación de capacitor ya que el sistema a desarrollar será un sistema transistorizado.

3.2 Diseño de módulo de encendido.

Dado que la investigación se basa específicamente en el sistema de encendido, el prototipo a desarrollar solo controlara el salto de chispa en las bujías, es decir se mantendrá la dosificación de combustible mediante un carburador.

El módulo de encendido se encargará de adquirir la señal de la bobina captadora de posición de cigüeñal y procesar para posteriormente emitir una señal para la activación de los actuadores en este caso la bobina de alta tensión.

3.3 Arduino nano

Como ya se conoce las plataformas Arduino son placas equipadas con microcontroladores ATMEL programables, el Arduino nano posee un microcontrolador ATMEGA 328, el cual es el indicado para realizar las funciones para el módulo de control debido a sus características que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3-3: Características de arduino nano

Características	
Arquitectura	AVR
Voltaje de entrada	7-12 V
Voltaje de operación	5 V
Memoria flash	32 KB
SRAM	6 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Pines In/Out analógicos	8
Pines In/Out digitales	22
Salida PWM	6
Dimensiones	18 x 45 mm
Peso	7 g
Temperatura de operación	-40 C a 120°C

Fuente: Santosa y Waluyanti, 2019

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

La selección de esta placa se da a través del análisis del número periféricos de entradas y salidas necesarias para el funcionamiento del módulo de encendido, para este caso es necesario trabajar con una entrada para la lectura del trigger o disparo emitido por la bobina captadora de posición de cigüeñal y una salida para la activación de la bobina de alta tensión, además por la facilidad de programación que permite esta plataforma.

3.4 Terminales de entradas y salidas de módulo de control.

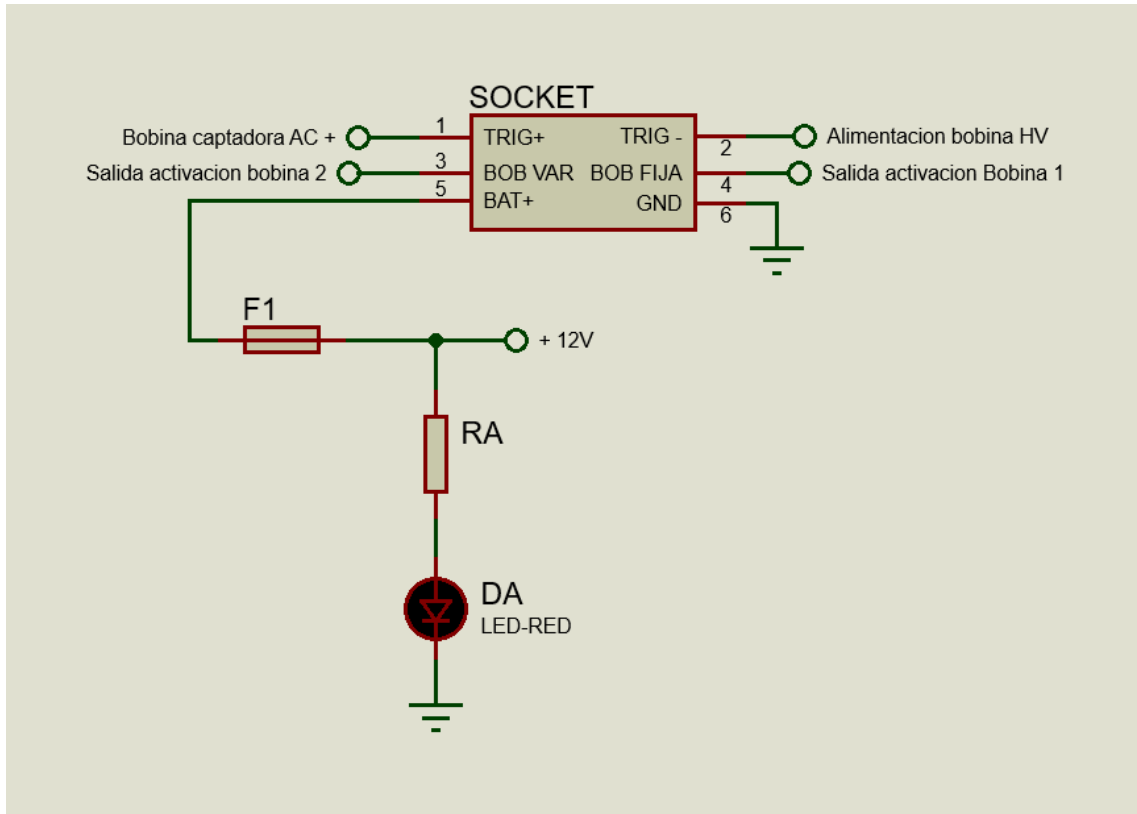


Gráfico 1-3: Conexión del socket del módulo de encendido de doble bujía.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Para el funcionamiento del módulo de control es necesario conocer las variables a analizar como lo es la señal de la bobina captadora la misma que permitirá conocer la posición de cigüeñal con respecto al punto muerto superior, dado que este sensor es del tipo magneto resistivo inductivo emite una señal de corriente alterna AC conectados terminal 1 de socket ; en el terminal 2 emite una señal de alimentación a bobinas de HV; como se tendrá bobina independientes para cada bujía, es necesario tener dos salidas de activación de bobinas conectadas en los terminales 3 y 4 , finalmente para es indispensable tener una alimentación DC de batería (12v) y una conexión a negativo mediante los terminales 5 y 6 respectivamente, para tener un control visual de la energización del módulo se procede al diseño de un circuito led emisor de luz, la resistencia RA se determina de la siguiente manera.

$$V_f - V_l = i \times R$$

Ecuación 39

Donde:

V_f: Voltaje de fuente (12 V)

V_l: Voltaje de umbral de led rojo (1.8 V)

i = Corriente funcional de diodo (20 mA)

R = Resistencia

Despejando R obtenemos

$$R = \frac{(V_{fuentes} - V_{umbralLedRojo})}{I}$$

Ecuación 40

Reemplazando valores

$$R = \frac{(12 - 1.8)}{0.020}$$

$$R = 510 \Omega$$

Dado que la resistencia calculada no es un valor comercial se selección una resistencia de 470 Ω para RA

3.5 Etapa de acondicionamiento de señal de bobina captadora

3.5.1 Filtraje de señal de bobina captadora

La bobina captadora envía una señal de corriente alterna (AC); donde su frecuencia varía en función de las rpm del motor, es decir, la menor frecuencia de funcionamiento es de 3Hz (180 rpm), esta es la frecuencia para el arranque del motor, en cambio la frecuencia mayor es de 166.66 Hz (10000 rpm), para evitar ruido electromagnético que afecte a la señal se la somete un filtro RC o de pasa alta el cual nos permitirá el paso de frecuencia por encima de la frecuencia de corte, en este caso la de arranque.

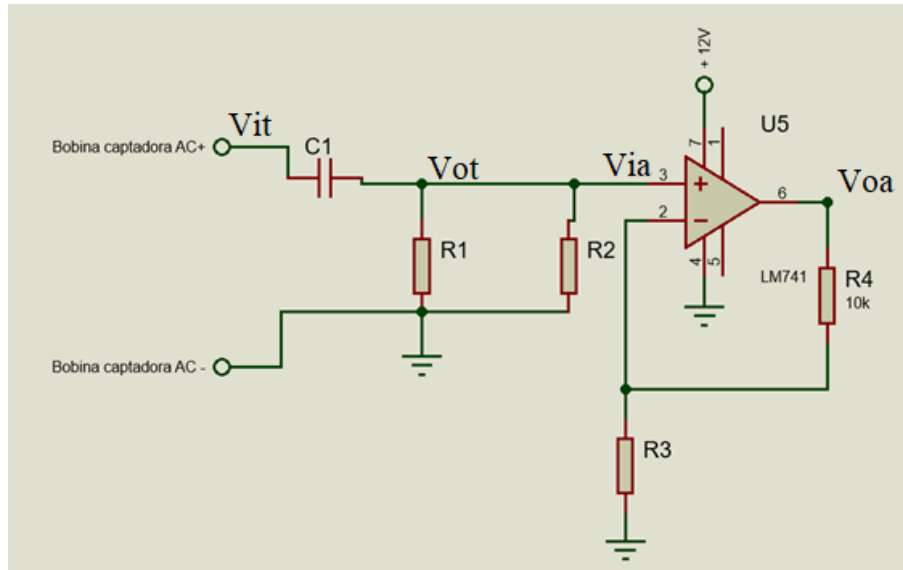


Gráfico 2-3: Filtro RC paso alto.
Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

En el gráfico se observa voltaje de entrada del trigger (Vit) y un voltaje de salida trigger (Vot); para lograr que la caída de tensión en Vot sea mínima, la resistencia debe ser igual a la reactancia capacitiva producida por C1 y con ello lograr que permita el paso de frecuencia por encima de 3Hz , así que se establece un valor de 270kΩ a una potencia de 0.5 w a R1 para lograr determinar el valor del capacitor C1 mediante la siguiente ecuación para el cálculo de frecuencia de corte de un circuito RC.

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

f : Frecuencia de corte

R: resistencia R1

C: capacitancia C1

Despejando C:

$$C = \frac{1}{2\pi Rf} \quad \text{Ecuación 42}$$

Reemplazando valores:

$$C = \frac{1}{2 * \pi * (270000) * (3)}$$

$$C = 0.00000019649$$

$$C = 196.49 \text{ nF}$$

Debido que el valor calculado no es un valor comercial, se utiliza un capacitor cerámico de 220nF para C1

Amplificación de señal de bobina captadora.

La señal obtenida en V_{ot} es una señal analógica filtrada pero a un régimen de 180 rpm se obtiene un voltaje rms de 0.84 V, esta cantidad es muy pequeña para hacer la conversión analógica-digital, es por esa razón que se usa un amplificador operacional en modo de retroalimentación negativa, considerando que se requiere un ganancia de 10 en el V_{oa} (Voltaje de salida de trigger amplificado) respecto a V_{ia} (Voltaje de entrada de trigger amplificado) se genera la siguiente ecuación:

$$\frac{V_{oa}}{V_{ia}} = 10 \quad \text{Ecuación 43}$$

Además, la ecuación que caracteriza este tipo de configuración de amplificadores operacionales establece que:

$$\frac{V_{oa}}{V_{ia}} = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad \text{Ecuación 44}$$

Entonces:

$$10 = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad \text{Ecuación 45}$$

Estableciendo un valor de $10k \Omega$ para R_4 , y despejando la nueva ecuación se determina R_3

$$R_3 = \frac{R_4}{9} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$R_3 = 1.11 k \Omega$$

Debido a que el valor de resistencia calculado no es comercial, se puede usar un potenciómetro y calibrarlo en ese valor o usar una resistencia de $1k \Omega$.

3.5.2 Etapa de conversión análoga digital.

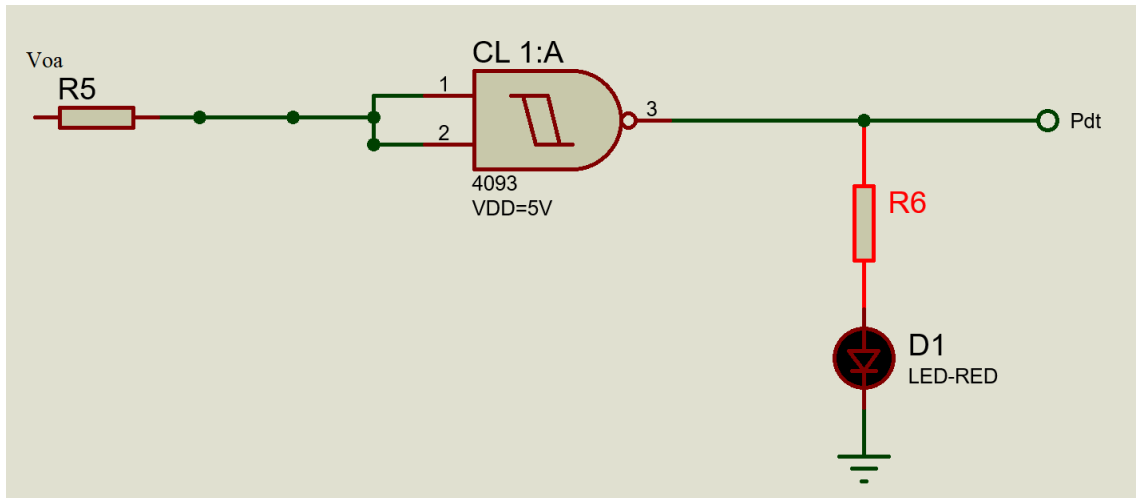


Gráfico 3-3: Circuito conversor análogo-digital.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Para el procesamiento de datos con el arduino se debe de convertir la señal analoga de trigger amplificado V_{oa} a una señal digital, esto conlleva a la utilizacion de una compuerta logica del tipo NAND pero dotadas con la funcion de Schmitt- trigger en un modo de configuracion de conversor senoidal – cuadrado, el cual genera una transicion rapido de nivel de tension baja (0) o alta (1), cuando la tension de entrada V_{oa} es mayor 3 V, asi obteniendo en la salida de la compuerta (P_{dt} – Pulso digital de trigger) una señal cuadrada digital (0-5V), pero el tiempo de duracion del nivel de tension alto (1) es directamente proporcional a la frecuencia de V_{oa} , el cual a altas frecuencias el tiempo es muy pequeño. Para ello se debe determinar si el tiempo de duracion del nivel alto de tension es lo suficiente para que sea perceptible por el arduino.

En primera instancia, ya que se conoce que la frecuencia de reloj del arduino nano es de 16 MHz, se obtiene su periodo para el procesamiento de instrucciones.

$$T_{arduino\ nano} = \frac{1}{f} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$T_{arduino\ nano} = \frac{1}{16 \times 10^6}$$

$$T_{arduino\ nano} = 62.49\ ns$$

Ahora se debe analizar el tiempo que demora una revolución tomando cuenta el régimen máximo de giro, es decir 10000 rpm o una frecuencia de 166.66Hz, utilizando la ecuación anterior se obtiene que el periodo demora dar una revolución o 360° a ese régimen:

$$T_{10000rpm} = \frac{1}{f}$$

Ecuación 48

$$T_{10000rpm} = \frac{1}{166.66}$$

$$T_{\text{arduino nano}} = 0.006 \text{ s} = 6 \text{ ms}$$

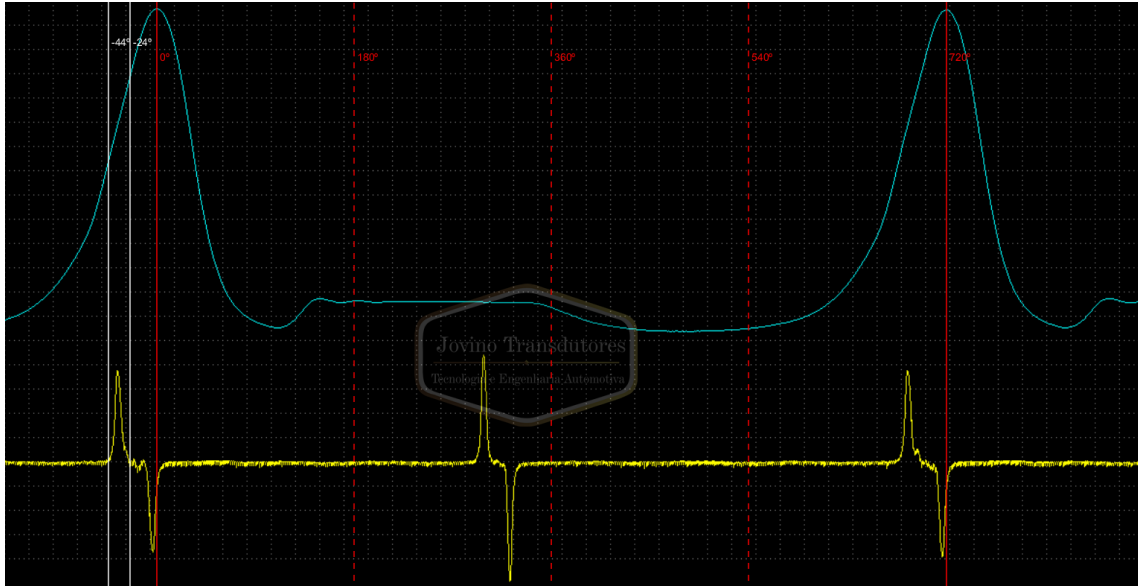


Gráfico 4-3: Oscilograma.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Como se observa en la figura bobina captadora emite su señal de trigger entre 44 y 24 grados antes que el pistón llegue al punto muerto superior, con estos datos se determina el tiempo mínimo de duración del trigger a un régimen de 10000 rpm, además del tiempo que dispone el Arduino para lograr procesar los datos, realizar ajustes y ejecutar acciones, en este caso dicho tiempo, aplicando una regla de 3 simple se obtiene los siguientes resultados:

Tiempo a 44°

$$\frac{360^\circ}{44^\circ} : \frac{6ms}{T_{44^\circ}}$$

$$T_{44^\circ} = \frac{44^\circ \times 6ms}{360^\circ}$$

Ecuación 49

$$T_{44^\circ} = 733 \text{ us}$$

Tiempo a 24°

$$\frac{360^\circ}{24^\circ} : \frac{6ms}{T_{24^\circ}}$$

$$T_{24^\circ} = \frac{24^\circ \times 6ms}{360^\circ}$$

Ecuación 50

$$T_{24^\circ} = 400 \text{ us}$$

El tiempo mínimo de duración de trigger es la diferencia de los tiempos anteriormente calculados.

$$T_{\text{minimo de trigger}} = T_{44^\circ} - T_{24^\circ}$$

$$T_{\text{minimo de trigger}} = 333 \text{ us}$$

Al comparar el tiempo mínimo de duración de estado de tensión alta del trigger (T mínimo de trigger) con el tiempo mínimo que dispone el Arduino nano para ejecutar una instrucción (T Arduino nano), se determina que está en rango específico para su correcta lectura y posterior análisis.

Adicionalmente se diseña un circuito para el control visual de la emisión de trigger, el cual consiste en una resistencia y un led en paralelo a la salida de Pdt, para el cálculo de la resistencia se usa la siguiente expresión:

$$V_f - V_l = i \times R \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

V_f: Voltaje de fuente (5 V)

V_l: Voltaje de umbral de led rojo (1.8 V)

i = Corriente funcional de diodo (20 mA)

R = Resistencia

Despejando R obtenemos

$$R = \frac{(V_{\text{fuentes}} - V_{\text{umbralLedRojo}})}{I} \quad \text{Ecuación 52}$$

Reemplazando valores

$$R = \frac{(5 - 1.8)}{0.020}$$

$$R = 160 \Omega$$

Dado que la resistencia calculada no es valor comercial se selección una resistencia de un valor de 150Ω, este valor es asignado a la resistencia R6.

3.5.3 Etapa de procesamiento de datos y ejecución de acciones

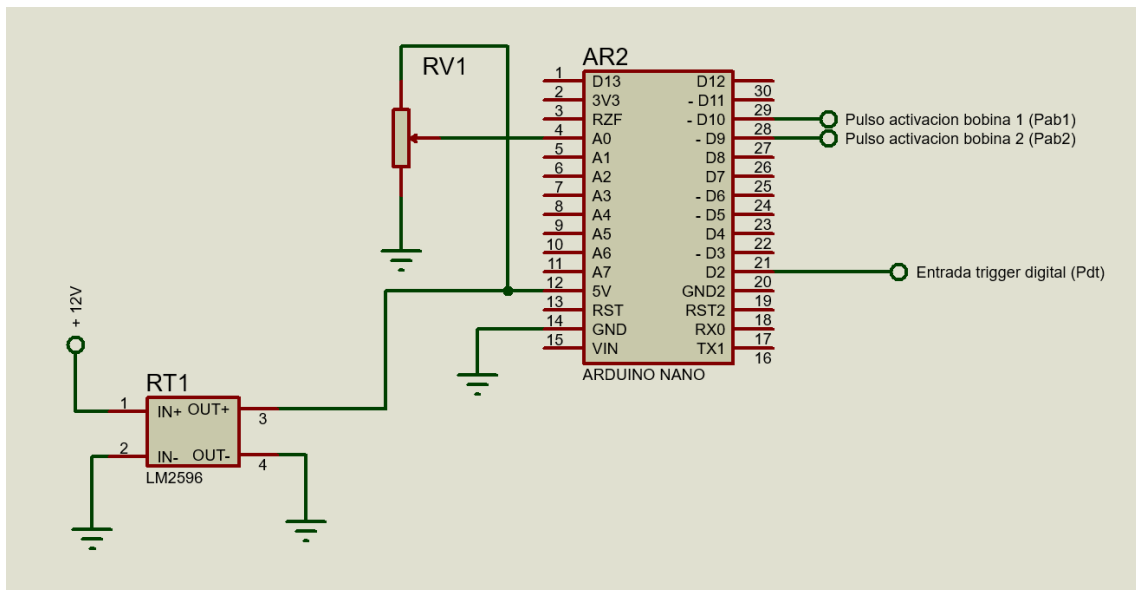


Gráfico 5-3: Circuito de potencia.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Dado que el voltaje de operación placa de procesamiento (Arduino nano) es de 5V, es necesario diseñar una etapa de regulación de voltaje, dado que el módulo de control es alimentado por un voltaje de batería de 12V, para ello se considera la aplicación de un módulo convertidor DC-DC LM2596 ya que su eficiencia es mayor y comparación de otros reguladores lineales, especialmente con tensiones de entrada superiores, esto es un factor influyente ya que en aceleración el voltaje de carga de batería es de hasta 14.5V.

Luego de energizar al Arduino nano con un voltaje óptimo de operación se procede a la lectura de la señal de trigger (Pdt) en el pin digital 2, para posteriormente realizar los ajustes necesarios y ejecutar un comando de activación tanto para las bobinas 1 y bobina 2 mediante los pines digitales 10 y 9 respectivamente.

Adicionalmente se considera el uso de potenciómetro variador de ángulo (RV1) conectado al pin A0, su función específicamente retardar el pulso de activación de bobina 2 con respecto a la bobina 1, con el fin de lograr determinar si es conveniente tener un salto de chipa entre las dos bujías sincrónico o asincrónico mediante un análisis de gases de escape.

3.5.4 Etapa de potencia

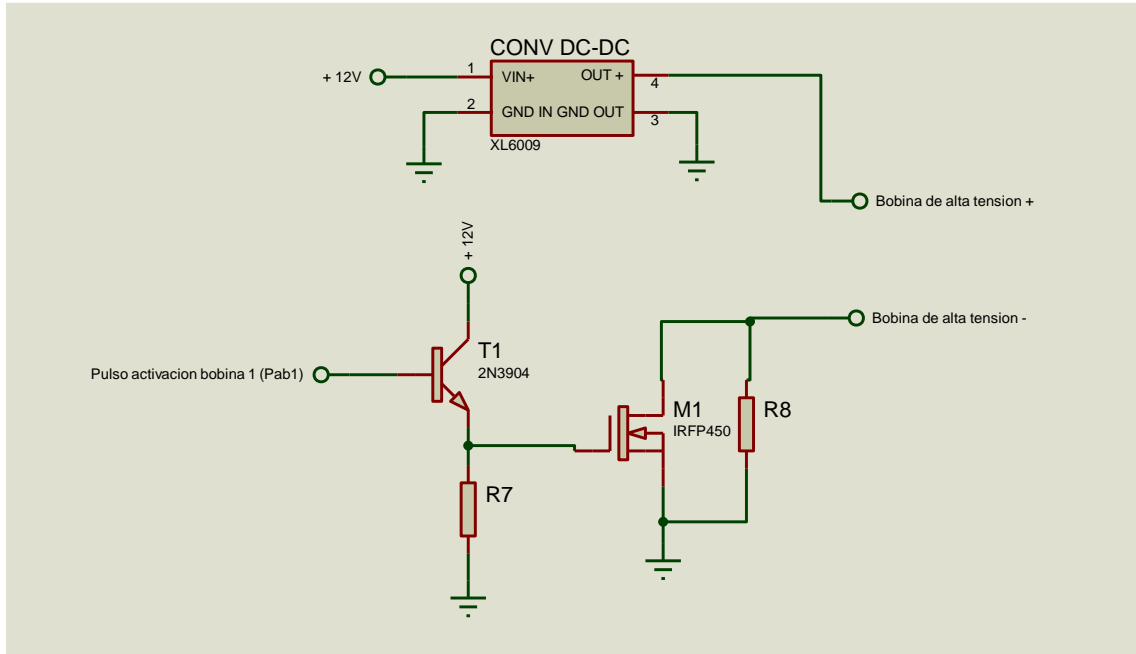


Gráfico 6-3: Circuito de potencia.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Dado que Arduino maneja intensidades de corrientes muy pequeñas en sus pulsos emitidos, se forja la necesidad de potencializar esta señal, en primera instancia es necesario de un transistor del tipo NPN (2N3904) para amplificar a 12 V e invertir el pulso digital emitido por Arduino; R7 cumple la función de una resistencia tipo Pull down, esta configuración permite emitir estados lógicos (0 y 1), esta resistencia se le asigna un valor de $1k\Omega$.

Al considerar el encendido convencional de una moto por descarga de capacitor (CDI) se observa que el voltaje de alimentación para la bobina de alta tensión es de 21 V,

El voltaje máximo que se encuentra en el módulo de control es de 12V, se genera la necesidad de instalar un módulo de convertidor DC-DC XL6009, es un tipo de convertidor conmutados mayormente eficiente que los regulador de voltaje lineales, su función será de elevar el voltaje de alimentación (12V) a 21 V para alimentar exclusivamente a la bobina de alta tensión.

Además se conoce que la resistencia de la bobina primaria de la bobina de alta tensión es de 1.8Ω , con estos parámetros se pueden determinar la intensidad de corriente necesaria para la activación de la bobina de alta tensión mediante la ley de ohm:

$$V = I \times R \quad \text{Ecuación 53}$$

Despejando I

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$I = \frac{21}{1.6}$$

$$I = 2.4 \text{ A}$$

Con esta información se selecciona el transistor, en este caso un mosfet IRFP 450 sus características las podemos observar en la siguiente tabla:

Tabla 4-3: Características del transistor mosfet

Mosfet IRFP 450	
Polaridad	Canal N
I _D	14 Ampere
V _{Dsmax}	500 V
V _{Gsmax}	20 V
Temperatura máxima de operación	150 °C
Potencia máxima	180 watt
Resistencia _{DS}	0.4 Ω

Fuente: Smirnov, 2017

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Este circuito debe replicarse bajo los mismos valores para la activación de la segunda bobina.

3.6 Programación

El módulo de control es gestionado por el Arduino nano para recibir información emitida por la bobina captadora y en función de ello determinar la posición del cigüeñal, además debe enviar pulsos para la activación de las bobinas de alta tensión

Es por ello que genera el diseño de un algoritmo de control que reciba, analice, procese y comande acciones en el módulo de control haciendo uso del hardware.

3.6.1 Deducción de fórmula para el cálculo del ángulo para avance al encendido

El módulo de control esta netamente enfocado en el sistema de encendido del motor de combustión, es así que un factor muy importante a considerar es el avance al encendido, en motores antiguos este avance de ángulo de disparo se gestionada mecánicamente mediante vacío producido por el motor o por fuerza centrífuga, en la actualidad es determinada mediante la unidad de control de motor en función de diversos factores como: RPM, carga y temperatura de motor y temperatura ambiental, dado que el único sensor disponible en nuestro módulo de control es la bobina captadora de la posición de cigüeñal, limita que el avance al encendido sea calculado solo en función de la RPM.

Haciendo un análisis de un sistema de encendido por descarga de capacitor se puede deducir la curva característica para el avance al encendido específico del motor en estudio.

Como ya se determinó, la señal de la bobina captadora de la posición de cigüeñal se da a 44° antes que el pistón llegue al punto muerto superior, tomando este dato como referencia el siguiente paso es capturar con ayuda de un osciloscopio las señales de la bobina captadora y el salto de chispa, como se observa en el siguiente gráfico:

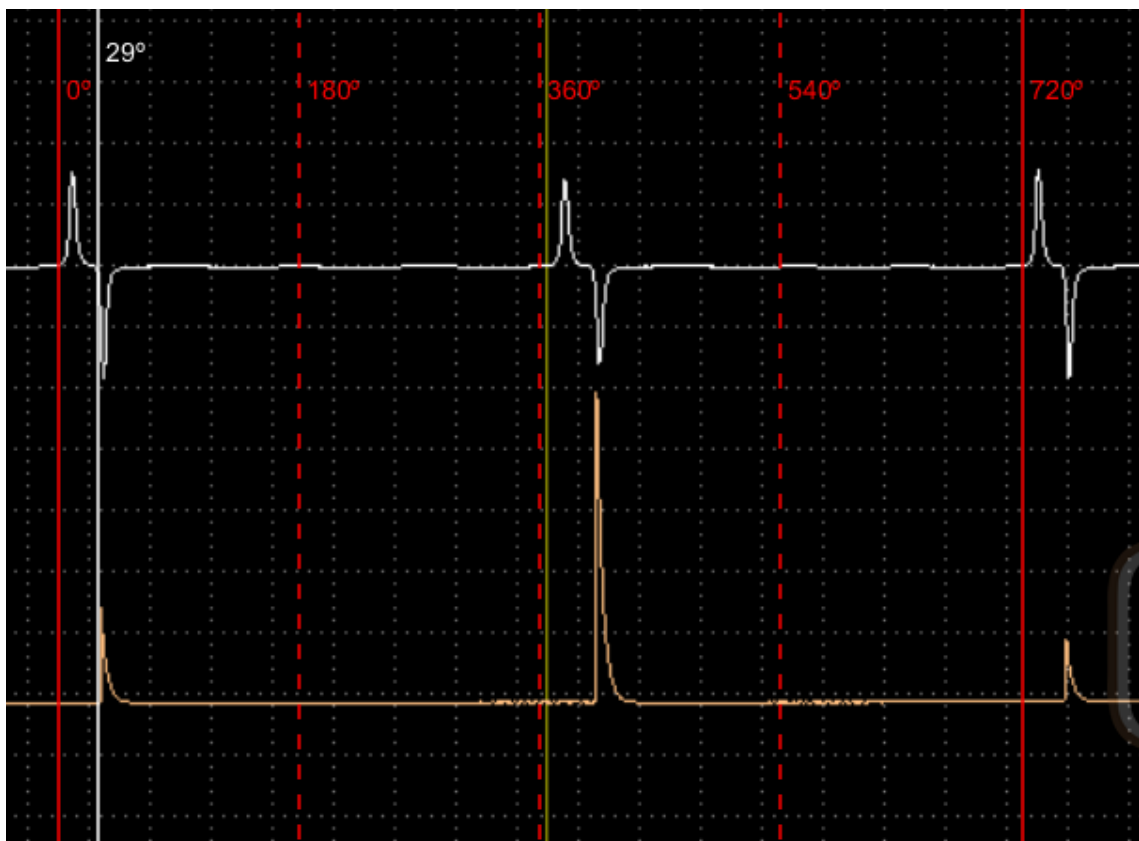


Gráfico 7-3: Oscilograma

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Se determina que el salto de chispa se 29° luego de la señal emitida por la bobina captadora, con este dato se puede determinar el ángulo de avance al encendido con respecto al punto muerto superior a 1500RPM de la siguiente manera:

$$\alpha - \beta = \theta \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde

α =Ángulo de bobina captadora antes de PMS = 44°

β = Ángulo de salto de chispa después de la señal de bobina captadora

θ =Ángulo de avance al encendido respecto a PMS

Reemplazando valores

$$\theta_{1500} = \alpha - \beta_{1500}$$

$$\theta_{1500} = 44 - 29$$

$$\theta_{1500} = 15^\circ$$

Ahora se debe hacer el mismo análisis a distintas revoluciones.

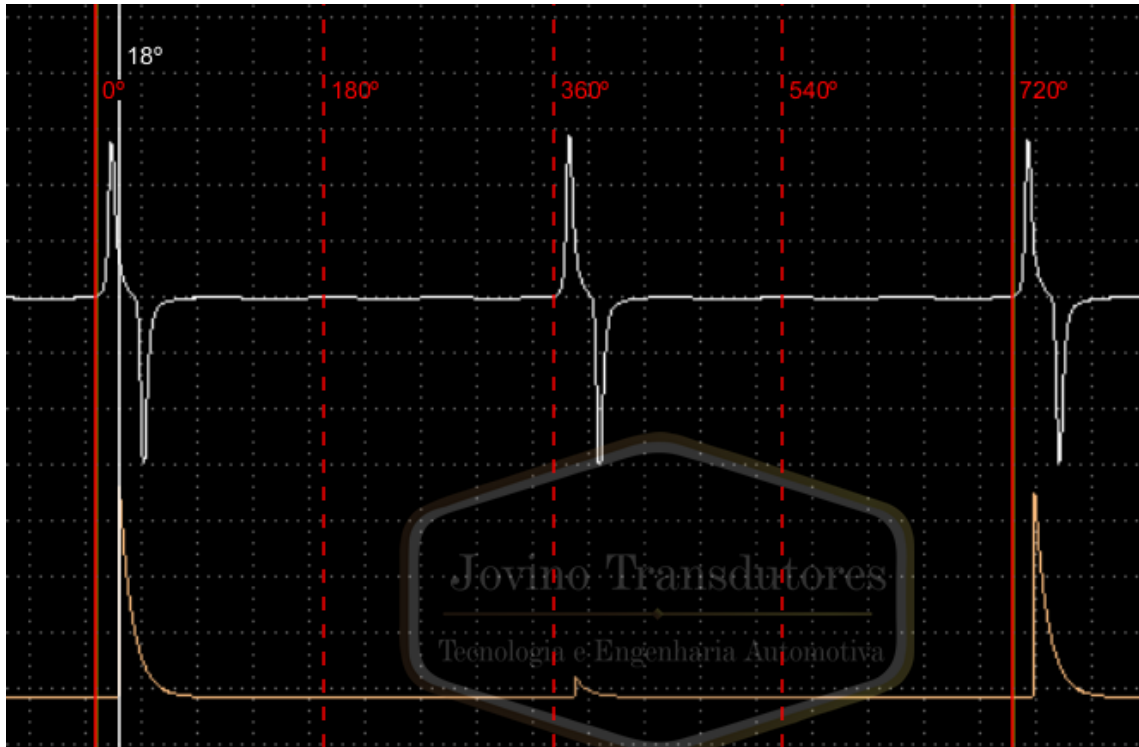


Gráfico 8-3: Oscilograma

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Para 3500 rpm encontramos que el salto de chispa es 18° después del punto muerto superior por ende $\beta_{3500} = 18^\circ$

$$\theta_{3500} = \alpha - \beta_{3500}$$

$$\theta_{3500} = 44 - 18$$

$$\theta_{3500} = 26^\circ$$

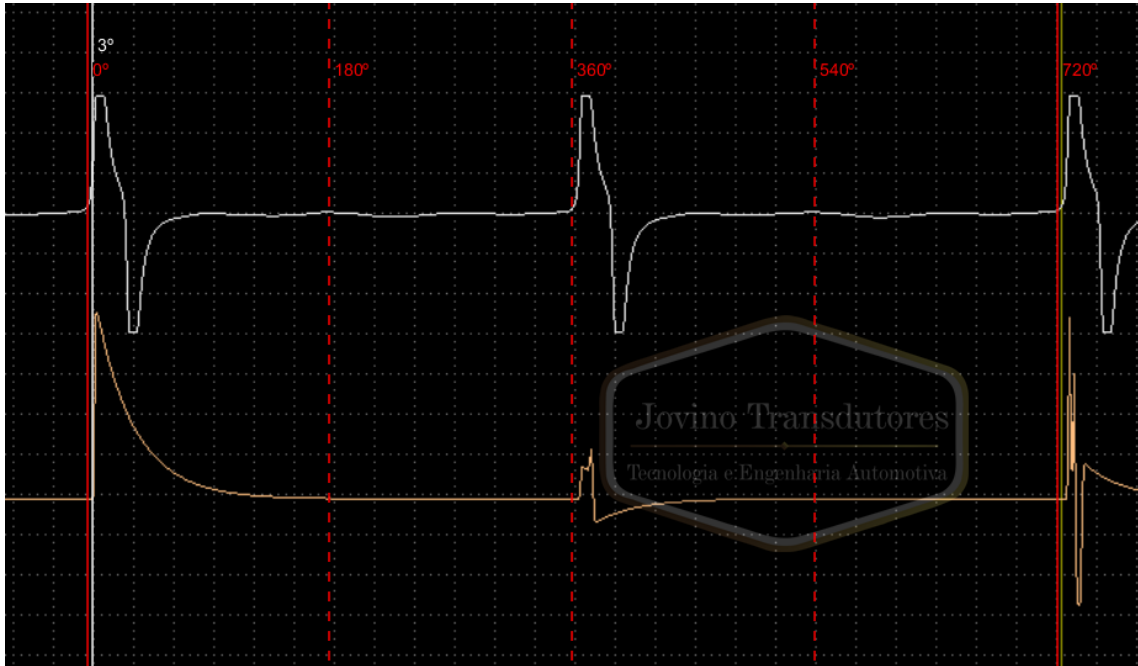


Gráfico 9-3: Oscilograma

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Para 9500 rpm encontramos que el salto de chispa es 3° después del punto muerto superior por ende $\beta_{9500} = 3^\circ$.

$$\theta_{9500} = \alpha - \beta_{9500}$$

$$\theta_{9500} = 44 - 3$$

$$\theta_{9500} = 41^\circ$$

Entonces con estos datos se genera los siguientes valores de ángulo de avance de encendido:

15° , 26° , y 41° , para 1500, 3500, y 9500 revoluciones por minuto respectivamente.

Graficando los valores anteriores obtenemos:

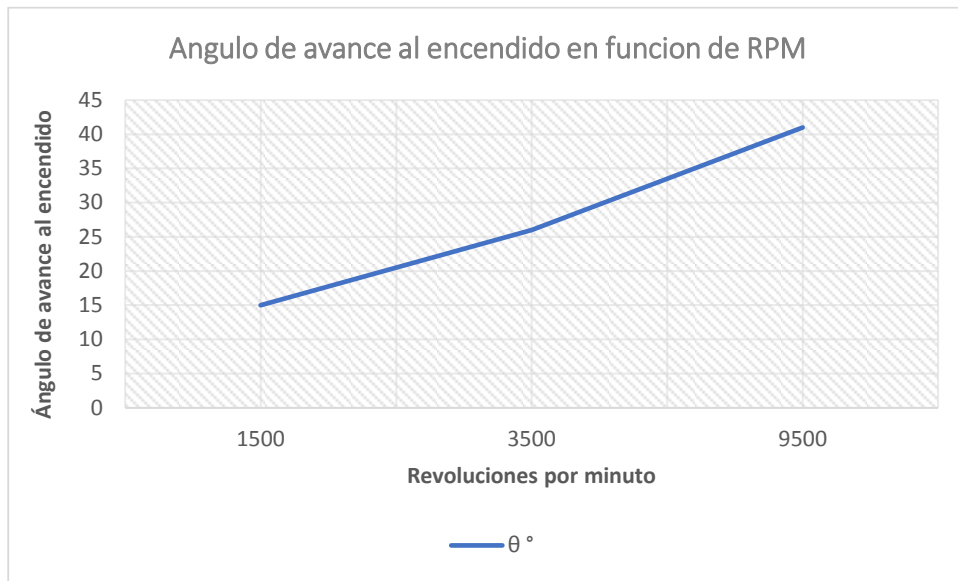


Gráfico 10-3: Avance de encendido en función de las RPM.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Observamos que el ángulo al avance al encendido es directamente proporcional a la revoluciones del motor ya que tiene un comportamiento lineal, es por esto que se tomara el primer y último dato; es decir a 1500 y 9500 rpm, con la intención de establecer una ecuación de primer grado para el cálculo del ángulo de avance al encendido en función de RPM, la determinación de la formula se lo realiza de la siguiente manera:

Tomando como datos la siguiente tabla:

Tabla 5-3: Datos para cálculo de avance

RPM	θ
1500	15
9500	41

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Primero debemos encontrar la pendiente de la recta, aplicando:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad \text{Ecuación 56}$$

Reemplazando valores de la tabla anterior tenemos:

$$m = \frac{\theta_2 - \theta_1}{RPM_2 - RPM_1}$$

$$m = \frac{41 - 15}{9500 - 1500}$$

$$m = \frac{26}{8000}$$

$$m = 0.00325$$

Ahora reemplazamos en la ecuación siguiente el valor de m y las coordenadas especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 6-3: Coordenadas para ecuación de avance de encendido

RPM(X ₁)	θ(Y ₁)
9500	41

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - 41 = 0.00325(x - 9500)$$

$$y - 41 = 0.00325x - 0.00000034211$$

$$y - 41 = 0.00325x - 30.875$$

$$y = 0.00325x + 10.125 \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

y= Angulo de avance al encendido (θ)

x=RPM

Entonces con la siguiente expresión se puede calcular el ángulo de avance al encendido en función de RPM

$$\theta = 0.00325(RPM) + 10.125 \quad \text{Ecuación 58}$$

3.6.2 Algoritmo de programación

Para lograr que el módulo de control cumpla con lo previsto se debe tener en cuenta las operaciones sistemáticas debidamente ordenadas que permitan receptor y analizar información

para consiguiente calcular y finalmente efectuar comandos, a continuación se describe un diagrama de flujo que permitirá realizar todos los comando antes descritos.

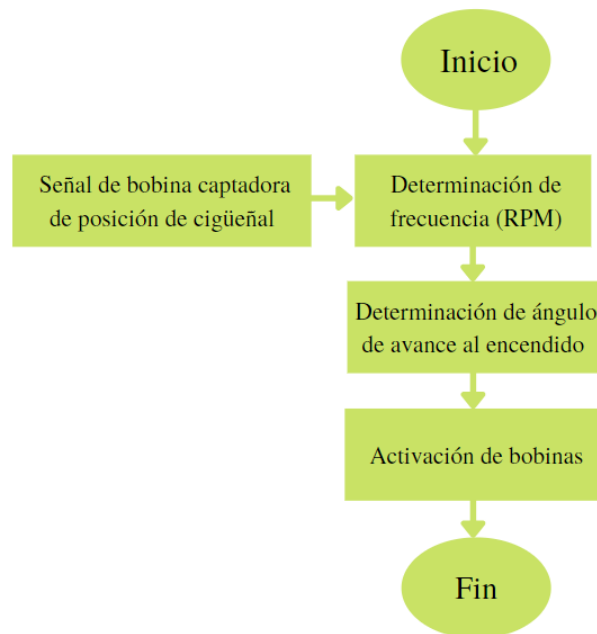


Gráfico 11-3: Diagrama de procesos
Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

3.7 Construcción de placa de módulo de control.

Luego de haber realizado los análisis correspondientes y selección de componentes para el funcionamiento de las diferentes etapas, se debe realizar un circuito general para su construcción.

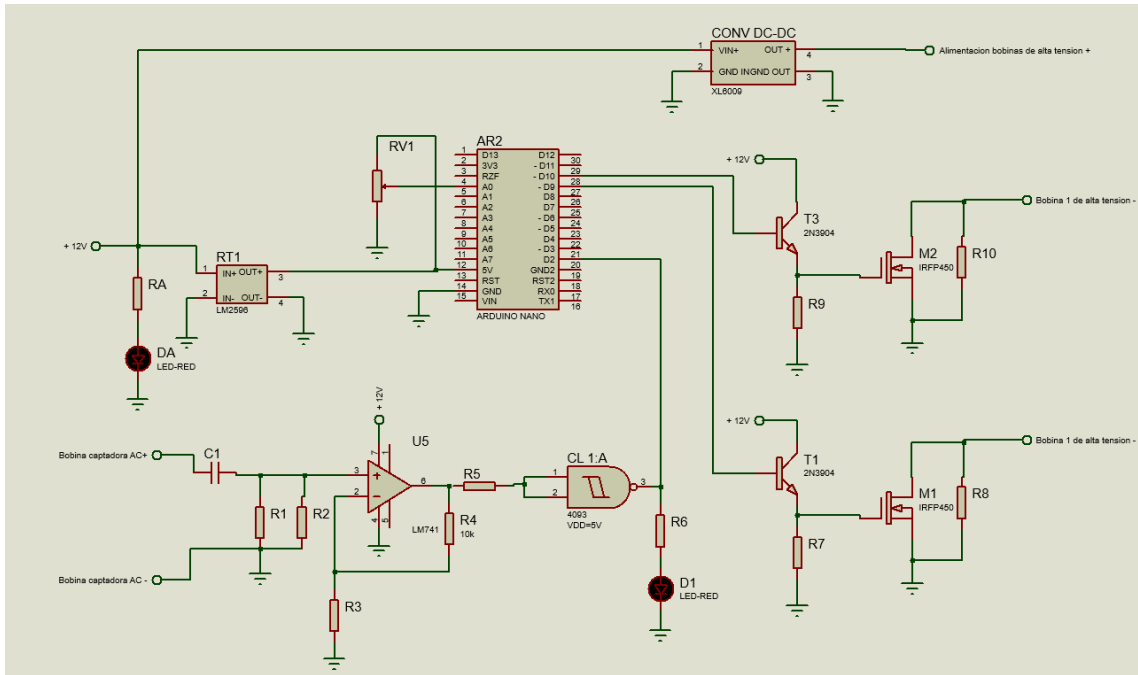


Gráfico 12-3: Circuito de la placa.
 Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Luego de determinar el circuito definitivo con ayuda de software para el diseño de circuitos electrónicos se procede al modelado de la placa.

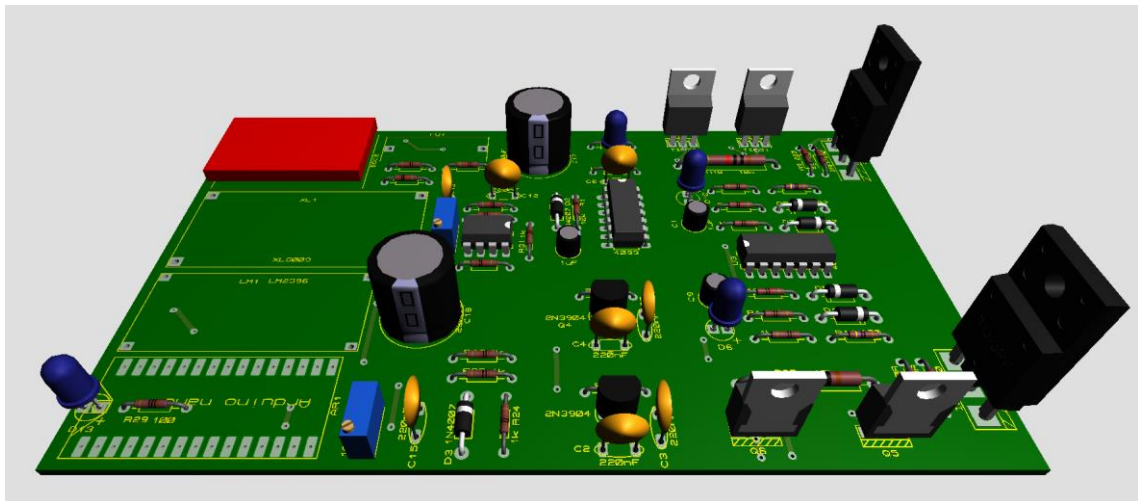


Figura 1-3: Placa
 Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Con esto finalmente se dé a cabo la fabricación y ensamblaje.

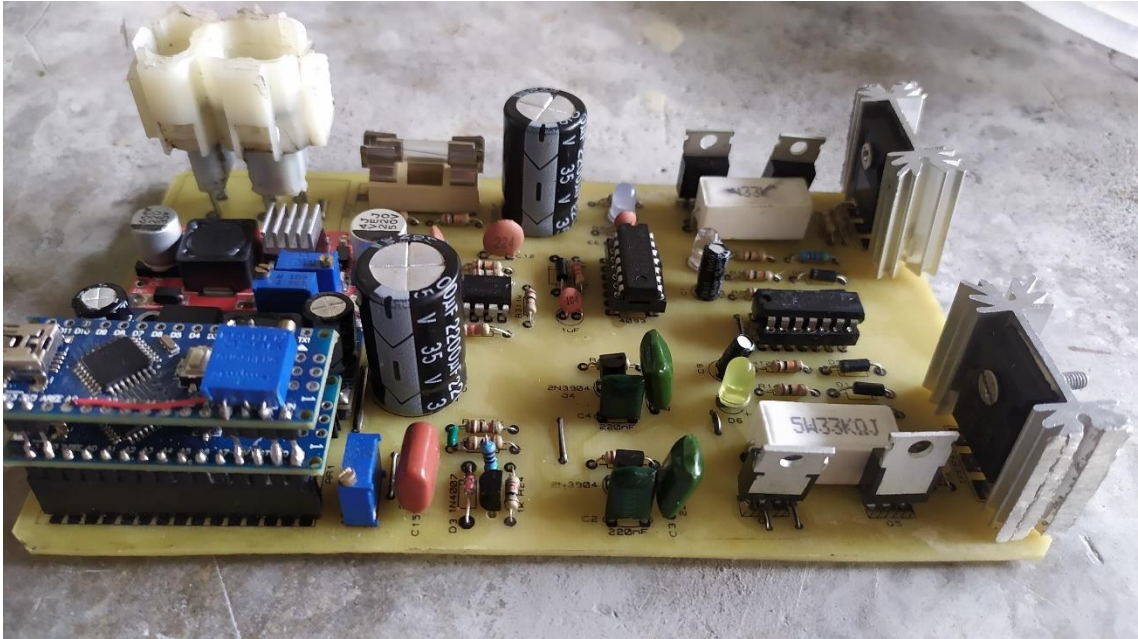


Figura 2-3: Módulo de encendido de doble bujía

Fuente: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

3.8 Pruebas de funcionamiento.

Dado que se requiere comprobar si la aplicación de una segunda bujía favorece a la disminución de emisión de gases contaminantes de escape es necesario comparar el módulo diseñado con el sistema original de encendido de la moto, además de determinar si el salto de chispa en las bobinas debe ser sincrónico o asincrónico, con esto se genera la necesidad de ejecutar las siguientes pruebas:

- Prueba de análisis de gases con el sistema original de moto
- Prueba de análisis de gases con el módulo de control diseñado con salto de chispa en configuración sincrónica
- Prueba de análisis de gases con el módulo de control diseñado con salto de chispa en configuración asincrónica

Estas pruebas son realizadas con distintos tipos de combustibles disponibles en el país, en este caso gasolina super y extra.

Además, para la ejecución de las pruebas de análisis de gases se ha previsto la aplicación de la en la norma RTE INEN 136(1R), mediante una prueba estática de gases de escape con el equipo GASBOX AUTOPOWER.

3.8.1 Prueba de análisis de gases con el sistema original de moto

El equipo analizador de gases utilizado se encuentra en la ciudad de Riobamba a 2754 msnm. Para tener un mayor margen de precisión se tomó 3 mediciones bajo la misma condición, luego se reemplazó el combustible gasolina extra de 87 octanos por otro de valor diferente siendo este la gasolina super con 92 octanos y se repitió el proceso de medición, obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 7-3: Registro de emisiones con sistema de encendido original

Registro de emisiones				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	Ralentí	1,93	3,1	106
Gasolina Extra	Ralentí	1,86	2,2	105
Gasolina Extra	Ralentí	1,9	3,1	110
Gasolina Extra	2500	2,83	2,9	145
Gasolina Extra	2500	2,69	2,8	154
Gasolina Extra	2500	2,78	2,8	149
Gasolina Super	Ralentí	1,85	2,7	111
Gasolina Super	Ralentí	1,73	3,4	113
Gasolina Super	Ralentí	1,8	2,9	107
Gasolina Super	2500	2,88	3,1	133
Gasolina Super	2500	3,02	2,6	199
Gasolina Super	2500	2,96	2,7	156

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Tabla 8-3: Media aritmética del registro de emisiones de la tabla 7-3

Media Aritmética				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	Ralentí	1,90	2,80	107,00
Gasolina Extra	2500	2,77	2,83	149,33
Gasolina Super	Ralentí	1,79	3,00	110,33
Gasolina Super	2500	2,95	2,80	162,67

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Tabla 9-3: Desviación media del registro de emisiones de la tabla 7-3

DESVIACION MEDIA				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	Ralentí	0,04	0,52	2,65
Gasolina Extra	2500	0,07	0,06	4,51
Gasolina Super	Ralentí	0,06	0,36	3,06
Gasolina Super	2500	0,07	0,26	33,50

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

3.8.2 Prueba de análisis de gases con el módulo de control diseñado con salto de chispa en configuración asincrónica

Dado que el salto de chispa en la primera bujía está dado mediante la ecuación para el cálculo de avance al encendido, se ha establecido este punto como referencia con el fin de realizar el desfase para el salto de chispa de la segunda bujía, considerando que un valor positivo (+) es un adelanto del salto de chispa de la segunda bujía respecto a la primera y un valor negativo (-) es un retraso del salto de chispa de la segunda bujía respecto a la primera.

Tabla 10-3: Registros promediados de emisiones contaminantes con el módulo de encendido de doble bujía en configuración asincrónica

Combustible	Desfase entre chispas	Régimen Motor	CO [%vol.]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	-14 grados	Ralentí	2,41	3,8	109
Gasolina Extra	-9 grados	Ralentí	1,96	3,4	99
Gasolina Extra	-5grados	Ralentí	1,54	3,4	99
Gasolina Extra	-1 grados	Ralentí	1,11	3,5	123
Gasolina Extra	+4grados	Ralentí	1,16	3,8	110
Gasolina Extra	+8 grados	Ralentí	0,86	3,8	108
Gasolina Extra	+11 grados	Ralentí	0,72	3,6	93
Gasolina Super	-14 grados	Ralentí	1,98	3,6	97
Gasolina Super	-9 grados	Ralentí	1,56	3,5	99
Gasolina Super	-5grados	Ralentí	1,48	3,6	99
Gasolina Super	-1 grados	Ralentí	1,33	3,7	106
Gasolina Super	+4grados	Ralentí	1,25	3,4	98
Gasolina Super	+8 grados	Ralentí	0,98	3,5	101
Gasolina Super	+11 grados	Ralentí	0,69	3,6	93

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

3.8.3 Prueba de análisis de gases con el módulo de control diseñado con salto de chispa en configuración sincrónica.

Prueba Estática de gases

Tabla 11-3: Registro de emisiones con el salto de chispa en configuración sincrónica

Registro de emisiones				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	Ralentí	1,03	3	98
Gasolina Extra	Ralentí	0,98	3	96
Gasolina Extra	Ralentí	1,06	3	94
Gasolina Extra	2500	1,38	3,4	119
Gasolina Extra	2500	1,49	3,6	127
Gasolina Extra	2500	1,56	3,1	129
Gasolina Super	Ralentí	1,09	3,6	98
Gasolina Super	Ralentí	1,16	3,3	97
Gasolina Super	Ralentí	1,1	3	92
Gasolina Super	2500	1,41	3,3	126
Gasolina Super	2500	1,25	3,8	114
Gasolina Super	2500	1,48	3,7	121

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Tabla 12-3: Media aritmética del registro de emisiones de la tabla 11-3

Media Aritmética				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	Ralentí	1,02	3,00	96,00
Gasolina Extra	2500	1,48	3,37	125,00
Gasolina Super	Ralentí	1,12	3,30	95,67
Gasolina Super	2500	1,38	3,60	120,33

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Tabla 13-3: Desviación media del registro de emisiones de la tabla 11-3

DESVIACION MEDIA				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]
Gasolina Extra	Ralentí	0,04	0,00	2,00
Gasolina Extra	2500	0,09	0,25	5,29
Gasolina Super	Ralentí	0,04	0,30	3,21
Gasolina Super	2500	0,12	0,26	6,03

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

Diferentes rpm

Tabla 14-3: Registro promediado de emisiones con salto de chispa sincrónico a diferentes RPM

Registro de emisiones				
Combustible	Régimen Motor	CO [%vol.]	CO2 [%vol.]	HC [ppm vol.]
Gasolina Extra	4000	1,13	5,5	126
Gasolina Extra	5000	1,18	6,9	148
Gasolina Extra	6000	1,21	8,1	161
Gasolina Extra	7000	2,63	8,4	215
Gasolina Extra	8000	7,47	7,3	352
Gasolina Super	4000	1,11	5,1	106
Gasolina Super	5000	1,23	7	129
Gasolina Super	6000	1,06	8,5	155
Gasolina Super	7000	3,77	8,3	221
Gasolina Super	8000	5,91	9,3	305

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

3.8.4 *Análisis de resultados*

Luego de recopilar las cifras resultantes de la prueba de emisiones contaminantes se observó que cuando el salto de chispa de la segunda bujía ocurre unos grados después de la primera bujía la combustión no se realiza de manera correcta y los hidrocarburos junto con el monóxido de carbono tienden a incrementar su magnitud. Cuando se realiza el procedimiento opuesto, es decir, hacer saltar la chispa en la segunda bujía unos grados antes respecto a la primera, obtenemos una lectura menor en las cantidades de hidrocarburos y monóxido de carbono que emite el motor pero con la consecuencia de pistoneo existente durante el funcionamiento del motor a un estado de marcha mínima produciendo inestabilidad a dicho estado y con el riesgo de generar fallos mecánicos al motor.

Al analizar las emisiones contaminantes que se generaron usando el módulo de encendido de doble bujía en configuración sincrónica se observó que las cantidades de hidrocarburos y monóxido de carbono disminuyeron en comparación con el sistema de encendido original del motor monocilíndrico, además se percibió una notable suavidad de funcionamiento en condiciones de marcha mínima permitiendo con esto disminuir la regulación del ralentí en el carburador.

Por todo lo mencionado anteriormente se decidió que la configuración sincrónica para el salto de chispa de las bujías es la más adecuada para el funcionamiento del motor como para la generación de emisiones contaminantes en cantidades menores. Al realizar repetir el análisis de gases al

motor pero con un combustible de 92 octanos (Super) en comparación con el combustible de 87 octanos (Extra) que se utilizó para las pruebas iniciales se pudo observar que para las mismas condiciones de funcionamiento el combustible de mayor octanaje generaba cantidades de hidrocarburos y monóxido de carbono ligeramente mayores que el combustible de menor octanaje a un estado de ralentí, estos resultados cambiaron luego de elevar las revoluciones por minuto del motor obteniendo una lectura mayor de emisiones contaminantes del combustible Super respecto al combustible Extra.

4 GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Cronograma

Tabla 1-4: Cronograma de actividades.

Actividades	Tiempo empleado [semanas]
Revisión bibliográfica acerca del tema.	2
Investigación acerca del sistema de encendido de doble bujía.	2
Modificación de culata del motor.	1
Diseño y construcción del módulo para adaptación.	3
Montaje del sistema desarrollado.	1
Prueba de emisiones contaminantes.	1
Elaboración del documento.	6

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

4.2 Costos directos

Para el diseño y construcción del módulo de encendido de doble bujía se involucró diferentes aspectos tales como materiales, transporte, entre otros que tuvieron una incidencia directa en la magnitud final del presupuesto del proyecto.

Tabla 2-4: Costos directos.

Materiales y/o servicios	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Modificación de culata.	1	200.00	200.00
Herramientas para construcción del módulo.	1	50.00	50.00
Materiales para construcción del módulo.	1	350.00	350.00
Bobinas	2	14.00	28.00
Bujía.	2	4.00	8.00
Cable de bujía.	2	8.00	16.00
Analizador de gases.	1	400.00	400.00
Motor.	1	150.00	150.00
		TOTAL	1202.00

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

4.2.1 *Costos indirectos*

Los costos indirectos se refieren a aquellos gastos empleados en la elaboración del prototipo, los cuales no influyen directamente a los resultados alcanzados.

Tabla 3-4: Costos indirectos.

Descripción	Cantidad	Precio total [USD]
Transporte	1	180.00
Impresión	1	80.00
Copia	1	40.00
Empastado	3	40.00
Total		340.00

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

4.2.2 Costo total

Representa la suma de los costos directos e indirectos, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4-4: Costo total.

Descripción	Precio Total [USD]
Costos directos	1202.00
Costos indirectos	340.00
Total	1542.00

Fuente: Autores.

Realizado por: Cajas José, Velasco Jorge. 2021

CONCLUSIONES

Para la realización del presente trabajo de titulación se ha logrado recopilar toda la bibliografía concerniente y necesaria para el diseño, funcionamiento y construcción de circuitos electrónicos junto con sus respectivos procesos de manufactura.

Con ayuda de la mecánica de precisión ha sido posible mecanizar la culata del motor monocilíndrico para que disponga de un nuevo alojamiento que permita el acople de una segunda bujía.

Se estableció los componentes necesarios para el diseño y construcción del módulo de control electrónico de encendido para un sistema de doble bujía gracias a los conocimientos adquiridos en la escuela de ingeniería automotriz de la ESPOCH.

Se realizó la prueba de emisiones contaminantes primero con el sistema de encendido original para tener el registro de cada uno de los gases que se estipula en la norma, posteriormente se implementó el sistema de doble bujía y se realizó otra medición de gases emitidos para recopilar los nuevos datos.

Se analizó el conjunto de resultados obtenidos procedentes del testeo de emisiones contaminantes y se determinó que dichos valores se encuentran por debajo de los límites establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 136 (1R) “Motocicletas” para la prueba estática.

La configuración asincrónica con retraso en el salto de chispa de la segunda bujía respecto a la primera bujía, generó un incremento en emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono debido a una incorrecta combustión.

La configuración asincrónica con adelanto en el salto de chispa de la segunda bujía respecto a la primera bujía, generó una disminución en emisiones de hidrocarburos y monóxido de carbono con la consecuencia de pistoneo existente durante el funcionamiento del motor a un estado de marcha mínima produciendo inestabilidad a dicho estado y con el riesgo de generar fallos mecánicos al motor.

La configuración sincrónica en el salto de chispa de la segunda bujía respecto a la primera bujía, generó un decremento de emisiones contaminantes en comparación con el sistema de encendido original del motor monocilíndrico, además se percibió una notable suavidad de funcionamiento en condiciones de marcha mínima permitiendo con esto disminuir la regulación del ralentí en el carburador.

Se definió la configuración sincrónica para el salto de chispa de las bujías como la más adecuada para el funcionamiento del motor monocilíndrico como para la generación de emisiones contaminantes en cantidades menores.

Al reemplazar el combustible de 87 octanos (Extra) por uno de 92 octanos (Super) y repetir las pruebas de emisiones contaminantes bajo las mismas condiciones de funcionamiento, se obtuvo que el combustible de mayor octanaje generaba cantidades de hidrocarburos y monóxido de carbono ligeramente mayores que el combustible de menor octanaje a un estado de ralentí, estos resultados cambiaron luego de elevar las revoluciones por minuto del motor obteniendo una lectura mayor de emisiones contaminantes del combustible Super respecto al combustible Extra.

RECOMENDACIONES

Se recomienda complementar el sistema de encendido de doble bujía con un sistema de inyección electrónica de combustible con la finalidad de obtener dosificaciones más precisas que las proporcionadas por el sistema a carburador.

Utilizar un dinamómetro para motocicletas con la finalidad de recrear ciclos de conducción y dar seguimiento al motor en cuanto a torque y eficiencia de combustible.

Al realizar las conexiones eléctricas del módulo de encendido de doble bujía como alimentación, masa, señal de actuadores y señal del sensor; prestar especial atención a la conexión del sensor de giro del cigüeñal, ya que sin esta señal el sistema nunca funcionará.

Al montar el módulo de encendido en la motocicleta determinar el mejor sitio que garantice un anclaje óptimo aislado de las vibraciones generadas por el funcionamiento del motor monocilíndrico.

Si durante el funcionamiento del motor se perciben sonidos de pistoneo, detener la marcha del motor y verificar que la conexión del sensor de giro del cigüeñal sea correcta y esté con sus terminales invertidos.

GLOSARIO

Avance al encendido: El avance de encendido es la anticipación, respecto al ciclo teórico, con que la bujía produce la chispa necesaria para quemar la mezcla de aire y combustible.

Cámara de combustión: Lugar donde se realiza la combustión del combustible con el comburente, generalmente aire, en el motor de combustión interna.

CDI: Encendido por descarga de capacitor, es un dispositivo electrónico cuya función es indicar a la bobina del motor cuándo es el momento ideal para inducir en las bujías una chispa de alto voltaje que permita iniciar el proceso de combustión.

Ciclo Otto: Es el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado por una chispa eléctrica.

Cilindrada: Es la denominación que se da a la suma del volumen útil de todos los cilindros de un motor alternativo.

Convertidor catalítico: Es un componente del motor de combustión interna que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor.

Culata: Llamada también tapa de cilindros, cabeza del motor o tapa del bloque de cilindros es la parte superior de un motor de combustión interna que permite el cierre de las cámaras de combustión.

Dosificación de combustible: Establecer las proporciones apropiadas en cuanto a masa de aire y volumen de combustible que ingresan al motor.

EGR: Recirculación de gases de escape, es un sistema que consiste en redirigir una parte de los gases de escape de los motores de combustión hacia el colector de admisión, para reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno.

Electrodo: Es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito.

Entropía: Es una magnitud física para un sistema termodinámico en equilibrio.

EVAP: Sistema de control evaporativo tiene la misión de controlar los gases del combustible presentes en el tanque de gasolina.

Frente de llama: Es la parte de mezcla inflamada que separa la zona de los gases completamente quemados de los gases frescos que todavía debe arder.

Hidrocarburos: Son partículas de combustible sin quemarse, su presencia en el aire viene determinada por las combustiones incompletas.

Ignición: Punto de inflamación de una materia combustible al conjunto de condiciones físicas necesarias para que la sustancia empiece a arder al acercarse a una fuente de calor.

Isentrópico: Proceso termodinámico donde la entropía del sistema permanece constante.

Isobárico: Proceso termodinámico donde la presión del sistema permanece constante.

Isocórico: Proceso termodinámico donde el volumen del sistema permanece constante.

MCIA: Motor de combustión interna.

MEC: Motor de encendido por compresión.

MEP: Motor de encendido provocado.

Mezcla estequiométrica: Es la combinación ideal entre aire y combustible para que la combustión se realice del modo más eficiente.

Módulo de encendido: Es un dispositivo electrónico y perteneciente al sistema de encendido que actúa como interruptor de la bobina.

Motor alargado: Se lo denomina así cuando el diámetro del pistón es menor a la longitud de la carrera.

Motor cuadrado: Se lo denomina así cuando el diámetro del pistón es igual a la longitud de la carrera.

Motor supercuadrado: Se lo denomina así cuando el diámetro del pistón es mayor a la longitud de la carrera.

OHC: Motor con árbol de levas en cabeza.

OHV: Motor con válvulas en cabeza y árbol de levas en el block.

Oscilograma: Representación gráfica de una forma de onda obtenida mediante un oscilógrafo.

Pistoneo: Llamado también cascabeleo es un ruido metálico como resultado de una combustión en un momento incorrecto en el motor.

PMS: Denominado punto muerto superior es la posición que ocupa el pistón cuando llega al punto más elevado de su recorrido en el interior del cilindro.

Ralentí: Es el régimen mínimo de revoluciones por minuto a las que se ajusta un motor de combustión interna para permanecer en funcionamiento de forma estable sin necesidad de accionar un mecanismo de aceleración.

Régimen de giro: Es el número de vueltas que da un cuerpo sobre su propio eje por unidad de tiempo, en general, revoluciones por minuto.

Relación de compresión: Es el número que permite medir la proporción en volumen, que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible dentro de la cámara de combustión de un cilindro.

Salto de chispa sincrónico: Sucede cuando dos o más bujías en la cámara de combustión se activan al mismo tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

AN, Ning, DU, Mingxing, HU, Zhen, & WEI, Kexin “A high-precision adaptive thermal network model for monitoring of temperature variations in insulated gate bipolar transistor (IGBT) modules”. *Energies*, [en línea], 2018, (China) 21 (3), pp. 2-9. [Consulta: 13 de enero de 2020]. ISSN 1993-360X. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/3/595/pdf>

ASMI, Jhefri, & CANDRA, Oriza. “Prototype Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Microcontroller Arduino Nano dengan Sensor LDR”. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, [en línea], 2020, (United State of America) 6 (2), pp. 54-63. [Consulta: 13 de enero de 2020]. ISSN 2302-3309 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/343503799_Prototype_Solar_Tracker_Dua_Sumbu_Berbasis_Microcontroller_Arduino_Nano_dengan_Sensor_LDR

BALIGA Jayant, B. *The IGBT device: physics, design and applications of the insulated gate bipolar transistor*. Michigan-United State of America: William Andrew, 2015. ISBN 978-1455731435, pp. 9-18.

Banish, Greg. (2007). *Engine Management - Advanced Tuning*. Minnesota-United State of America: CarTech, 2007. ISBN 1932494421, pp. 18-39.

BARONA DÍAZ, Diego Alejandro. *Formulación de una pasta cerámica a partir de la utilidad en aisladores eléctricos para emplearse en la fabricación del sustrato de bujías de encendido automotriz utilizando materia prima nacional y alúmina de desecho de la empresa EDESA*. [en línea] (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [en línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Química y Agroindustria. (Quito-Ecuador). 2008. pp. 76-112. [Consulta: 13-01-2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1697/6/CD-1882.pdf>

Basshuysen, Richard; & Schaefer, Fred. *Internal Combustion Engine Handbook - Basics, Components, Systems and Perspectives*. 2ªed. Warrendale-United State of America: SAE International, 2004. ISBN 978-0-7680-8024-7, pp. 391-412.

PÉREZ BELLÓ, Miguel Angel. *Sistemas auxiliares del motor*. 2ªed. Madrid-España: Paraninfo, 2017. ISBN 978-84-283-3897-4, pp. 189-211.

BREMOND, A., & MERCERON, P. *AN819 Application Note - Capacitive Discharge Ignition*. Canberra-Australia: STMicroelectronics, 2004. pp. 3-9.

CAIZA JÁCOME, Pablo Geovanny, & PORTILLA AGUILAR, Ángel Adalberto. Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina. (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Mecánica. (Quito-Ecuador).

2010. pp. 73-125. [Consulta: 18-01-2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7684/1/CD-3340.pdf>

CALLISAYA MAMANI, Victor Hugo, & MARQUEZ GONZALES, Richard. Diseño e implementación de un sistema electrónico de medición de frecuencia respiratoria mediante la impedancia torácica. (Trabajo de titulación) (Doctoral). [en línea] Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Tecnología. (La Paz-Bolivia). 2016. pp. 41-66. [Consulta: 18-01-2020]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/12062/PG-1750-Callisaya%20Mamani%2c%20Victor%20Hugo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTRO ALTAMIRANO, Byron Ricardo. Sistema Electrónico para el monitoreo y alerta de la velocidad de un vehículo motorizado. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [en línea] Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. (Ambato-Ecuador). 2015. pp. 25-47. [Consulta: 18-01-2020]. Disponible en: http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8600/1/Tesis_t958ec.pdf

CHICHAK, Marcel. *Tuning the Lucas Distributor.* Armstrong-United State of America: Lucas Distributor, 2002. pp. 1-11.

CONTRERAS URGILÉS, Wilmer Rafael, LEÓN JAPA, Rogelio Santiago, & MALDONADO ORTEGA, José Luis. “Predicción de emisiones de co y hc en motores otto mediante redes neuronales”. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología* [en línea], 2020, (Ecuador) 1 (3), pp. 30-39. [Consulta: 18 de enero de 2020]. ISSN 1390-650X. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18266/1/ings_v23_Le%c3%b3n_Maldonado_Contreras.pdf

Crolla, D. A. *Automotive Engineering, Powertrain, Chasis Systemen and Vehicle Body.* Detroit-United State of America: Offarm, 2005, pp. 148-152.

DESHMUKH, Akshay D., & SHINDE, Ulhas B. “A low cost environment monitoring system using raspberry Pi and arduino with Zigbee”. *International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)* [en línea], 2016, (United State of America) 12(2) pp. 1-6. [Consulta: 19 de enero de 2020]. ISSN 978-1-5090-1285-5 Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Akshay-Deshmukh3/publication/313109815_A_low_cost_environment_monitoring_system_using_raspberry_Pi_and_arduino_with_Zigbee/links/5ddbdf8299bf10c5a33355f/A-low-cost-environment-monitoring-system-using-raspberry-Pi-and-arduino-with-Zigbee.pdf

FRANCO, Sergio. *Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados analógicos.* Puebla-México: Mc Graw Hill, 2005. ISBN 970-10-4595-5, pp. 5-43.

GONZÁLEZ JIMÉNEZ, Emilio Leonardo, REDROBÁN MOLINA, Rodrigo Daniel, & CASTRO CHICA, Luis Antonio. "Evaluación y simulación de las bujías a efecto del uso de etanol en la gasolina en motores de inyección". *Dominio de las Ciencias* [en línea], 2019, (Ecuador) 5(1), pp. 4-27. [Consulta: 19 de enero de 2020]. ISSN 2477-8818. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7152622.pdf>

GUEVARA, Esteban, TINAREJO, José, GUEVARA, Mauro, & CAJAS, Mildred. "Análisis comparativo del nivel de defectuosidad en los dispositivos de potencia SiC MOSFETs". *Revista Perspectivas* [en línea], 2020, (Ecuador) 2(1), pp. 33-37. [Consulta: 20 de enero de 2020]. ISSN 2661-6688 Disponible en: http://perspectivas.esPOCH.edu.ec:8081/index.php/RCP_ESPOCH/article/download/69/82

GUTIÉRREZ GÓMEZ, Emilia. Introducción al filtrado digital. (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Escuela Superior de Música de Catalunya, Departamento de Sonología. (Barcelona-España). 2009. pp. 3-15 [Consulta: 20-01-2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Emilia-Gomez/publication/267789977_Introduccion_al_filtrado_digital/links/5581410208aed40dd8cd4466/Introduccion-al-filtrado-digital.pdf

Hella KGaA Hueck & Co. *Ignition coils in motor vehicles*. Lippstadt-Germany: Hella KGaA Hueck & Co, 2009. ISBN 999 137-354, pp. 3-15.

IÑIGUEZ, Juan, REYES, Guillermo, RIVERA, Cristian, & VERA, Erik. "Estudio de emisiones contaminantes producidas por un motor Otto con el uso de gasolina y un combustible a base de 95% de gasolina y 5% de etanol". *INNOVA Research Journal* [en línea] 2017, (Ecuador) 2(12), pp. 11-18. [Consulta: 22 de enero de 2020] ISSN 2477-9024. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/3771/2/Estudio%20de%20emisiones%20contaminantes%20producidas%20por%20un%20motor%20otto%20con%20el%20uso%20de%20gasolina%20y%20un%20combustible%20a%20base%20de%2095%25%20de%20gasolina%20y%205%25%20de%20etanol.pdf>

IWAMURO, Noriyuki, & LASKA, Thomas. *IGBT history, state-of-the-art, and future prospects*. Tsukuba-Japón: Electron Devices, 2017, pp. 741-752.

KUMAR N. Komal, VIGNESWARI, D., & ROGITH, C. "An Effective Moisture Control based Modern Irrigation System (MIS) with Arduino Nano". *International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*. [en línea], 2019, (Turquía) 124(3), pp. 70-72. [Consulta: 22 de enero de 2020]. ISSN 1070-380X. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Komal-Kumar-Napa/publication/333651447_An_Effective_Moisture_Control_based_Modern_Irrigation_System

m_MIS_with_Arduino_Nano/links/5cfa696992851c874c553d6e/An-Effective-Moisture-Control-based-Modern-Irrigation-System-MIS-with-Arduino-Nano.pdf

KURNIAWAN, Hatim, & RIVAI, Muhammad. “Sistem Stabilisasi Nampan Menggunakan IMU Sensor Dan Arduino Nano”. *Jurnal Teknik ITS* [en línea], 2018, (Surabaya) 7(2), pp. 6-45. [Consulta: 22 de enero de 2020]. ISSN 141599. Disponible en: https://repository.its.ac.id/52821/13/2216105072_Undergraduate_Theses.pdf

ESCALANTE, Laime, & Hedy, Jhon. El amplificador operacional. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [en línea] Universidad Nacional de Educación, Facultad de Tecnología. (Lima-Perú). 2018. pp. 11-33 [Consulta: 25 de enero de 2020]. Disponible en: <http://200.60.81.165/bitstream/handle/UNE/4124/EI%20amplificador%20operacional.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

LAM, K. “Digital capacitive discharge ignition system using HC05/HC08 8-bit Microcontroller”. *Freescale Semiconductor Inc.* [en línea], 2004, (United State of America) 127(3), pp. 3-8. [Consulta: 25 de enero de 2020]. ISSN 1076-5131. Disponible en: <https://www.nxp.com.cn/docs/en/application-note/AN4006.pdf>

MALOBERTI, Franco, URIZA, Edwin, SANCHEZ, Javier, & CORONADO, Daniel. “Revisión teórica electrónica y física de un transistor de efecto de campo de unión pn”. *Ciencia, innovación y tecnología* [en línea], 2015, (Colombia) 2(3) pp. 61-69. [Consulta: 26 de enero de 2020]. ISSN 2389-9638. Disponible en: <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/rciyt/article/download/110/101>

PEREIRA ARROYO, Roberto, MOLINA ROBLES, Roberto, & CHACÓN RODRÍGUEZ, Alfonso. “Diseño de un amplificador operacional de transconductancia aplicando técnicas de optimización multiobjetivo”. *Tecnología en Marcha* [en línea], 2014, (Costa Rica) 27(1), pp. 3-9. [Consulta: 26 de enero de 2020]. ISSN 2215-3241. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v27n1/a01v27n1.pdf>

PULKRABEK, W. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Plateville-United State of America: Prentice Hall. 1997. ISBN 956-82-14834-55-9, pp. 12-77.

REES, L. *Principles of Electricity and Magnetism - Theory and applications*. Provo-United State of America: Cano Pina, S.L. 2007. ISBN 978-84-15884-53-8, pp. 4-192.

RIVERA RIVERA, Cristian Andrés, & VERA ORBE, Erik Saúl. Estudio de emisiones contaminantes producidas por un motor Otto con el uso de gasolina y un combustible a base de 95% de gasolina y 5% de etanol. (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Mecánica Automotriz. (Quito-Ecuador). 2018. pp. 2-45

[Consulta: 14 de enero de 2020]. Disponible en:
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2571/1/T-UIDE-1836.pdf>

ROJAS, María del Carmen. Degradación de transistores MOSFET de potencia en alimentadores de instrumentos de resonancia magnética nuclear con campo magnético ciclado. (Trabajo de titulación) (Licenciatura). [en línea] Universidad Cordubensis Tucumae, Facultad de Matemática, Astronomía y Física. (Córdoba-Argentina). 2017. pp. 60-77 [Consulta: 14 de enero de 2020]. Disponible en:
<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/5756/T%20E%20F%20Rojas%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ROSERO, Lisseth, & VELANDIA Brayam. “Transistor Mosfet: Caracterización y aplicaciones básicas”. *Electrónica Analógica* [en línea], 2017, (Colombia) 58(3), pp. 1-6. [Consulta: 15 de enero de 2020]. ISSN 833261. Disponible en:
https://www.academia.edu/33201689/Transistor_Mosfet_Caracterizaci%C3%B3n_y_aplicaciones_b%C3%A1sicas

SANDOYA, Fernando. “La Transformada Wavelet y los filtros paso-bajo paso-alto”. *Matemática*. [en línea], 2020, (Colombia) 3(1), pp. 46-51. [Consulta: 29 de enero de 2020]. ISSN 2416-3421 Disponible en:
<http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/matematica/article/view/737/631>

SANTOSA, E., & WALUYANTI, S. “Teaching Microcontrollers using Arduino Nano Based Quadcopter”. *Journal of Physics: Conference Series* [en línea], 2019, (Indonesia) 3(1), pp. 2-7. [Consulta: 29 de enero de 2020]. ISSN 1742-6596 Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/337997231_Teaching_Microcontrollers_using_Arduino_Nano_Based_Quadcopter/fulltext/5df98784a6fdcc283728e321/Teaching-Microcontrollers-using-Arduino-Nano-Based-Quadcopter.pdf

SERPA, Gabriel, et al. “Influencia del tipo de bujía en la evaluación del comportamiento y emisiones en un motor de encendido provocado”. *Enfoque UTE*, [en línea], 2019, (Ecuador) 10(2), pp. 115-125. [Consulta: 26 de enero de 2020]. ISSN 1390-9363. Disponible en:
<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v10n2/1390-6542-enfoqueute-10-02-00115.pdf>

SMIRNOV, I., SERGEEV, A., GAVRIKOV, A., & SHORIN, A. “Thermal impedance meter for power MOSFET and IGBT transistors”. *IEEE Transactions on Power Electronics*, [en línea], 2017, (United State of America) 33 (7), pp. 6211-6216. [Consulta: 26 de enero de 2020]. ISSN 2740961. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8012540>

STONE, R., & BALL, J. *Automotive Engineering Fundamentals*. [en línea], Warrendale-United State of America: SAE International, 2004. [Consulta: 28 de enero de 2020]. Disponible en: <https://dl.icdst.org/pdfs/files1/861fa7693e78fc2bbdfe84b49dc5c462.pdf>

TABOADA, A., MENDOZA, M. A., & LORENZO, J. V. "Diseño de Filtro Paso-Alto de Respuesta Finita al Impulso para Detectar Potenciales Tardíos Ventriculares". *International Federation for Medical and Biological Engineering*, [en línea], 2004, (United State of America) 5 (1), pp. 1199-1202. [Consulta: 26 de enero de 2020]. ISSN 1680-0737. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Juan-Lorenzo-Ginori/publication/274072032_Disenode-Filtro-Paso-Alto-de-Respuesta-Finita-al-Impulso-para-Detectar-Potenciales-Tardios-Ventriculares/links/5935984ca6fdcc89e7026a02/Disenode-Filtro-Paso-Alto-de-Respuesta-Finita-al-Impulso-para-Detectar-Potenciales-Tardios-Ventriculares.pdf

TIPANLUISA, L. E., REMACHE, A. P., AYABACA, C. R., & REINA, S. W. "Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades". *Información tecnológica*, [en línea], 2017, (Ecuador) 28(1), pp. 03-12. [Consulta: 27 de enero de 2020]. ISSN 78165X3. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v28n1/art02.pdf>

UMARKAR, Saurabh, & KARWANKAR, Anil. "Automated seed sowing agribot using arduino". *International Conference on Communication and Signal Processing (ICCS)*, [en línea], 2016, (United State of America) 21(4), pp. 1379-1383. [Consulta: 26 de enero de 2020]. ISSN 1191-55. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7754380>

Zarei, & Kakae. "A study and the effects of ignition timing on gasoline engine performance and emissions". *European Transport Research Review*, [en línea], 2013, (United State of America) 5(11), pp. 7-14. [Consulta: 28 de enero de 2020]. ISSN 12544-013. Disponible en: <https://etr.springeropen.com/articles/10.1007/s12544-013-0099-8>

ZÚÑIGA, Felipe, SÁNCHEZ, César, & VARGAS, Germán. "Implementación de enlace de fibra óptica usando microcontrolador". *Centro de investigación científica y tecnológica*, [en línea], 2013, (Ecuador) 3(2), pp. 1-6 [Consulta: 21 de enero de 2020]. ISSN 1180-7604. Disponible en: http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/24403/paper_Implementacion%20de%20enlace%20de%20fibra%20c3%b3ptica%20usando%20microcontrolador.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

ANEXO A: Programación del módulo de encendido electrónico de doble bujía.

```
#include <Arduino.h>

unsigned long rpmtime;
float rpmfloat;
unsigned int rpm;
bool tooslow = 1;
int pin = 3;
unsigned long duration;
unsigned long tiempo1, tiempo2;
int angulo, val, angulo2, val2;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  TCCR1B |= (1 << CS12); //Prescaler 256
  TIMSK1 |= (1 << TOIE1); //enable timer overflow
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);

  attachInterrupt(0, RPM, FALLING);
}

ISR(TIMER1_OVF_vect) {
  tooslow = 1;
}

void loop() {
  val = analogRead(A0);
  angulo=map(val,0,1023,0,360);

  rpmfloat = rpmtime;
  rpm = round(rpmfloat);

  tiempo1 =(rpm/360)*angulo;
  Serial.println(angulo);
}

void RPM () {
  digitalWrite(12,HIGH);
  rpmtime = TCNT1;
  TCNT1 = 0;
  tooslow = 0;

  delay(tiempo1);
  digitalWrite(10,HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(12,LOW);
}
```



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 02 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>José Luis Cajas Pereira Jorge Abrahan Velasco Aguiar</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Mecánica</i>
Carrera: <i>Ingeniería Automotriz</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Automotriz</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.</i>

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2022.02.22 08:16:07
-05'00'



1773-DBRA-UTP-2021