

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Desarrollo de un Sensor en Plataforma Arduino para Medición de Consumo de
Combustible

Por:

LAURA MARCELA GUERRA GUERRA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINARIA AGRÍCOLA

Desarrollo de un Sensor en Plataforma Arduino para Medición de Consumo de
Combustible

Por:

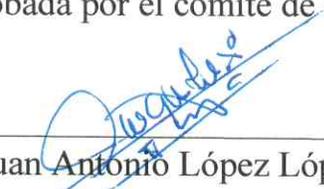
LAURA MARCELA GUERRA GUERRA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el comité de asesoría:


M.C. Juan Antonio López López

Asesor principal


Dr. Martin Cadena Zapata

Coasesor


M.C. Gilbert Fresh López Lopéz

Coasesor


MC. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México



Mayo, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MÁQUINARIA AGRÍCOLA

Desarrollo de un Sensor en Plataforma Arduino para Medición de Consumo de
Combustible

Por:

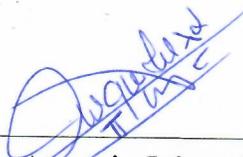
LAURA MARCELA GUERRA GUERRA

TESIS

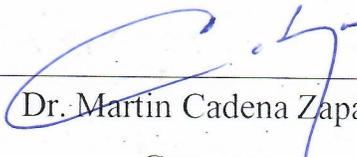
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Juan Antonio López López

Asesor principal


Dr. Martin Cadena Zapata

Coasesor


M.C. Gilbert Fresh López Lopéz

Coasesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2022

AGRADECIMIENTOS

A LA UAAAN

Agradezco a mi *Alma Terra Mater* por haberme brindado un lugar en la institución para aprender y adquirir grandes conocimientos durante esta etapa importante en la vida.

A LOS DOCENTES

Agradezco por proporcionar parte de sus conocimientos, sabiduría y enseñanzas a mi vida universitaria; principalmente los ingenieros Héctor Uriel Serna, al ingeniero Juan Antonio Guerrero. También agradecer de antemano también al asesor Juan Antonio López López, porque sin su tiempo y conocimiento no sería posible este trabajo.

A MIS FAMILIARES

Principalmente a mis padres Sacramento Guerra Lara y Ma. Josefina Guerra Villalobos, por sus sacrificios para darme la oportunidad de tener una carrera universitaria ya que sin ellos no sería esto posible.

A MI HERMANA

Por darme el ejemplo y apoyo de seguir adelante en la universidad.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Josefina Guerra Villalobos y Sacramento Guerra Lara, por su amor, cariño y comprensión, por regalarme la vida y cuidar de ella, por concederme esta gran herencia llamada aprendizaje, que no sería posible sin su sacrificio, y por apoyarme a pesar de todas las adversidades.

A MIS HERMANOS

Claudia Nayeli, Luis Martín, Víctor Omar, Sacramento Daniel y Carmen Susana por ser siempre mi fortaleza y ejemplo para seguir adelante. Pero principalmente a mi hermano Luis por ser como un padre en todos momentos de mi vida.

A MIS ABUELOS

A Raúl Guerra y María Mercedes Lara que me cuidan desde el cielo, por siempre confiar y amarme en todo momento.

A María Isabel Villalobos y Cirilo Guerra Ceja, por impulsarme a seguir adelante a pesar de las adversidades de la vida.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Energía en el sector agropecuario.....	3
2.1.1 Impacto del aumento de combustible en el sector agropecuario	3
2.1.2 Relación Agricultura - Sector Energético.....	4
2.1.3 Eficiencia energética.....	4
2.2 Consumo real de la energía en la actividad agrícola.....	5
2.3 Rendimiento de combustible en el tractor	7
2.4 Sistema de inyección de combustible	8

2.4.1 Elementos del Sistema de combustible.....	9
2.4.2 Funciones del sistema.....	10
2.4.3 Ventajas del motor de combustible	11
2.4.4 Rendimiento Térmico del Motor.....	11
2.5 Medidores de caudal.....	12
2.5.1 Medidores Volumétricos.....	12
2.5.2 Factores para la selección de medidores de flujo.....	13
2.5.3 Importancia de la medición del caudal.....	14
2.6 Sensores	14
2.6.1 Clasificación de sensores	15
2.6.2 Características	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Materiales.....	17
3.2 Desarrollo y programación del sistema en Arduino UNO	22
3.3 Programación del software Arduino UNO.....	22
3.3 Banco de prueba.....	28
3.4 Evaluación preliminar del sensor	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1 Conexiones de los componentes electrónicos.....	31
4.2 Funcionamiento del Banco de pruebas.....	34

4.3 Pruebas de funcionamiento del sensor.....	36
4.3.1 Pruebas de funcionamiento del sensor de inyección.....	36
4.3.2 Pruebas de funcionamiento del sensor retorno.....	40
4.3.3 Análisis de las pruebas.....	45
4.3.4 Ajuste del programa.....	47
4.3.5 Verificación al ajuste del programa.....	47
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
5.1 Conclusiones.....	51
5.2 Recomendaciones.....	51
VI. LITERATURA CITADA.....	53
VII. ANEXOS.....	58
7.1 Características del sensor YF-S201.....	58
7.2 Ficha técnica del sensor YF-S201.....	59
7.3 Programa de calibración para el sensor.....	60
7.4 Validación y Carga del programa Arduino UNO.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Consumo de Energía en el Sector Agropecuario.....	3
Cuadro 2.2 Necesidades de combustibles en diferentes labores.	5
Cuadro 2.3 Consumo de combustible de un subsolador a diferentes profundidades.	6
Cuadro 2.4 Medidores volumétricos.....	12
Cuadro 4.1 Conexiones del sensor, hacia el microcontrolador Arduino.	31
Cuadro 4.2 Conexión de la pantalla LCD y el microcontrolador Arduino.....	32
Cuadro 4.3 Diferencia de volumen del sensor 1/probeta.	36
Cuadro 4.4 Relación de volumen sensor/probeta.....	37
Cuadro 4.5 Variación de los resultados del sensor de inyección.....	39
Cuadro 4.6 Análisis de variación y eficiencia en el sensor de inyección.	40
Cuadro 4.7 Relación de volumen de la probeta/ sensor retorno.	41
Cuadro 4.8 Evaluación de las diferencias del sensor/probeta.....	42
Cuadro 4.9 Variación de volumen y eficiencia del sensor 2.....	43
Cuadro 4.10 Análisis de variación y eficiencia del sensor 2.	44
Cuadro 4.11 Datos obtenidos del sensor de inyección con el ajuste del programa.	47
Cuadro 4.12 Variación del sensor y número de pulsos.	48

Cuadro 4.13 Análisis de evaluación del caudal del sensor de retorno..... 49

Cuadro 4.14 Resultados de la evaluación del sensor..... 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Consumo de combustible L/ha.....	7
Figura 2.2 Elementos del sistema de inyección.....	10
Figura 2.3 Relación Rendimiento / Compresión.....	12
Figura 3.1 Software Arduino UNO 1.8.16 para la programación del sensor.....	17
Figura 3.2 Placa Arduino UNO microcontrolador para el sensor.....	18
Figura 3.3 Sensor magnético de efecto Hall YF-S201.....	18
Figura 3.4 Bomba de inyección de uso automotriz.....	19
Figura 3.5 Pantalla digital LCD para visualización de los resultados del sensor...	19
Figura 3.6 Fuente de energía para el encendido y apagado de la bomba de inyección.....	20
Figura 3.7 Placa de inserción protoboard.....	20
Figura 3.8 Cables para las conexiones del circuito eléctrico.....	21
Figura 3.9 Accesorios de latón para las conexiones de las mangueras de presión y sensor.....	21
Figura 3.10 Probeta para la evaluación de caudal.....	22
Figura 3.11 Declaración de las librerías y las variables anteriormente descritas.	24
Figura 3.12 Parte del programa de los pasos anteriores.....	25
Figura 3.13 Parte de las ecuaciones del programa.....	27

Figura 3.14 Programación de la impresión de resultados.	28
Figura 4.1 Conexión del microcontrolador hacia el sensor YF-S201.	31
Figura 4.2 Conexión de la pantalla LCD hacia el microcontrolador.	33
Figura 4.3 Conexión real del microcontrolador y pantalla	33
Figura 4.4 Señal de las conexiones de los sensores.	34
Figura 4.5 Banco de pruebas en laboratorio.....	35
Figura 4.6 Diferencias de caudal en las repeticiones.....	37
Figura 4.7 Relación de caudal probeta/sensor.....	38
Figura 4.8 Diferencias de caudales del sensor y el caudal de la probeta.....	39
Figura 4.9 Diferencia de caudales del sensor 1/contenedor.....	40
Figura 4.10 Relación de volumen Probeta/sensor.....	42
Figura 4.11 Relación de caudal sensor2/probeta.	43
Figura 4.12 Diferencia de resultados probeta/sensor2.	44
Figura 4.13 Diferencia de caudales del contenedor/sensor.	45
Figura 4.14 Relación de volumen real /sensor.	46
Figura 4.15 Relación de volumen real/sensor.	46
Figura 4.16 Relación de volumen probeta/sensor1.	48
Figura 4.17 Relación de caudal probeta/sensor 2.	50

Figura 7.1 Compilación del programa en Arduino UNO..... 64

Figura 7.2 Selección de tipo de placa para subir el programa..... 65

Figura 7.3 Selección del puerto por el cual se enviará el Código 66

Figura 7.4 Carga del programa al microprocesador Arduino 67

RESUMEN

El rendimiento de combustible es una variable crítica para la agricultura debido a que es un agregado agrícola muy importante al realizar una determinada labor, que depende de una serie de variables, entre las que puede destacar el tipo de suelo y estado o condición al momento de ser labrado, potencia del tractor, tipo de máquina que se utiliza, profundidad en que se trabaja, entre otras. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una programación para el sensor en plataforma Arduino para ser instalado en un banco de pruebas, donde se mide el flujo que atraviesa en un sensor de efecto Hall para medir el consumo de combustible en tractores agrícolas. Para esto se creó una programación en el software Arduino UNO, para manipular, controlar y alimentar el sensor, para que este posteriormente sea incluido en la entrada y retorno del sistema de combustible en tractores agrícola. Se necesitó evaluar el sensor en varias repeticiones con diferentes volúmenes para registrar los datos obtenidos del sensor y la probeta, esto con la finalidad de ajustar en la programación. En las pruebas realizadas se evaluó, primeramente, la variación de los datos obtenidos por los sensores, para posteriormente evaluar las diferencias de volumen de la probeta y los registrado por los sensores de inyección y de retorno. Los resultados de las evaluaciones muestran una diferencia estadística significativa entre tratamientos, lo que indica que se requiere hacer ajustes a la programación del sensor.

Palabras claves: Arduino, sensor de efecto Hall, medición de combustible.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades más importantes, de ella depende la alimentación de cada habitante. Esta actividad va de la mano con el avance tecnológico, ya que con el aumento de la población es inevitable el uso de maquinaria que facilite el trabajo del campo agrícola. Algunas de estas máquinas pueden ser, tractores, sembradoras, cosechadoras y demás máquinas usadas para un sin fin de cultivos; que conlleva a una agricultura de precisión (Cortés *et al*, 2009).

Actualmente se habla mucho de la agricultura de precisión, pero poca gente la pone en práctica por diferentes factores; también tenemos claro que la agricultura de precisión se basa en aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento y en el lugar exacto, lo anterior corresponde a una estrategia de administración que utiliza tecnologías de la información para recopilar, interpretar y aplicar información específica en la producción agrícola, transformando datos útiles e información en conocimiento y rentabilidad para apoyar a la producción, involucrando así el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos (García y Flego, 2008).

Por lo anterior, la agricultura de precisión busca obtener una mayor eficiencia, menores precios, mejores condiciones de cultivos, alimentos más seguros y una reducción del impacto ambiental y ecológico. Una de las interrogantes de la agricultura es el consumo de combustibles, en este caso el diésel, ya que es la fuente principal de energía utilizada para la actividad agrícola. Esta situación lo convierte en un insumo agrícola de suma importancia en la producción alimenticia; por ejemplo, en el 2015, la Secretaría de Energía (SENER) reportó que el sector agropecuario empleó 136.84 petajoules de estos combustibles, que representaron el 16% del consumo energético final del país de acuerdo con el Sistema de Información Energética (SIE, 2017).

Por lo anterior, en el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una programación para el sensor en plataforma Arduino, para ser instalado en un banco de pruebas, donde se mida el flujo que traspasa en un sensor de efecto Hall para medir el consumo de combustible en tractores agrícolas, con la finalidad de implementar

nuevas alternativas para disminuir el consumo de combustible real, viendo que la producción agrícola no se vea afectada por los efectos del incremento de los precios de los combustibles.

1.1. Objetivo general

Desarrollar y evaluar un sensor para medición de combustible en plataforma Arduino

1.2. Objetivos específicos

- Programar un sensor de efecto Hall en plataforma Arduino para determinar flujo de combustible.
- Realizar un prototipo para medición del sistema de combustible en laboratorio.
- Evaluar el flujo del sensor en la entrada y salida del combustible para obtener su confiabilidad.

1.3. Hipótesis

Es posible medir el consumo de combustible diésel en tractores agrícolas con una eficiencia del 95% del sensor con el desarrollo en Arduino.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Energía en el sector agropecuario

2.1.1 Impacto del aumento de combustible en el sector agropecuario

El aumento de combustible es una de las interrogantes que afecta a la agricultura de forma directa o indirecta debido a que la gasolina y el diésel son la fuente de energía principal utilizada para la actividad agrícola. De acuerdo con Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el sector agroalimentario consume cerca de 30% del total de energía disponible a nivel global, produciéndose más del 70% de este consumo fuera de las explotaciones agrícolas y produciendo más del 20% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (FAO, 2015).

Según la Secretaría de Energía el consumo de ésta, en el sector agropecuario para 2019 fue de 191.894 petajoules, este aumentó 1.39%, respecto al año anterior. De los combustibles que utiliza este sector, el más importante es el Diesel, que presentó 73.53 % del total de energía consumida (SENER, 2019). En el cuadro (2.1) se observa el consumo de energía en el sector agrícola de acuerdo con la variación del año 2018 y 2019:

Cuadro 2.1 Consumo de Energía en el Sector Agropecuario.

Subsidios	2018	2019	Variación Porcentual (%) 2019/2018	Estructura Porcentual (%)
Agropecuario	189.27	4341.21	1.39	100
Total, de petrolíferos	144.71	144.63	-0.05	75.37
Gas licuado	4.76	3.53	-25.82	1.84
Querosenos	0	0	0	0
Diesel	139.95	141.1	0.82	73.53
Electricidad	44.56	47.27	6.07	24.63

Fuente: secretaría de energía (SENER, 2019), Balance General de energía.

En los últimos años, los combustibles en México han sido los protagonistas más relevantes en la política económica del país. A partir de 2008, la Secretaría de

Hacienda y Crédito Público (SHCP) puso en marcha una política de deslizamiento de precios mensuales sobre los combustibles, con el objetivo de reducir el subsidio de las gasolineras y diésel; esta decisión fue motivada por las presiones sobre las finanzas públicas y como una alternativa para disminuir el gasto fiscal (Muñoz *et. al*, 2011).

2.1.2 Relación agricultura - sector energético

La agricultura y el sector energético tienen una relación muy importante. En primer lugar, la energía que proviene tanto de fuentes renovables como de no renovables es un insumo importante a través de los diferentes procesos agrícolas en la finca y en la agroindustria. En segundo lugar, la agricultura es un proveedor fundamental de energía renovable, a través de energía producida de la biomasa agrícola o forestal. Según la Agencia Internacional de Energía, a nivel global la bioenergía es la energía renovable más importante y contribuye con el 10% de la oferta primaria energética (Ávila, 2018).

2.1.3 Eficiencia energética

Ugarte (2020) menciona que la eficiencia energética consiste en la implementación de mejoras tecnológicas y de control en los procesos de transformación de materias primas en la industria, para reducir las emisiones y energía. Al estar la demanda de energía mundial en constante aumento debido al crecimiento poblacional e industrial, el aumento del consumo de combustibles despierta gran interés por el dominio de estos métodos alternativos tanto por combustibles como por el desarrollo de fuentes renovables de generación de energía.

SENER (2016), hace mención de que la práctica para la eficiencia energética tiene el objetivo de reducir el consumo de energía para realizar la actividad, esto para optimizar el uso de energía, mejorando o reduciendo su consumo, aunque esta depende del uso final que se le da a la actividad agrícola, algunas medidas pueden ser las siguientes:

- La adopción y mantenimiento de maquinaria en el uso de combustibles.
- La precisión de las prácticas agrícolas para la aplicación de fertilizantes.
- La adopción de prácticas agrícolas de labranza mínima, la intensidad de usos de energía en la maquinaria agrícola y que contribuyan a evitar la erosión de suelos.

2.2 Consumo real de la energía en la actividad agrícola

En la agricultura, el uso directo de energía incluye las operaciones de campo que forman parte de los factores del balance de ésta, utilizada directa e indirectamente para la producción de cultivos. De los consumos directos e indirectos, se encuentra el gasto en las operaciones de mecanización que representa un 31.8% del total del sistema, sólo por debajo del uso de fertilizantes. De la energía gastada por la maquinaria, el 92.7% se debe al consumo de combustible, de este el 54.3% se gasta en las operaciones para el establecimiento de los cultivos de labranza y siembra (Alluvione, 2011).

El consumo de combustible no es constante de una medida a otra, pero los resultados son satisfactorios, considerando las variaciones que pueden ocurrir (Weidema, 2000). En el Cuadro 2.2 se observa las necesidades de combustibles en las diferentes operaciones agrícolas:

Cuadro 2.2 Necesidades de combustibles en diferentes labores.

Operación agrícola	Consumo (L/ha)
Laboreo Primario	24
Laboreo Secundario	14
Fertilización	1
Laboreo Complementario	7
Siembra	6
Tratamiento Fitosanitario	1
Recolección	13

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDEA, 2005).

El consumo de combustible es diferente según las diversas máquinas. En estudios realizados en España, que comparan diferentes aperos con el rendimiento de trabajo y el consumo por hectárea resultan diferencias entre labores primarias de más de 20 L/ha y en labores secundarias de 20 a 30 L/ha (IDEA,2005). En el Cuadro 2.3 se muestran los resultados de una evaluación para diferentes tipos de suelos y profundidades, y su consumo de cada uno de ellos en hectáreas:

Cuadro 2.3 Consumo de combustible de un subsolador a diferentes profundidades.

Suelo	Profundidad	Consumo Horario (L/h)	Capacidad De Trabajo (ha/h)	Consumo Superficial (L/ha)
Ligero	18	14.9	1.92	7.8
Ligero	22	18.2	1.92	9.5
Fuerte	18	24.8	1.92	12.9
Fuerte	22	30.4	1.92	15.8

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDEA, 2005).

El consumo de combustible por unidad de tiempo o de superficie depende de múltiples factores, entre los que destacan: tipo de labor, profundidad y anchura del trabajo, clase de máquina, tamaño de la parcela, estado del cultivo, entre otros, claro, sin dejar de lado el motor del tractor que genera la potencia demandada y la forma de manejo (Márquez, 2004). En la gráfica de la Figura 2.1, se muestra el consumo de combustible en hectáreas sembradas:

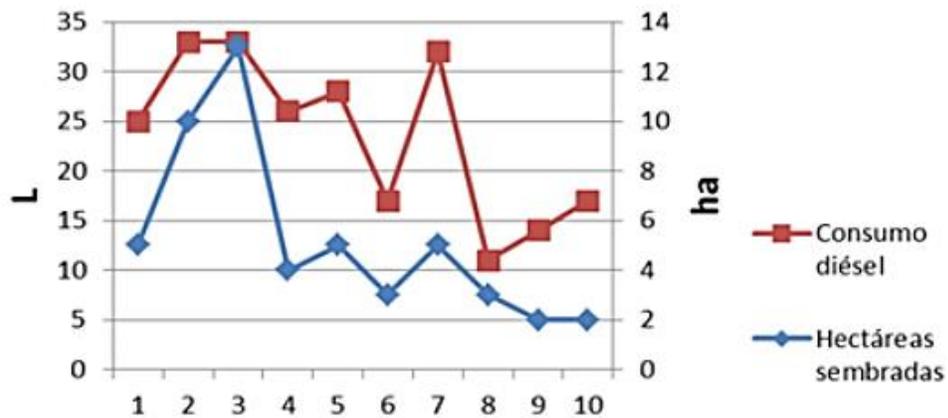


Figura 2.1 Consumo de combustible L/ha.

2.3 Rendimiento de combustible en el tractor

De acuerdo con Vázquez *et al*, (2021), el rendimiento de combustible es un agregado agrícola muy importante al realizar una determinada labor, que depende de una serie de variables entre las que podemos destacar el tipo de suelo y estado o condición en el momento de ser labrado, potencia del tractor, tipo de máquina que se utiliza y la profundidad en que trabaja.

IDAE (2005), menciona que en las explotaciones es necesario ahorrar combustible para disminuir los costes de producción, pero también para controlar y disminuir las contaminaciones que se producen con la actividad agraria, para controlar el consumo del tractor en las distintas labores agrícolas y sus opciones posibles, será el objetivo principal de una planificación de ahorro y uso eficiente del combustible en cada explotación agrícola. El consumo registrado en una operación agrícola puede variar por encima de un 30% según se tengan en consideración o no, una serie de aspectos que se exponen a continuación:

- a) Régimen de motor y adecuación de cambio 10-20%.
- b) Mantenimiento del motor 5-10%.
- c) Reducir el patinaje en un 5%.
- d) Neumáticos, doble tracción y bloqueo diferencial 5-10%.

e) Adecuación y mantenimiento de los aperos 5-10%.

Ezcaray (2012), señala que el mantenimiento y regulación del motor implica la limpieza de los filtros de aire y combustible, el control de la bomba de inyección e inyectores y el uso de los lubricantes adecuados. Todas las especificaciones al respecto vienen recogidas en el manual de instrucciones del tractor. La velocidad de giro del motor y la selección de la marcha son factores sobre los que se puede actuar como usuario. Además, una adecuada combinación de estos parámetros originará el máximo rendimiento energético de la operación y, por tanto, el mínimo consumo de combustible.

2.4 Sistema de inyección de combustible

El sistema de inyección es el responsable de suministrar el combustible al motor. Se compone de una etapa de baja presión y otra de alta, en la que se encuentra la bomba inyectora; ésta genera la presión de inyección requerida y suministra el combustible al circuito de alta presión. A su vez, la bomba inyectora es alimentada a través del circuito de baja presión, encargada de transportar el combustible desde el depósito y filtrarlas para garantizar que entre en el circuito de alta presión libre de impurezas y humedad (Calle, 2014).

Trujillo (2021), indica que los sistemas de inyección actuales a presión constante e inyección electrónica son llamados comúnmente sistemas *common rail*, en los cuales se almacena combustible a gran presión dentro de un recipiente para posteriormente inyectar en la cámara de combustión durante el proceso de inyección del motor. Estos sistemas han experimentado un gran avance desde sus inicios llegando así a conseguir actualmente, un mayor rendimiento en los motores y una disminución en la cantidad de residuos originados por una mala combustión.

2.4.1 Elementos del Sistema de combustible

Los elementos del sistema de alimentación pueden variar dependiendo del tipo de sistema de inyección ya sea de baja o alta presión, desde 0.1 hasta 0.3 MPa y desde 10 hasta 200 MPa respectivamente.

A continuación, se mencionan los componentes esenciales del sistema (Calle, 2014):

Depósito de combustible: Como su nombre lo indica, el depósito es el contenedor principal del combustible, por ende, el material con el que está compuesto es resistente a la corrosión que el mismo puede causar y a la presión generada por los vapores del combustible cuando el motor está en marcha y no pueden liberarse, es así cómo se genera una sobrepresión que se libera por sí misma por aberturas o válvulas de seguridad destinadas para esta función (Castillejo, 2014).

Filtro de combustible: Es el que debe de garantizar un nivel de pureza del combustible para evitar daños en el sistema de inyección. Su diseño depende del tipo de sistema y de las condiciones de operación, es más exigente para sistemas que trabajen a presiones más elevadas (Berger, 2002).

Bomba de suministro de combustible (baja presión): Según Recalde (2010) la bomba de suministro de combustible debe extraer la cantidad adecuada del depósito de combustible y enviarlo a presión a la bomba de suministro. Ésta a su vez debe bombear más combustible de lo que el motor pueda quemar.

Regulador de presión: Limita la presión de la salida de la bomba de alimentación (Bosch, 2005).

Los componentes del sistema de combustible varían de acuerdo con el sistema de inyección como se muestra en la Figura 2.2.

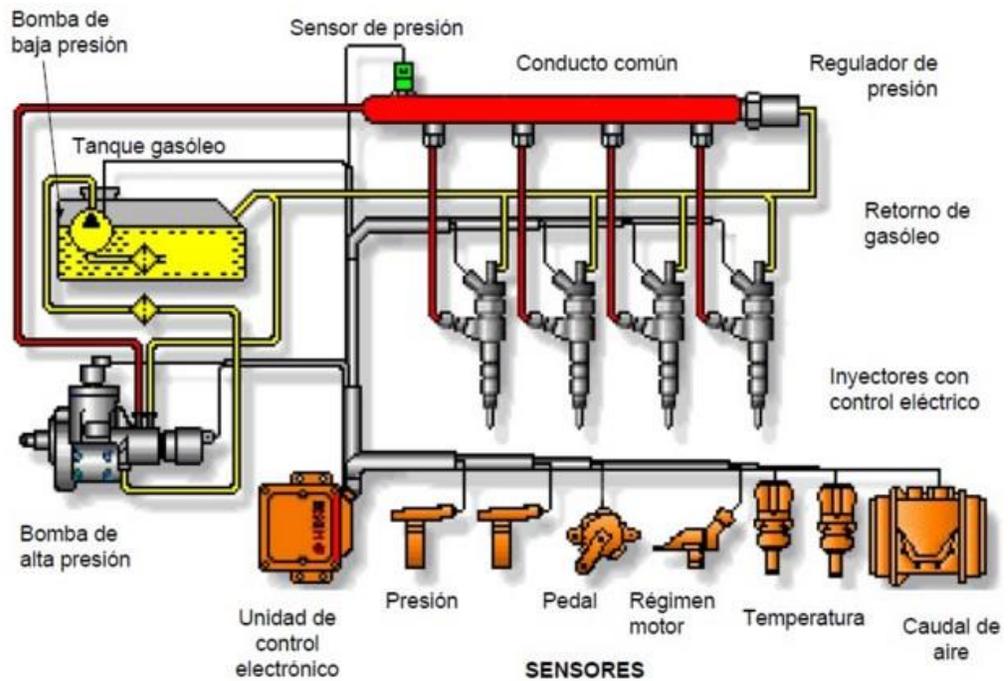


Figura 2.2 Elementos del sistema de inyección.

2.4.2 Funciones del sistema

De acuerdo con Denso (2018), la bomba de inyección debe cumplir las siguientes condiciones para su funcionamiento:

Suministro del combustible: el combustible se comprime a alta presión cuando la leva alza el émbolo, y se suministra seguidamente al inyector.

Ajuste de la dosificación de combustible: debido a que la potencia es prácticamente proporcional a la dosificación de la inyección, ésta se regula mediante el pedal del acelerador.

Ajuste de la regulación de la inyección: este periodo de tiempo casi constante independientemente de la velocidad del motor emplea un temporizador para ajustar y cambiar la regulación de la inyección, permitiéndose obtener la combustión óptima.

Pulverización del combustible: después de la presurización del combustible por la bomba de inyección seguida de su pulverización realizada por la tobera del inyector, el combustible se mezcla de manera efectiva con el aire mejorando así el encendido.

2.4.3 Ventajas del motor de combustible

García (2020), señala los sistemas equipados con *common rail* tienen las siguientes ventajas frente a los tradicionales:

- Control del punto de inicio y de la duración de la inyección.
- Mayor rendimiento térmico de hasta un 20% y de las emisiones de Óxidos de nitrógeno (NOx) o regeneración de los filtros de partículas.
- Menor consumo de combustible.
- Menos contaminante.
- Menor consumo (y emisiones de dióxido de carbono) y la favorable distribución de par motor en la gama baja de revoluciones.
- Sofisticado control electrónico.

2.4.4 Rendimiento Térmico del Motor

Según Consuegra (2007), el rendimiento térmico indica el calor procedente de la combustión que se transforma en trabajo; se puede expresar como una proporción de 35% (rendimiento térmico). El rendimiento térmico de un motor varía con la carga y el régimen; normalmente el máximo valor de rendimiento térmico está cerca del régimen de par máximo y casi a plena carga. en la gráfica de la Figura 2.3, siguiente se muestra la relación de rendimiento térmico en porcentajes:

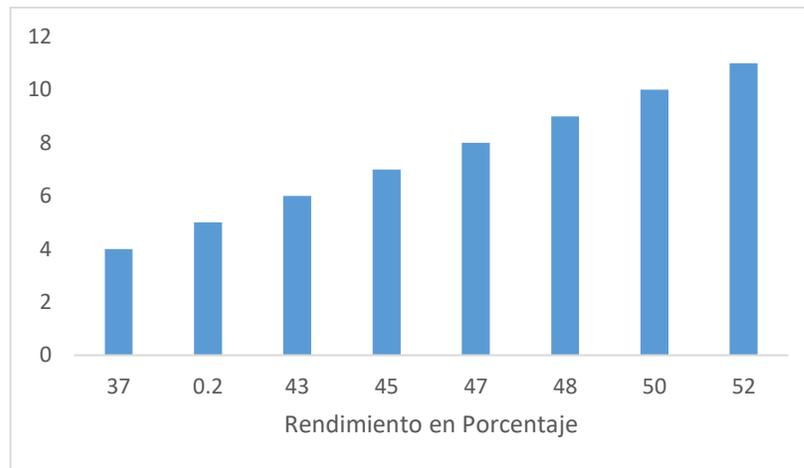


Figura 2.3 Rendimiento Térmico en relación con la Compresión.

2.5 Medidores de caudal

Los medidores de flujo o caudal son instrumentos que controlan, miden o registran la tasa de flujo, el volumen o la masa de un gas o líquido.

2.5.1 Medidores Volumétricos

Según ingeniería mecánica (IQR 2021), existen varios medidores de caudal volumétricos, utilizados en la entrada de equipos que requieren un control de volumen de fluidos, como intercambiadores de calor (sistemas de transferencia de calor), reactores, torres de destilación, entre otros. Además, se encuentran medidores de caudal en sistemas de transporte de fluidos en tuberías, donde se requiere mantener controlado el flujo volumétrico de fluido. Los más importantes se citan en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Medidores volumétricos.

Sistema	Elemento	Transmisor
	Placa, orificio, tobera Tubo Venturi	
Presión diferencial	Tubo Pitot Tubo Anular Conectados a tubo U o a elemento de fuelle o de diafragma	Equilibrio de fuerzas

Área variable	Rotámetro	Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de Impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Ultrasónicos Efecto Doppler Por impulso electromagnéticos	Potenciométrico Piezoeléctrico
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extensométricas
Tensión inducida	Medidor magnético	Convertidor Potenciométrico
Desplazamiento positivo	Disco giratorio Pistón Oscilante Pistón Alternativo Medidor Rotativo (Cicloidal, Birrotor, Oval).	Generador Taco métrico o transductor de impulso
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador de ultrasonidos.	Transductor de resistencia

Fuente: Creus (1993), Medidores volumétricos

La selección eficaz de un medidor de caudal exige un conocimiento práctico de la tecnología del medidor, además de un profundo conocimiento del proceso y del fluido que se quiere medir. Cuando la medida de caudal se utiliza con el propósito de facturar un consumo, debe ser lo más precisa posible, teniendo en cuenta el valor económico del fluido que pasa a través del medidor, y la legislación obligatoria aplicable en cada caso (Creus, 1993; Gutiérrez y Iturralde, 2007).

2.5.2 Factores para la selección de medidores de flujo

De acuerdo con Mott (2006), existen muchos dispositivos para medir el flujo, algunos miden el flujo volumétrico en forma directa, mientras que otros miden una velocidad promedio del flujo que se convierte en flujo volumétrico por medio de:

$$Q = A * v$$

En el cual la selección del tipo básico de medidor de fluido y su sistema indicador depende de varios factores, de los cuales se describirán continuación:

Rango: los medidores de flujo disponibles pueden medir flujo desde mililitros por segundos (ml/s), como instrumentos de precisión en laboratorios, hasta miles de metros cúbicos por segundo (m³/s), para aplicaciones de irrigación de agua.

Exactitud requerida: proveer una exactitud dentro del 5% del flujo real.

Pérdida de Presión: debido a que los detalles constructivos de los diferentes medidores son muy variados, producen cantidades de pérdida de energía diferentes conforme el fluido pasa a través de ellos.

Tipo de fluido: el funcionamiento de algunos medidores de fluido se encuentra afectado por las propiedades y condiciones del fluido. Otros factores que pueden ser importantes son la viscosidad, temperatura, corrosión, conductividad eléctrica, la claridad óptica, las propiedades de lubricación y homogeneidad del fluido.

Calibración: algunos tipos de medidores precisan de cierta manera calibración. Normalmente los fabricantes facilitan en forma de gráfica o esquema de flujo real, contra la indicación de lectura.

2.5.3 Importancia de la medición del caudal

Según la Ingeniería Química (IQR, 2021), la medición de caudal es de suma importancia, vital para un control de proceso, además de permitir asegurar la cantidad requerida de un fluido sin que se pueda realizar con contratiempos. Asimismo, son de suma importancia cuando se requiere cuantificar y almacenar cantidades de fluido, por ejemplo, barriles de petróleo, bidones de químicos, etc.

2.6 Sensores

Guarella *et al.* (2011), mencionan que los sistemas electrónicos, en este caso los sensores son elementos encargados de obtener información. Son llamados técnicamente transductores, y son capaces de convertir cualquier magnitud física, química o biológica en una magnitud eléctrica. El fenómeno de transducción puede darse de dos formas que se analizan a continuación:

Activo: la magnitud física a detectar proporciona la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica. Por ejemplo, piezoeléctricos o magnéticos.

Pasivo: cuando la magnitud a detectar se limita a modificar algunos de los parámetros eléctricos característicos del elemento sensor, como ser resistencia o reluctancia.

2.6.1 Clasificación de sensores

Heredia *et al.* (2011), señalan la clasificación de los sensores de acuerdo con la magnitud física que puede detectar y traducir en la señal eléctrica, y el principio físico en que se base. Según el principio de funcionamiento se realiza la clasificación siguiente:

Magnéticos: se basan en un funcionamiento electromagnético, es decir la relación que existe entre el magnetismo y la electricidad.

De conductividad eléctrica: se basa en la facilidad con que circula la corriente, por una sustancia cuando se halla sometida a determinadas condiciones físicas.

Termoeléctricos: son sensores cuya variación de resistencia guarda proporción con la temperatura a la que están sometida.

Piezoeléctricos: consiste en la aparición de una polarización eléctrica de un material al deformarse bajo la acción de una fuerza.

Por ultrasonido: se definen como los sonidos cuya frecuencia de vibración es superior al límite perceptible por el oído humano.

Por radiofrecuencia: trabajan con la comunicación mediante ondas radioeléctricas emitidas al espacio y recibidas por un receptor.

Interruptores y conmutadores: sensores cuya señal es proporcionada por accionamiento de origen mecánico, térmico o de cualquier otra naturaleza física.

De efecto Hall: Se basan en el denominado efecto Hall que se produce cuando un cierto tipo de semiconductor al ser recorrido por una corriente y sometido a un campo magnético, genera en sus extremos una diferencia de potencial.

2.6.2 Características

De acuerdo con Martínez (2021), Los sensores presentan diversas características para generar el mejor rendimiento dentro de las diversas aplicaciones que tienen:

- Rapidez en la respuesta.
- Múltiple instalación (lugar)
- Radio de acción
- Fiabilidad en el funcionamiento
- Tensiones de alimentación
- Consumo de corriente

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del laboratorio de mecánica del Departamento de Maquinaria agrícola en la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”, ubicada en la Calzada Antonio Narro #1923 Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315. Los materiales y métodos son los que a continuación se describen:

3.1 Materiales

Para el presente trabajo se emplearon una serie de componentes electrónicos, así como tubería para conexiones mecánicas, que a continuación, se enlistan:

Placa electrónica y software Arduino UNO

En las Figuras 3.1 y 3.2, se muestran el software y placa del Arduino empleados para programar, controlar y alimentar el sensor de efecto Hall al momento de interactuar con el fluido en el banco de pruebas.



Figura 3.1 Software Arduino UNO 1.8.16 para la programación del sensor.



Figura 3.2 Placa Arduino UNO microcontrolador para el sensor.

Sensor de flujo efecto Hall YF-S201

En la Figura 3.3, se muestra el sensor empleado para evaluar el caudal del banco de pruebas, mediante una programación del programa Arduino UNO, con precisión del 5%.

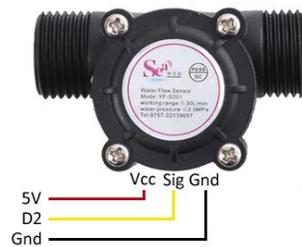


Figura 3.3 Sensor magnético de efecto Hall YF-S201.

Bomba de uso automotriz

En la Figura 3.4, se muestra la bomba mecánica empleada para la inyección del suministro del banco de prueba a los sensores, que se alimenta con un voltaje de 12 Volt.



Figura 3.4 Bomba de inyección de uso automotriz.

Pantalla digital LCD 16x2

En la Figura 3.5, se muestra la pantalla empleada para visualizar de manera digital los resultados de los sensores del banco de pruebas, debido a que se necesita para evaluar los datos obtenidos de los sensores de inyección y retorno.



Figura 3.5 Pantalla digital LCD para visualización de los resultados del sensor.

Fuente de energía de 12 Volts

En la Figura 3.6, se observa el sistema de alimentación de 12 volts para la bomba de inyección.



Figura 3.6 Fuente de energía para el encendido y apagado de la bomba de inyección.

Placa de inserción Protoboard

En la Figura 3.7, se observa la placa utilizada para la inserción de cableados de la parte digital, está para añadirle sistemas de resistencias para posibles fallas de voltaje en el circuito electrónico.



Figura 3.7 Placa de inserción protoboard.

Cableado y Resistencia de 220 Ω

En la Figura 3.8, se observa el sistema de conexiones de los componentes electrónicos.

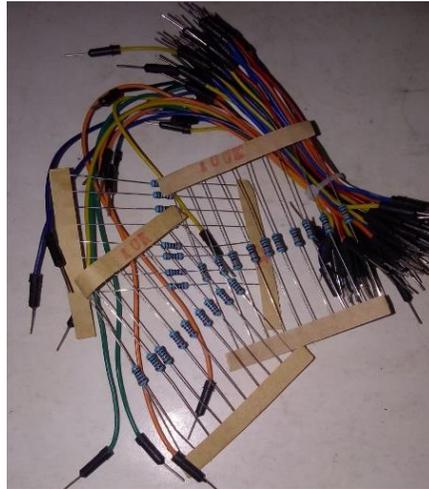


Figura 3.8 Cables para las conexiones del circuito eléctrico.

Mangueras de alta presión, Conectores de mangueras 1/2", Teflón, Conectores de reducción 5/16"

En la Figura 3.9, se muestra la conexión de las mangueras mecánicas en el banco de pruebas.



Figura 3.9 Accesorios de latón para las conexiones de las mangueras de presión y sensor.

Probetas de 1 Litro

En la Figura (3.10), se muestra el depósito de salida en los sensores, para la evaluación del caudal.



Figura 3.10 Probeta para la evaluación de caudal.

3.2 Desarrollo y programación del sistema en Arduino UNO

Con la finalidad de evaluar el flujo de combustible en tractores agrícolas, se desarrolló un software mediante el cual, se determina el caudal en Litros/hora, el volumen en litros y el número de pulsos del sensor al trasladar el fluido, debido a su funcionamiento en donde el caudal del líquido ingresa al sensor y hace girar una turbina, que está unida a un imán que activa el sensor de efecto Hall, que a su vez emite un pulso eléctrico que puede ser leído por la entrada digital del Arduino o PLC.

Además, se realizaron algunas conexiones de los componentes, como son el sensor de flujo yf-s201, el Arduino UNO (microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P, desarrollado por Arduino.cc), pantalla LCD 16X2 en la placa protoboard, con la finalidad de observar los resultados que proporciona el sensor de efecto Hall, en la pantalla LCD.

3.3 Programación del software Arduino UNO

Para la placa Arduino UNO, empleada en este trabajo, se realizaron una serie de pasos, dicha placa cuenta con un microprocesador ATmega328P programable, que

permite establecer conexiones entre varios dispositivos de manera autónoma o con otros dispositivos, para esto se empleó el software Arduino 1.8.16.

Los pasos se enumeran a continuación Figura 3.11:

1. **Selección de la librería a utilizar**, en este caso fue la `#include <LiquidCrystal.h>`, pues esta es la encargada de llamar la pantalla LCD 16x2, de forma verbal en la programación del software Arduino, sin esta sería imposible tener una conexión visual de los resultados de forma digital.
2. **Declaración del objeto LCD**, en las terminales de conexión (en, rs, d4, d5, d6, d7),
3. **Declaración de variables**; en este caso son las variables que se necesitan o que son más importantes del programa para el uso de operaciones y cálculos, las variables que se declararon fueron los pulsos, L/h, litros, el pin en el que se conecta el sensor, los pulsos acumulados, el tiempo, estos como variable para su valor.
4. **Indicaciones de la Rutina de servicio de la interrupción**, esto con el fin de indicar que el flujo no toma ningún parámetro, en el programa (`void flujo ()`).
5. **Asignación del número de pulsos en la unidad de incrementos** (`pulsos++;`).

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SENSOR_YF-S201
// Importamos la libreria
#include <LiquidCrystal.h>

// Declaracion del objeto en LCD y terminales de conexi
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

//Declaracion de las variables
volatile int pulsos;
unsigned int litrosPorHora;
unsigned char sensorDeFlujo = 2;
unsigned long tiempoAnterior;
unsigned long pulsosAcumulados;
float litros;

// Rutina de servicio de la interrupcion
void flujo()
{
  pulsos++; //Incremento en unidad del numero de pulsos
```

Figura 3.11 Declaración de las librerías y las variables anteriormente descritas.

6. **Inicio de la ejecución del programa** (`void loop ()`)
7. **Pin de entrada de señal** (`pinMode` (`sensorDeFlujo`, `INPUT`) ;) recibe la señal del sensor, en este caso del pin 2 ya que es el que acepta interrupciones al igual que el pin 3.
8. **Proporción del tiempo de registro de los resultados** (`Serial.begin`(9600) ;)
9. **Pantalla LCD e indicaciones de las dimensiones** (`lcd.begin`(16, 02);)
10. **Se delegaron las interrupciones** (`interrupts`();).
11. **Interrupción INT0**, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin digital 2 (`attachInterrupt`(`digitalPinToInterrupt`(`sensorDeFlujo`), `flujo`, `RISING`) ;)

12. **Se guardó el tiempo que tarda en ejecutarse el setup** (tiempoAnterior = `millis()` ;)

13. **Indicaciones al `void loop()`**, para introducción de los comandos que se ejecutan mientras la placa Arduino esté habilitada.

14. **Se asienta el tiempo en el que el caudal para imprimir los litros por hora consumidos** (`if (millis() - tiempoAnterior > 1000)`).

15. **Cálculos y operaciones correspondientes** en este caso se actualizó el nuevo tiempo en `millis`

Los pasos enumerados anteriormente se pueden observar en la Figura 3.12.



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SENSOR_YF-S201
void setup()
{
  pinMode(sensorDeFlujo, INPUT); // Pin digital para ent
  Serial.begin(9600); //Tiempo de registro de resultados
  lcd.begin(16, 02); // Inicializo el LCD 1602
  interrupts(); // Habilito las interrupciones

  // Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" e
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorDeFlujo),
  tiempoAnterior = millis(); // Guardo el tiempo que tar
}

void loop ()
{
  // Cada segundo calculamos e imprimimos el caudal y el
  if (millis() - tiempoAnterior > 1000)
  {
    // Realizo los cálculos
```

Figura 3.12 Parte del programa de los pasos anteriores.

16. **Asignación de la operación para el número de pulsos acumulados**, (`pulsosAcumulados += pulsos;`) anteriormente mencionados en el lenguaje de tipo estático.

17. **Asignación de la operación de litros por hora** (litrosPorHora = (pulsos * 60 / 7.5) ;), sabiendo que la operación para calcular el volumen en litros por hora, según el tipo de sensor es:

$$Caudal \left(\frac{L}{Hora} \right) = \frac{Frecuencia(Hz) * 60}{K}$$

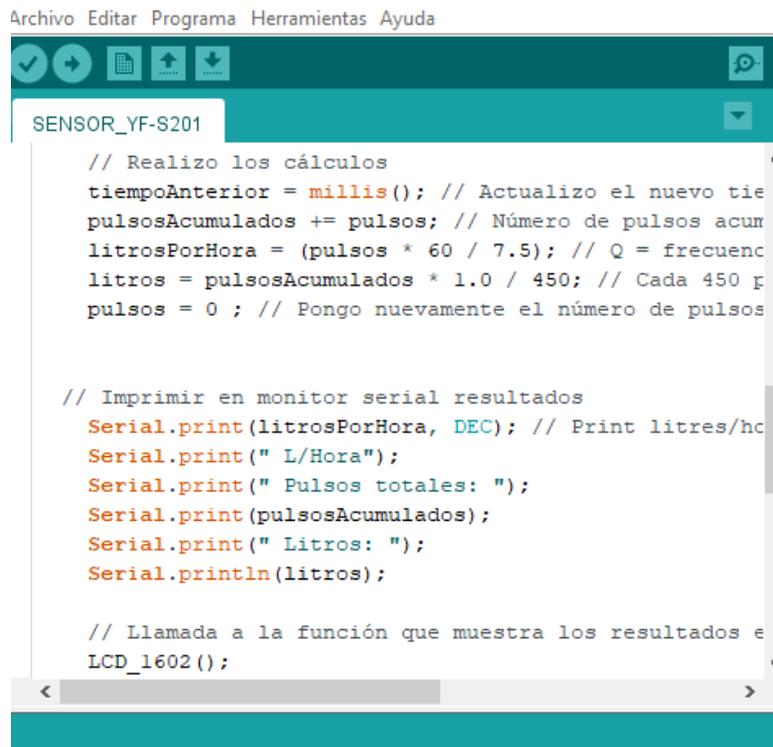
Donde K es una constante que varía de acuerdo con el tipo de sensor y en este caso su valor es de 7.5.

18. **Indicación de la operación para calcular los litros** (litros = pulsosAcumulados * 1.0 / 450;), está sabiendo que, de acuerdo con el tipo de sensor y sus especificaciones, 450 pulsos son 1 litro.

19. **Igualación de pulsos a cero** (pulsos =0;).

20. **Llamada de la función que muestra los resultados en la pantalla**, se indica el tipo de pantalla y dimensiones de la misma (LCD_1602(;)), que dado el caso es la pantalla LCD 16X2.

Los pasos enumerados anteriormente se pueden observar en la Figura 3.13, a continuación:



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SENSOR_YF-S201
// Realizo los cálculos
tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
pulsosAcumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados
litrosPorHora = (pulsos * 60 / 7.5); // Q = frecuencia
litros = pulsosAcumulados * 1.0 / 450; // Cada 450 pulsos
pulsos = 0 ; // Pongo nuevamente el número de pulsos

// Imprimir en monitor serial resultados
Serial.print(litrosPorHora, DEC); // Print litros/hora
Serial.print(" L/Hora");
Serial.print(" Pulsos totales: ");
Serial.print(pulsosAcumulados);
Serial.print(" Litros: ");
Serial.println(litros);

// Llamada a la función que muestra los resultados en la
LCD_1602();
```

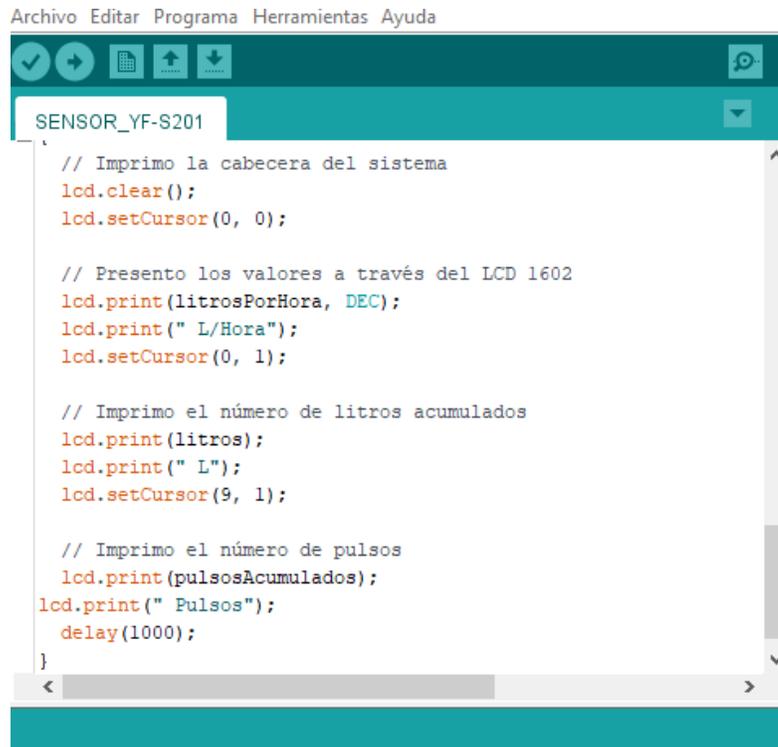
Figura 3.13 Parte de las ecuaciones del programa.

21. **Valores en forma digital**, se muestran los valores de los L/H, los litros y los pulsos totales que pasan a través del sensor, se abre nuevamente otro void para indicar donde se encuentran los resultados de forma digital (`void LCD_1602()`).

22. **Se muestran las variables para imprimir** los resultados en el monitor, dado el caso se tiene que colocar las variantes en donde se quiere que la pantalla muestre los resultados.

23. **Se indica el tiempo de que se imprimen los resultados en la pantalla digital** (`delay(1000);`)

Los pasos enumerados anteriormente se pueden observar en la Figura 3.14, a continuación:



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SENSOR_YF-S201
// Imprimo la cabecera del sistema
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);

// Presento los valores a través del LCD 1602
lcd.print(litrosPorHora, DEC);
lcd.print(" L/Hora");
lcd.setCursor(0, 1);

// Imprimo el número de litros acumulados
lcd.print(litros);
lcd.print(" L");
lcd.setCursor(9, 1);

// Imprimo el número de pulsos
lcd.print(pulsosAcumulados);
lcd.print(" Pulsos");
delay(1000);
}
```

Figura 3.14 Programación de la impresión de resultados.

3.3 Banco de prueba

Al terminar con las conexiones y la programación, se equipó el banco de pruebas para realizar la conexión de los sensores y demás materiales empleados, los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

- I. Se seleccionaron algunas maderas de varias medidas para realizar el banco de prueba de manera física y dimensional.
- II. Se colocaron las perforaciones en dichas maderas, para colocar el botón de encendido y apagado de la bomba de inyección automotriz, de igual manera, se instalaron dos perforaciones más para la conexión de las mangueras en la entrada y salida de la bomba de inyección, una donde la bomba era alimentada desde la bombona y la otra para la salida del combustible hacia el coplee que alimenta los sensores.

- III. Conexión de filtro, con la finalidad de que no entren impurezas ni suciedades al sistema de inyección del banco de pruebas.
- IV. Para la alimentación de los sensores, se conectan las mangueras de alta presión, con coplees de reducción, puesto que la manguera son las dimensiones de 15/16" y los sensores en sus cavidades de entrada son de 1/2", de igual manera en la salida del sensor se conectaron coplees de reducción y mangueras para que estén en la salida del sensor con el propósito de que al momento de las pruebas sea posible llegar hacia las probetas.

3.4 Evaluación preliminar del sensor

Para la evaluación de los datos se realizaron los pasos, que se muestran a continuación

- 1) **Restricción de la salida del sensor:** esto para evaluar de manera independiente, cuanto es el flujo que atravesaba en cada sensor, esto con finalidad de evaluar los resultados obtenidos
- 2) **Llenado de la bomba de Diésel:** para esto se agregaron 5 L de combustible para realizar las mediciones correspondientes.
- 3) **Adición de una probeta en la salida de cada sensor:** para evaluar el volumen en la salida de combustible de los sensores
- 4) **Encendido de la fuente de alimentación:** para que el banco de prueba hiciera su función.
- 5) **Medición del caudal en la probeta:** después de cada cierto valor de los sensores se observó el volumen de ésta.
- 6) **Registro de resultados del sensor y probeta:** en cada prueba realizada se procedió a realizar un registro de los resultados obtenidos del sensor y el volumen con el que contaba la probeta.
- 7) **Análisis de resultados:** en esta parte se procedió a realizar los cálculos necesarios de la variación de los resultados obtenidos. Para determinar en

los datos la variación de cada uno de los sensores, eficiencia (%), para esto se realizaron las operaciones mediante la ecuación siguiente

$$s^2 = \frac{\Sigma(X - Media)^2}{N}$$

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$CV = \frac{s}{Media}$$

$$Eficiencia(\%) = \frac{vol. aparente}{vol. real} \times 100$$

Donde X es el valor medido por el sensor, N es el número de repeticiones, s^2 es la varianza, s es la desviación, CV el coeficiente de variación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Conexiones de los componentes electrónicos

Se realizaron las conexiones necesarias de los dispositivos de evaluación del sensor de efecto Hall YF-S201, para las conexiones se usaron componentes como la pantalla LCD, Arduino UNO, la placa de inserción protoboard, cables y resistencias.

- I. Conexión del sensor acorde al color del cableado como se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Conexiones del sensor, hacia el microcontrolador Arduino.

Cables (Color)	Conexión (Sensor)	Pines (Arduino)
Amarillo	Señal	PIN 2
Negro	GND	GND
Rojo	Alimentación	5V

La conexión de la señal del sensor se conectó en el Pin 2, ya que la placa Arduino UNO acepta en este puerto interrupciones necesarias para el sensor, al igual que el pin 3. En la Figura 4.1, siguiente se puede observar la conexión mencionada anteriormente:



Figura 4.1 Conexión del microcontrolador hacia el sensor YF-S201.

- II. Al elegir la pantalla y saber el interfaz de comunicación que ésta posee; y según el microprocesador que se encarga, puede definir las conexiones de la pantalla LCD y microprocesador Arduino UNO en cada uno de sus pines, para así tener una visualización digital de los resultados obtenidos del sensor.

A continuación, se señalan las conexiones de los puertos y pines de conexión como se muestra en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2 Conexión de la pantalla LCD y el microcontrolador Arduino.

Puertos (LCD)	Pines (Arduino)
VCC	GND
VDD	5V
RS	PIN 9
RW	GND
E	PIN 8
D4	PIN 4
D5	PIN 5
D6	PIN 6
D7	PIN 7
A	5V
K	GND

Al realizar todas las conexiones correspondientes entre la pantalla LCD Y el microprocesador Arduino UNO, esta acción es trascendental para comunicar la pantalla con el microcontrolador, ya que es necesario verificar las conexiones y definiciones de los componentes, puesto que si no están definidos y conectados como se estableció, es posible que no cuente con el funcionamiento adecuado, como se muestra en la Figura 3.2.

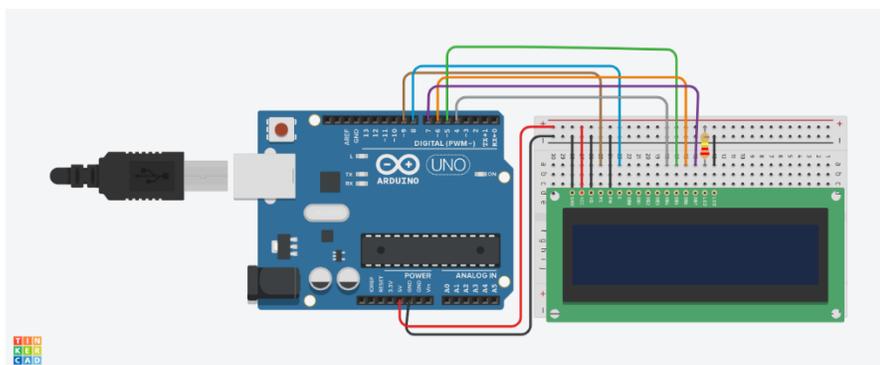


Figura 4.2 Conexión de la pantalla LCD hacia el microcontrolador.

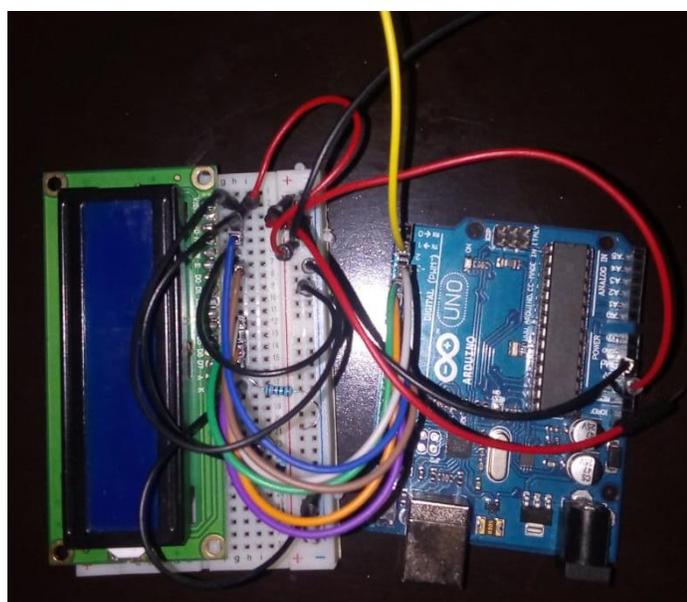


Figura 4.3 Conexión real del microcontrolador y pantalla LCD en el banco de pruebas.

En la Figura 4.4 se muestra la conexión de ambos sensores con sus respectivas señales.



Figura 4.4 Señal de las conexiones de los sensores.

4.2 Funcionamiento del Banco de pruebas

En la Figura 4.5 se muestra el banco de pruebas donde se evaluaron los sensores de inyección y retorno.

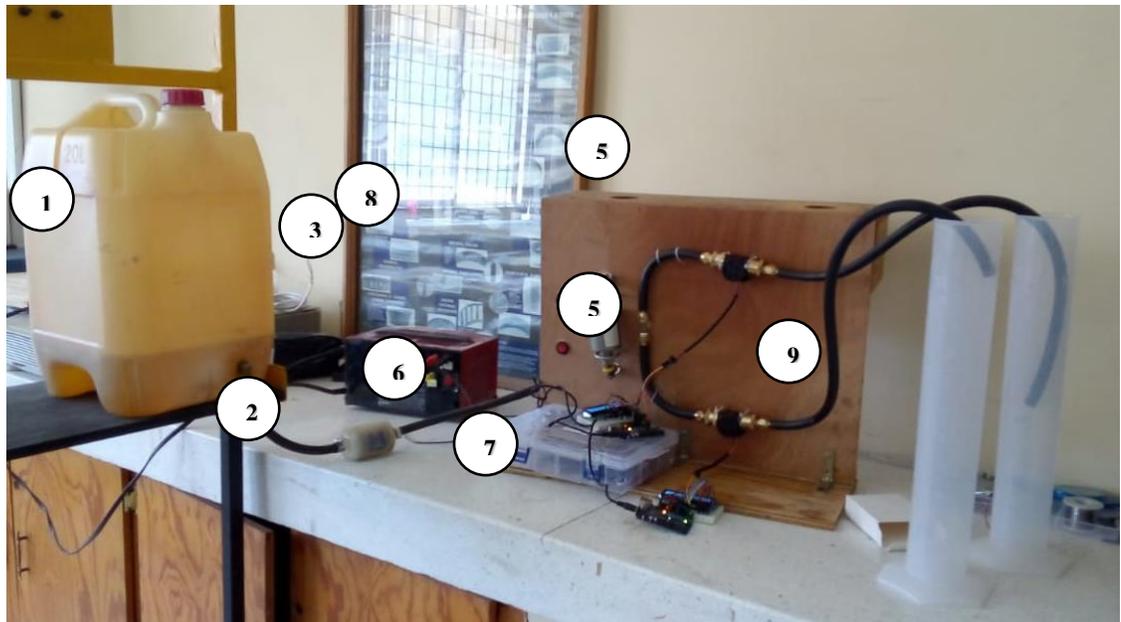


Figura 4.5 Banco de pruebas en laboratorio.

1) Depósito de combustible 2) Filtro 3) Fuente de alimentación para la bomba de inyección 4) Bomba de inyección 5) Sensor de inyección y retorno 6) Sistema electrónico del sensor de inyección 7) Sistema electrónico del sensor de retorno 8) Botón de encendido y apagado de la bomba 9. Depósito de salida de los sensores

Al realizar las conexiones de la parte electrónica del banco de pruebas el funcionamiento es el siguiente:

1. Inicia desde el depósito de suministro de combustible, en este caso consta de la bomba de 20 L, el combustible es introducido por medio de una bomba de inyección de uso automotriz, no sin antes pasar por medio de un filtro para detectar impurezas y suciedades en el combustible.
2. Posteriormente pasa por la bomba inyectora de uso automotriz, circulando por las mangueras del paso del banco de prueba esto con la finalidad de alimentar la entrada de los sensores de efecto Hall YF-S201
3. Consecutivamente los sensores actúan mediante un rotor de paletas que se encuentra dentro de la carcasa plástica del sensor, al atravesar el fluido por el interior del sensor, el flujo hace girar el rotor, generando una velocidad de giro que se determina mediante un imán fijado al rotor, que es detectado mediante un sensor de efecto Hall externo a la carcasa, todo esto alimentado desde una fuente de energía de 12 Volts.
4. Al realizarse todo el proceso en el banco de pruebas, el circuito electrónico es el encargado de mostrar los resultados del caudal que atraviesa por los sensores ya de manera física y digital, todo esto se efectúa gracias a que el sensor envía la señal al microcontrolador Arduino UNO, esté encargado de realizar los cálculos y operaciones necesaria.

4.3 Pruebas de funcionamiento del sensor

4.3.1 Pruebas de funcionamiento del sensor de inyección

Para las pruebas de caudal del sensor de inyección, se procedió a realizar varias pruebas para determinar la variación de éste. Las pruebas realizadas son las siguientes:

Prueba 1- 500ml

La siguiente prueba se determinó para evaluar la diferencia de caudal del sensor y la probeta. Se realizó con el objetivo de evaluar el paso de combustible en el sensor y el obtenido en la probeta, para esto se necesitó el volumen que registraba el sensor y el volumen que se contenía en la probeta, en un aproximado de 500 ml, en 10 repeticiones. Para los datos obtenidos del sensor, en la siguiente prueba se observó diferencia de los resultados obtenidos más repetitivas, y una eficiencia menor a los 95% que se había considerado. En el Cuadro 4.3, se muestra la diferencia del volumen registrado por el sensor de inyección con una variación de los resultados obtenidos del 5.79% y el obtenido mediante la probeta, de igual manera las eficiencias correspondientes con los datos obtenidos.

Cuadro 4.3 Diferencia de volumen del sensor 1/probeta.

Probeta (ml)	Sensor 1 (ml)	# Pulsos	Diferencial (ml)	Eficiencia (%)
530	520	232	10	98.11
520	480	217	40	92.30
510	450	201	60	88.26
520	460	205	60	88.46
510	440	197	70	86.27
510	440	200	70	86.27
510	440	198	70	86.27
510	440	200	70	86.27
510	440	195	70	86.27
510	440	200	70	86.27
TOTAL: 5140	4550			

En la gráfica de la Figura 4.6, se muestra la diferencia existente entre el volumen del sensor y la probeta, para los resultados mostrados anteriormente.

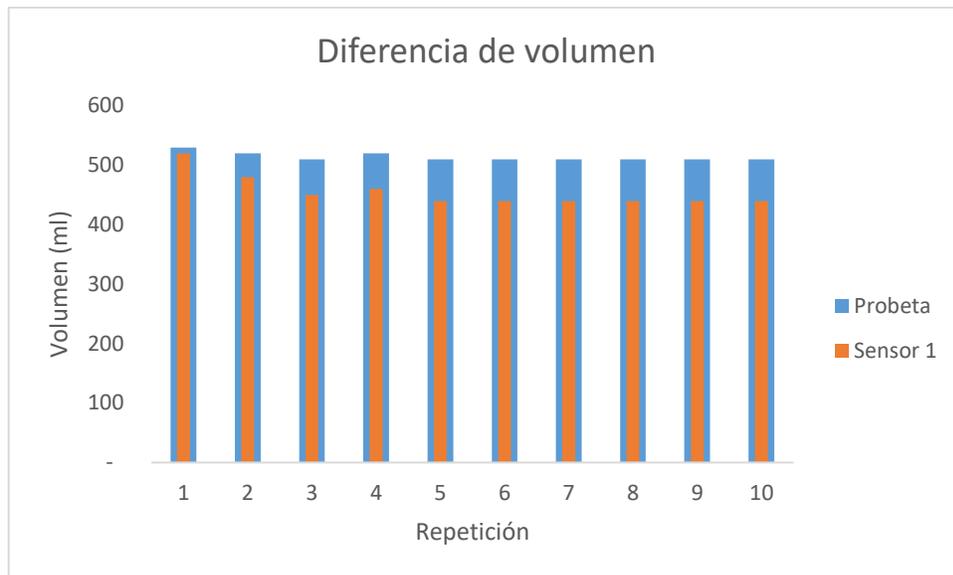


Figura 4.6 Diferencias de caudal en las repeticiones.

Prueba 2 – 1000 ml

En la siguiente prueba se realizó a 1000 ml, nuevamente en 10 repeticiones, para verificar las diferencias entre el sensor a mayor volumen en la probeta. En el Cuadro 4.4, posterior, se puede apreciar la diferencia entre resultados obtenidos del sensor 1, mostrando así una variación de 2.12% respecto a las diferencias que fueron más repetitivas que la anteriormente evaluada, con eficiencias no por encima del 95%, como se pretendía.

Cuadro 4.4 Relación de volumen sensor/probeta.

Probeta (ml)	Sensor (L)	Diferencia (L)	Eficiencia (%)
980	910	70	92.86
1000	870	130	87.00
990	850	140	85.86
1000	850	150	85.00
1000	860	140	86.00
1000	870	130	87.00
1000	860	140	86.00
1000	860	140	86.00
1000	850	150	85.00

990	850	140	85.00
TOTAL: 9960	8630		

En la gráfica de la Figura 4.7, se puede apreciar el caudal registrado por el sensor y el obtenido en la probeta, observando así la diferencia existente entre ambos volúmenes.

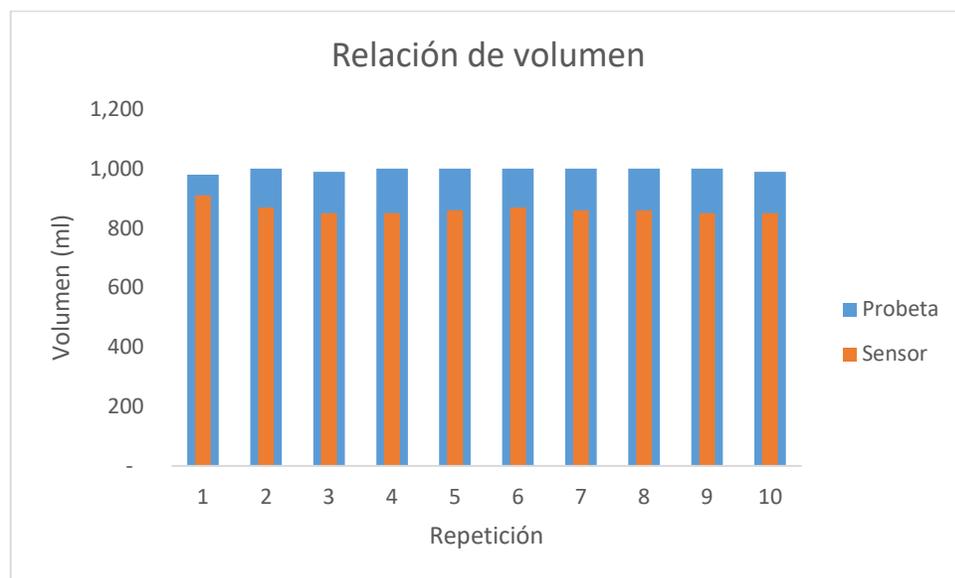


Figura 4.7 Relación de caudal probeta/sensor.

Prueba 3-1000 ml

La siguiente prueba se realizó con la finalidad de verificar si las diferencias de caudales son acumulativas y en que determinado volumen. En esta evaluación se procedió a registrar los resultados obtenidos por el sensor de inyección, para determinar la eficiencia de estos, esto en varias repeticiones, y verificar si las diferencias eran acumuladas en la respuesta del sensor. En el Cuadro 4.5, se aprecian los resultados obtenidos en una evaluación de 1000 ml, en 5 repeticiones. Donde se muestra una variación de 11.8 % en los resultados obtenidos por el sensor 1 y eficiencias por debajo a lo que se pretendía que fue a un 95%.

Cuadro 4.5 Variación de los resultados del sensor de inyección.

Sensor 1 (ml)	Diferencia	Eficiencia (%)
830	170	83.00
860	140	86.00
840	160	84.00
840	160	84.00
810	190	81.00
TOTAL: 4180		

En la gráfica de la Figura 4.8, se aprecian los resultados obtenidos anteriormente en el cuadro, en cuestión del volumen de la probeta y el registrado por el sensor.

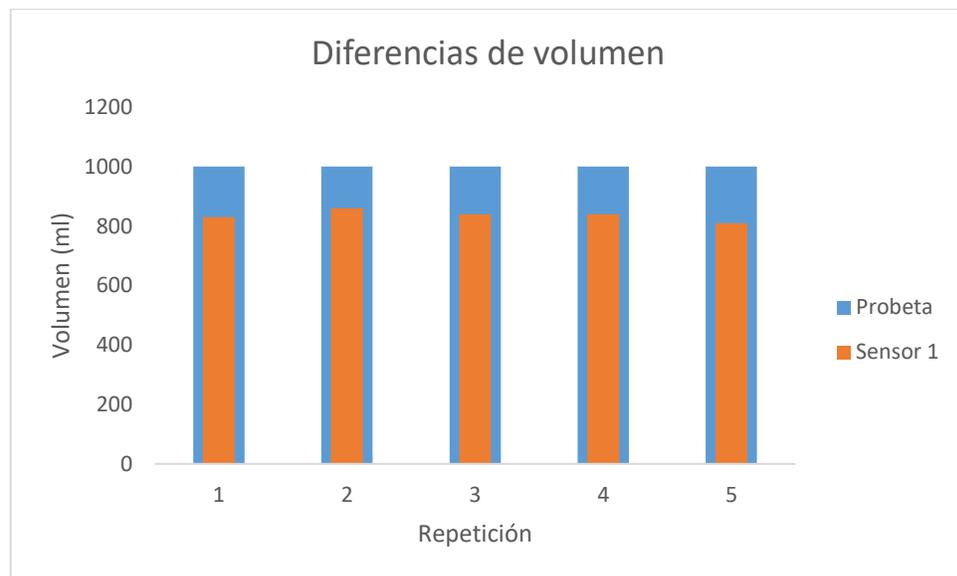


Figura 4.8 Diferencias de caudales del sensor y el caudal de la probeta.

Prueba 4-5000 ml

Se realizó en un volumen de 5000 ml, esto para verificar si la diferencia de los caudales era acumulable en el volumen registrado, de igual manera para observar la eficiencia del sensor. En el Cuadro 4.6 se refleja la variación existente en el sensor de inyección, en las cinco repeticiones realizadas, con el 0.65% y una eficiencia menor al 95% que se pretendía.

Cuadro 4.6 Análisis de variación y eficiencia en el sensor de inyección.

Sensor 1(ml)	Diferencia (L)	Eficiencia (%)
4240	760	84.80
4290	710	85.80
4300	700	86.00
4300	700	0.860
4310	690	86.20
TOTAL: 21440		4.29

En la gráfica de la Figura 4.9, se puede apreciar la diferencia del volumen registrado por el sensor y el contenedor.

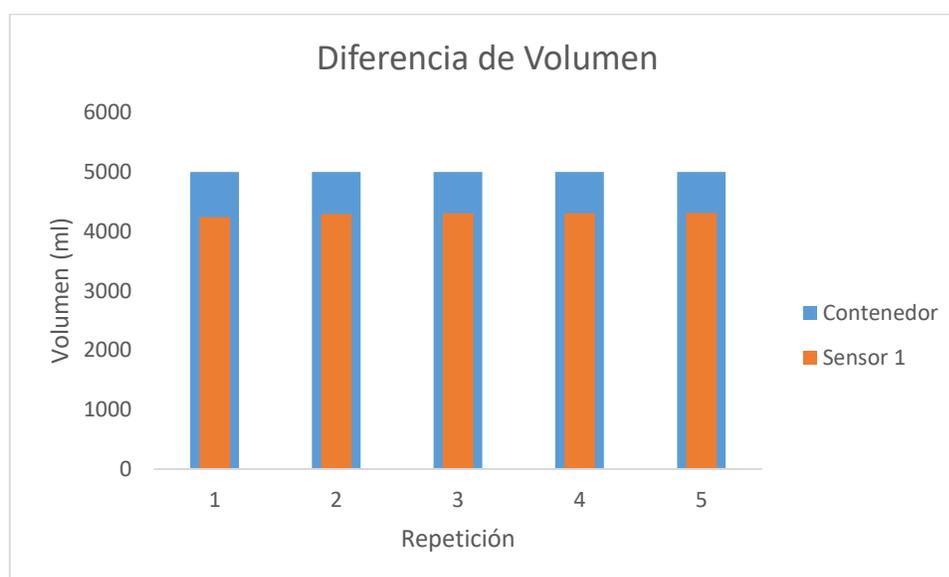


Figura 4.9 Diferencia de caudales del sensor 1/contenedor.

4.3.2 Pruebas de funcionamiento del sensor retorno

Para las pruebas de caudal del sensor de retorno, se procedió a realizar varias pruebas para determinar la variación de éste. Las pruebas realizadas son las siguientes:

Prueba 1- 500ml

La siguiente prueba se determinó para evaluar la diferencia de caudal del sensor y la probeta. Se realizó con el objetivo de las anteriores, pero para esto se necesitó el volumen que registraba el sensor y el volumen que se contenía en la probeta, en un aproximado de 500 ml. El Cuadro 4.7 muestra los resultados que se obtuvieron del sensor 2, en la prueba realizada, esto con diferencias más constantes entre el volumen registrado por el sensor y el obtenido en la probeta, mostrando de igual manera eficiencias menores al 95% que se pretendía y una variación de los resultados obtenidos del 2.34% respecto a los registrados por el sensor.

Cuadro 4.7 Relación de volumen de la probeta/ sensor retorno.

Probeta (ml)	Sensor (ml)	Diferencia (ml)	Eficiencia (%)
500	440	60	88.00
520	450	70	86.54
510	430	80	84.31
520	450	70	86.54
510	440	70	86.27
520	450	70	86.54
510	440	70	86.27
520	460	60	88.46
500	430	70	86.00
500	430	70	86.00
TOTAL: 5110	4420		

En la gráfica Figura 4.10, se puede apreciar la relación que existe entre el volumen registrado por el sensor y el obtenido por la probeta.

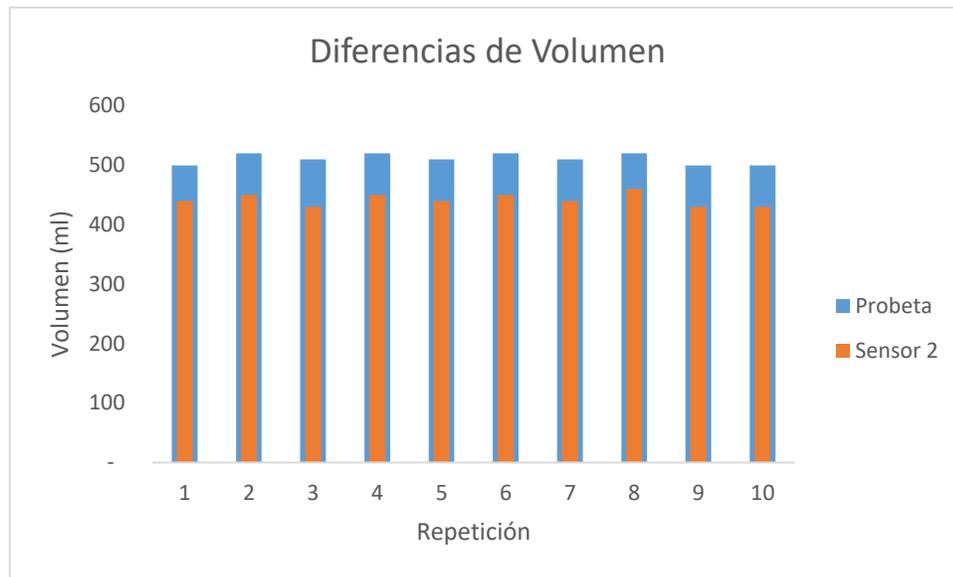


Figura 4.10 Relación de volumen Probeta/sensor.

Prueba 2-1000 ml

En la siguiente evaluación se valoró a 1000 ml, nuevamente en 10 repeticiones, para verificar las diferencias entre el sensor a mayor volumen en la probeta. En el Cuadro 4.8, se observan los resultados del sensor 2, con variación entre el volumen registrado por el sensor del 2.05% y el obtenido en la probeta, ya más repetitivos, con eficiencia del sensor menores a lo que se pretendía.

Cuadro 4.8 Evaluación de las diferencias del sensor/probeta.

Probeta (ml)	Sensor (ml)	# Pulsos	Diferencia (ml)	Eficiencia (%)
990	940	196	50	94.95
990	880	201	110	88.89
1000	890	197	110	89.00
1000	880	202	120	88.00
990	880	198	110	88.89
990	890	202	100	89.90
1000	890	197	110	89.00
1000	900	206	100	90.00
1000	900	195	100	90.00
990	880	195	110	88.89
9950	8930			

En la gráfica de la Figura 4.11, se puede observar la relación existente entre los valores obtenidos en la probeta y los registrados por el sensor 2.

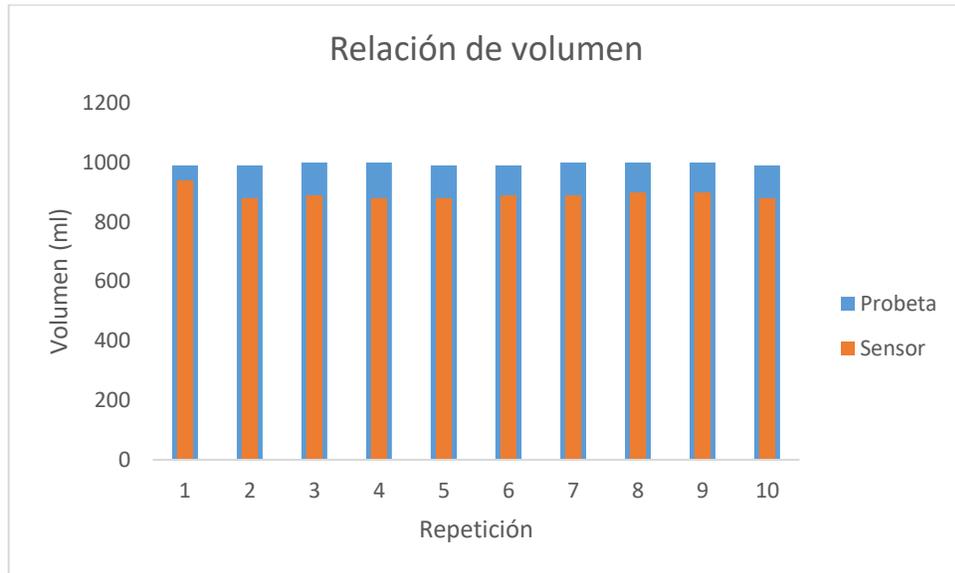


Figura 4.11 Relación de caudal sensor2/probeta.

Prueba 3-1000 ml

La siguiente prueba se realizó con la finalidad de verificar si las diferencias de caudales son acumulativas y en qué volumen. En esta evaluación se procedió a registrar los resultados obtenidos por el sensor de retorno, para determinar la eficiencia de éstos, esto en 10 repeticiones, y verificar si las diferencias eran acumuladas en respuesta del sensor. En el Cuadro 4.9, se puede observar los datos del sensor 2, en cuestión de diferencias de caudal de la probeta y el sensor, donde muestra una variación en los datos obtenidos del 3.75%, esto indicando a su vez una eficiencia menor a la que se pretendía para la medición de combustible.

Cuadro 4.9 Variación de volumen y eficiencia del sensor 2.

Sensor 2 (L)	Diferencia(L)	Eficiencia (%)
890	110	89.00
880	120	88.00

860	140	86.00
840	160	84.00
810	190	81.00
TOTAL: 4280		4.280

En la gráfica de la Figura 4.12, se puede apreciar más detalladamente la diferencia entre el volumen de la probeta y el registrado por el sensor.

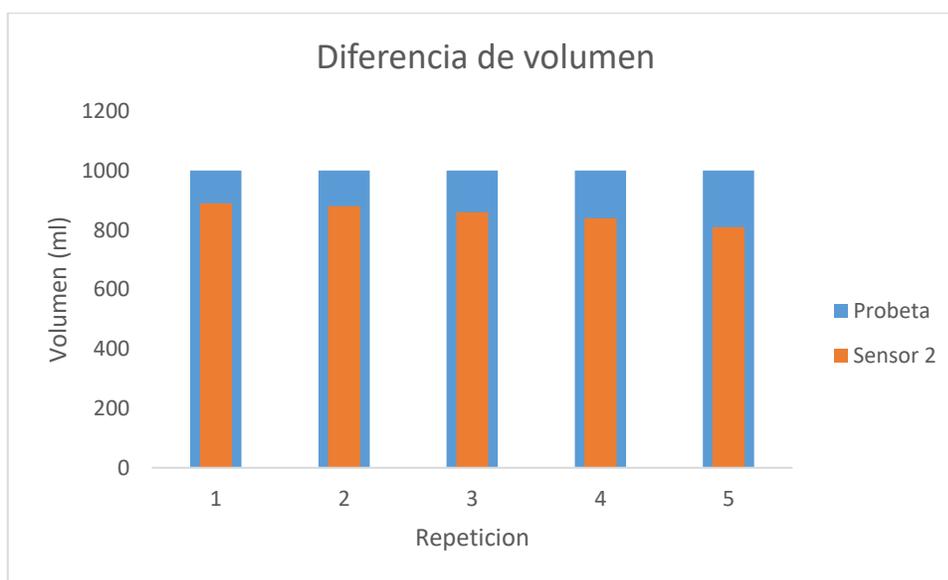


Figura 4.12 Diferencia de resultados probeta/sensor2.

Prueba 4-5000 ml

Se realizó en un volumen de 5000 ml, esto para verificar si la diferencia de los caudales era acumulable en el volumen registrado, de igual manera para observar la eficiencia del sensor. El análisis de variación del volumen del sensor 2, tiene una variación del 0.42%, y una eficiencia menor al 95 % que era la que se pretendía obtener, como se muestra en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4.10 Análisis de variación y eficiencia del sensor 2.

Sensor 2 (ml)	Diferencia(L)	Eficiencia (%)
4340	660	86.08
4300	700	86.00

4310	690	86.20
4330	670	86.60
4340	660	86.80
TOTAL: 21620		4.324

En la gráfica de la figura 4.13, muestra la diferencia del volumen registrado por el sensor y el obtenido en la probeta.

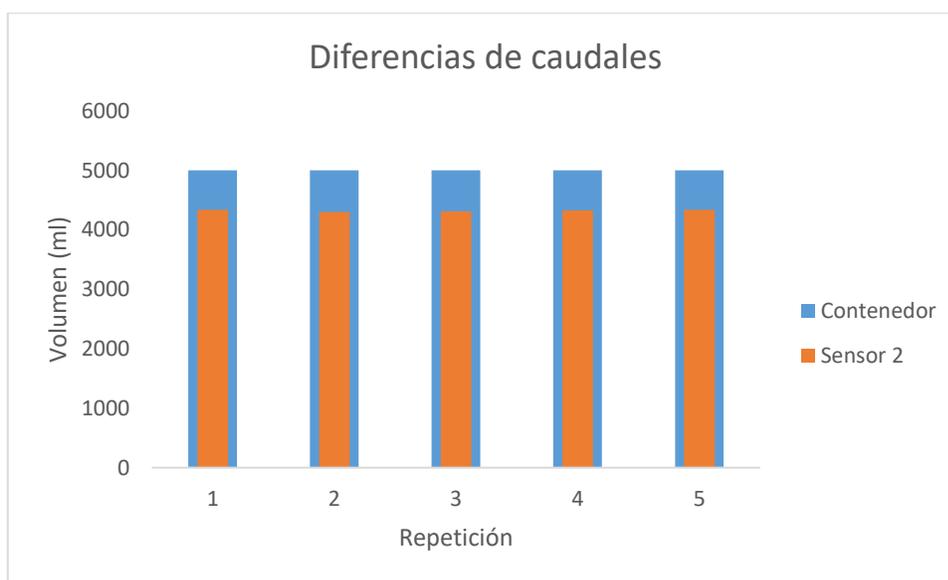


Figura 4.13 Diferencia de caudales del contenedor/sensor.

4.3.3 Análisis de las pruebas

Sensor de inyección

Con los resultados de los comparativos para las tres pruebas se realizó un análisis en el cual al aumentar el volumen de combustible que pasa por el sensor el error es más grande para la diferencia del sensor de inyección. Como se muestra en la gráfica de la Figura 4.14.

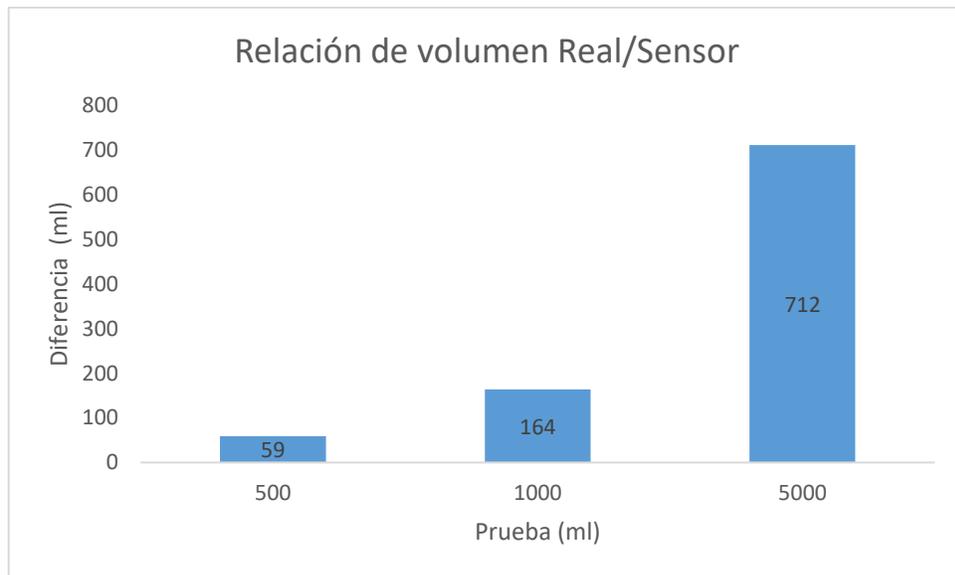


Figura 4.14 Relación de volumen real /sensor.

Sensor de retorno

Con los resultados de los comparativos para las tres pruebas se realizó un análisis en el cual al aumentar el volumen de error es más grande para la diferencia del sensor de retorno. Como se muestra en la gráfica de la Figura 4.15.

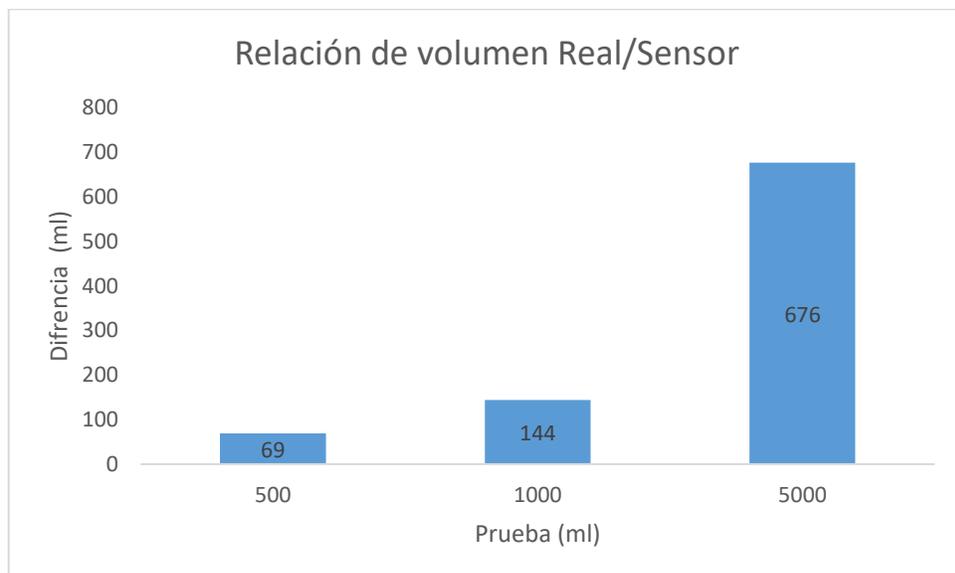


Figura 4.15 Relación de volumen real/sensor.

Por lo tanto, se procedió a ajustar la ecuación del sensor para aumentar la eficiencia, esto directamente en su programación dentro del software.

4.3.4 Ajuste del programa

Se realizó al efectuar ajustes en la programación, ya que se observó en las pruebas anteriores que los resultados de las diferencias de volumen registrado por el sensor y el obtenido en la probeta, anteriormente muestra diferencias elevadas y que son acumulativas para la precisión que se requiere en el presente trabajo. En esta parte se modificó la programación para la ecuación de pulsos, esto debido a que se analizaron los pulsos de las pruebas anteriores, donde se observó que los sensores no registraban 2.22 ml por pulso según lo especificado por el sensor donde se dice que el sensor remitió 450 pulsos en 1000 ml, como se había estipulado según las especificaciones, si no que enviaba 2.5 ml por pulso, en este caso se ajustó los pulsos a una equivalencia de 400 pulsos para cada 1000 ml. Los resultados obtenidos, se muestran en las pruebas de a continuación:

4.3.5 Verificación al ajuste del programa

4.3.5.1 Verificación al ajuste del programa sensor de inyección

Prueba de verificación

La siguiente prueba se realizó en dos volúmenes propuestos para la probeta con un volumen de 500 ml y 1000 ml, estas en cinco repeticiones. Los resultados obtenidos en los 500 ml son los que se observan en el Cuadro 4.11, donde se puede apreciar la diferencia del volumen en los 500 ml es más exacto, y la única variación existente es el número de pulsos en cada repetición, así mismo se cuenta con una eficiencia del 100% esto mayor a la que se pretendía.

Cuadro 4.11 Datos obtenidos del sensor de inyección con el ajuste del programa.

Sensor 1 (ml)	Pulsos	Eficiencia (%)
500	199	100
500	202	100
500	199	100

500	198	100
500	201	100

En el Cuadro 4.12, se puede observar ahora la diferencia que existe entre el volumen de la probeta de 1000 ml y el registrado del sensor, ahora si con variación en el número de pulsos y en el registrado por el sensor, indicándonos que la variación de los pulsos es acumulable nuevamente, pero que afecta significativamente el volumen.

Cuadro 4.12 Variación del sensor y número de pulsos.

Sensor 1 (ml)	Pulsos	Eficiencia (%)
1000	399	100
980	394	98
980	394	98
980	392	98
980	394	98

En la gráfica de la Figura 4.16, se puede observar la Diferencia existente en el volumen de la probeta y del sensor de inyección



Figura 4.16 Relación de volumen probeta/sensor1.

4.3.5.2 Verificación al ajuste del programa sensor de retorno

Prueba de verificación

La siguiente prueba se realizó en dos volúmenes propuestos para la probeta con un volumen de 500 ml y 1000 ml, estas en cinco repeticiones. Los resultados obtenidos en los 500 ml son los que se observan en el Cuadro 4.11, donde se puede apreciar la diferencia del volumen en los 500 ml es más exacto, y la única variación existente es el número de pulsos en cada repetición, así mismo se cuenta con una eficiencia del 100% esto mayor a la que se pretendía. El sensor 2, muestra que la única variación existente es el número de pulsos en cada repetición. Como se muestra en el Cuadro 4.13.

Cuadro 4.13 Análisis de evaluación del caudal del sensor de retorno.

Sensor 2 (ml)	Pulsos	Eficiencia (%)
500	199	100
500	198	100
500	200	100
500	202	100
500	201	100

En el Cuadro 4.14, se puede observar ahora la diferencia que existe entre el volumen de la probeta de 1000 ml y el registrado del sensor, ahora si con variación en el número de pulsos y en el registrado por el sensor, indicándonos que la variación de los pulsos es acumulable nuevamente, pero que afecta significativamente el volumen.

Cuadro 4.14 Resultados de la evaluación del sensor.

Sensor 1 (ml)	Pulsos	Eficiencia (%)
1000	399	100
990	394	99
980	394	98
990	392	99
1000	394	100

En la gráfica Figura 4.17, se muestran resultados obtenidos en el cuadro anterior, donde se aprecia la diferencia de caudales.

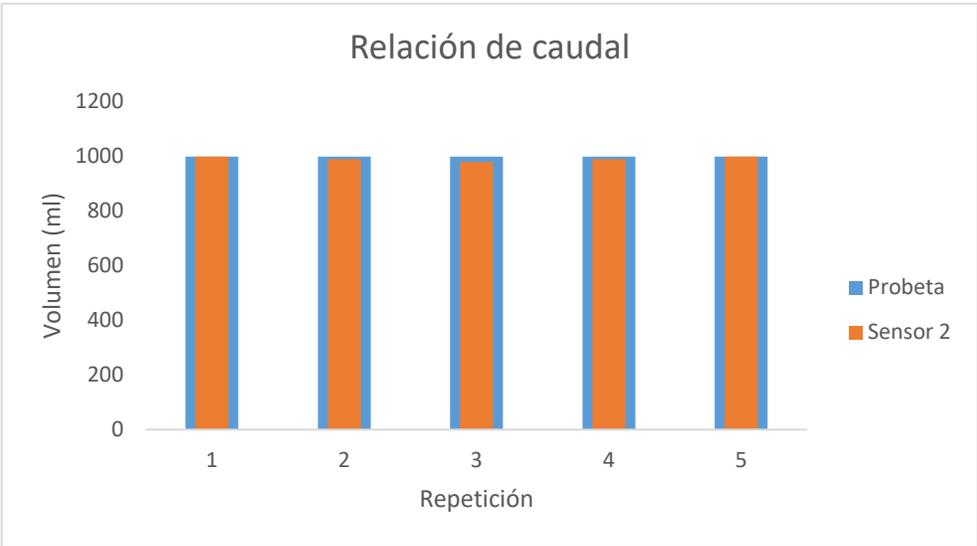


Figura 4.17 Relación de caudal probeta/sensor 2.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con base a los objetivos e hipótesis propuestos, se puede determinar que, es posible evaluar el consumo de combustible con una confiabilidad del 95% mediante el sensor magnético de efecto Hall, programado mediante la plataforma Arduino, de igual forma se realizó una calibración para más precisión en los datos obtenidos, o bien para los ajustes en la programación de los sensores.

Así mismo, fue posible realizar la programación de los sensores para evaluar en el presente trabajo el flujo de los sensores inyección y retorno, además se elaboró el banco de pruebas para el sistema de combustible, donde se evaluó el volumen del sensor en laboratorio lo cual fue posible con gran confiabilidad, y con un significativo error acumulable al aumentar el volumen de combustible en las evaluaciones del mismo, el cual depender de diferentes factores, algunos fueron la diferencia de altura respecto a cada sensor y la alimentación de la misma fuente de inyección. Al referirse con diferencia de altura como factor del flujo de combustible se lograba que el sensor evaluado como sensor de inyección tomará más presión que el sensor evaluado como retorno esto afectando el error de dicho sensor.

En la calibración de los sensores de efecto Hall YF-S201, se logró evaluar la cantidad de flujo que recibe por pulso cada sensor, gracias a que es una parte clave para la exactitud de los datos que obtuvieron. También se fue posible ajustar la ecuación base, necesaria para la manipulación de datos, esto con gran confiabilidad obteniendo una eficiencia en laboratorio del 96%.

5.2 Recomendaciones

Para la posible continuación del proyecto se recomienda realizar ajustes en las ecuaciones base de la programación del sensor una vez analizada la cantidad de líquido que envía por pulso, debido a que el flujo que traspasa por los sensores

depende de muchas variables como lo son: la frecuencia, presión del fluido y orientación del sensor entre otras.

Por otra parte, es recomendable realizar estos ajustes de programación en base al combustible que atraviesa en los tractores agrícolas. Debido a que estos pueden contar con más presión debido a las variables mencionadas anteriormente.

VI. LITERATURA CITADA

LIBROS, REVISTAS, TESIS Y ARTÍCULOS

- Alluvione, F., B. Moretti D. Sacco & D.C. Grignani** (2011): (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture Energy vol. 36
- Almendarez Ugarte, H. A.** (2020). Determinar experimentalmente el rendimiento del campo para la actividad de labranza primaria en la finca (Centro experimental agrícola) de la universidad nacional de ingeniería del municipio de Las Flores del departamento de Masaya (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Ingeniería).
- Berger, J.** (2002). Regulación electrónica diésel (EDC). Reverte.
- Borja Bravo, M., García Salazar, J. A., Almeraya Quintero, X., & Cuevas Reyes, V.** (2019). El gasolinazo y el sector agrícola: un estudio de caso de los efectos sobre la competitividad de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Aguascalientes. Acta universitaria, 29.
- Bosch, R.** (2005). Sistemas de inyección diésel por acumulador. Common rail. Reverté.
- Calle, A. C.** (2014). sistemas de inyección en motores Diésel. Universidad de Sevilla, 65.
- Consuegra P.,** 2007. Módulo de Motores Diesel. Instituto Tecnológico De Soledad Atlántico (ITSA).
- Cortés M., Elkin; Álvarez M., Fernando; González S., Hugo** LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA: GESTIÓN, SELECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA MAQUINARIA PARA LAS OPERACIONES DE CAMPO Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, vol. 4, núm. 2, julio-diciembre, 2009, pp. 151-160 Universidad CES Medellín, Colombia
- Creus, A.**1993. Instrumentación Industrial, 8a Edición. Editorial Alfaomega-Marcombo. España pp, 105.

- Ezcaray Borda**, I. J. (2012). Agricultura de precisión: elaboración de mapas de consumo y resbalamiento.
- García**, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. Revista Ciencia y Tecnología, 1(8), 99-116.
- García**, J. G. (2020). Estudio de la inyección diésel mediante la medida del flujo de cantidad de movimiento del chorro. Reverte.
- Guarella**, J. E., Heredia, J. P., Rodríguez, L., & Bagatto, I. (2011). Sensores y actuadores en motores. Buenos Aires.
- Gutiérrez Hinestroza**, M. D. V., & Iturralde Kure, S. (2017). Fundamentos básicos de instrumentación y control.
- IDEA** (2005) (Instituto para la diversificación y ahorro en la energía). Ahorro de combustible en el tractor agrícola. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura I. Madrid España, pp 5-28.
- Iker E.**, 2021. Agricultura de precisión: elaboración de mapas de consumo y resbalamiento. Trabajo de fin de carrera. Universidad Pública de Navarra (UPN).
- Linares C. J.** 2015. Consumo De Combustible, Fuerza Y Patinaje, A Tres Profundidades De Labranza. Tesis de Licenciatura. UAAN, Saltillo Coahuila.
- Márquez Delgado**, Luis. (2004) "Ahorrar combustible con la utilización racional de los tractores" Samatec.
- Martínez Inca**, M. I. (2021). Análisis comparativo entre la humedad gravimétrica y la humedad determinada con sensores electrónicos en suelos granulares del cantón Ambato. Provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil).
- Mott**, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos 6/e. Pearson educación.

- Parera**, A. M., 1996. Inyección electrónica en motores diésel. Marcombo
- Recalde Sevilla**, L. A. (2010). Diseño e implementación de un sistema de mezcla para inyección de gas en motores de combustión interna a diésel (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
- Romero**, L. A. S., & **García**, T. D. M. Introducción a la medición de caudal de gas.
- Sener** (secretaria de energía, 2016). Vega, Orlando. Uso eficiente de la energía en las cadenas agrícolas de alimentos. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura (IICA.2015).
- Serna**, A., **Ros**, F., & **Rico**, J. C. (2010). Guía práctica de sensores. Creaciones Copyright SL.
- Trujillo** Alonso, A. (2021). Sistema de inyección de combustible common rail y detección de averías en los motores MAN 7L48/60CR.
- Vázquez**, A. E. P., **Zamora**, J. L. R., & **Andino**, A. D. L. R. (2021). Análisis del rendimiento técnico de un apero de labranza. (Original). Redel. Revista Granmense de Desarrollo Local, 5(1), 182-192.
- Weidema**, B. P., & **Meeusen**, M. J. G. (2000). *Agricultural data for life cycle assessments*. Agricultural Economics Research Institute (LEI). The Hague Vol. 1, pp 51-69

PAGINAS WEB

- Ávila**, B. C. (2018). Eficiencia energética en el sector agropecuario. *Agronegocios*. Recuperado el 18 de octubre de 2021 de: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Eficiencia-energetica-en-el-sector-agropecuario-l-20180625-0078.html#:~:text=La%20agricultura%20y%20el%20sector,finca%20y%20en%20la%20agroindustria.>

- DENSO**, 2018. Principios del sistema Diesel. <http://www.denso-am.es/productos/automotive-aftermarket/componentes-diesel/componentes-common-rail/principios-del-sistema-diesel/> (22, enero, 2022).
- FAO** (2015). La FAO y la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/energy/es/>
- Ingeniería Química (IQR (2021))**. Que son los medidores de caudal volumétricos. Recuperado de: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/03/medidores-de-caudal-volumetrico-o-caudalimetros.html>
- Muñoz Piña, C., Montes de Oca, M., & Rivera Planter, M.** (2011). Subsidios a las gasolinas y el diésel en México: efectos ambientales y políticas públicas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Recuperado el 22 de octubre de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114006/2011_subsidios_a_la_Gasolina_y_Diesel.pdf
- Pastrana S, Suárez S.** (2015). Consumo Energético En Las Operaciones Agrícolas En España. Marzo, 2005, Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Recuperado del Sitio web: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10255_Co_nsumos_energeticos_operaciones_agricolas_Espana_05_d94c1_676.pdf
- Primagas**, 2020. Ahorro Y Eficiencia Energética En Agricultura. Recuperada de: <https://blog.primagas.es/ahorro-y-eficiencia-energetica-en-agricultura>

Reyes A. (2016). Eficiencia Energética En El Sector Agropecuario. Mayo2016, de SENER: Recuperado de: <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>

Sener (secretaria De Información De Energética). (2018, 2019). Información Estadística: Balance General De Energía. Recuperado El 15 De noviembre De 2021 De: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102997/Sector_Agropecuario.Pdf

SIE (Sistema de Información Energética). (2015). Información estadística: Balance nacional de energía. Recuperado el 20 de noviembre de 2021 de <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>

SIE (Sistema de Información Energética). (2017). Información estadística: Balance nacional de energía. Recuperado el 20 de noviembre de 2021 de <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>

VII. ANEXOS

7.1 Características del sensor YF-S201

- Modelo: YF-S201
- Tipo de sensor: Efecto Hall
- Voltaje: 5-18 VDC
- Máxima corriente de operación: 15 mA a 5V
- Velocidad del de flujo: 1-30 L/min
- Precisión: $\pm 10\%$
- Max. Presión de líquido: 2 MPa
- Pulsos por minuto: 450
- Durabilidad: mínimo 300,000 ciclos

7.2 Ficha técnica del sensor YF-S201

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
-Flow Range:100L/H-1800H-L/H		
Flow (L/H)	Freqzq (HZ)	±10
120 L/H	16	
240 L/H	32.5	
360 L/H	49.3	
480 L/H	65.5	
600 L/H	82	
720 L/H	90.2	

L/H	16	32.5	49.5	65.5	82	90.2 Freqz (HZ)
840						
720						
600						
480						
360						
240						
120						
0						

Connection method:

YIFA the plastics Ltd
Product Introduction

- 1)Model:YF-21
- 2)Product Name:Hall sensor
- 3)Flow Range:1-30L/MIN
- 4)Connection Method

(2)Val stage Range: 3.5-24VDC; Pulse Characteristic:±7%(L/MIN)
 (3)Extent of error:±5%
 (4)Flow-Pulse
 2L/MIN=14HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5.Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			

7.3 Programa de calibración para el sensor

```
// Importamos la librería

#include <LiquidCrystal.h>

// Declaración del objeto en LCD y terminales de conexión (en, rs, d4, d5, d6, d7)

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

//Declaración de las variables

volatile int pulsos;

unsigned int litrosPorHora.

unsigned char sensorDeFlujo = 2;

unsigned long tiempoAnterior;

unsigned long pulsosAcumulados;

float litros;

// Rutina de servicio de la interrupción

void flujo()

{

    pulsos++; //Incremento en unidad del número de pulsos

}

void setup()

{

    pinMode (sensorDeFlujo, INPUT); // Pin digital para entrada de la señal del sensor
```

```

Serial.begin(9600); //Tiempo de registro de resultados

lcd.begin(16, 02); // Inicializo el LCD 1602

interrupts (); // Habilito las interrupciones

// Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin digital
2

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorDeFlujo), flujo, RISING);

tiempoAnterior = millis (); // Guardo el tiempo que tarda el ejecutarse el setup
}

void loop ()

{

// Cada segundo calculamos e imprimimos el caudal y el número de litros consumidos

if (millis () - tiempoAnterior > 1000)

{

// Realizo los cálculos

tiempoAnterior = millis (); // Actualizo el nuevo tiempo

pulsosAcumulados += pulsos; // Número de pulsos acumulados

litrosPorHora = (pulsos * 60 / 7.5); // Q = frecuencia * 60/ 7.5 (L/Hora)

litros = pulsosAcumulados * 1.0 / 450; // Cada 450 pulsos son un litro

pulsos =0; // Pongo nuevamente el número de pulsos a cero

// Llamada a la función que muestra los resultados en el LCD 1602

```

```

    LCD_1602();

}

}

// Función que muestra los resultados en el LCD 1602

void LCD_1602()

{

    // Imprimo la cabecera del sistema

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);

    // Presento los valores a través del LCD 1602

    lcd.print(litrosPorHora, DEC);

    lcd.print(" L/Hora");

    lcd.setCursor(0, 1);

    // Imprimo el número de litros acumulados

    lcd.print(litros);

    lcd.print(" L");

    lcd.setCursor(9, 1);

    // Imprimo el número de pulsos

    lcd.print(pulsosAcumulados);

    lcd.print(" Pulsos");

```

```
delay(1000);  
  
}
```

7.4 Validación y Carga del programa Arduino UNO

Para cargar el programa al microprocesador Arduino UNO, se realizó una serie de pasos, de esta manera él se encargará de satisfacer y manipular los componentes para tener una lectura de manera precisa, con la finalidad de mandar indicaciones necesarias, para el manejo y manipulación del circuito electrónico. A continuación, se desglosan las indicaciones para cargar el programa:

1. **Compilación del programa:** el software se encarga de verificar todos aquellos errores de sintaxis con los que pueda contar la dicha programación, esto necesario para detectar errores en el sistema de programación, aunque es un hecho de que, al compilarse el programa, no indica que pueda funcionar, sino simplemente no cuenta con errores de sintaxis.

```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SENSOR_YF-S201

// Importamos la libreria
#include <LiquidCrystal.h>

// Declaracion del objeto en LCD y terminales de conexion (en,
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

//Declaracion de las variables
volatile int pulsos;
unsigned int litrosPorHora;
unsigned char sensorDeFlujo = 2;
unsigned long tiempoAnterior;
unsigned long pulsosAcumulados;
float litros;

// Rutina de servicio de la interrupcion
void flujo()
{
  pulsos++; //Incremento en unidad del numero de pulsos
}

Compilando programa...
```

Figura 7.1 Compilación del programa en Arduino UNO

2. **Subir el programa al controlador**, lo primero que se tiene que realizar, es la selección del tipo de placa, para esto se va a la parte que dice herramientas, seguido se selecciona el tipo de placa, en este caso es la placa Arduino UNO, como se muestra a continuación en la Ilustración:

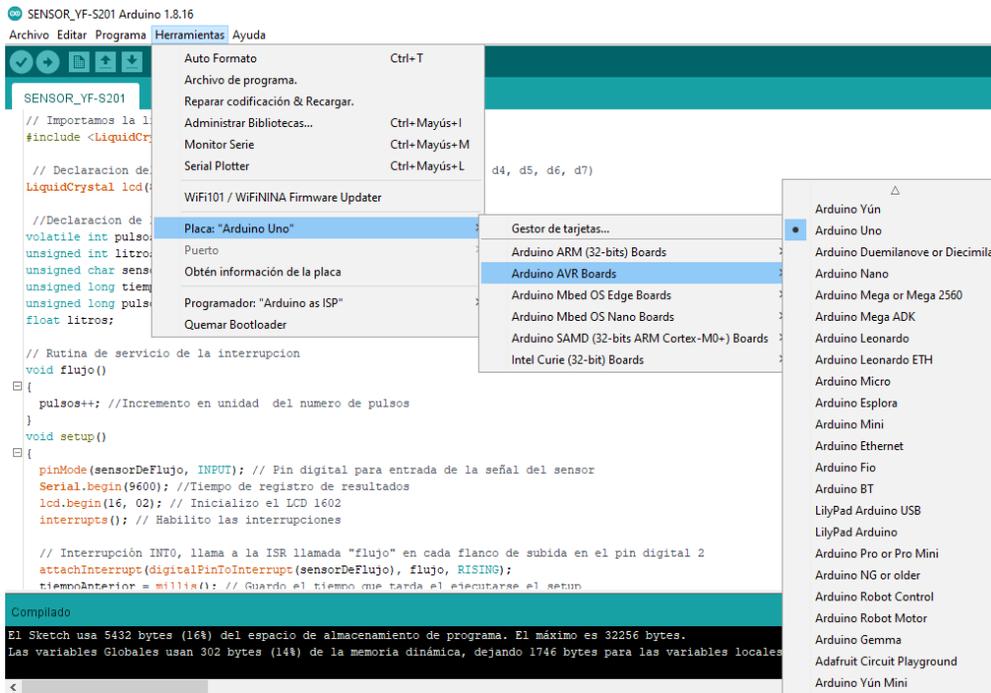


Figura 7.2 Selección de tipo de placa para subir el programa

3. **Definición del tipo de placa que se utilizará para cargar el programa:** se selecciona el puerto por el cual se subirá la programación al microprocesador, como se muestra en la siguiente Ilustración:

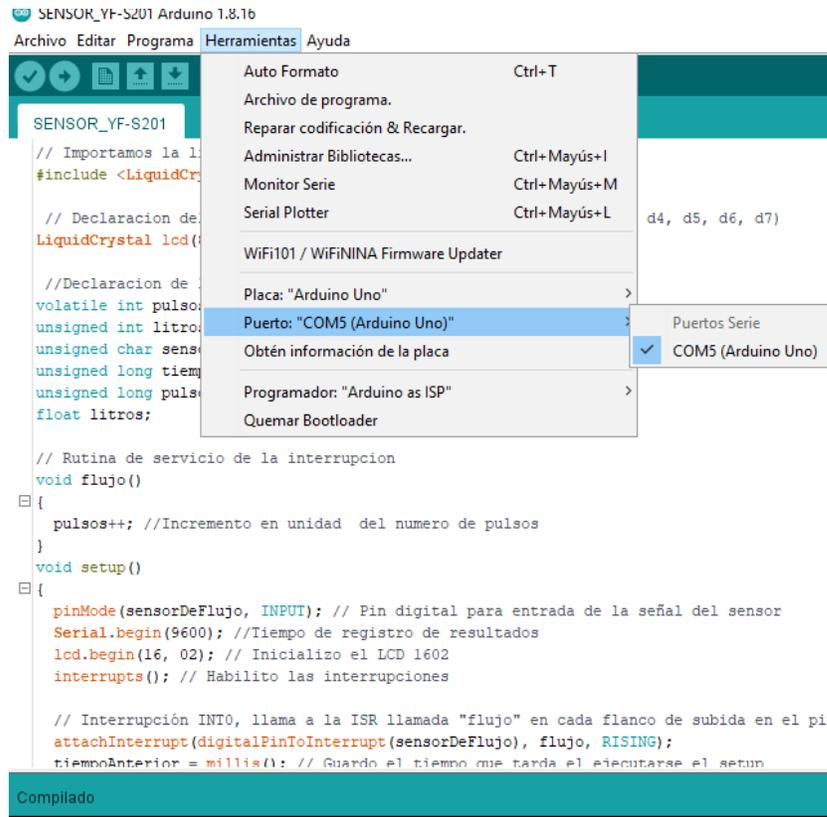


Figura 7.3 Selección del puerto por el cual se enviará el Código

4. **Subir el programa:** una vez copilado el programa y sin errores de sintaxis, se sube en la placa Arduino para que realice su acción correspondiente. Como se muestra a continuación:

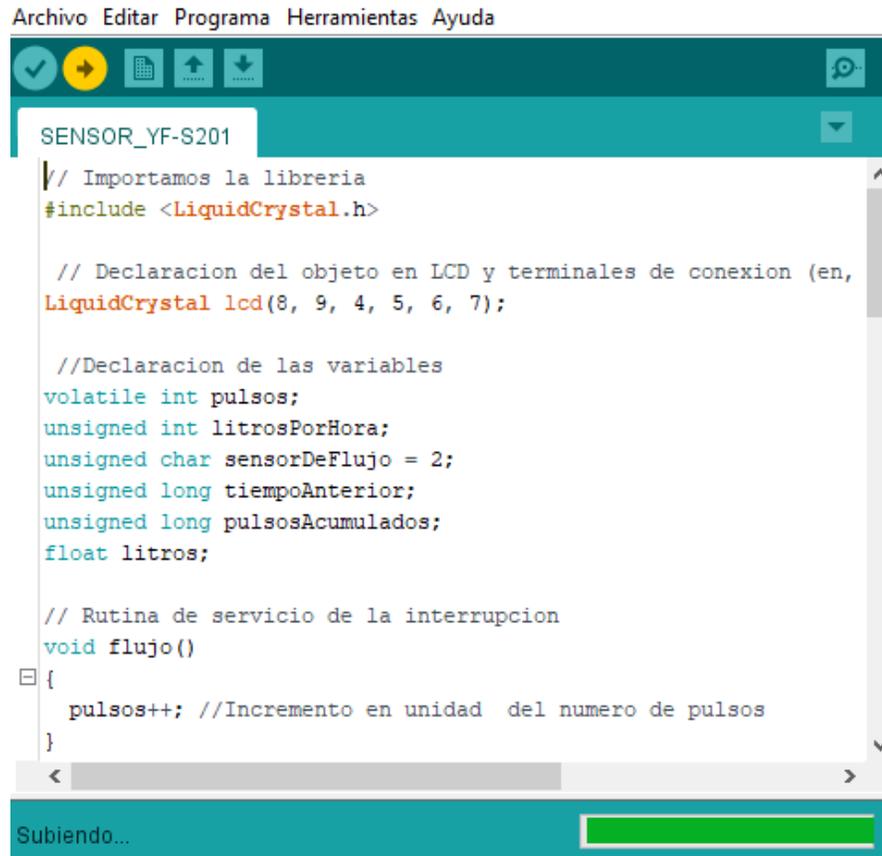


Figura 7.4 Carga del programa al microprocesador Arduino