

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR  
ELECTRÓNICO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE  
PARA TRACTORES AGRÍCOLAS**

***AMALIA MARGARITA GONZÁLEZ CADENAS***

**T E S I S**

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro  
PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Junio de 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR ELECTRÓNICO  
DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA TRACTORES  
AGRÍCOLAS**

TESIS

Por

*AMALIA MARGARITA GONZÁLEZ CADENAS*

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada  
como requisito parcial, para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN  
COMITÉ PARTICULAR**

Asesor principal:

\_\_\_\_\_

Dr. Martín Cadena Zapata

Asesor:

\_\_\_\_\_

M.C. Tomás Gaytán Muñiz

Asesor:

\_\_\_\_\_

Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo

Asesor:

\_\_\_\_\_

Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

\_\_\_\_\_

**Dr. Jerónimo Landeros Flores**  
**Director de Postgrado**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio de 2008

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, gracias por gozar de buena salud y ser la esperanza y la fé para alcanzar las metas propuestas.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por formar en mí a un estudiante preparado para contribuir con este granito de arena para mejorar la sociedad en que vivimos.

Al Dr. Martín Cadena Zapata y al MC. Tomás Gaytán Muñiz por integrarme a este proyecto, apoyarme y guiarme desde el inicio hasta la culminación de este proyecto.

Al Dr. Eladio Cornejo Oviedo y Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho por contribuir con sus conocimientos y su colaboración a la realización de esta investigación.

Al M.C. Jaudiel Pliego García (Investigador del CENEMA) por proporcionarme la información específica sobre los equipos de instrumentación de Consumo de Combustible.

Al Ing. Emmanuel Aguirre y Ing. Luis Martínez por su apoyo para la colaboración en la realización de este proyecto.

A mis maestros y compañeros por brindarme siempre su apoyo y amistad durante mis estudios.

Al apoyo recibido en el área de maquinaria agrícola mejor conocida “el patio”, por su colaboración y ayuda. Gracias

## DEDICATORIA

A mi esposo:

Raúl Antonio Saucedo Velasco

Por darme siempre su apoyo incondicional, ser mí esperanza y mí alegría en todos los momentos de mi vida.

A mis padres:

Raúl César González Rivera

Amalia Cadenas de González

Por enseñarme a dar siempre lo mejor de mí, darme siempre su apoyo incondicional y ser un ejemplo para mí.

A mi hermano:

César Augusto González Cadenas

Por ser un ejemplo para mí de que siempre es bueno obtener nuevos conocimientos y haberme motivado para la culminación para este proyecto.

Con cariño para mis Abuelitas, Tías, Primas y toda la familia: Por demostrarme siempre su cariño, su comprensión y aconsejarme sabiamente.

## **COMPENDIO**

Diseño y Construcción de un Medidor Electrónico de Consumo de Combustible  
para Tractores Agrícolas

Por

AMALIA MARGARITA GONZÁLEZ CADENAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Junio / 2008

Dr. Martín Cadena Zapata. – Asesor –

Palabras Claves: Sistema de Combustible, Medidor Electrónico, Medidor  
Manual, Consumo de Combustible, Diesel

Se diseño y se construyó un instrumento de medición electrónico de  
consumo neto de combustible. El medidor electrónico se elaboró según las

especificaciones del sistema de combustible del Tractor New Holland 6810. Para realizar el trabajo propuesto, fue necesario en una primera etapa, recabar información a cerca del funcionamiento de los Sistemas de Combustible de Diesel y de los medidores manuales y electrónicos existentes.

Después se procedió al diseño y construcción de un medidor operado y controlado manualmente acoplado en el mismo Tractor New Holland 6810 con la finalidad de conocer a fondo el funcionamiento del sistema de medición de combustible y observar su desempeño. Los resultados de la construcción y operación del medidor manual propuesto fueron útiles para diseñar y construir un medidor electrónico con éxito bajo sus mismos principios de funcionamiento.

El medidor electrónico se diseñó y se construyó con base en componentes electrónicos entre los principales: los microcontroladores, los sensores fotoeléctricos y las electroválvulas. Cada repetición de la lectura del medidor electrónico se realizó con base en el consumo de un volumen conocido (200 ml) y el medidor fue capaz de obtener el tiempo (s) que tardo en consumir el volumen conocido y su consumo neto de diesel ( $\text{l h}^{-1}$ ).

Se realizó una comparación en campo del desempeño del medidor electrónico comparado con un método estándar de estimación de consumo de combustible utilizado actualmente en los procedimientos de evaluación de implementos en campo. Los resultados indican que no existe una diferencia

estadística significativa ( $p=0.6763$ ) entre los valores de consumo medidos por ambos métodos. Sin embargo, las diferencias numéricas son de un 0.9 litros por hora, cantidad que es considerada importante desde el punto de vista económico al hacer cálculos de rendimiento de maquinaria. La diferencia de medición se debe, principalmente, a la apreciación visual de las lecturas que se tienen en el modo manual de rellenado del tanque y que van a variar de lector en lector.

Por otro lado, la facilidad de medición y la posibilidad de realizar repeticiones de la medición en áreas relativamente pequeñas de trabajo en campo y en las que puede haber variaciones en las condiciones de humedad y densidad que influyen en el consumo de combustible, dan ventajas importantes al medidor electrónico en comparación con mediciones manuales de combustible.

## **ABSTRACT**

Design and Construction of an Electronic Measurer of Fuel Consumption for  
Agricultural Tractors

By

AMALIA MARGARITA GONZÁLEZ CADENAS

MASTER IN SCIENCE

IN ENGINEERING IN PRODUCTION SYSTEMS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, June / 2008

Dr. Martín Cadena Zapata. – Advisor –

Key words: System of Fuel, Electronic Measurer, Manual Measurer, Fuel Consumption, Diesel

An electronic measuring instrument of net fuel consumption was designed and built into the machinery laboratory of UAAAN. This instrument was designed

according to the fuel system specifications of the New Holland 6810 Tractor. A literature review about fuel measuring devices was performed before any proposal of measuring system.

Once all the necessary information was gotten, the next step was to design and build the measuring device, operated and controlled manually, and installed into the New Holland 6810 Tractor with the purpose to know the function of the fuel measuring system and verify its performance. The results gotten from the manual measuring device were very important to design and build an electronic measuring device with success under the same bases of function.

The main electronic components of the fuel measuring device were: microcontrollers, photoelectric sensors and electronic valves. The data provided from the electronic device was gotten based on a well-known consumption volume (200 ml) of diesel, also this device recorded the time (s) while the well-known volume was consumed. In addition, the devices calculated the net volume per hour ( $\text{l h}^{-1}$ ), all this information was showed in screen.

In order to look at the performance in the field of the electronic measuring system, a preliminary comparison was made with a standard method for fuel consumption measurement using field implement for testing. The results showed that there was not statistical difference ( $p= 0.6763$ ) among the means values

made with the methods compared. However, the numerical differences (0.9 liters per hour) were important from the economic point of view when calculating operational costs of field machinery. The numerical differences were due to the appreciation readings made by each person who uses the manual measuring method and will vary with each operator.

The electronic measuring device gave a very important advantages in relation to the methods used to calculate the fuel consumption in field evaluations: it had precise readings, the easiness and convenience of making repeated measurements of fuel consumption in relatively small field areas where moisture and soil density condition may have variations.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
COMPENDIO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Importancia del Tractor Agrícola y Factores a considerar para su selección.....	1
Importancia del Consumo de Combustible.....	3
Pruebas y Evaluación para garantizar la calidad del Equipo Agrícola....	5
Problemática para la realización de las Pruebas y Evaluaciones en la UAAAN debido a la falta de Instrumentos especializados.....	8
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
Hipótesis.....	10
REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
Forma de realizar una Prueba y Evaluación a la Potencia del Tractor....	11
Tracción a la Barra de Tiro.....	11
Toma de Fuerza.....	12
Sistema Hidráulico.....	15
Importancia de la Prueba de la Potencia a la Toma de Fuerza.....	15
Potencia de la Toma de Fuerza con respecto al Consumo de Combustible.....	17
Consumo de Combustible.....	19
Funcionamiento del Sistema de Combustible.....	19
Medición del Consumo de Combustible.....	23
Formas para Predecir el Consumo de Combustible.....	24
Formas de Medir el Consumo de Combustible.....	25
Medidores Manuales de Combustible.....	25
Medidores Electrónicos de Combustible.....	27

MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
Procedimiento del Diseño y Construcción del Medidor Manual de Combustible. ....	34
Identificación de los Requerimientos del Diseño Manual.....	34
Diseño y Construcción del Medidor Manual con base en tres partes principales. ....	35
Prueba de Funcionamiento del Medidor Manual de Combustible Preliminar.....	44
Evaluación del Medidor Manual de Combustible Propuesto.....	44
Procedimiento del Diseño y Construcción del Medidor Electrónico de Combustible.....	45
Identificación de los Requerimientos del Diseño Electrónico.....	45
Diseño y Construcción del Medidor Electrónico con base en tres partes principales.....	47
Prueba de Funcionamiento del Medidor Electrónico de Combustible Preliminar.....	64
Evaluación del Medidor Electrónico de Combustible Propuesto.....	65
Evaluación de los Medidores Propuestos en Campo.....	66
Procedimiento del Medidor Manual.....	66
Procedimiento del Medidor Electrónico.....	68
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
Construcción del Medidor Manual de Combustible Preliminar.....	71
Prueba de Funcionamiento del Medidor Manual de Combustible Preliminar.....	72
Evaluación del Medidor Manual de Combustible Propuesto.....	75
Construcción del Prototipo del Medidor Electrónico de Combustible.....	77
Prueba de Funcionamiento del Prototipo del Medidor Electrónico de Combustible.....	78
Evaluación Preliminar del Medidor Electrónico de Combustible Propuesto.....	84
CONCLUSIONES.....	89
LITERATURA CITADA.....	91
APÉNDICE A.....	95

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
2.1 Consumo de la energía del combustible en promedio para los requerimientos de las operaciones en campo.....	24
2.2 Consumo de combustible.....	29
3.1 Volumen del diesel del depósito.....	52
4.1 Consumo de combustible con el arado reversible New Holland modelo AHR-803 a una profundidad de 20 cm aprox.....	75
4.2 Consumo de combustible con la rastra integral John Deere de veinte discos.....	76
4.3 Consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ) de cada medidor, utilizando el Tractor New Holland 6810 Turbo con un arado de tres discos Kimball.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
2.1	Potencia en la toma de fuerza.....13
2.2	Sistema de Combustible.....22
2.3	Funcionamiento del Burett .....28
2.4	Panel de Control del Burett.....29
2.5	Flujómetro de Pulsaciones Max 284-512.....31
2.6	Gráfica de Calibración para el Flujómetro Max.....32
2.7	Diagrama del flujómetro y el sensor de RTD.....32
3.1	Probeta de plástico de 1000 ml.....36
3.2	Adaptación de la tuerca en la probeta (A); placa de metal (B); adaptación de la Probeta en la placa de soporte del tractor (C).....38
3.3	Válvula de paso de 5/16”.....39
3.4	Tubo de cobre de 5/16”.....39
3.5	Corte del tubo de cobre 5/16” (A); cono al tubo de cobre para colocar las tuercas (B); tubo terminado para ser colocado en el filtro de diesel (C); herramienta utilizada (D); válvula con sus conexiones (E).....42

3.6	Válvula de paso del tanque de combustible (A); localizar la manguera del retorno (B); conexión de la manguera del retorno (C).....	43
3.7	Sistema Electrónico Propuesto.....	47
3.8	Prueba de la resistencia de la acción del diesel por el policarbonato.....	49
3.9	Dibujo de la base (plg) en AutoCAD (A); Dibujo de la tapa (plg) en AutoCAD (B).....	50
3.10	Base del tubo de policarbonato (A) ; tapa del tubo de policarbonato (B).....	50
3.11	Depósito para la medición.....	51
3.12	Depósito de medición con escala.....	52
3.13	Electroválvulas monoestables.....	53
3.14	Escuadras de Refuerzo para las electroválvulas del tanque y del depósito (A); solera para el retorno al tanque y retorno al depósito (B).....	55
3.15	Depósito de Combustible y Estructura de Cobre Terminadas.....	56
3.16	Sensor de nivel en el depósito.....	61
3.17	Sensores fotoeléctricos detectando el diesel del depósito.....	62
3.18	Soporte de PTR 1" (A); soporte de la caja del circuito electrónico (B) .....	63
3.19	Soporte para la batería.....	64
3.20	Inicio de la Medición del Consumo de Combustible.....	66
3.21	Avance del Tractor.....	67

3.22	Llenado de la probeta con el diesel que contiene el recipiente del retorno.....	67
3.23	El usuario observa y escribe las lecturas del medidor.....	69
3.24	La probeta se llena con diesel (A); verificando el volumen de la probeta (B); la probeta llena el tanque de combustible.....	70
4.1	Medidor Manual de Combustible preliminar.....	71
4.2	Medidor Manual de Combustible propuesto.....	73
4.3	Prototipo del Medidor Electrónico.....	77
4.4	Placa del circuito (A); perforación de la placa (B); componentes en la placa (C); verificó la corriente del circuito (D) .....	79
4.5	Cableado de los sensores y las electroválvulas.....	79
4.6	El circuito electrónico con sus conexiones.....	80
4.7	Medidor Electrónico de Combustible propuesto.....	83

## **INTRODUCCIÓN**

### **Importancia del Tractor Agrícola y Factores a Considerar para su Selección**

Para un sistema de producción agrícola tecnificado, el tractor es la máquina básica en la fase de producción primaria. Por ello, es importante que el agricultor conozca bien sus características a la hora de comprarlo para poder adaptarlo a su explotación. De esta forma reducirá los costos de producción, contribuirá al ahorro energético y disminuirá la emisión de elementos contaminantes, nocivos para el medio ambiente (Arnal, 2001).

El tractor como fuente de potencia está presente en la mayor parte de las explotaciones agrícolas, siendo una de las inversiones más importantes que realizan los agricultores, y posteriormente la máquina que generara más costos en su sistema de producción (IDAE, 2005).

Actualmente, la maquinaria agrícola incluyendo las fuentes de potencia son un instrumento indispensable, sin el cual no se podrían trabajar las grandes extensiones de terreno cultivadas, principalmente, en partes de Occidente. Estos tractores son cada vez más eficaces y especializados, encontrando una solución específica para cada necesidad del agricultor (Portillo, 2006).

Por el elevado costo de un tractor, el agricultor deberá tomar en cuenta al momento de su elección la actividad o actividades que se desarrollaran, el tipo de cultivo, las horas de trabajo efectivas, sistemas de producción, el tipo de laboreo, cambios de cultivos, incremento de superficies y los medios económicos y financieros que tienen la explotación para hacer frente a la inversión (IDAE, 2005).

Para seleccionar una unidad de fuente de potencia, se deberá tener presente el costo de adquisición (inversión) y los costos que se generarán al momento de adquirir el tractor. Según la FAO (1991) los costos de un tractor se componen de los costos fijos (amortización, depreciación, interés, impuestos, seguros, reparación y mantenimiento) más los costos variables (consumo de combustible, lubricantes, filtros, aceites, mano de obra). De acuerdo a IDAE (2005) los primeros se llaman fijos por que se producen aún sin utilizar el tractor, por lo que estos pueden alcanzar el 78% de los costos por hora, cuando el tractor se utiliza pocas horas. En cambio los costos variables se producen cuando el tractor funciona, y varían según el tipo de labor y el precio del diesel. Por consecuente estos costos se producen desde que el tractor sale del almacén y se han considerado constantes como promedio de las labores habituales.

A pesar de los costos generados por la maquinaria, también permite ahorros dado que la mecanización sustituye el trabajo humano y la tracción

animal con varias ventajas. Permite ahorrar mano de obra y aplicar más potencia e intensificar las labores, puesto que las máquinas pueden movilizar grandes cantidades de energía y no necesitan descanso. Mientras están ociosas, además, no consumen alimento, como el ganado de labor (Riechmann, 2001).

### **Importancia del Consumo de Combustible**

Dentro de los costos variables de un sistema de producción agrícola mecanizado, el más importante es el consumo de combustible, y es el que más depende del usuario, ya que se supone más de la mitad del total de los costos variables (IDAE, 2005).

De acuerdo a Siemens y Bowers (1999) dependiendo del uso del tractor y el tipo de combustible, los costos por combustible y lubricantes representan por lo menos del 16 al 45 por ciento del costo total de la máquina. Por lo que el combustible es un factor de costo enorme. Un ahorro de dos o tres litros por hora marca la diferencia al llegar a fin de mes (Brodier, 2005).

Desde 1990, apenas cualquier investigación fue hecha del consumo de energía agrícola, pero hoy existe un interés cada vez mayor en el tema. La parte principal de los datos disponibles fue recuperada por medio del uso de un tractor con un equipo de medición montado en él. Además de ése, algunos

cálculos indirectos fueron hechos con base en la demanda de trabajo, la energía de tractor, el consumo de combustible específico y la carga del motor. Debido a la edad de los datos disponibles sobre el consumo de energía directa, una actualización es necesaria para estimar la demanda energética en sistemas de producción nuevos, modernos y sostenibles en proceso o nivel de granja. El consumo de combustible está influenciado por muchos factores, como: el tipo y la estructura del suelo, las condiciones atmosféricas, la humedad de la tierra, el paisaje, las cosechas, el tipo del tractor (2WD/4WD), el tamaño del tractor, la relación entre el tractor y el implemento, la técnica de manejo, el conductor del tractor, etc. Así, el consumo de combustible no sigue siendo una figura constante a partir de una medida a la otra, pero los resultados son satisfactorios, considerando las variaciones que pueden ocurrir como resultado de los factores mencionados, pueden ser obtenidos por medio del uso de instrumentos durante un número de años (Weidema, 2000).

El consumo de combustible es un criterio importante que puede ser utilizado para indicar directa o indirectamente la eficiencia del tractor (Liljedahl *et al.*, 1991)

La elección del tractor adecuado para el trabajo que debe realizar es el elemento clave tanto para optimizar el ahorro de combustible como para conseguir la mayor eficiencia global del tractor (IDAE, 2005).

La fabricación y operación de la maquinaria agrícola es la actividad que más utiliza la energía comercial (combustible) en la agricultura mundial. Por lo tanto, es necesario conocer la eficiencia de consumo de los diferentes modelos de máquinas disponibles para seleccionar las de menor consumo (Stout, 1990).

### **Pruebas y Evaluación para Garantizar la Calidad del Equipo Agrícola**

Una vez que el productor ha tomado la decisión de comprar de cierto modelo de tractor agrícola; surge la cuestión de incertidumbre por parte del productor de que dicho modelo que está adquiriendo cumpla adecuadamente las funciones para las cuales fue fabricado. Debido a lo anterior, surge la necesidad de la realización de pruebas y evaluaciones a cada modelo que se comercialice en el mercado, para que aseguren a los productores que están adquiriendo equipos de alta calidad y garanticen su adecuado funcionamiento (INIFAP, 2005).

Desde los inicios de la utilización de los tractores agrícolas se tuvo la necesidad de medir la potencia en las mismas condiciones para poder compararlas y así elegir el más adecuado para cada explotación. Las primeras normas de ensayo para los tractores se dictan en 1919 en el estado de Nebraska y es el Departamento de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Lincoln el encargado de realizar los ensayos. Desde entonces se han elaborado muchas normas de ensayo, algunas de ámbito nacional y otras internacionales, algunas de ellas que afectan no solo a los tractores sino a todo tipo de motores.

Así tenemos las normas ISO, SAE, DIN, ECE, OCDE, CEE, BS, CUNA, UNE, NF, etc. (Arnal, 2001).

Actualmente en el mundo, se realizan las pruebas y evaluaciones de la maquinaria agrícola con la finalidad de obtener información que pueda contribuir en el futuro a realizar las labores en los sistemas de producción con la máxima eficacia y la mejor calidad (Gaytan *et al.*, 2005).

Sin embargo, la norma OCDE (Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico) está pensada para los tractores agrícolas, y efectúa la medición de la potencia del motor en un eje, la toma de fuerza, directamente utilizable por el agricultor. Por ello, este dato es el más interesante ya que esta potencia si puede ser aprovechada por el agricultor, por lo tanto, su comparación con otros tractores, proporciona una información muy útil a la hora de decidir su adquisición. En este sentido, la Unión Europea ha publicado recientemente la Directiva 2001/3 CE por la que en la "Ficha de características" de los tractores agrícolas debe figurar, en el apartado 3.6.1, la "Potencia en la toma de fuerza según el código 1 ó 2 de la OCDE o la norma ISO 789-1" (Arnal, 2001).

En el mundo, la OCDE es una organización internacional que entre sus múltiples funciones tiene un área dedicada al desarrollo sostenible de la agricultura, la cuál hace referencia para la certificación y estandarización de ciertos productos agrícolas. Sus criterios comunes (procedimientos, reglas,

estándares) se elaboran y se interpretan con el objetivo de facilitar el comercio internacional. Algunos países participan en uno o varios de sus códigos; dentro de los cuales se encuentra el código 2 “Código Estándar OCDE para la realización de las pruebas oficiales de los tractores agrícolas” (OCDE, 2007).

En México se estableció un centro de investigación de sistema de prueba y evaluaciones, llamado CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola) con la finalidad de suministrar máquinas adecuadas, seguras y de excelente calidad a los productores pequeños y medianos y difundir su uso entre ellos. Este Centro de Experimentación del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), se encuentra localizado en Texcoco, Estado de México (Takao, 1998).

El CENEMA cuenta con un laboratorio diseñado especialmente para la realización de pruebas y evaluaciones para maquinaria e implementos agrícolas conforme a las disposiciones de las Normas Mexicanas (NMX) con la finalidad de verificar que las especificaciones técnicas que señala el fabricante sean las que corresponden al producto que obtiene el consumidor final (INIFAP, 2005).

El equipo de este laboratorio es preciso y exacto; pero demasiado costoso dado que cuesta 1 millón 308 mil dólares estadounidenses, equipos donados por el gobierno de Japón y unos 518 mil dólares como gastos operativos (Takao, 1998).

Una vez elaboradas las pruebas y evaluaciones en el CENEMA, los resultados son enviados y certificados por el Organismo Nacional de Certificación de Implementos y Maquinaria Agrícola (OCIMA). Entonces, el OCIMA se encarga de realizar los trámites requeridos para la expedición de certificados de la maquinaria y equipo agrícola (INIFAP, 2005).

### **Problemática para la Realización de las Pruebas y Evaluaciones en la UAAAN Debido a la Falta de Instrumentos Especializados**

Como se mencionó anteriormente el CENEMA realiza las pruebas y evaluaciones pero además de éste, existen otros dos laboratorios de pruebas, los cuáles se encuentran en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y la Universidad Autónoma Chapingo; donde ambos laboratorios tienen una capacidad limitada dado que solo realizan las pruebas para sembradoras mecánicas.

En México, las Universidades cuentan con insuficientes instrumentos de medición para la realización de pruebas en el campo (Luna, 2004), lo que limita el registro de la información adecuada a cerca del comportamiento de la maquinaria y aportar investigaciones más a fondo de sus funciones.

Para resolver parte de esta situación, en la UAAAN se operan proyectos de investigación para el desarrollo de la instrumentación. Debido a la escasez

de instrumentos en la UAAAN para realizar las pruebas y evaluaciones, se propone en este proyecto aportar un instrumento de medición electrónico de consumo de combustible con el objetivo de enriquecer y ampliar el conocimiento de los profesionistas al momento de llevar a cabo sus pruebas de maquinaria agrícola en campo, mejorando así la forma de realizar las pruebas y obteniendo como resultado información más precisa y exacta que como se viene realizando actualmente en forma manual.

### **Objetivo General**

Diseñar y construir un instrumento electrónico de medición de consumo de combustible en campo y laboratorio para un tractor agrícola.

### **Objetivos Específicos**

Diseñar y construir un medidor manual en una primera etapa, el cual sea un instrumento operado y controlado manualmente para determinar el consumo neto de combustible.

Analizar la información generada del proceso de diseño y construcción del sistema manual y a partir de los resultados obtenidos, diseñar y construir el sistema electrónico para la medición del consumo neto de combustible.

## Hipótesis

A partir del análisis de la información generada de un diseño de medición manual de combustible en un tractor agrícola, es posible el diseño y construcción de un instrumento electrónico para mediciones de mayor precisión y de operación simple.

Una vez construido, es posible obtener mejores resultados de consumo de combustible con el medidor electrónico propuesto que con un medidor manual del relleno del tanque. Las hipótesis para esta prueba fueron:

- $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , la media poblacional del medidor electrónico es igual que la media poblacional del medidor manual del relleno al tanque con respecto al consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ).
- $H_a: \mu_1 \neq \mu_2$ , la media poblacional del medidor electrónico es diferente que la media poblacional del medidor manual del relleno al tanque con respecto al consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ).

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Forma de Realizar una Prueba y Evaluación a la Potencia del Tractor

Uno de los datos más importantes generados en las pruebas y evaluaciones es la: Potencia, porque esta variable es el factor que mejor describe el rendimiento del tractor (Liljedahl, 1991).

El propósito principal de los tractores agrícolas es cargar, empujar o jalar los implementos o maquinaria, por lo que necesita proveer esta potencia donde sea necesaria para poder realizar sus operaciones, ya sea a través del tractor en movimiento o fijo (OECD, 2007).

Dada la importancia de la potencia en el tractor, las pruebas y evaluaciones para el tractor agrícola se basan en los diversos tipos de potencia:

#### Tracción a la Barra de Tiro

La función primaria de los tractores agrícolas de potencias medias y altas es desarrollar la potencia a la barra de tiro para el arrastre de diversas máquinas o implementos (Hilbert, 2002).

La potencia en la barra de tiro es calculada a partir del tiro o fuerza de tracción en la barra y la velocidad de avance del tractor (Morelos *et al.*, 2005).

De acuerdo a la OCDE (2007) para la prueba de barra de tiro, su altura deberá permanecer fija de tal forma que le permita mantener la consistencia de adhesión entre sus ruedas frontales y traseras cuando la barra alcance su máxima fuerza de jalar. Los datos obtenidos durante la prueba serán: su velocidad de avance, la potencia, la fuerza de jalar de la barra de tiro, patinaje, consumo de combustible, la temperatura del combustible, enfriadores y aceite y las condiciones de la atmósfera. Desafortunadamente, al momento de realizar esta prueba pueden variar los resultados del máximo jalón según las condiciones dadas del suelo, la cantidad de lastre (cantidad de contra pesos) y la presión de inflado de los neumáticos; por lo que, para realizar una prueba estándar es necesario considerar estos parámetros y tenerlos bajo las condiciones reglamentarias por la OCDE.

### Toma de Fuerza

Existen distintas normas y códigos de ensayo para medir esta potencia de motor, entre ellas se encuentra la potencia útil. Esta potencia se mide en el eje de la toma de fuerza del tractor. El motor no se saca del tractor, y mantiene todos los elementos que el fabricante ha previsto en su diseño y construcción. El agricultor podrá obtener la potencia resultante en el ensayo siempre que utilice la toma de fuerza como elemento motriz de una máquina acoplada a ella (Arnal, 2001).

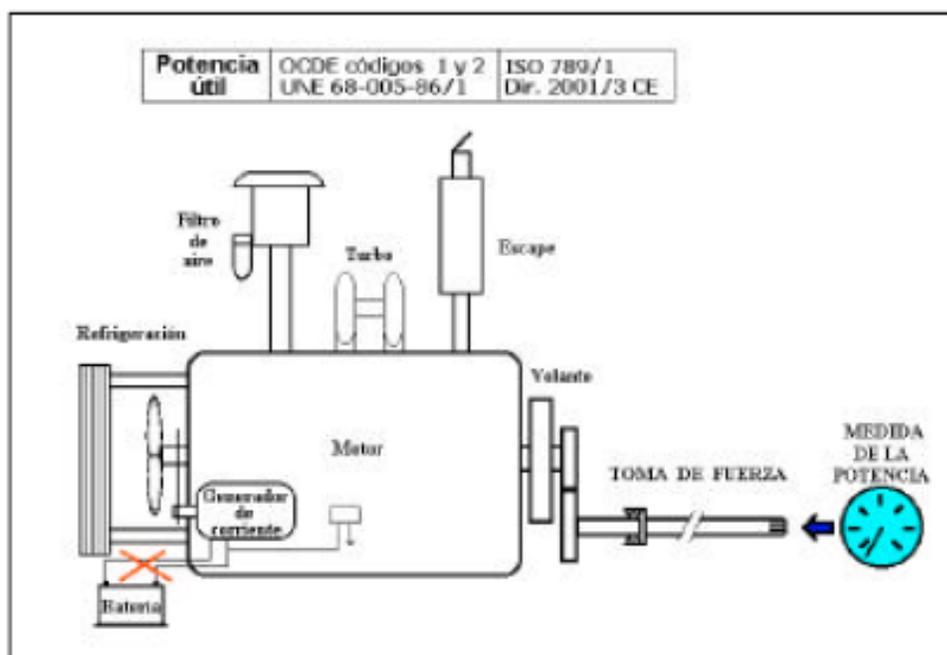


Figura 2.1 Potencia en la toma de fuerza

La potencia en la toma de fuerza (Figura 2.1) es calculada a partir del torque y la frecuencia de rotación de la toma de fuerza (Morelos *et al.*, 2005).

Esta prueba se realiza conectando el eje de la toma de fuerza al dinamómetro, el cual es un instrumento utilizado en las pruebas del tractor para determinar la potencia de la toma de fuerza, cuya finalidad es frenar el eje de la toma de fuerza del tractor (TDF); es decir, colocar cierta carga a la TDF y así obtener la potencia que esta siendo dada por el tractor. La potencia obtenida estará en función de la velocidad, la fuerza de torsión del cigüeñal equitativa a la función de la velocidad, el consumo de combustible de acuerdo a la velocidad y a la potencia dada. Los datos esenciales al llevar a cabo esta prueba serán: temperatura del combustible, aceite y refrigerante; la temperatura del aire en 2

puntos: 2 metros frente al tractor y 1.5 metros encima del suelo, la presión atmosférica y su humedad relativa (OCDE, 2007).

En el CENEMA (INIFAP, 2005) realizan esta prueba (TDF) con los siguientes instrumentos:

- Dinamómetro con una capacidad de absorción de 300 kw y 1400 Nm.
- Medidor Volumétrico de combustible de precisión.
- Equipo de laboratorio para la medición de la densidad y viscosidad del combustible.
- Extractor de gases
- Sistema de Adquisición para la visualización y almacenamiento de datos.
- Plataforma de levante para ajustes de altura del dinamómetro.
- Medidor de densidad del humo de escape de tractor.
- Estación meteorológica para la visualización y almacenamiento de las condiciones atmosféricas.

En esta prueba uno de los datos más indispensables es el consumo del combustible dado que en los códigos estandarizados de prueba de tractores especifican las mediciones de potencia y consumo de combustible a la velocidad nominal del motor, velocidad estándar de la toma de fuerza (540 o 1000 rev min<sup>-1</sup>) y en las condiciones de velocidad y carga del motor para producir la potencia máxima a la toma de fuerza. Durante estas pruebas estandarizadas, se calcula la potencia y se mide el consumo de combustible correspondiente (Morelos *et al.*, 2005).

## Sistema Hidráulico

En la prueba obligatoria es necesario tomar en cuenta las siguientes variables: máxima velocidad, velocidad del motor debe ser continua, máxima presión hidráulica. En estas pruebas se obtendrán como resultados: la máxima presión hidráulica, su flujo y su potencia; y la potencia máxima alcanzada. Otro factor importante dentro de esta prueba, es la fuerza de levantamiento, disponible y correspondiente a la presión del fluido hidráulico, la cual podrá ser determinada como mínimo con 6 puntos aproximadamente (OCDE, 2007).

La prueba de levante hidráulico del tractor, es otra de las que se lleva a cabo en el CENEMA (INIFAP, 2005), la cuál la realizan con los siguientes instrumentos:

- Medidor de la fuerza de levante hidráulico, con capacidad de 5000 kgf.
- Medidor de potencia hidráulica.
- Regulador de temperatura de aceite hidráulico a  $65 \pm 5$  °C.
- Sistemas de adquisición para la visualización y el almacenamiento de datos.

### **Importancia de la Prueba de la Potencia a la Toma de Fuerza**

La prueba de la Toma de Fuerza (TDF) es una de las más eficientes y la que se tomó en consideración para la elaboración de este proyecto dado que al momento de realizar esta prueba se lleva a cabo en laboratorio, con el

dinamómetro por lo que no influye las condiciones del suelo y sus diversas variaciones (cultivo, lastre, presión de inflado, etc.) (Hilbert, 2002).

Para esta prueba de la TDF, la mayoría de las veces se utiliza un dinamómetro de tipo taller o agrícola, lo cuál hace posible determinar la Toma de Fuerza del Tractor agrícola. Este dinamómetro tipo taller o agrícola es fácilmente adaptable al tractor y fácil de utilizar, a diferencia de otros tipos de dinamómetros como son: absorción-Freno Prony y absorción-hidráulico (Liljedahl *et al.*, 1991).

A diferencia de las otras potencias, es considerada la potencia de la toma de fuerza como la principal de las potencias, dado que es la manera correcta de indicar la potencia del motor de los tractores. Es el actuador que más alto valor de potencia puede entregar al usuario. La norma oficial que rige para este ensayo es la IRAM 8005. La potencia que el tractor puede transmitir en la Toma de Potencia es aproximadamente el 96% de la potencia del motor (Agronegocios, 2003).

En un tractor se pueden medir muchas potencias, entre las que destacan la potencia del motor, potencia a la barra y la potencia hidráulica. La primera se considera la principal dado que es la que los agricultores comparan a la hora de adquirir un tractor, y la que los fabricantes anuncian en las características del tractor que figuran en los catálogos y otras publicaciones técnicas. Esta

potencia del motor, se determina de diversas formas, y una es a través de la toma de fuerza y el dinamómetro (Arnal, 2001).

Además que al realizar la prueba de la Toma de la fuerza más que las otras potencias, se puede obtener información acerca del tractor de gran utilidad ya que es posible al momento de determinar la Toma de Fuerza, obtener a la vez información que nos indica las condiciones en que se encuentra el motor. También es utilizado en el proceso de ajuste o afinación de un motor e indica a los clientes el mejoramiento de un motor de tractor como resultado de un ajuste general, mantenimiento o afinación (Liljedahl, 1991).

### **Potencia de la Toma de Fuerza con Respecto al Consumo de Combustible**

La definición de potencia es la cantidad de trabajo hecho en un período de tiempo. Pero para realizar este trabajo, es necesario proveerle al tractor la energía suficiente; es decir, la energía es la capacidad para realizar este trabajo. En los tractores, los litros de combustible consumidos es la medida para calcular la cantidad de energía utilizada (Grisso y Pitman, 2001).

El combustible se encarga de alimentar de energía al motor del tractor, y dentro de este se produce la combustión de los gases la cual genera la energía calorífica y esta a su vez es capaz de transformarse en energía mecánica, pero sólo logra transformarse en un tercio en energía mecánica; las otras partes se

desperdician en la refrigeración y los gases de escape. Pero desgraciadamente no toda esta energía mecánica es utilizable en tracción, otra parte de esta se desperdicia en pérdidas en la transmisión, pérdidas por rodadura y pérdidas por patinamiento (IDAE, 2005).

Entonces, el tractor ideal convertiría toda la energía proporcionada por el combustible en trabajo útil. Por lo tanto, la operación eficiente de los tractores agrícolas incluye: maximizar la eficiencia del combustible del motor y la eficiencia mecánica, maximizar la tracción para evitar el patinaje y seleccionar una velocidad de avance óptima (Grisso *et al.*, 2003).

La eficiencia de un tractor es calculada por la cantidad de trabajo hecho dividido por la cantidad de energía utilizada. En los tractores, las unidades de medida del trabajo hecho son caballos de potencia-hora ( $\text{hp hr}^{-1}$ ). Por lo que las unidades de medida estándar para la eficiencia del motor del tractor son potencia de caballos por hora / galón de combustible ( $\text{hp hr gal}^{-1}$ ). Esta Eficiencia del tractor ( $\text{hp hr gal}^{-1}$ ) puede ser calculada desde la Potencia de la toma de fuerza (PTO) o la barra de tiro (Grisso y Pitman, 2001).

Escamilla (2004) obtuvo una relación estadística de la potencia de la toma de fuerza y el consumo de combustible; a través de un análisis de datos obtenidos de diversas lecturas del dinamómetro. Sometiendo estos datos a una regresión, dando así como resultado una ecuación de segundo grado, la cual muestra la relación que existe entre la entrega de potencia a la TDF y el

consumo de combustible, a continuación se muestra la ecuación que representa la relación mencionada:

$$y = (a_0) + (a_1 * x) + [a_2 * (x)^2]$$

Donde:

y = Potencia (hp)

$a_0 = - 13.55$

$a_1 = 2.2$

$a_2 = 0.14$

x = Consumo de combustible total (l h<sup>-1</sup>)

## **Consumo de Combustible**

### Funcionamiento del Sistema de Combustible

La función primordial del sistema de combustible consiste en inyectar a gran presión, pulverizando finamente una cantidad determinada de combustible en cada cilindro del motor, en el instante preciso. (Deere, 1979).

En los motores de diesel, si el aire se comprime suficientemente en un cilindro, la temperatura alcanza el punto en el cual el combustible se enciende espontáneamente. Inyectar el combustible directamente en el cilindro en la etapa actual del ciclo de compresión eliminaría la necesidad de la ignición eléctrica. Por eso no se necesita ninguna chispa para inflamar la mezcla como ocurre con el motor de gasolina. Este proceso extraería la energía máxima del combustible, permitiendo al motor funcionar muy eficientemente. Los motores de diesel se utilizan por una o más de las razones siguientes: (1) rendimiento energético (el diesel consume menos combustible que la gasolina en la realización de un mismo trabajo), (2) eficacia de empaquetado, (3) durabilidad y confiabilidad, y (4) seguridad del combustible (River, 2000).

Los principales componentes del sistema de combustible para motores de Diesel (Deere, 1979), son los siguientes:

- Depósito de combustible donde se almacena el diesel.
- La bomba de alimentación de combustible que lo manda a la bomba de inyección a través de filtros.
- Los filtros de combustible que dejan éste libre de impurezas.
- La bomba de Inyección que dosifica el combustible y lo inyecta a presión en los cilindros en el momento preciso.
- Los inyectores que pulverizan finalmente el combustible al inyectarlo en el cilindro.

- El conducto de retorno por donde llega el diesel sobrante de los inyectores.

En los motores de diesel tienen una característica única del flujo del sistema de diesel empleado por lo que solo en estos motores se aplica el término de “Consumo de combustible neto”. Dado que en los motores de gasolina, donde su motor utiliza todo el combustible entregado en el sistema de inyección o en cualquier carburador, es decir, todo el combustible es consumido por el motor. En cambio en la mayoría de los combustibles de diesel él bombeado a los inyectores se encuentra por encima de los cilindros del motor; debido a esto, la cantidad sobrante de diesel se retorna hacia el tanque de combustible. En la actualidad, el motor moderno de diesel cuando está funcionando en una carga completa, aproximadamente el 30% del combustible que es bombeado se consume realmente mientras que el 70% restante se retorna al depósito de combustible. En cargas más bajas, el porcentaje de combustible que se retorna al tanque es incluso más alto. El exceso de la circulación del combustible tiene un par de propósitos. Una porción del combustible se utiliza para ayudar a lubricar al sistema de inyección del combustible. Sin embargo, la mayoría del exceso de combustible se utiliza para ayudar a mantener fresco el sistema de inyección. Esto da como resultado un incremento en la temperatura del combustible entre el diesel que entra y él que se retorna. Este incremento nominal aproximadamente de 20 °C (68 °F). El total del consumo de combustible por el motor en una condición de carga específica; es decir, el “Consumo de combustible neto”, es igual a la cantidad de

combustible que se le suministra menos la cantidad de combustible que se retorna al tanque (Hoffer, 2007). A continuación se presenta una Figura (2.2) del flujo del sistema de combustible de diesel.

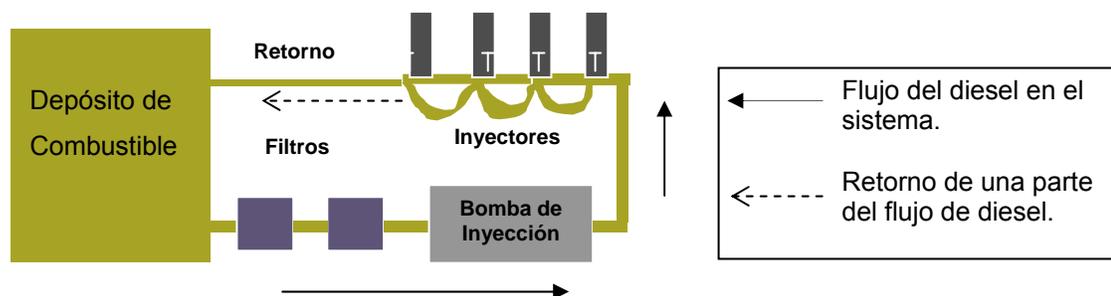


Figura 2.2 Sistema de Combustible

El sistema de combustible tipo diesel es problemático para los operadores de tractores, porque requiere cuidados muy especiales en el aspecto de limpieza. Además, las líneas de conducción deben mantenerse herméticas (bien cerradas) con el fin de evitar entrada de aire que pueda perjudicar el buen funcionamiento del motor o, lo que es más común en la mayoría de los casos, el tractor se para o no funciona y para poder solucionar este caso es necesario sacar el aire de las líneas; operación que se conoce como “purgar el tractor” (Soto, 1998).

### Medición del Consumo de Combustible

El consumo de combustible es medido por la cantidad de combustible usado durante un período de tiempo específico. A continuación se presenta la fórmula del Consumo Combustible en litros por hora:

$$C \text{ (l h}^{-1}\text{)} = \frac{I}{h}$$

Donde:

C = Consumo de combustible en litros por hora.

I = Cantidad de combustible consumido durante ese trabajo.

h = Tiempo para realizar el trabajo.

Pero la medición más común del consumo de combustible, es la eficiencia energética (antes mencionada en potencia TDF - combustible) de un tractor es referida como consumo específico volumétrico de combustible (CEVC), el cual se expresa en  $\text{l kw}^{-1}\text{h}^{-1}$  ( $\text{gal hp}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). El CEVC generalmente no es afectado por el tamaño del motor y puede ser utilizado para comparar la eficiencia energética de los tractores que tienen diferentes tamaños y bajo diversas condiciones de funcionamiento. De acuerdo al laboratorio de pruebas de tractores de Nebraska, el rango del CEVC para los motores de diesel va de 0.244 a 0.57  $\text{l kw}^{-1}\text{h}^{-1}$  (0.0481 a 0.1123  $\text{gal hp}^{-1}\text{h}^{-1}$ ) (Morelos *et al.*, 2005).

### Formas de Predecir el Consumo de Combustible

El consumo de combustible en la agricultura es variable, dependiendo de la actividad que se desarrolla en campo. No obstante, la máquina automotriz que más combustible consume es el tractor (IDAE, 2005).

El pronóstico del consumo de combustible surge con el aumento de la preocupación por la conservación del combustible y la administración de la energía. Por lo que a continuación se muestra en el Cuadro 2.1 el Consumo de la energía del combustible en promedio para los requerimientos de las operaciones en campo. Para así los productores pueden estimar la cantidad de combustible requerida para realizar una operación específica de campo. Conociendo la cantidad de combustible requerida, los productores pueden seleccionar las mejores prácticas de conservación de la energía para la administración del equipo agrícola (Downs *et al.*, 2004).

Cuadro. 2.1 Consumo de la energía del combustible en promedio para los requerimientos de las operaciones en campo.

<b><i>Operación en campo</i></b>	<b><i>Galones de Diesel por Acre</i></b>	<b><i>Litros de Diesel por Hectárea</i></b>
Arado a una profundidad de 8" (20.32 cm)	1.68	15.92
Arado de cinceles	1.10	10.42
Rastra de discos	0.45	4.26
Rastra de picos	0.40	3.79

Otra forma de predecir el consumo de combustible es a través de Mapas de consumo de combustible puede ser un método de la agricultura de precisión, para recopilar información en suelo variable. Sin necesidad de agregar sensores adicionales al tractor, la base de datos puede recolectar el consumo de combustible real por medio de su sistema de comunicación de los tractores modernos (Can Bus). En las mediciones dadas de la base de datos, los mapas fueron evaluados en términos la cantidad necesaria de fuerza de tiro o tracción y los diferentes tipos de suelos. Al iniciar a recopilar la información para la base de datos es necesario primero especificar el sitio de la agricultura para delimitar estas zonas, las cuáles son separadas según los tipos de suelo y la topografía. Actualmente el trabajo científico muestra la oportunidad del mapa del consumo de combustible con respecto a la fuerza de la tracción de los implementos de labranza durante la labor y las características variables del suelo (Schutte, 2004).

## **Formas de Medir el Consumo de Combustible**

### Medidores Manuales de Combustible

A continuación se explican dos tipos de medidores manuales del consumo de combustible, uno de laboratorio y el otro de campo.

## Dos Buretas

Yilmaz (2004) realizó un experimento en el laboratorio, dentro del cual realizaron la medición del consumo de combustible de forma manual utilizando dos probetas y una reserva de combustible; él último alimentando directamente al motor. Entonces el tanque de combustible de cinco galones fue remplazado por una reserva de combustible transparente (1.5 plg de diámetro, 2 plg de largo). Esta reserva de combustible se conectó a la bomba del combustible. Y a su vez esta reserva fue conectada a las dos buretas, a través de sus respectivas válvulas; esto con la finalidad de abastecer de combustible a la reserva. Una de las buretas fue de 250 ml y la otra de 500 ml, cada una de ellas se lleno de combustible, antes de empezar la medición del combustible.

Para la medición del consumo de combustible se realizó el siguiente procedimiento: abrió la válvula de 500 ml y esta bureta fue utilizada como el tanque del combustible, se encendió el motor y se empezó a calentar mientras eran consumidos los 500 ml de la bureta. Luego se utilizó el combustible de la bureta de 250 ml, y los datos se tomaron mientras se consumía la bureta de 250 ml. A velocidades bajas y cargas ligeras del motor, se tomaba el tiempo en que tardaba en consumir cada 50 ml. Pero para minimizar el tiempo de error en las velocidades altas y las cargas pesadas, se utilizó el tiempo que tardaba en consumir en 100 ml. Por lo que utilizando las dos cantidades del consumo de combustible, los errores del tiempo se mantuvieron debajo del 2% (la mitad de un segundo en 30 segundos del tiempo). Desde la medición, la bureta de 250

ml esta graduada en intervalos de 1 ml, por lo que los errores en las lecturas fueron de menos 1% (máximo de 0.5 ml en 50 ml del volumen estimado).

### Rellenado del Tanque

Challenger (2005) realizó una demostración en campo con la finalidad de conocer la capacidad de trabajo y la eficiencia de campo del tractor. Uno de los parámetros que obtuvieron en campo fue el consumo de combustible. Antes de iniciar una nueva toma del consumo de combustible en una nueva área, el tanque de combustible debe estar lleno. Todos los abastecimientos deberán efectuarse en un lugar plano. El tanque deberá completarse tras terminar todo el trabajo, usando un recipiente graduado para medir el volumen de combustible que ha gastado. Además del tanque es necesario tener en consideración el tiempo que tarda en realizar ese trabajo, para así obtener el consumo de combustible de acuerdo al volumen de combustible (ml) sobre el tiempo que tardo (s).

### Medidores Electrónicos de Combustible

En México, existe el CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola), el cual cuenta con instrumentos altamente avanzados para realizar pruebas y evaluaciones a diversas maquinarias agrícolas. Dentro de estos instrumentos se encuentran los medidores electrónicos de consumo de

combustible, como son: Tipo Burett y el Fluómetro de Pulsaciones. A continuación se explica el funcionamiento de cada uno de ellos.

Tipo Burett (CENEMA, 1990)

Burett mejor denominado como bureta, dentro de esta bureta se encuentran diversos volúmenes conocidos de diesel, y cada uno de estos volúmenes cuenta con su propia válvula de paso. Estas válvulas tienen unos sensores fotoeléctricos, los cuales su función es medir el tiempo en que se tarda en consumir este volumen de diesel conocido. A continuación se muestra la Figura 2.3 del funcionamiento del burett.

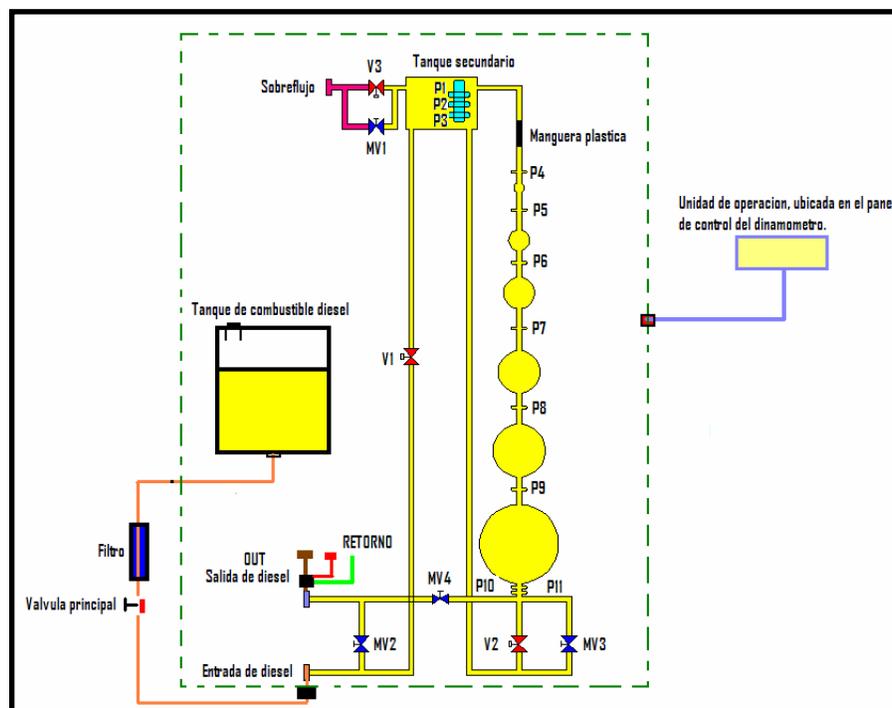


Figura 2.3 Funcionamiento del Burett

La información de estos sensores es proporcionada en el panel de control (Figura 2.4), dentro del cual muestra el tiempo que se tarda en consumir los volúmenes conocidos. Estos volúmenes son: 10, 25, 50, 100, 200 y 400 ml.



Figura 2.4 Panel de Control del Burett

Entonces su funcionamiento para la toma de la lectura del consumo de combustible, cuando empieza a activarse el foco del 10 ml, y te muestra en la pantalla el tiempo que consumió en segundos. Y así continua hasta mostrarte todos los tiempos de todos los volúmenes conocidos. Por lo que es necesario recabar esta información de forma escrita, como se observa en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Consumo de Combustible

Volumen (ml)	10	25	50	100	200	400
Tiempo (s)	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$
Consumo ( $l\ h^{-1}$ )	$(10\ T_1^{-1}) \times 3.6$	$(25\ T_2^{-1}) \times 3.6$	$(50\ T_3^{-1}) \times 3.6$	$(100\ T_4^{-1}) \times 3.6$	$(200\ T_5^{-1}) \times 3.6$	$(400\ T_6^{-1}) \times 3.6$

Por lo tanto, solamente es necesario calcular el flujo del combustible con la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo de combustible (l h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volumen (ml)}}{\text{Tiempo (s)}} \times 3.6$$

Por lo que, una vez obtenido el consumo ( $l\ h^{-1}$ ) de cada volumen conocido, solamente es necesario sumar todos los consumos de combustible para así obtener el consumo final. El consumo volumétrico es  $l\ h^{-1}$ , pero el consumo de combustible indicado por la norma es el consumo másico.

#### Flujómetro de pulsaciones (CENEMA, 1990)

El transmisor del 284-512 es un dispositivo foto óptico, el cual convierte el movimiento de rotación de un flujo típico "Max" en una señal eléctrica cuya frecuencia es proporcional para el flujómetro en rpm. Este tiene dos formatos de salida: Una fase de una onda cuadrada de 100 ciclos por la revolución y la otra de dos fases con salida de 50 ciclos por la revolución. La salida de una fase tiene una característica de antiagitación, lo que hace útil esto para las aplicaciones de una velocidad de un flujo bajo cero por la cual se puede involucrar los flujos inversos momentáneos. Un circuito de memoria puede mantener 128 pulsos de flujo negativo, devolviendo sólo el flujo directo neto. La salida de dos fases es útil para aplicaciones bidireccionales. Ambas salidas son CMOS y TTL compatibles y pueden generalmente conducir al menos 1000 pies de cable protegido.

El flujómetro de pulsaciones Max 284-512 (Figura 2.5) puede funcionar desde una fuente de voltaje de 4.5 volts hasta 30 volts. Un gran rango en el bordo del regulador protege al circuito del ruido transitorio del suministro. No se requiere para los diferentes suministros de voltajes.

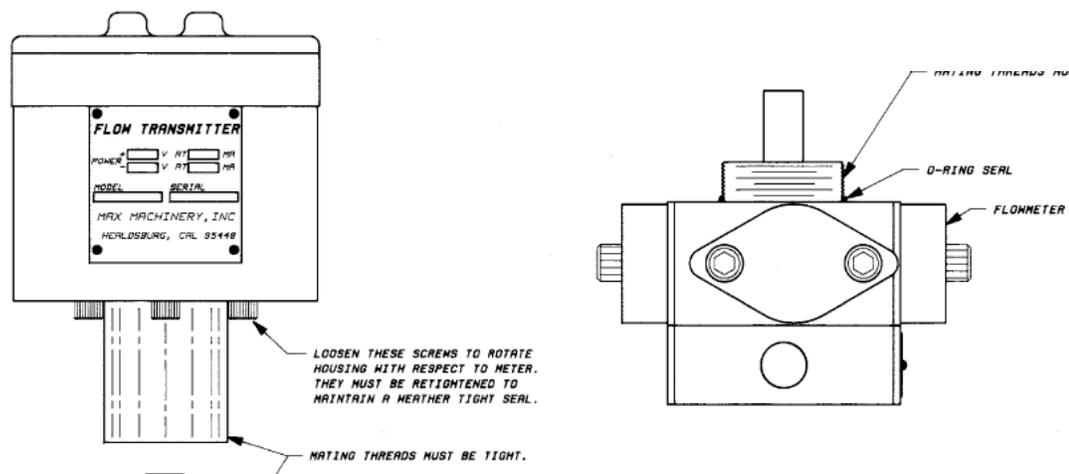


Figura 2.5 Flujómetro de Pulsaciones Max 284-512

Dentro de este transmisor se encuentran los factores-k que representan el número de pulsos que el transmisor hace salir por el centímetro cúbico (o la otra unidad de la ingeniería) del líquido que pasa a través del flujómetro. Este número es dependiendo del flujómetro - combinación del transmisor. Los indicadores MAX se pueden ajustar para mostrar las unidades de la ingeniería del flujo deseadas (ccs, libras, galones, etc.) usando el factor-k.

Los flujómetros son individualmente calibrados de múltiples puntos en la industria y una gráfica de calibración (Figura 2.6) la cual varía insignificativamente con el caudal. Una hoja típica de la calibración se muestra a continuación.

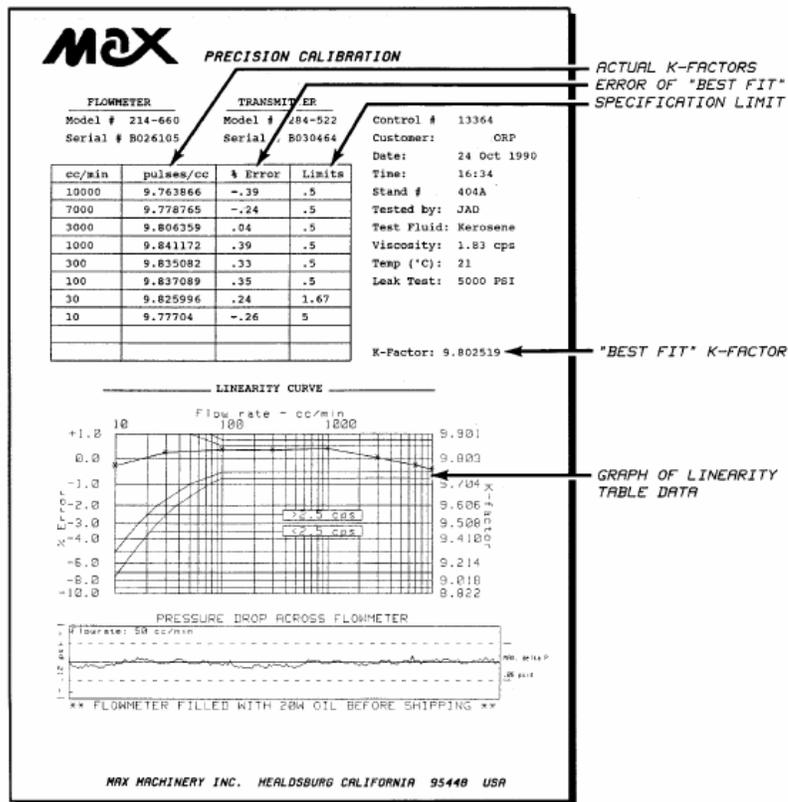


Figura 2.6 Gráfica de Calibración para el Fluómetro Max

A continuación se presenta un diagrama del flujómetro con frecuencia de salida y un sensor RTD (Figura 2.7).

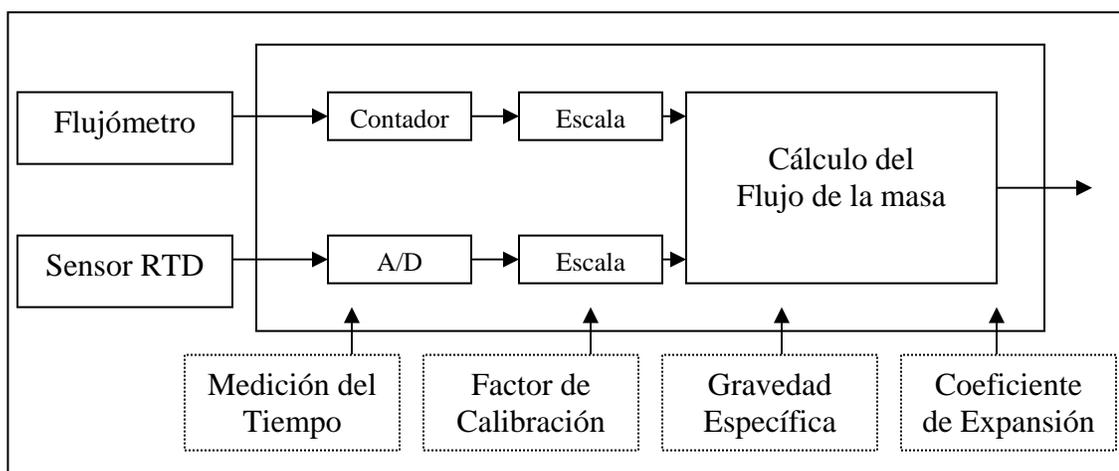


Figura 2.7 Diagrama del flujómetro y el sensor de RTD.

Escala volumétrica del flujómetro:

$$V \text{ (l h}^{-1}\text{)} = 3600 \times f \text{ (Hz)} * \text{K-factor}^{-1} \text{ (pulsos l}^{-1}\text{)}$$

Donde:

V = Tasa de flujo del volumen

f = Frecuencia o pulsos de salida por segundo desde el flujómetro.

K-factor = Factor de calibración o pulsos de salida por litros.

Calculo del flujo de la masa:

$$M = V \times \text{Rho}_{T_0} \times (1 + a (T_0 - T))$$

Donde:

M = Tasa de flujo de la masa

V = Tasa del flujo volumétrico

$\text{Rho}_{T_0}$  = Densidad de la temperatura  $T_0$

a = Coeficiente de expansión volumétrica de la temperatura  $T_0$

$T_0$  = Temperatura a la cual la densidad del combustible fue medida

T = Temperatura del combustible medido por el RTD sensor.

La densidad típica y el coeficiente de expansión para el combustible de diesel:

$$\text{Rho}_{T_0} = 7.73\text{E-}01 \text{ kg cm}^{-3} \quad a = 8.83\text{E-}04 \text{ (1 } ^\circ\text{C}^{-1}\text{)}$$

Los valores son aproximados a la  $T_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Los valores exactos deben ser requeridos por el proveedor del combustible.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Procedimiento del Diseño y Construcción del Medidor Manual de Combustible**

#### Identificación de los Requerimientos del Diseño Manual

Para identificar las necesidades, se requiere estudiar todos los componentes del sistema de combustible con respecto a su función dentro del mismo y sus características físicas esenciales por lo que se requiere:

- Observar el comportamiento del sistema de combustible cuando esta funcionando, es decir, el motor del tractor se encuentra trabajando.
- Que el sistema propuesto de combustible debe mantener sus flujos de diesel cerrados herméticamente a fin de evitar entrada de aire que pueda provocar que el tractor no funcione.
- En los motores de combustible diesel, el sistema de inyectores se encuentra por encima de los cilindros del motor, el diesel que no se inyecta se retorna hacia el tanque de combustible.

#### Volumen de Combustible a contabilizar

- Se requiere medir el consumo neto del combustible, es decir, la cantidad de diesel que se le suministra a la bomba de inyección menos la cantidad sobrante de los inyectores que se retorna al tanque de combustible.
- Separar la cantidad de combustible que va a ser utilizado para las mediciones en un depósito, para que así este cumpla con la misma función del tanque de combustible normal, la cual consiste en almacenar y distribuir diesel al sistema de combustible.
- Obtener un volumen real de diesel del depósito de medición, controlando el flujo de la cantidad de diesel que se retorna, logrando que ese se retorne hacia el nuevo sistema propuesto en lugar de retornarse hacia el tanque normal del tractor.
- Contabilizar el tiempo que tarda en consumirse la cantidad de combustible conocida del depósito.

#### Diseño y Construcción del Medidor Manual con Base en Tres Partes Principales

A continuación se explica detalladamente las características y el funcionamiento de cada parte principal del medidor, así como su diseño y construcción. Las tres partes del Medidor Manual son:

### I. Depósito para la medición.

Se utilizó una Probeta (Figura 3.1) como depósito e indicación del nivel inicial sobre el cual se encuentra el volumen de diesel. Sus características principales son: un material plástico-transparente para observar a simple vista el nivel del diesel actual; la estructura del material es de polipropileno (pp) un plástico muy duro y con gran resistencia al calor; tiene una escala 1000:10 ml. con capacidad de 1000 ml (1 l) para conocer el volumen del diesel contenido y soporta una temperatura máxima de 121 °C. Sus funciones básicas son: la de almacenar el diesel para la medición y distribuir este al sistema propuesto durante la medición.

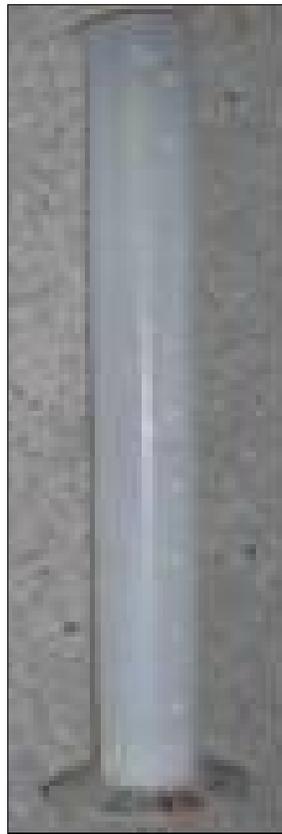


Figura 3.1 Probeta de plástico de 1000 ml.

En el diseño se eligió los materiales necesarios para la adaptación de la probeta al tractor. A continuación se mencionan estos materiales y su función en el diseño:

1. Tapón para la probeta: Ayuda a mantener libre de impurezas (polvo, suelo del campo, agua) el diesel contenido en la probeta.
2. Placa de Metal p/soporte probeta: Fijar en ella la probeta. Debe estar recta para tener un nivel exacto de la probeta.
3. Tornillos: Sujetar la placa de metal al tractor.
4. Cintillas de plástico: Mantener unida la probeta a la placa.
5. Tuerca: Dar flujo del diesel contenido en la probeta.
6. Pegamento Loctite: Sellar la tuerca a la probeta.

Al contar con los materiales se procedió a la construcción de la primer parte del diseño. La probeta original se modificó para lograr una salida del flujo del diesel, por lo que en la parte baja de la misma se le hizo un orificio con la fresadora. Después se tomo una tuerca del diámetro del orificio, se le agrego pegamento, se colocó con precaución la tuerca en el agujero (Figura 3.2A) y una vez que se secó el pegamento se verificó que no existieran fugas.

Dado que la probeta tenía que acoplarse a la estructura del tractor, se construyó una placa de metal (Figura 3.2B), la cual se cortó y soldó según las dimensiones de la base de la probeta. Después a la placa se le hicieron los ajustes necesarios para que sirviera de base a la probeta, por lo que se le hicieron varios agujeros en la parte horizontal (base) para fijar la probeta y en la

parte vertical también se agujero la placa para sostenerse en la estructura del tractor en el espacio que comúnmente se colocan las herramientas del tractor. La base de la probeta se taladró de acuerdo a los agujeros horizontales de la placa y así se fijó por medio de cintillas plásticas (Figura 3.2C).

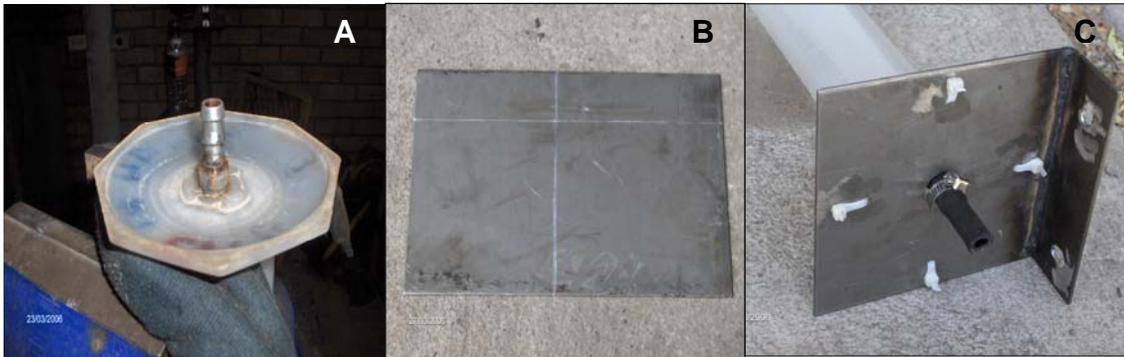


Figura 3.2 Adaptación de la tuerca en la probeta (A); placa de metal (B); adaptación de la probeta en la placa de soporte del tractor (C).

## II. Sistema de válvulas direccionales y flujo de diesel

Las Válvulas de paso de 5/16" (Figura 3.3) fueron seleccionadas para el sistema de válvulas y la función de cada una fue de controlar y manipular la dirección del flujo del diesel dentro del sistema manual de combustible. Debido a que en la medición se tiene que cerrar o abrir el flujo del diesel según sea el caso.



Figura 3.3 Válvula de paso de 5/16"

Además de que para obtener un flujo de diesel de acuerdo a las válvulas se seleccionó un tubo de cobre de 5/16" (Figura 3.4) que permitió un flujo constante del diesel en todo el sistema de combustible sin ninguna obstrucción, su material de cobre es capaz de soportar la temperatura del diesel (60 °C) y conserva su estado original a la intemperie.



Figura 3.4 Tubo de cobre de 5/16"

Para iniciar a construir esta parte del diseño, fue necesario contar con los siguientes materiales:

7. Válvulas de paso 5/16": Controlar y manipular el flujo del diesel.
8. Tubo de cobre de 5/16": Permitir el flujo constante de diesel.
9. Manguera de diesel: Da flexibilidad en los flujos de diesel donde no requiere un flujo recto, es decir, sustituye al tubo de cobre en flujos flexibles.
10. Abrazaderas: Conecta las partes de tubo de cobre y de manguera, entre sí.
11. "T" de 5/16": Crea dos flujos de diesel provenientes de un solo flujo de diesel.
12. Tuercas cónicas 5/16": Mantiene perfectamente conectados los tubos de cobre entre sí.
13. Teflón: Mantiene bien cerradas herméticamente las conexiones de tubo de cobre entre sí para así evitar fugas de diesel o entrada de aire.

Una vez seleccionado los materiales a utilizar, se realizó una inspección en la parte lateral derecha del tractor New Holland 6810 Turbo donde se encuentra sistema normal del flujo de diesel. La primera línea de conducción está conectada en un extremo el tanque de combustible y en el otro al primer filtro.

Considerando lo anterior, se hicieron las modificaciones necesarias para crear un espacio y colocar otras líneas de flujo como: flujo del tanque hacia la probeta, flujo de la probeta hacia el filtro, flujo del retorno hacia el flujo del sistema propuesto incluyendo entre estos el flujo original del tanque hacia el primer filtro.

Según los materiales seleccionados, se procedió a tomar las dimensiones tanto de largo como de ancho para la estructura del diseño considerando como restricción el espacio disponible donde se localiza este tubo original. Las dimensiones del espacio permitieron conocer las longitudes dadas para los tubos de cobre 5/16" del diseño. Una vez conocidas las medidas se procedió a realizar el corte necesario al tubo de cobre (Figura 3.5A), y al mismo tiempo se le colocaba en el extremo del tubo su tuerca cónica haciéndole a este un cono (Figura 3.5B) para evitar que se saliera la tuerca del tubo (Figura 3.5C) para así lograr que los tubos este conectados entre sí por sus tuercas del extremo.

A continuación se presentan varias imágenes de la realización de este paso, y también se agrega la herramienta utilizada (Figura 3.5D).

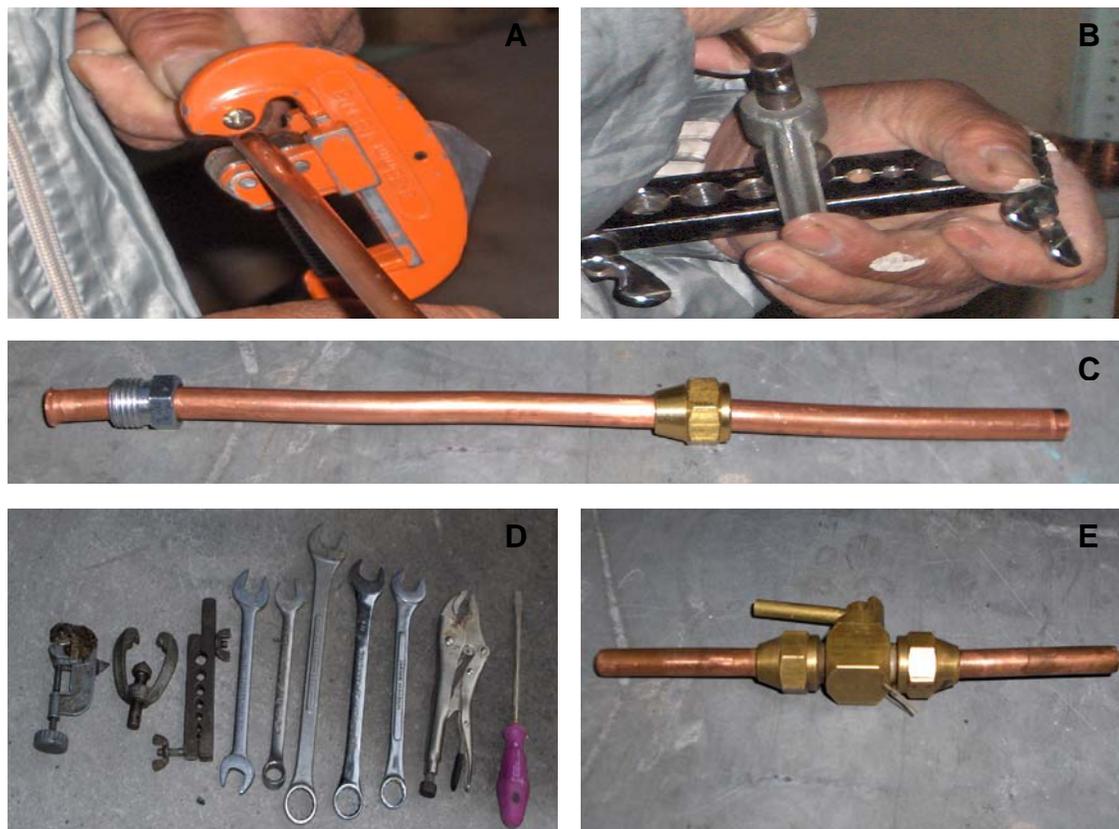


Figura 3.5 Corte del tubo de cobre 5/16" (A); cono al tubo de cobre para colocar las tuercas (B); tubo terminado para ser colocarlo en el filtro del diesel (C); herramienta utilizada (D); válvula con sus conexiones (E).

Una vez que se logra la unión de los tubos de cobre entre sí con las tuercas, se les agregó las válvulas (Figura 3.5E) y las "T" donde se requieran y para sellar las conexiones se le añadió teflón. Entonces esta estructura del diseño fue capaz de cumplir la misma función que el tubo original, la cuál

consiste en permitir el flujo del diesel en sistema de combustible y además de poder controlar el flujo con las válvulas para hacer mediciones.

El sistema descrito anteriormente se conectó por un extremo a la válvula No.1 va conectada del tanque del tractor por medio de una manguera, flexible conectada a una válvula de paso inmediatamente después del tanque de combustible (Figura 3.6A) a partir de esta se provee de diesel a todo el sistema de combustible.

Por otro lado para evitar que el diesel sobrante de los inyectores se retornara hacia el tanque de combustible, fue necesario localizar la manguera del retorno (Figura 3.6B) y desconectarla dado que va hacia el tanque y se creó una conexión con la manguera del retorno (Figura 3.6C) hacia el sistema de medición esto es importante porque de esta forma se contabiliza el consumo neto.



Figura 3.6 Válvula de paso del tanque de combustible (A); localizar la manguera del retorno (B); conexión de la manguera del retorno (C).

### III. Instrumento para la medición del tiempo.

Un cronómetro fue el instrumento utilizado para medir el tiempo necesario para el consumo de los volúmenes conocidos leídos en la probeta.

#### Prueba de Funcionamiento del Medidor Manual de Combustible Preliminar

- Adaptar adecuadamente el diseño propuesto al tractor.
- Realizarle una prueba de funcionabilidad al diseño propuesto, la cual consista en intentar tomar lecturas del consumo de combustible ( $\text{l h}^{-1}$ ) y observar el comportamiento del tractor, en caso de dificultades, verificar las causas de los problemas.
- Si existieron problemas con la prueba de funcionabilidad regresar a la parte del diseño propuesto, para modificarlo y solucionar el problema.

#### Evaluación del Medidor Manual de Combustible Propuesto

Especificaciones:

- Verificar que el tractor a utilizar se encuentre en buenas condiciones de operación antes de realizar la evaluación, para evitar que este nos lleve a resultados incorrectos.
- Conocer la eficiencia del diseño propuesto a través de la toma de varias mediciones de consumo de combustible.

- Conocer la calidad del diseño propuesto, verificando el estado final en que se encuentran sus componentes una vez que se han realizado varias mediciones tanto en laboratorio como en campo.

## **Procedimiento del Diseño y Construcción del Medidor Electrónico de Combustible**

### Identificación de los Requerimientos del Diseño Electrónico

- Conocer las desventajas del medidor manual de combustible, para considerarlas como oportunidad de mejorar al proponer el medidor electrónico.
- Observar y reconocer los problemas que se tuvieron al momento de diseñar y construir el medidor manual; para así considerar estos para así evitarlos y en caso de que se obtengan los mismos problemas con el medidor electrónico, entonces utilizar soluciones semejantes.
- Buscar que el sistema propuesto electrónico de combustible sea más eficiente en su modo de operación, más fácil de utilizar para el usuario y que los resultados que se obtenga de este sean más preciso y exacto.
- Mantener los flujos de diesel cerrados herméticamente.
- El diesel sobrante se debe retornar al mismo depósito para la medición, dado que al tener juntos el depósito de medición y el retorno se utilizara un menor número de componentes electrónicos (sensores).

- Reutilizar algunos componentes del sistema manual propuesto, solo aquellos que puedan adaptarse a los componentes electrónicos.

#### Cantidad de Combustible a contabilizar

- Se va a medir solo el consumo neto del combustible, solo que a diferencia del otro sistema propuesto, en este se contemplan mantener en el mismo depósito: el volumen a medir de diesel y el retorno del diesel sobrante de los inyectores.
- Al inicio de la medición se va a separar el combustible que va a ser utilizado para las mediciones en un depósito y al momento de realizar la medición este combustible del depósito será retroalimentado con el diesel del retorno.
- Se deberá conocer el contenido del depósito con respecto a los componentes electrónicos, es decir, calcular el volumen correspondiente a la distribución de los sensores del depósito.
- A simple vista se pueda observar cuando se empieza y termina de consumir la cantidad de diesel a medir; para así comprobar que el funcionamiento de los componentes electrónicos es el adecuado.
- Obtener varias tareas que se hacían manuales en forma electrónica, es decir, el mismo sistema sea capaz de controlar el flujo del diesel, realizar una medición y contar el tiempo, por si solo y siempre que se le indique la actividad a realizar.

El sistema electrónico propuesto (Figura 3.7) consiste en añadir un depósito con unos sensores, los cuáles puedan llenar el depósito de diesel hasta cierto nivel automáticamente, su contenido sea visible para comprobar que los sensores están funcionando adecuadamente y al momento de realizar la medición sean capaces de indicar el volumen consumido. Por lo que se requiere controlar automáticamente los flujos de diesel ya que durante las mediciones el tractor solo funcionará con la cantidad de diesel del depósito y la cantidad de diesel sobrante (retorno), el cuál se conecta al depósito propuesto con la finalidad de obtener en cada medición un consumo neto (real) de combustible.

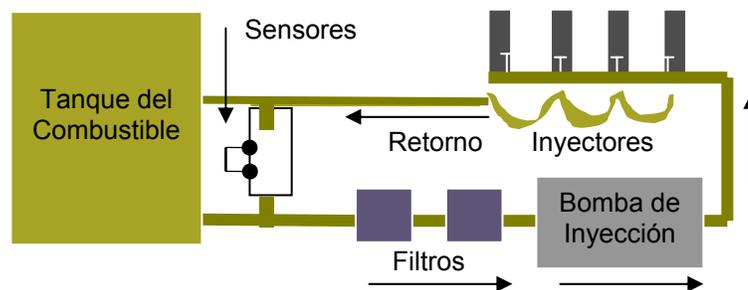


Figura 3.7 Sistema Electrónico Propuesto

### Diseño y Construcción del Medidor Electrónico con Base en Tres Partes Principales

La idea principal para el diseño electrónico se basó en el medidor de combustible operado y construido manualmente, en base a sus problemas y realizando las mejoras correspondientes. A continuación se explica

detalladamente la metodología de diseño y construcción de cada parte principal del medidor.

I. Sistema para la medición de un volumen pequeño de combustible:

1. Tubo de Policarbonato: Almacenar el diesel que va a ser utilizado en la medición del consumo neto. Un depósito hecho de tubo de policarbonato transparente ( $\emptyset$  Ext. 3" x  $\emptyset$  Int. 2-3/4") para permitir mayor visibilidad de su contenido de diesel, resistente a las altas temperaturas de diesel y su material evita que el diesel lo dañe resultando un material opaco, ya que esta desventaja se dio con la probeta de plástico
2. Placas de Plástico: Sirven para formar la base y la tapa del depósito.
3. Niple terminal 5/16" x 5/16" cónico: establecer flujo de diesel del depósito al sistema de combustible, se encuentra colocado en el orificio de la base del depósito.
4. Pegamento Loctite: Sellar la base al tubo de policarbonato y la tuerca (niple) interior de esta base.
5. Placa de metal: Soporte del depósito.
6. Tornillos Socket Milimétrico 4 mm x 12 mm toledo: Sujetar el depósito a la placa de metal.
7. Cinta métrica: Conocer el contenido de diesel del depósito respecto a su distancia (cm).
8. Contact Transparente: Adherir la cinta métrica al tubo de policarbonato.

Antes de construir el depósito, se consideró el problema del medidor manual de la opacidad de la probeta con el diesel, por lo que se consideró

utilizar otro material para el depósito, el cual presente una menor opacidad a la acción del diesel. El material propuesto fue el policarbonato, por lo que se le hizo una prueba de la resistencia de la acción del diesel (Figura 3.8) con una muestra de policarbonato dentro de diesel por alrededor de 2 semanas y esta prueba mostró que el policarbonato no se opaca y se optó por elegirlo.



Figura 3.8 Prueba de la resistencia de la acción del diesel por el policarbonato

Se procedió a construir el depósito del combustible para la medición con el tubo de policarbonato y las placas de plástico con base en la placa de metal existente del medidor manual. Primero se procedió a cortar el tubo de policarbonato a la misma altura que la probeta del medidor manual (42 cm).

Después con las placas de plástico se tomaron las dimensiones para darle forma de base y tapa según las dimensiones especificadas del tubo de policarbonato y la placa de metal del soporte. De acuerdo a las dimensiones específicas de la base y la tapa se realizó un dibujo en AutoCAD de la base (Figura 3.9A) y de la tapa (Figura 3.9B).

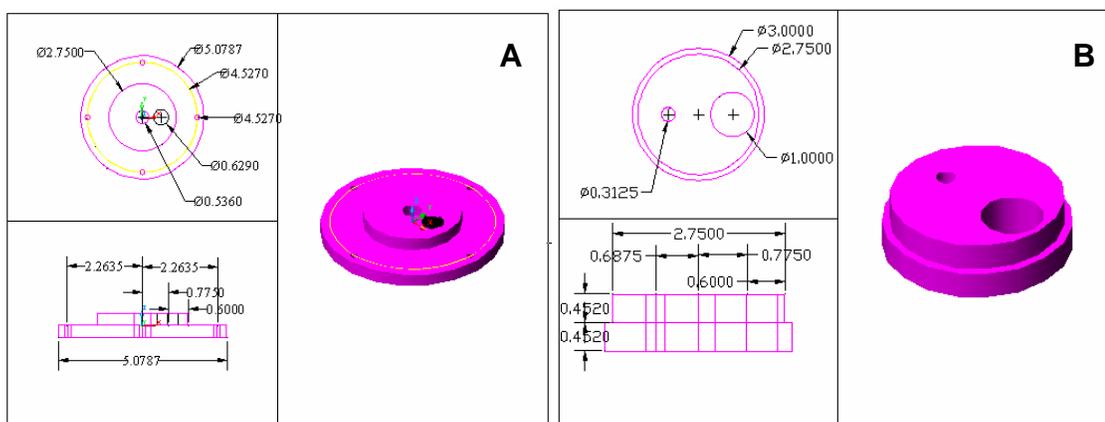


Figura 3.9 Dibujo de la base (plg) en AutoCAD (A); Dibujo de la tapa (plg) en AutoCAD.

Ambos dibujos se mandaron al taller donde fabricaron la base del tubo de policarbonato (Figura 3.10A) y la tapa del tubo de policarbonato (Figura 3.10B). Pero en el caso del dibujo de la base, no fue posible hacerle los hoyos ( $\varnothing = 4.5270''$ ) dado que se localizaban muy cerca de la orilla de ésta.

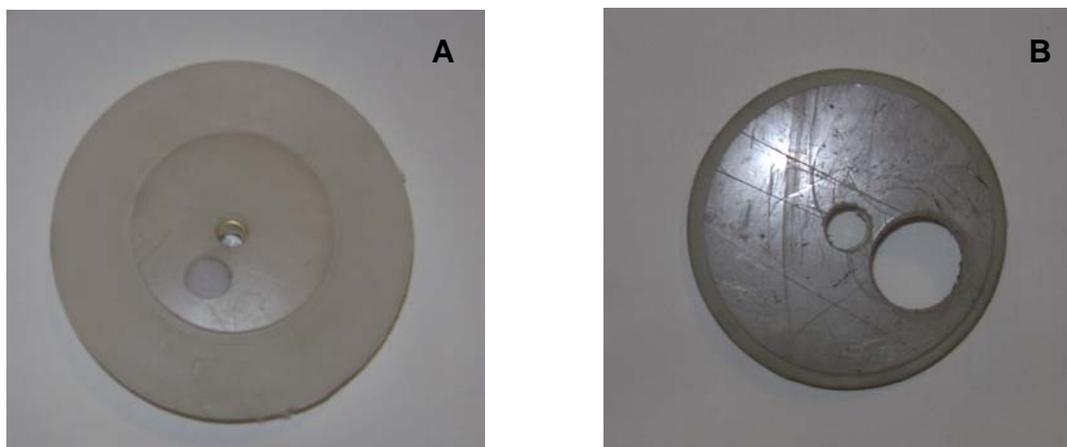


Figura 3.10 Base del tubo de policarbonato (A); tapa del tubo de policarbonato (B).

Al tener fabricada la base, se continuó con fijar la base al tubo de policarbonato colocándole a esta alrededor pegamento loctite para así unir las partes del depósito, sosteniendo permanentemente el tubo en la base. En la parte de la base tiene un orificio con las dimensión del niple Terminal 5/16" cónico x 5/16" para unir esta conexión a la tuerca 5/16" del tubo de cobre correspondiente y permitir el flujo del diesel del depósito. Entonces se le colocó alrededor del agujero el pegamento loctite y se fijó el niple. Dado que fueron dos partes unidas con pegamento como la base al tubo y el niple a la base, una vez que se secó el pegamento se pasó a verificar que no existieran fugas en el depósito para la medición (Figura 3.11).



Figura 3.11 Depósito para la medición

El siguiente paso fue taladrar la base de acuerdo a los hoyos de la placa de metal para fijar el depósito en la placa de metal. Después se procedió a atornillar ésta a la placa de metal para mantenerla fija y recta; y en cuanto a la tapa se coloca bajo presión para así quitarla en caso necesario. Por último, se le pegó a lo largo del depósito una cinta métrica con contact transparente (plástico) para así conocer de manera visual el volumen del diesel contenido de acuerdo a cada centímetro. Lo anterior permitió obtener el depósito para la medición con escala para adaptarse en el tractor (Figura 3.12). Además se hicieron los cálculos necesarios para conocer el volumen del diesel del depósito (Cuadro 3.1) en cada 100 ml según los centímetros dados (Ver Apéndice A1).

**Cuadro 3.1 Volumen del diesel del depósito**

Área (cm <sup>2</sup> )	Altura (cm)	Volumen (ml)
38.6	2.6	100
38.6	5.2	200
38.6	7.8	300
38.6	10.4	400
38.6	13.0	500
38.6	15.5	600
38.6	18.1	700
38.6	20.7	800
38.6	23.3	900
38.6	25.9	1000



\*Ver apéndice A1

Figura 3.12 Depósito de medición con escala.

## II. Sistema de válvulas direccionales eléctricas y flujo de diesel

Las electroválvulas monoestables (Figura 3.13) consisten en regular y controlar el flujo del diesel del sistema de combustible. Por lo tanto fueron las seleccionadas ya que pueden abrirse o cerrarse automáticamente, por medio de la señal del circuito electrónico. Una de las características más importantes es que estas electroválvulas son monoestables, es decir solo pasa el flujo del fluido en un solo sentido. Entre sus características sobresalientes se encuentra: trabajan con una presión de 0-130PSI, son adecuadas para el flujo de todo tipo de combustibles, soportan una temperatura del fluido de 76.7 °C y resistente a la corrosión debido a que su materiales son de: latón sólido y acero plateado.



Figura 3.13 Electroválvulas monoestables

Además para mantener un flujo de diesel constante se utilizó nuevamente el tubo de cobre de 5/16" como en el medidor manual, solo que se adapto sus dimensiones de acuerdo a las electroválvulas.

Fue necesario contar con los siguientes materiales para hacer la construcción de esta segunda parte del medidor:

9. Electroválvulas: Controlar automáticamente el flujo de diesel en el sistema de combustible.
10. Tubo de Cobre 5/16": Mantener el flujo constante de diesel.
11. Manguera de diesel: Dar flujo de diesel en donde se necesita flexibilidad.
12. Abrazaderas: Unir los tubos de cobre con las partes de manguera.
13. "T" de 5/16": Crea dos flujos de un solo flujo de diesel.
14. Tuercas cónicas 5/16": Unir los tubos entre sí.
15. Teflón: Mantener bien selladas las conexiones de los tubos de cobre.
16. Niple terminal 5/16" x 1/8": Unir las electroválvulas a las tuercas cónicas.
17. Escuadras de refuerzo: Sostener las conexiones del tubo de cobre con las electroválvulas del flujo del tanque y del depósito; debido al peso de las electroválvulas.
18. Solera: Sostener las conexiones del tubo de cobre con la electroválvula del flujo del retorno.

Al tener los materiales mencionados anteriormente se procedió a construir el sistema de válvulas y flujo de diesel constante. Considerando aquellos materiales que se pueden reutilizar, entre ellos están los tubos de cobre por lo que sólo en sus uniones se tuvieron que cambiar las válvulas direccionales por las electroválvulas.

Fue necesario minimizar las dimensiones de los tubos de cobre, dado que las electroválvulas con sus respectivos niples (acopladores) representa una mayor longitud que las válvulas direccionales. Por lo que se procedió a cortar los tubos de cobre según las dimensiones especificadas. Después se colocó un poco de teflón en los niples (acopladores) de las electroválvulas y se ensambló los tubos de cobre, T, niples y las electroválvulas en el mismo lugar de la estructura de cobre del medidor manual, a excepción de la electroválvula de retorno al depósito, dado que aquí no va a un recipiente como en el medidor manual, sino va al mismo depósito del diesel de la medición, por medio de una manguera y tubo de cobre para distribuir el flujo del retorno hacia el depósito, ambos materiales se añadieron.

Esta estructura de cobre representaba un mayor peso debido al peso de las electroválvulas por lo que fue necesario agregar refuerzos cerca de las electroválvulas por lo que se colocaron unas escuadras de refuerzos para las electroválvulas del tanque y del depósito (Figura 3.14A) y una solera para las electroválvulas del retorno al tanque y retorno al depósito (Figura 3.14B).

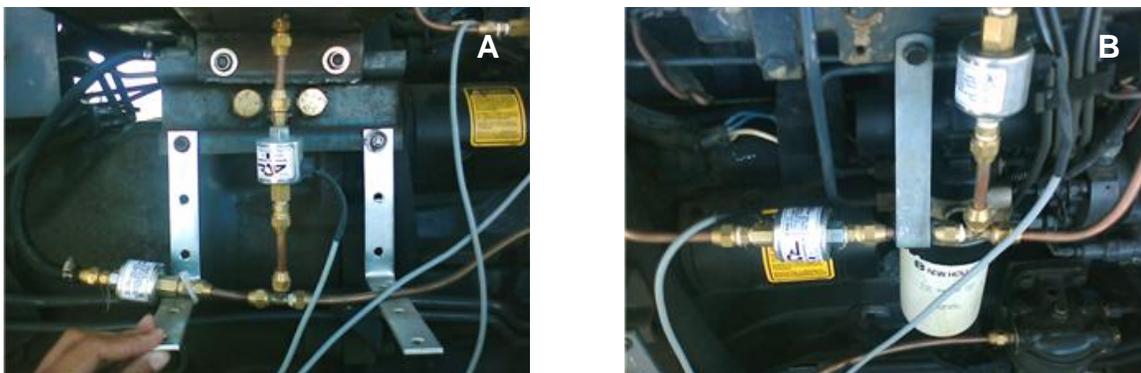


Figura 3.14 Escuadras de Refuerzo para las electroválvulas del tanque y del depósito(A); solera para el retorno al tanque y el retorno al depósito (B).

Con el Depósito de Combustible y la estructura de cobre terminados (Figura 3.15), estas parte del medidor electrónico puede verse muy similar al medidor manual, solo que en este caso las electroválvulas van en un solo sentido, por lo que a diferencia del medidor manual, cambiará la forma de llenar la probeta, dado que la electroválvula que se encuentre bajo el depósito, será solo la salida del diesel durante la medición, y se tendrá que llenar la probeta por medio del retorno del diesel.



Figura 3.15 Depósito de Combustible y Estructura de Cobre Terminadas

### III. Sistema para la medición del tiempo, volumen y consumo de combustible.

Se consideró un circuito electrónico, ya que es una herramienta capaz de trabajar con una serie de elementos o componentes eléctricos, tales como sensores fotoeléctricos, electroválvulas, interruptores, pantalla, microcontroladores, etc; los cuales están conectados eléctricamente entre sí con el propósito de generar, transportar o modificar señales. El circuito es la parte principal en el medidor electrónico, dado que a través de su programación

en lenguaje C++, es capaz de: modificar los estados en que se encuentran las electroválvulas, recibir y enviar la información de los sensores del depósito de diesel y contabilizar el tiempo en que se tardará en realizar una medición.

A continuación se presenta una lista de los materiales necesarios para adaptar el circuito electrónico al tractor:

19. Sensores fotoeléctricos omron: Detectar la presencia o ausencia del diesel contenido en el depósito.
20. Microcontrolador del circuito electrónico: Se encarga de activar o desactivar las electroválvulas y los sensores según la función que deseé el usuario, y envía su información a la pantalla.
21. Microcontrolador del tiempo (segundos): Detecta el tiempo que tarda en realizar una medición.
22. Microcontrolador de la pantalla (LCD): Envía la información a la pantalla del consumo de combustible.
23. Resistencias: Sirve para limitar la corriente que pasa en su recorrido.
24. Diodo de protección: Se utiliza para transmitir corriente al circuito sin dejar que esa corriente entre al microcontrolador; para proteger al microcontrolador.
25. Diodo Zeners: Se emplean para producir entre sus extremos una tensión constante e independiente de la corriente que las atraviesa según sus especificaciones.

26. Resistencia variable: Se utilizan debido a la poca corriente del circuito, para así potenciar su corriente, pues no disipan apenas potencia.
27. Reguladores de Voltaje: sirve para obtener un valor de salida deseado en base al nivel de entrada, ya sea mecánico o eléctrico. En este caso, se utiliza para obtener un voltaje 3.3v en el circuito del microcontrolador.
28. Amplificadores operacionales (OPAM): Sirve para obtener 12v del circuito para activar o desactivar las electroválvulas, dado que el conexión 0,1,2 y 3 del microcontrolador se conecta a un diodo, ahí se tiene 3v aproximadamente por lo que se activa el amplificador operacional convirtiendo a 12v debido a la saturación del voltaje dado que el opam es de 1.56v.
29. Transistores de potencia: Detecta la corriente del sensor fotoeléctrico de 3mA-5mA y activa la señal; para tomar el voltaje del regulador 3.3 v; para así amplificar la corriente a 3.3 v necesaria para alimentar al microcontrolador.
30. Pantalla (LCD 16x2 c/Backlight Azul): Sirve para mostrar el consumo de combustible.
31. Cable plano para extensión: Mantener conecta la pantalla al microcontrolador de pantalla.
32. Fusible de voltaje: Sirve para tener el valor máximo en volts al cual puede trabajar y ha sido diseñado el fusible, su valor se expresa en volts o kilo volts efectivos (RMS).

33. Fusible de protección tipo Europeo 100mA: Sirve para proteger a todo el circuito en caso de un corto, de tal forma que ninguna parte se dañe y solo se cambie el fusible.
34. Fusible para las electroválvulas tipo americano (3 Amperes): Sirve de protección en caso de una sobrecarga o un corto en las electroválvulas.
35. Portafusible de las electroválvulas: Mantener protegidos los fusibles de las electroválvulas.
36. Disipadores de calor: eliminan el exceso de calor de cualquier elemento, se localizan dentro del circuito, conectados con las conexiones de las electroválvulas.
37. Ventilador (3" DC 12 volts): Evitar que se sobrecaliente los disipadores de calor y a la vez el circuito integrado.
38. interruptores: Seleccionar la función que desea realizar el usuario como: realizar una medición, trabajar con el tractor como normalmente funciona y vaciar el depósito.
39. Batería: Es la fuente de energía del circuito.
40. Caja del circuito: Mantener el circuito electrónico libre de impurezas y de la intemperie.
41. PTR 1": Soporte de la caja del circuito en la salpicadera del tractor.
42. Angulo 1/2": Soporte de la batería que alimenta al circuito y a sus componentes electrónicos.
43. Perfil de Solera de soporte: Sujetar el sensor fotoeléctrico superior en sus agujeros y mantenerlo cerca del depósito.

44. Escuadra de Soporte: Sujetar el sensor fotoeléctrico inferior en sus agujeros y mantenerlo cerca del depósito.
45. Manguera abierta 1": Mantener protegidos los cables de las electroválvulas hasta el circuito.
46. Candado: Mantener bien cerrado y protegido el circuito en su caja.
47. Tornillos completos: Sujetar la caja en su soporte de PTR 1", Sujetar la batería en su soporte, Sujetar el circuito en la caja, Sujetar los soportes de los sensores en la placa de metal del depósito.

En la adaptación del circuito integrado se baso en diversos partes, tale como: Sensores para detectar el volumen del diesel, Caja del circuito para mantenerlo protegido en el tractor, la Bateria del circuito y el prototipo del circuito. A continuación se explica detalladamente cada etapa.

#### Sensores para Detectar el Volumen del Diesel

Al inicio, se intentó utilizar un sensor de nivel para determinar el contenido del nivel del diesel dentro del depósito (Figura 3.16) pero el problema fue que la constante dieléctrica del diesel es 2 por consecuencia no detectaba el diesel, solo podría ser utilizado en depósitos de agua (constante dieléctrica es de 80). Por lo tanto, este sensor de nivel capacitivo detecta más fácilmente las constante dielectricas altas, y a pesar de que se le eligió la opción de mayor sensibilidad aún no detectaba el diesel.

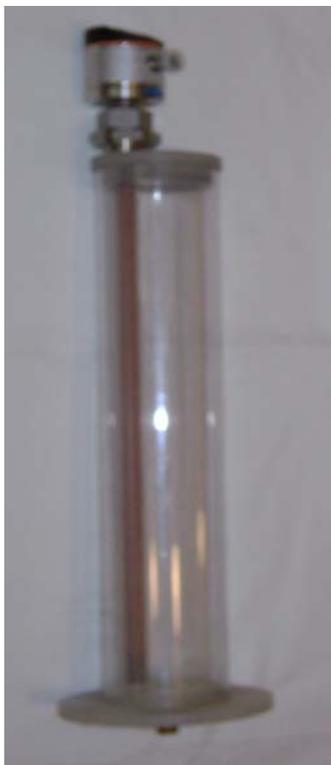


Figura 3.16 Sensor de nivel en el depósito.

Dada la baja constante dieléctrica del diesel fue difícil encontrar un sensor que detectara la presencia o ausencia de éste, pero se utilizaron unos sensores que se colocaran por fuera del depósito y se encontraran en contacto con el nivel del depósito. Se eligieron los sensores fotoeléctricos omron, los cuales funcionan de manera inversa, ya que cuando detectan la presencia del diesel se apagan y cuando hay ausencia los sensores se prenden.

Para fijar los sensores fotoeléctricos en la parte exterior del depósito se hizo un soporte con una solera agujerada y se fijo en la placa de metal. En este soporte se colocaron los dos sensores a una distancia conocida (5.2 cm) con la

finalidad de tener un volumen conocido (200 ml). Pero aún no se fijaron totalmente ya que puede haber cambios en la prueba de funcionamiento.



Figura 3.17 Sensores fotoeléctricos detectando el diesel del depósito

En la figura anterior (Figura 3.17) se nota como el sensor de mas abajo no se encuentra al final del depósito debido a que siempre va a existir diesel que se retorna, y por consecuente no va a llegar a estar totalmente vacío considerado que el diesel del retorno es del 70%, en cargas pesadas del tractor.

#### Caja del Circuito Electrónico

En la caja se encuentra dentro el circuito electrónico y las conexiones entre sus materiales electrónicos. Debido a esto se le hizo un soporte de ptr 1" (Figura 3.18A) para sostenerla en la salpicadera, se procedió a tomar las dimensiones de la caja y del espacio disponible en la salpicadera derecha del

mismo lado del medidor de combustible. Una vez tomadas las dimensiones, se procedió a cortar el ptr 1" según el diseño, se soldó y se perforó.

Los orificios del sostén de ptr 1" se hicieron alineados a los de la base de la caja. Además se perforo la barra del sostén de la salpicadera para sostener el soporte de la caja (Figura 3.18B) en el tractor, dándole así firmeza al soporte de la caja.

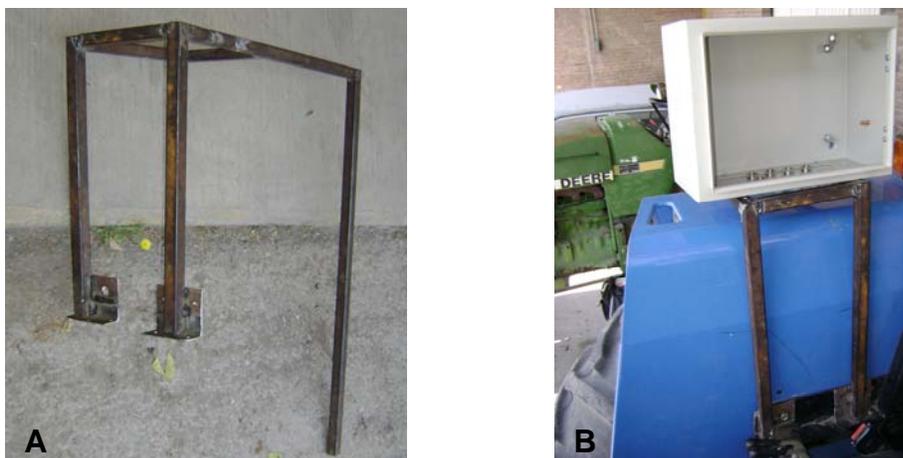


Figura 3.18 Soporte de PTR 1" (A); soporte de la caja del circuito electrónico (B).

### Batería

El circuito necesita estar alimentado de una corriente directa para funcionar. Por lo que para evitar problemas con la batería del tractor se propuso adecuar otra batería en el tractor, con la finalidad de alimentar al circuito sólo con ésta para así no dañar la batería del tractor. Por lo que en el espacio de atrás disponible del conductor se diseño un soporte para la batería (Figura 3.19)

utilizando un ángulo  $\frac{1}{2}$ " y unos tornillos completos para sujetar fijamente la batería del circuito. La batería se colocó en su soporte y se posicionó del lado de la caja del circuito para estar cerca de las conexiones con el circuito.



Figura 3.19 Soporte para la batería

#### Prueba de Funcionamiento del Medidor Electrónico de Combustible Preliminar

- Adaptar adecuadamente el diseño propuesto al tractor.
- Utilizando componentes electrónicos ya que dado a la complejidad de estos, es necesario estar realizando pruebas al prototipo antes de tener el diseño final.
- En las pruebas al prototipo, se comprueba cual es el funcionamiento del medidor, si es el adecuado y si sus componentes no tienen ningún

problema. Por lo que en caso de que existan problemas con el prototipo, entonces se modifica para solucionar el problema.

### Evaluación del Medidor Electrónico de Combustible Propuesto

Especificaciones:

- Verificar que el tractor a utilizar se encuentre en buenas condiciones de operación antes de realizar la evaluación, para evitar que este nos lleve a resultados incorrectos.
- Cuando se este tomando a cabo una medición es necesario mantener la misma velocidad del tractor y la misma potencia, para evitar que errores en el consumo de combustible.
- Observar las ventajas que se tienen al momento de utilizar este medidor electrónico, ya sea tanto de su modo de operación como al momento de tomar una medición.
- Conocer la eficiencia del diseño propuesto a través de la toma de varias mediciones de consumo de combustible y la comparación de estos resultados con una base de datos de consumo de combustible-potencia.
- Verificar la calidad de los componentes electrónicos propuestos y los materiales más importantes como el depósito.

## Evaluación de los Medidores Propuestos en Campo

### Procedimiento del Medidor Manual

La medición manual del consumo de combustible se llevo a cabo de la siguiente manera en cada lectura:

- 1) Llenar la probeta a un volumen conocido 1 l, y mantener el recipiente del retorno vacío.
- 2) Es necesario contar con cuatro personas al mismo tiempo para realizar la medición (Figura 3.20): una persona se encarga de manejar el tractor; la otra de abrir la válvula de la probeta para permitir el flujo de diesel al sistema y al mismo tiempo cerrar la válvula del tanque al sistema; otra persona para abrir la válvula del diesel del retorno al recipiente y cerrar la válvula del retorno al tanque; y la cuarta persona es la que se encarga de contar el tiempo.



Figura 3.20 Inicio de la Medición del Consumo de Combustible

- 3) En el momento que las dos personas abrieran su válvula asignada (probeta y retorno), en ese mismo instante una persona se encargaría de empezar a contar el tiempo y el operador empezaría a avanzar con el tractor (Figura 3.21).



Figura 3.21 Avance del Tractor

- 4) Después que el tractor haya recorrido la distancia asignada, en ese instante se detiene el tractor, y las dos personas que se les asignó válvula se encargan de cerrar inmediatamente estas válvulas para evitar que se siga consumiendo la cantidad de combustible medido. Por lo tanto, la persona que está midiendo el tiempo, termina de contar.

- 5) Después de estos pasos, por último se quita el recipiente del retorno y se coloca el diesel del retorno dentro de la probeta (Figura 3.22), para así conocer el volumen neto consumido.



Figura 3.22 Llenado de la probeta con el diesel que contiene el recipiente del retorno

- 6) Se obtiene la relación del Consumo de Combustible en base al volumen de consumo neto sobre el tiempo que se tardó en consumir éste.

### Procedimiento del Medidor Electrónico

Cada lectura tomada en el medidor electrónico se lleva a cabo de la siguiente manera:

- 1) Se seleccionan los interruptores No.1 y No.3 para que el flujo de diesel en el tractor funcione normalmente, y así se pueda trasladar al lugar donde se va a realizar la medición.
- 2) Después se seleccionan los interruptores No.1 y No.2, el tractor empieza su labor con el implemento manteniéndose a una misma velocidad de avance (cuarta marcha). Automáticamente se llena el volumen conocido (200 ml), y el circuito empieza a contabilizar el tiempo.
- 3) Una vez que se consume el volumen conocido (200 ml), en la pantalla del circuito se muestra: Volumen 200 ml, Tiempo X (s) y el Consumo de Diesel X ( $l\ h^{-1}$ ). Por lo tanto estos datos se anotan por el usuario (Figura 3.23) y para realizar otra medición el usuario pone en ceros el sistema utilizando el interruptor No.2; es decir, se conecta y desconecta ese interruptor.

En caso de realizar más de siete repeticiones de mediciones de consumo de combustible continuas, es necesario que el usuario ponga en ceros el sistema utilizando los interruptores No.1 y No.2 para continuar realizando más mediciones.



Figura 3.23 El usuario observa y escribe las lecturas del medidor

Para comparar el desempeño del medidor electrónico en campo, paralelamente se realiza la medición con el método manual del rellenado del tanque, (Challenger 2005) y éste se lleva a cabo de la siguiente manera:

- 1) El tractor se encuentra en el punto de partida del lugar asignado para la medición, entonces antes de empezar su labor con el arado en el área asignada se llena el tanque hasta su máxima capacidad.
- 2) Después el tractor empieza su labor con el arado en ese momento se empieza a contar el tiempo y el tractor avanza en una velocidad constante (cuarta baja).
- 3) Al finalizar el tractor su labor en el área asignada éste se detiene, se termina de contar el tiempo y se apaga el motor. Luego se llena una probeta graduada con diesel (Figura 3.24A) hasta cierto volumen conocido y verificando con un instrumento de nivel este volumen (Figura 3.24B), para así con esta probeta se llena el tanque (Figura 3.24C) hasta que el tanque esté hasta su máxima capacidad de llenado. Por lo tanto

se obtiene: el volumen consumido según la cantidad depositada por la probeta (ml), el tiempo de la medición (s); y con estos datos se calcula el consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ).



Figura 3.24 La probeta se llena con diesel (A); verificando el volumen de la probeta (B); la probeta llena al tanque de combustible (C)

Para analizar estadísticamente las diferencias que pudiese haber entre las mediciones del medidor electrónico y las del método manual de rellenado del tanque se estableció en campo un diseño estadístico de dos tratamientos en bloques al azar con tres repeticiones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Construcción del Medidor Manual de Combustible Preliminar

Una vez ensambladas las tres partes mencionadas anteriormente en materiales y se obtuvo el medidor de combustible controlado manualmente.

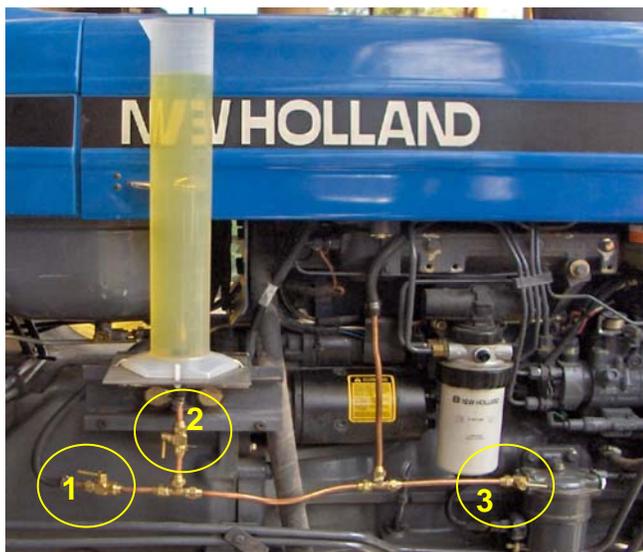


Figura 4.1 Medidor Manual de Combustible Preliminar

El Medidor Manual de Combustible Preliminar (Figura 4.1) contiene 3 válvulas de paso:

- 1) Para permitir el paso del Tanque de Combustible al Sistema, ya sea para llenar la probeta o alimentar al filtro del diesel.
- 2) Para permitir la entrada o salida del diesel dentro de la probeta.

- 3) Para permitir el paso del diesel hacia el primer filtro del diesel (Esta siempre debe estar abierto).

El funcionamiento del Medidor Manual de Combustible consiste en:

Antes de iniciar una medición, es necesario llenar la probeta hasta 1 litro (para realizar varias mediciones de 50 a 200 ml), por medio del flujo del diesel del tanque a la probeta y a la vez al sistema de combustible por lo que se mantiene abierta la válvula del tanque y la válvula de la probeta. Una vez llena la probeta se cierra la válvula de la probeta y su función será alimentar al sistema de combustible con este diesel de la medición y el flujo de diesel que se retorna en el mismo sistema propuesto para así evitar errores en la medición. Al momento de iniciar una medición, se cierra la válvula del tanque y se abre la válvula de la probeta, en ese instante se empezara a contar el tiempo que tarda en consumir el volumen conocido (50 ml, 100 ml, 150 ml ó 200 ml) para así obtener la lectura del consumo de combustible.

### **Prueba de funcionamiento del Medidor Manual de Combustible Preliminar**

Una vez terminado el Medidor Manual de combustible preliminar fue necesario verificar su funcionamiento por lo que se le procedió a realizar la prueba de funcionamiento. Al momento de esta prueba ocurrió un problema dado que al intentar utilizar el medidor manual el motor del tractor se apagaba por lo que fue necesario rediseñar el medidor manual de combustible

haciéndole varias modificaciones y ajustes al diseño preliminar. (Ver Apéndice A2). Después de tres modificaciones, se concluyó con el siguiente diseño del Medidor Manual:

#### Diseño colocando el Diesel del Retorno en Otro Depósito

Como en los tres modificaciones al diseño preliminar, se adjunto el retorno a la probeta pero como no se logró eliminar el problema de la espuma del diesel del retorno. Entonces se optó por añadir al diseño preliminar otro depósito de diesel del retorno y otras dos válvulas para controlar el flujo del retorno. Por lo que se obtuvo un medidor manual de combustible (Figura 4.2) más complejo dado que en este nuevo diseño implicaba tomar dos lecturas del consumo de combustible: uno de la probeta y otro del recipiente del retorno.



Figura 4.2 Medidor Manual de Combustible Propuesto

El sistema de válvulas se vió afectado a estas modificaciones, ya que se incrementó el número de éstas y como consecuencia la cantidad de flujos de diesel a controlar. A continuación se explica cada válvula:

$V_1$ : Flujo del diesel del Tanque al Sistema de Combustible propuesto.

$V_2$ : Flujo de diesel de la Probeta al Sistema de Combustible propuesto.

$V_3$ : Flujo de diesel del Retorno al Recipiente del retorno.

$V_4$ : Flujo de diesel del Retorno al Tanque.

El funcionamiento del Medidor Manual de Combustible consiste en:

Antes de iniciar una medición, es necesario llenar la probeta hasta 1 litro, manteniendo abiertas las válvulas No.1, No.2 y No.4. Una vez llena la probeta se cierra la válvula de la probeta (No.2) y las otras se mantienen abiertas (No.1 y No.4) para que el tractor esté como funciona normalmente. Al momento de iniciar una medición, al mismo tiempo se cierra las válvulas No.1 y No.4, se abren No.2 y No.3 para obtener en el sistema solo el diesel que se va a contabilizar y en ese mismo instante se empieza a contar el tiempo que tarda en recorrer un área de trabajo asignada. Al finalizar esta área, inmediatamente se cierran las válvulas No.2 y No.3; se abren las válvulas No.1 y No.4 y se termina de contar el tiempo. Por lo que para conocer el volumen que se consume, se quita el recipiente del retorno y se vacía a la probeta; conociendo así la diferencia del volumen inicial (1 litro) menos el volumen final se obtiene así el volumen neto que consume el motor.

$$\text{Consumo de Combustible (l h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volumen neto (ml)}}{\text{Tiempo (s)}} \times 3.6$$

### Evaluación del Medidor Manual de Combustible propuesto

La evaluación se realizó en el campo experimental “El Bajío” de la UAAAN, en donde se realizaron las pruebas y evaluaciones para el tractor New Holland 6810 turbo con el medidor manual adaptado en él. En el tractor se evaluaron con base en dos implementos de labranza, un arado reversible New Holland modelo ARH-803 de 3 discos y una rastra integral John Deere de 20 discos. A continuación se presenta las mediciones del consumo de combustible en el Cuadro 4.1 para el arado y el Cuadro 4.2 para la rastra.

**Cuadro 4.1. Consumo de Combustible con el Arado reversible New Holland modelo AHR-803 a una profundidad de 20cm aprox.**

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Consumo de combustible (l h <sup>-1</sup> )
90	52.13	6.22
70	54.50	4.62
90	52.67	6.15

\*Nota: Ver Apéndice A3.

Consumo de Combustible promedio= 5.66 l h<sup>-1</sup>

Capacidad Teórica de Campo= 0.36 ha h<sup>-1</sup>

Consumo de Combustible por hectárea= 15.72 l ha<sup>-1</sup>

De acuerdo a Downs y Hansen (2004) se estima el Consumo de combustible por hectárea con un arado es de: 15.92 l ha<sup>-1</sup>. Por lo que, con el medidor manual se obtuvo un consumo de combustible de 15.72 l ha<sup>-1</sup> y por lo

tanto, el medidor manual es eficiente dado que nos provee una medición con un 2% de error.

**Cuadro 4.2. Consumo de Combustible con la Rastra Integral John Deere de 20 discos.**

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de consumo de combustible (l h <sup>-1</sup> )
30	48.46	2.23

\* Nota: Ver Apéndice A3.

Consumo de Combustible promedio= 2.23 l h<sup>-1</sup>

Capacidad Teórica de Campo= 0.72 ha h<sup>-1</sup>

Consumo de Combustible por hectárea= 3.07 l ha<sup>-1</sup>

De acuerdo a Downs y Hansen (2004) se estima el Consumo de Combustible por hectárea con una rastra de discos es de: 4.26 l ha<sup>-1</sup>. Con este dato observamos que la lectura tomada es un tanto diferente dado que es 3.07 l ha<sup>-1</sup>. Esta diferencia entre los consumos de combustible se debió a la falla que hubo con la válvula de la probeta, la cual se rompió instantes antes de empezar a utilizar el consumo de combustible con la rastra. En esta lectura del medidor manual se observa un error del 27.93 %, que se debió al efecto de la válvula dañada.

## Construcción del Prototipo del Medidor Electrónico de Combustible

Una vez ensambladas las tres partes mencionadas anteriormente en materiales y métodos; se obtuvo el Prototipo del Medidor Electrónico de Combustible.

En este prototipo del circuito electrónico (Figura 4.3) se colocaron los microcontroladores (programados en c++), sus componentes electrónicos (resistencias, diodos, amplificadores, disipadores de calor, transistores, etc.) y sus respectivas conexiones con los componentes electrónicos del sistema de combustible (electroválvulas, sensores, batería). Dadas las conexiones establecidas entre sí, dieron fin a la culminación del prototipo del circuito; él cual puede generar, transportar o modificar las señales electrónicas.

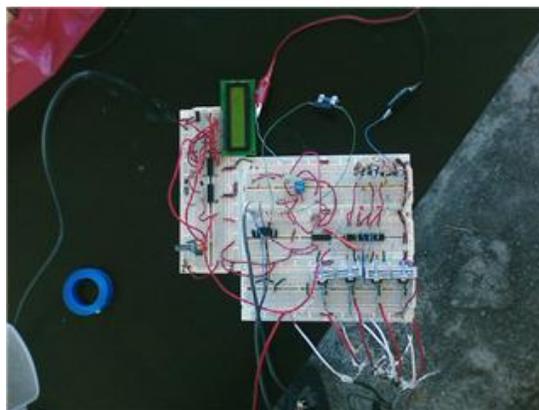


Figura 4.3 Prototipo del Medidor Electrónico.

### Funcionamiento del Prototipo del Medidor Electrónico

Cuando se desea realizar una medición (interruptor No.2) automáticamente se llena el depósito hasta donde se encuentran los sensores obteniendo así un volumen conocido (200 ml). Una vez llenado empieza la medición, el tractor realiza su trabajo, y después muestra en la pantalla el consumo de combustible ( $l h^{-1}$ ).

### **Prueba de funcionamiento del Prototipo del Medidor Electrónico de Combustible**

La prueba de funcionamiento del prototipo del circuito consistió en tener conectado entre sí todos sus componentes electrónicos, las señales de entrada (electroválvulas y sensores) y se conecto a la fuente de potencia (batería). Al estar todo conectado se inició la prueba, donde se tenían unos switches pequeños en el prototipo (representando a los interruptores del usuario). Debido a que surgieron varios problemas de funcionamiento fue necesario realizarle varios ajustes y cambios al prototipo (Ver apéndice A4).

Después que funcionó el prototipo se procedió a trabajar con este para hacerlo en una placa el circuito (Figura 4.4A), se taladro la placa para permitir la entrada a sus componentes (Figura 4.4B), se coloco cada uno de sus componentes en la placa (Figura 4.4C). Y por último, se soldaron los componentes y se verificó la corriente electrónica del circuito (Figura 4.4D).

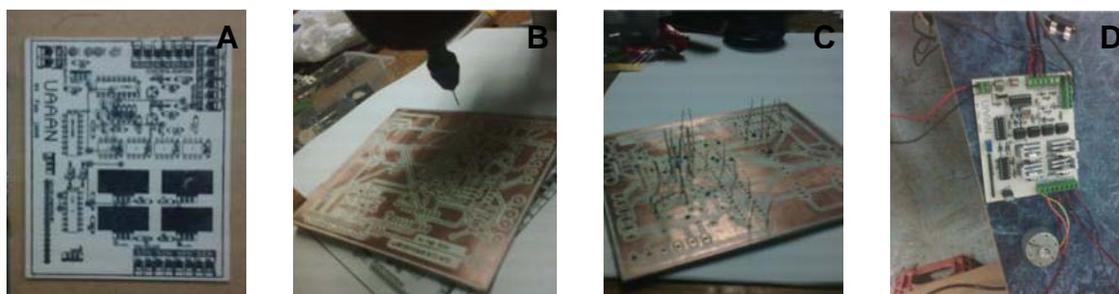


Figura 4.4 Placa del circuito (A); perforación de la placa (B); componentes en la placa (C); verifico la corriente del circuito (D).

Una vez que se verificó la corriente del circuito y se probó que funcionara adecuadamente. Se empezó a trabajar con las conexiones hacia el circuito, como: el cableado de los sensores, los cables de las electroválvulas (Figura 4.5), los cables de la batería. Por lo que todo se conectó al circuito electrónico de la caja.



Figura 4.5 Cableado de los sensores y las electroválvulas

Después de realizar las conexiones anteriores hacia la caja, se procedió a colocar el circuito electrónico dentro de la misma, y hacer sus propias conexiones: pantalla (LCD), ventilador, el cableado de las electroválvulas, el cableado de los sensores, los conectores de los switches y el conector de la batería. A continuación se muestra las conexiones del circuito en la Figura 4.6.



Figura 4.6 El circuito electrónico con sus conexiones

#### El Medidor Electrónico de Combustible

La parte fundamental del medidor electrónico de combustible es el circuito electrónico y sus principales componentes electrónicos son los microcontroladores. Por lo tanto se programó los microcontroladores del circuito en lenguaje C++ cada uno (Ver Apéndice A5). La función principal es la del microcontrolador del Circuito Electrónico ya que es el encargado de enviar y recibir toda la información de los swichs, sensores, electroválvulas y la pantalla. Pero necesita de los otros dos microcontroladores, microcontrolador del tiempo (segundos) determina el tiempo que tarda en realizarse el consumo del combustible y el microcontrolador de la pantalla (LCD) muestra en su pantalla

el consumo de combustible de la medición. Con la programación de cada microcontrolador y la conexión adecuada de cada componente electrónico se obtuvo el funcionamiento adecuado del Medidor Electrónico:

1. Interruptor No.1. Encender o Apagar el circuito integrado, por lo que siempre que se vaya a trabajar con cualquiera de las siguientes opciones es necesario tener encendido éste.
2. Interruptor No.2. Realizar una medición de consumo de combustible, en base a tres pasos del circuito electrónico:
  - a. Llenar el depósito durante este paso manteniendo solamente abiertas las electroválvulas del tanque (No.1) y la del retorno al depósito (No.3) para llenarlo y estas electroválvulas así se mantienen hasta que se llena el volumen conocido que ocurre hasta que los dos sensores han detectado el nivel de diesel (se apagan).
  - b. El usuario puede empezar a realizar la medición ya sea con el tractor en movimiento o en fijo y automáticamente se abren la electroválvula del depósito (No.2) y la del retorno al depósito (No.3) y se empieza a contar el tiempo automáticamente que se tarda en consumir ese volumen.
  - c. Al Terminar del consumo del volumen conocido se activan los dos sensores indicando que ya no hay diesel en su espacio (se prenden), entonces inmediatamente se cierran las válvulas No.2 y No.3, y se abren las válvulas del tanque (No.1) y retorno al tanque

(No.4) para que el tractor vuelva a su funcionamiento normal (evitando entrada de aire al sistema, ya que no habría diesel para alimentar el sistema), y en ese mismo instante te muestra un mensaje en la pantalla: volumen (200 ml), tiempo(s) y el consumo de diesel ( $\text{l h}^{-1}$ ).

En caso realizar otra medición, es necesario resetear el interruptor No.2; es decir, apagar éste switch y volverlo a encender.

3. Interruptor No.3. Permite el funcionamiento normal del tractor que consiste en mantener siempre abiertas las válvulas: la válvula del Tanque (No.1) y la válvula del retorno al tanque (No.4), mientras que las otras válvulas se encuentran cerradas.
4. Interruptor No.4. Hacer una función extra, aún no está disponible.
5. Interruptor No.5. Vaciar la probeta para cuando se va a guardar el tractor y no se piensa hacer más mediciones, así se evita dejar diesel en el depósito y que esta pueda decolorar u opacar el material del depósito. Aquí el vaciado no se pudo hacer con la medición dado que el sensor inferior no se localiza en la parte mas baja del depósito ya que se considero que el diesel del retorno es 70% o más. Entonces, siempre se va a tener cierta cantidad mínima en el depósito y por eso se utiliza esta función para vaciarse visualmente hasta que no hay diesel en el depósito se desactiva este interruptor por el usuario y se apaga el tractor. Para el vaciado se mantiene solamente abiertas las electroválvulas del depósito (No.2) y la del retorno al tanque (No.4).

Al momento de seleccionar cualquiera de los interruptores anteriores se debe considerar: el interruptor No.1 siempre debe estar encendido, y aparte no se pueden activar (on) otros dos interruptores al mismo tiempo, por lo que se debe apagar un interruptor primero y luego se enciende el otro para así no crear conflictos al circuito electrónico. Además, que al finalizar de realizar cualquier operación y cuando se apagó el tractor es importante mantener apagados todos los interruptores para evitar que se descargara la batería del circuito electrónico. A continuación se muestra en la figura 4.7 el medidor electrónico de combustible propuesto:



Figura 4.7 Medidor Electrónico de Combustible Propuesto

## **Evaluación Preliminar del Medidor Electrónico de Combustible Propuesto**

La evaluación del Medidor Electrónico se realizó en el campo experimental “El Bajío” de la UAAAN, en donde se realizaron las mediciones del consumo de combustible para el tractor New Holland 6810 turbo utilizando el medidor electrónico propuesto y un medidor manual del llenado del tanque; con la finalidad de comprobar el funcionamiento del medidor electrónico propuesto y conocer la exactitud en sus lecturas de consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ) con respecto a un medidor manual. Las mediciones de consumo de combustible se elaboraron trabajando el tractor con un arado de 3 discos de Kimball en tres parcelas, cada una de 30 m x 50 m.

El registro de las lecturas de consumo de combustible con el medidor electrónico y el medidor manual del rellenado al tanque se realizaron en el mismo tiempo para así mantener fijas las siguientes variables: tipo y estructura de suelo, humedad, misma velocidad de marcha (cuarta baja), ancho de trabajo y profundidad de trabajo. Sin embargo, debido a cuestiones operacionales no fue posible obtener el mismo número de repeticiones de cada medidor, ya que el medidor electrónico nos da lecturas en base al consumo de un volumen conocido pequeño (200 ml) mientras que el medidor manual funciona en base a un volumen desconocido grande para volverlo a llenarlo con una probeta de diesel (1 l).

**Cuadro 4.3. Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ ) de cada medidor, utilizando el tractor New Holland 6810 turbo con un Arado de 3 Discos de Kimball.**

Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ ) del Medidor Electrónico			Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ ) del Medidor Manual del rellenado al tanque		
Parcela No.1	Parcela No.2	Parcela No.3	Parcela No.1	Parcela No.2	Parcela No.3
21.10	18.40	15.60	19.37	20.10	14.04
21.10	13.80	13.30			
16.70	13.80	14.10			
16.30	13.50	18.00			
16.70	17.10	18.40			
18.00	17.10	15.60			
13.50	18.40	18.40			
25.70	15.30	16.70			

\*Nota: Ver Apéndice A6.

Las observaciones anteriores relativas al consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ) en cada medidor (Cuadro 4.3) fueron analizadas estadísticamente de acuerdo a una prueba de hipótesis, del diseño de bloques al azar.

Este análisis estadístico se realizó en el SAS (Statistical Analysis System) utilizándose un nivel de significancia  $\alpha = 5\%$ . El resultado de esta prueba fue: se acepta  $H_0$ ; es decir, no existe diferencia significativa entre las mediciones de los medidores (Ver Apéndice A7)

Sin embargo, aunque no exista una diferencia significativa entre la medición de ambos medidores. Es importante considerar que la medición del medidor electrónico es menor a  $1\ l\ h^{-1}$  que el medidor del tanque, por lo que un

ahorro de  $1 \text{ l h}^{-1}$  marca una importante diferencia económica al considerar rendimientos mensuales. (Brodier, 2005)

#### Consumo de Combustible por Hectárea

Con los datos del Cuadro 4.4 se obtiene lo siguiente:

- ✓ Consumo de combustible promedio del medidor electrónico=  $16.9 \text{ l h}^{-1}$
- ✓ Consumo de combustible promedio del medidor manual=  $17.8 \text{ l h}^{-1}$

Además de los datos de consumo de combustible fue necesario recabar otra información importante en campo (Ver Apéndice A8). A continuación se muestran los resultados obtenidos para ambos medidores, ya que dichas variables se mantuvieron fijas.

- ✓ Profundidad de trabajo = 20.3 cm
- ✓ Velocidad de trabajo =  $7.74 \text{ Km h}^{-1}$
- ✓ Ancho de Trabajo = 1.74 m

Con la información anterior se obtiene la Capacidad Teórica de Campo:

Capacidad Teórica de Campo =  $\frac{\text{Velocidad T (Km h}^{-1}) \times \text{Ancho T (m)}}{10} \times \text{Eficiencia}$

10

Capacidad Teórica de Campo =  $\frac{(7.74 \text{ Km h}^{-1}) \times (1.74 \text{ m})}{10} \times 0.75 = 1.01 \text{ ha h}^{-1}$

10

Una vez calculada la Capacidad teórica es posible obtener el consumo de combustible por hectárea de cada medidor.

$$\text{Consumo de Combustible del Medidor} = \frac{1}{1.01 \text{ ha h}^{-1}} \times 16.9 \text{ l h}^{-1} = 16.73 \text{ l ha}^{-1}$$

Electrónico por hectárea

$$\text{Consumo de Combustible del Medidor} = \frac{1}{1.01 \text{ ha h}^{-1}} \times 17.8 \text{ l h}^{-1} = 17.62 \text{ l ha}^{-1}$$

Manual por hectárea

De acuerdo a Downs y Hansen (2004) se estima que el Consumo de Combustible por Hectárea con un arado a una profundidad de 8" (20.32 cm) es de alrededor de  $15.92 \text{ l ha}^{-1}$  en promedio para condiciones de suelos agrícolas en USA. Si se compara este dato con los consumos de combustible por hectárea con cada medidor se obtiene que el consumo del medidor electrónico fue  $16.73 \text{ l ha}^{-1}$ , lo que representa un 5.1% más del valor estimado del consumo de combustible. En cambio el consumo del medidor manual fue de  $17.62 \text{ l ha}^{-1}$ , representa un 10.7% más del valor estimado del consumo de combustible de un arado. Por lo tanto, los consumos de combustibles por hectárea con ambos medidores son mayores que el valor estimado por el consumo de combustible de Downs y Hansen (2004).

La principal diferencia en el valor medido con el sistema electrónico y el método manual de rellenado del tanque es que en el segundo se estima volver a llenar el tanque hasta una marca preestablecida y si el criterio de apreciación varía uno o dos mililitros en cuanto a la línea de nivel de combustible, esto podría significar hasta 0.5 a 0.7 l de diferencia dada la sección transversal del

tanque. Por otra parte el combustible que haya quedado en las líneas de alimentación y retorno aunque mínimo, no se puede cuantificar.

Por lo anterior, se considera que el valor medido en campo con el medidor electrónico es más preciso en comparación al método de rellenado de tanque actualmente utilizado en los procedimientos de evaluación de implementos en campo (Challenger, 2005). Otra ventaja es que se pueden varias mediciones en una misma parcela lo que da la posibilidad de analizar la variación del consumo de combustible debido a las variaciones de humedad y/o densidad del suelo en la parcela.

## CONCLUSIONES

Considerando los objetivos e hipótesis planteados y de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

Fue posible diseñar y construir un Medidor Manual de Consumo de Combustible, observándose con este medidor las siguientes desventajas:

- Se necesita un grupo numeroso, mínimo de cuatro personas para realizar solamente una medición de consumo de combustible.
- Implica demasiado tiempo para cada lectura, debido al llenado del retorno a la probeta.
- Es peligroso realizar una medición para las personas que controlan las válvulas dado a que están muy cerca del tractor.
- El material de las válvulas propuestas es inadecuado, dado que se rompió una válvula.

Con la revisión de literatura realizada y la información obtenida del sistema de medición operado y controlado manualmente fue posible diseñar y construir un medidor electrónico de consumo de combustible, el cual funcionó adecuadamente en campo.

Las ventajas del Medidor Electrónico de Consumo de Combustible son:

- Su modo de operación es fácil y amigable para el usuario, ya que sólo se necesita activar dos botones (o interruptores) para realizar una medición.
- Se necesitan una persona aparte del operador del tractor para realizar las mediciones en campo.
- Permite recabar varias lecturas de consumo de combustible ( $l\ h^{-1}$ ) en un tiempo corto, lo que da posibilidad de repeticiones o una serie de lecturas en una misma parcela dado que el depósito de la medición es de un volumen pequeño (200 ml) y el dato del consumo te lo da cuando se consume este volumen.
- No se derrama diesel en el suelo al momento de realizar una medición como ocurre frecuentemente con el sistema manual del rellenado del tanque.

No hubo diferencia estadística significativa entre el promedio de lecturas del medidor electrónico y la estimación de consumo con el método de rellenado del tanque. Sin embargo, se considera que las diferencias se deben a errores de apreciación que se tienen con el segundo método y estas si son económicamente importantes al realizar análisis de rendimiento mensuales de los equipos utilizados para las labores.

## LITERATURA CITADA

- Agronegocios. 2003. Información Técnica: Potencia del tractor. Documento en web (Consultado en Junio del 2007), disponible en: [http://www.agronegocios.com.py/rural/agroindustria/agroindustria\\_potenciatractor.html](http://www.agronegocios.com.py/rural/agroindustria/agroindustria_potenciatractor.html)
- Arnal A. P. 2001. Potencia de los Tractores Agrícolas: Resumen de los datos de los ensayos OCDE realizados en los años 1997, 1998, 1999 y 2000. Boletín Extraordinario de Junio del 2001. Asociación Empresarial Agropecuaria. ASAJA, Huesca.
- Blatta S. L. 2007. Ahorrar de Combustible. Documento en web (Consultado en Noviembre del 2007), disponible en: <http://www.terralia.com/revista17/pagina22.htm>
- Brodier W. 2005. Nuevos tractores John Deere Serie 8030: Más Potencia, Más Prestaciones y Menos Consumo. Informes Técnicos John Deere. Documento en web (consultado en Junio del 2007), disponible en: [http://manuals.deere.com/omview/OMAR178074\\_63/AG\\_RX15494\\_2633\\_63\\_14OCT04\\_1.htm](http://manuals.deere.com/omview/OMAR178074_63/AG_RX15494_2633_63_14OCT04_1.htm)
- CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola). 1990. Manual del Medidor de Combustible I-burett. L.P. Tractores
- CENEMA (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola). 1990. Manual de Instrucciones del Flujometro Series 284-512. Max Machinery, Inc. 284-512-350. Rev 6/97.
- Challenger. 2005. Manual Challenger. Documento en web (consultado en Marzo del 2006), disponible en: <http://www.challenger-ag.com/agco/challenger/challengermx/home.htm>
- Deere J. 1979. Fundamento de Servicio (Motores). FMO. Impreso en México.
- Downs H.W. y Hansen R.W. (2004). Estimating Farm Fuel Requirements. Colorado State University. Fort Collins, Colorado. No 5.006.

- Escamilla L. N. 2004. Evaluación de la potencia necesaria en campo para las labores de los sistemas de producción agrícola en Saltillo. Tesis de licenciatura. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pp 45-53.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1991. La ingeniería agrícola en el desarrollo: la selección de insumos de mecanización. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 84. Madrid, España, pp. 49-51.
- Gaytan M. T., Cadena Z. M., De la Peña C. B. E. 2005. Evaluación del Desempeño y Calidad de trabajo del Tractor Victor 300. Memorias de XV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Campo Experimenta Cotaxtla, Veracruz, México.
- Grisso R., Pitman R. 2001. Gear Up and Throttle Down - Saving Fuel. University of Virginia State. Publicación 442-450.
- Grisso R., Kocher F. M., Vaughan H. D. 2003. Predicting Tractor Fuel Consumption. University of Nebraska Agricultural Research Division, Lincoln, Nebraska, Journal Series No. 14185.
- Hilbert J. A., Moltoni A, Ferrero H, Aucaná M, Florean R., Perea J. 2002. Evaluación de los parámetros de rendimiento de un tractor a la barra de tiro evaluando tipo constructivo de cubiertas, lastre y presión de Inflado. Documento en web (consultado en Junio 2007), disponible en: <http://www.inta.gov.ar/iir/info/documentos/tractores/cubiertas.pdf>
- Hoffer Flow Controls. 2007. Company has been designing and manufacturing quality turbine flowmeters and related process instrumentation. Documento en web (Consultado en Noviembre 2007), disponible en: <http://www.hofferflow.com/applications/Diesel%20fuel%20consumption.pdf>
- IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro en la energía). 2005. Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 1. Madrid, España, pp. 5-28.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2005. CENEMA: Evaluación de maquinaria agrícola. Documento en web (consultado en Noviembre 2005), disponible en: <http://www.inifap.gob.mx/>
- Liljedahl B. J., Carleton M. W., Turnquist K. P., Smith W. D. 1991. Tractores y sus unidades de potencia. 1ª Reimpresión en español en México. Limusa, S.A. de C.V. , pp. 363-389.

- Luna M. I. A. 2004. Diseño, Construcción y Calibración de una celda de carga monolítica tipo anillo circular enfocada a pruebas en la barra de tiro del Tractor Agrícola. Tesis de Maestro en Ciencias en Mecánica Agroindustrial. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pp. 2-3.
- Machinery Management. 2001. Fuel Required for Field Operations. Iowa State University. Documento en web (consultado en Junio del 2006), disponible en: <http://72.14.253.104/search?q=cache:Txu-PbfOyM8J:www.extension.iastate.edu/Publications/PM709.pdf+%22Required+for+Field+Operations%22&hl=es&ct=clnk&cd=1>
- Morelos M. A., Pliego G. J., Marín O. L., Galicia G. D. 2005. Predicción del Consumo de Combustible del Tractor en la Prueba de potencia máxima a la toma de fuerza. Memorias de XV Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Campo Experimenta Cotaxtla, Veracruz, México.
- OECD (Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico). 2007. Code 2 OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance. Documento en web (consultado en Enero 2007), disponible en: <http://www.oecd.org/dataoecd/34/25/34732807.pdf>
- OECD (Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico). 2007. Productos estándar Internacionales. Documento en web, disponible en: [http://www.oecd.org/topic/0,3373,en\\_2649\\_33905\\_1\\_1\\_1\\_1\\_37401,00.html](http://www.oecd.org/topic/0,3373,en_2649_33905_1_1_1_1_37401,00.html)
- Portillo F. J. 2006. Concepción Positivista de la Agricultura en España (Reflexión sobre Naredo). Sevilla, España.
- Riechmann J. 2001. La ecologización de la agricultura y el problema del empleo. Documento en web (Consultado en Septiembre 2007) , disponible en: <http://www.sappiens.com/html/ejemplos/salud/sappiens/comunidades/ejemplossalud1nsf/unids/La%20ecologizaci%F3n%20de%20la%20agricultura%20y%20el%20problema%20del%20empleo/24DD198890B9210441256FAF00626F202d8e.html?opendocument>
- River A. C. 2000. Diesel Technology and the American Economy. Diesel Technology Forum. No Reporte D02378-00. Herndon, VA, USA.
- Schutte B., Herrmann L., Schreiber M., Kutzbach H.D y Hohenheim. 2004. Mapping Fuel Consumption Additional Information on Precision Agriculture. Landtechnik. No 59.
- Soto M. S. 1998. Introducción al Estudio de Maquinaria Agrícola. 4ª Reimpresión. Editorial Trillas. pp. 23-35

- Stout B. A. 1990. Energy for World Agriculture. FAO Agriculture Series (FAO), no. 7. Rome (Italy). Agriculture Dept. pp. 312
- Takao H. 1998. Proyecto de Pruebas y Evaluación de Maquinaria Agrícola. Agencia de Cooperación Internacional del Japón, Texcoco, Estado de México, México.
- Weidema B.P. , Meeusen M.J.G. 2000. Agricultural data for Life Cycle Assessments. Agricultural Economics Research Institute (LEI), The Hague. Vol. 1. No 2.00.01, pp 51-69.
- Yilmaz E. 2004. Engine and dynamometer system service and fuel consumption measurements. University of Maryland Eastern Shore.

## APÉNDICE A

### A1. Cálculos para el Volumen del Depósito

Dimensiones del Tubo de Policarbonato:

$$\text{Diámetro Exterior} = 3'' = 7.62 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro Interior} = 2.76'' = 7.01 \text{ cm}$$

$$\text{Radio Interior} = 1.4'' = 3.51 \text{ cm}$$

Operaciones:

$$\text{Área interior} = 38.60 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área del depósito de diesel} = 38.60 \text{ cm}^2$$

## A2. Pruebas y Ajustes del Medidor Manual de Combustible Preliminar

Al iniciar la prueba de funcionamiento del tractor en fijo, se pone en marcha el motor y se espera al menos 15 minutos para que el motor adquiriera la temperatura normal de funcionamiento  $\approx 80$  °C. Después, el motor se acelera hasta la velocidad de trabajo (1900 rpm), y se empieza a tomar la primera lectura de la medición. Sin embargo, ocurrió un problema, el cuál consistió en que al momento de empezar a utilizar el medidor manual existía una entrada de aire dentro del sistema lo cual ocasionó que el motor dejó de funcionar, y se tuvo que purgar para volver a poner en marcha el motor y reiniciar nuevamente la prueba. Entonces fue necesario rediseñar el medidor manual de combustible haciéndole varias modificaciones y ajustes al diseño preliminar. A continuación se presentan las diferentes modificaciones hechas:

1. Modificar la posición original del retorno en todo el sistema.

Debido a la falla del medidor de combustible se procedió a realizar un cambio en el diseño, como el tractor se apagaba, se pensó que en el sistema manual se creaba un vacío dado a que existía una entrada de aire por parte de la manguera del retorno. El cambio consistió en quitar el retorno que iba hacia el filtro de combustible y moverlo hacia la probeta.



Figura A2.1. Cambio de posición del retorno

El diseño del Cambio de posición del retorno (Figura A1.1) nos permitió visualizar como era el diesel del retorno hacia el sistema por medio de la probeta, para así conocer su comportamiento. Una vez adaptado este diseño se le realizó una prueba de funcionamiento con el tractor en fijo y operando a diferentes velocidades. Aquí la reacción del medidor manual fue diferente ya que se el tractor se mantenía prendido sin necesidad de estarlo purgando cada vez que se intentaba utilizar el diesel de la probeta. Por lo que parecía que el diseño era el adecuado para obtener la lectura del consumo de combustible, pero no fue así ya que al momento de incrementar las revoluciones del tractor, el diesel de medición de la probeta se volvía espumoso, es decir, el diesel del retorno contenido de la probeta regresaba con mucha espuma, lo que ocasionaba que fuera imposible de tomar la lectura del consumo de combustible.

## 2. Diseño con un Filtro y Tubo alargado en la Manguera del Retorno.

En este diseño se agregó un filtro que permitía el paso del diesel retornado solo en forma líquida permitiendo absorbe con su esponja la espuma. Además se alargó un poco más el tubo de cobre que se encuentra dentro de la probeta para amortiguar la caída del diesel de retorno y así evitar que se hiciera la espuma.



Figura A2.2 Diseño con un filtro y tubo alargado en la manguera del Retorno

Después se probó el diseño con filtro y tubo alargado (Figura A2.2), operando el tractor en fijo a varias revoluciones y como resultado se obtuvo que era mínimo la espuma que se hacía, por lo tanto este nuevo diseño permitía tomar las lecturas del consumo de diesel sin ningún problema.

Luego se procedió a la prueba de la potencia con el dinamómetro, para obtener una base de datos con relación a la potencia y el consumo de diesel con la finalidad de conocer la eficiencia del medidor manual.

Una vez conectado el Tractor al dinamómetro, se empezó a tomar lecturas del consumo de combustible a cargas pequeñas, y no existía ningún problema. Pero al momento de colocar una carga al tractor mayor de 20 hp. Entonces se volvió a hacer nuevamente el problema de la espuma, lo cual imposibilitaba la toma del consumo de diesel. Por lo tanto este nuevo diseño

aún seguía fallando y se pensó que el problema de la espuma era el efecto de que el diesel del retorno regresaba demasiado caliente.

### 3. Diseño con un sistema de enfriamiento para el diesel del Retorno.

Con la falla del diseño anterior y continuando con el problema de la espuma en la probeta, se buscó eliminar la espuma por medio de un diseño con un sistema de enfriamiento para el diesel del retorno (Figura A2.3), dado que se pensó que el efecto de la espuma era ocasionado porque este regresaba demasiado caliente. Por lo que para enfriar el diesel, se le añadió una hielera con nieve seca dentro de la cual pasaba el diesel del retorno por medio de un serpentín de aluminio y este se mantenía frío a través de los hielos que se encontraban dentro de la hielera. Después el diesel frío era enviado a la probeta.

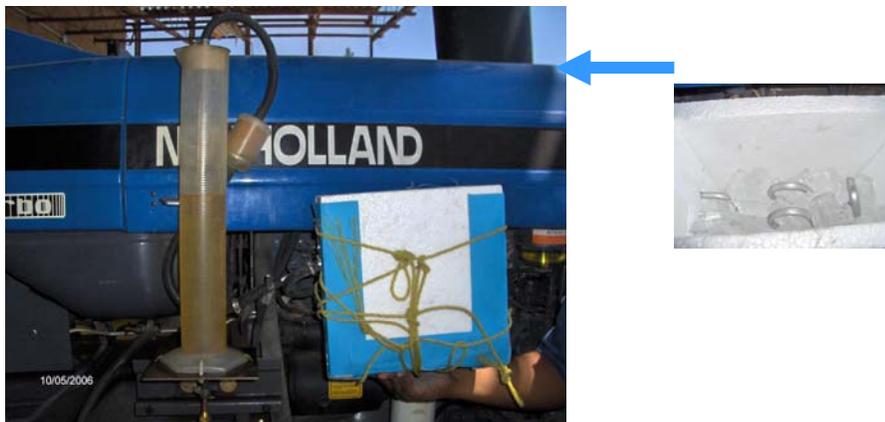


Figura A2.3 Diseño con un sistema de enfriamiento para el diesel del retorno

Dado que el dinamómetro no funcionaba, se optó por realizar una prueba en campo, utilizando un implemento de arado, pero lamentablemente al momento de obtener la lectura del consumo de diesel, entonces el resultado no fue el deseado ya que a pesar de que el diesel se enfriaba aún se seguía haciendo espuma, por lo que se concluyó con esta práctica que el problema de la espuma del diesel del retorno, no era que estaba caliente sino otro efecto desconocido.

### A3. Cálculos de Consumo de Combustible del Medidor Manual

- Arado reversible New Holland modelo AHR-803

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de consumo de combustible (l h <sup>-1</sup> )	Velocidad del motor (rpm) y marcha utilizados
90	52.13	6.22	Con carga
70	54.50	4.62	Con carga
90	52.67	6.15	Con carga
60	54.10	3.99	Sin carga
50	47.58	3.78	Sin carga
50	48.15	3.74	Sin carga

Consumo de combustible promedio con carga = 5.66 l h<sup>-1</sup>

Consumo de combustible promedio sin carga = 3.84 l h<sup>-1</sup>

Con ésta información se puede calcular el Consumo de Combustible por hectárea de acuerdo a su capacidad teórica de campo:

La Capacidad Teórica de Campo se calcula a partir de los datos de Velocidad de Trabajo y Ancho de Trabajo, por medio de la siguiente fórmula:

Capacidad Teórica de Campo =  $\frac{\text{Velocidad T (Km h}^{-1}) \times \text{Ancho T (m)}}{10}$  x Eficiencia

10

Capacidad Teórica de Campo =  $\frac{(5.16 \text{ Km h}^{-1}) \times (0.93 \text{ m})}{10}$  x 0.75 = 0.36 ha h<sup>-1</sup>

10

$$\text{Consumo de Combustible por hectárea con carga} = \frac{1}{0.36 \text{ ha h}^{-1}} \times 5.66 \text{ l h}^{-1}$$

$$\text{Consumo de Combustible por hectárea con carga} = 15.72 \text{ l ha}^{-1}$$

- Rastra Integral John Deere de 20 discos.

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de consumo de combustible (l h <sup>-1</sup> )	Velocidad del motor (rpm) y marcha utilizados
30	48.46	2.23	Con carga
10	52.69	0.68	Sin carga

$$\text{Consumo de combustible promedio con carga} = 2.23 \text{ l h}^{-1}$$

$$\text{Capacidad Teórica de Campo} = \frac{5.37 \text{ Km/h} \times 1.8 \text{ m}}{10} \times 0.75 = 0.72 \text{ ha h}^{-1}$$

10

$$\text{Consumo de Combustible por hectárea con carga} = \frac{1}{0.72 \text{ ha h}^{-1}} \times 2.23 \text{ l h}^{-1}$$

$$\text{Consumo de Combustible por hectárea con carga} = 3.07 \text{ l ha}^{-1}$$

#### **A4. Pruebas y Ajustes del Prototipo del Medidor Electrónico**

Al inicio de la prueba de funcionamiento se eligió el interruptor No2 de la medición, y el circuito empezó a funcionar pero sólo funcionaba en él mismo y no físicamente, ya que las electroválvulas no funcionaban dado que en el prototipo tenía unos leds (focos) los cuáles prendían según la electroválvula que se activaba (mantenía abierta); estos leds estaban funcionando adecuadamente ya que se iban a poner como un apoyo visual al usuario para que indicará la electroválvula que estaba abierta. Sin embargo, estos leds consumían mucha corriente por lo que no llegaba la corriente necesaria para activar las electroválvulas. Por lo tanto al momento de quitar este apoyo visual, las electroválvulas funcionaron adecuadamente.

Además en esta prueba con respecto a los sensores del depósito, se percibió que un sensor fallaba, y eso se debía a que este no estaba tan cerca del tubo del depósito, por lo que no detectaba correctamente. Por lo que se considero que los sensores deben estar totalmente en contacto directo con el tubo para funcionar adecuadamente.

Después se continuaron haciendo más pruebas, y al parecer el circuito funcionaba bien pero al momento de hacer la medición ahora el problema fue del tractor ya que el flujo del diesel del retorno era muy escaso por lo que se verificó que existiera flujo de diesel del retorno (Figura A4.1.I). Por lo que al notar que el flujo del retorno existía pero presentaba problemas para fluir hacia

el depósito, dado el depósito era muy largo entonces el flujo del diesel de retorno tenía que subir demasiada altura, por lo que se optó por cortar el depósito obteniendo así un depósito con una altura menor (26 cm) ver la Figura A4.1.II Por lo que este depósito (26 cm) permitió que el flujo del diesel del retorno fluyera más fácilmente y a una cantidad aceptable.



Figura A4.1 Verificación del flujo de diesel del retorno (I); Depósito con una altura menor (26 cm) (II).

Una vez que se modificó las dimensiones del tubo y se llenó el tanque, y se procedió a realizar nuevamente más pruebas al prototipo. Otra vez se probó el switch de la medición del combustible, pero nunca se hacía el consumo de combustible y por lo tanto existía el problema de que en lugar de consumirse el diesel se llenaba del depósito. Se pensó que no funcionaba el sistema propuesto teóricamente en la práctica, pero se probó este sin el circuito y con las electroválvulas conectadas directamente a su fuente de energía. Y así se comprobó que el sistema propuesto que consideraba el retorno en el mismo depósito del volumen conocido, si era capaz de consumir ese volumen sin

sobrellenar al depósito. Por lo que se descubrió que existía una falta de corriente o fuga de corriente lo que no permitía llegar la corriente necesaria a las electroválvulas para abrirse totalmente. Para este problema verifiqué que no existieran fugas de corriente en el circuito y se encontraron unas fugas de corriente en los amplificadores por lo que se optó por poner unas resistencias.

Nuevamente se volvió a probar el prototipo del circuito con el problema resuelto de la fuga de corriente a las electroválvulas, por lo que cuando se esperaba tener un problema nuevamente, éste dio como resultado, que el prototipo funcionaba adecuadamente (Figura A4.3) para el switch de la medición, el switch del funcionamiento normal del tractor y el switch el vaciado del depósito.

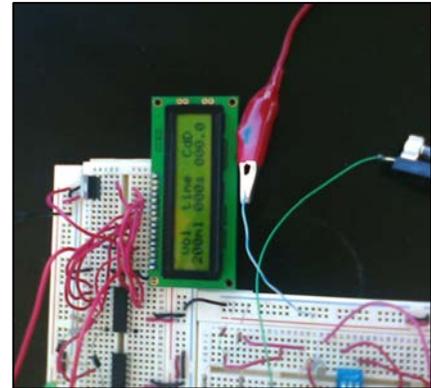


Figura A4.3 Prototipo del circuito funcionando.

## A5. Programa de cada microcontrolador

### I. Programa del microcontrolador del Circuito Electrónico

```

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */
int a,b,c,d,i,t;
int time(){
for(a=0;a<=2000;a++){
}
}
int timem(int t){
for(i=0;i<=t;i++){
while(MTIMSC_TOF==0){
}
MTIMSC_TOF=0;

}
return(i);
}

void MCU_init(void); /* Device initialization function declaration */

void main(void) {

/* Uncomment this function call after using Device Initialization
to use the generated code */
/* MCU_init(); */

EnableInterrupts; /* enable interrupts */

/* include your code here */
PTBDD=255;
PTBDS=255;
SOPT1=SOPT1&127;
MTIMCNT=0;
MTIMSC_TOF=0;
MTIMMOD=150;
MTIMSC=0;
MTIMCLK_PS3=1;

for(;;) {

while((PTAD_PTAD2==1)&&(PTAD_PTAD3==0)){

```

```

PTBD=9;
time();
}

PTBD=0;
b=5;
c=0;
while((PTAD_PTAD3==1)&&(PTAD_PTAD2==0)){
  PTBD=b;
  time();

  if((PTAD_PTAD0==1)&&(PTAD_PTAD1==1)){
    b=22; /*v2,v3 y led que indica que ya se lleno*/
    PTBD=b;
    c=1;
  }

  if((PTAD_PTAD0==0)&&(PTAD_PTAD1==0)&&(c==1)){
    PTBD=10; /*v2,v3 y led que indica que ya se lleno*/
    for(d=0;d<=15;d++){
      timem(110);
    }
    while((PTAD_PTAD3==1)&&(PTAD_PTAD2==0)){
      PTBD=09;
    }
  }

}

  __RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */
} /* loop forever */
/* please make sure that you never leave this function */
}

```

## II. Programa del microcontrolador del Tiempo (segundos)

```

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */
int i,t,a,b,cont1,cont2,c,y;
int time2(){
for(y=0;y<=100;y++){ /*10000*/
}
return;
}
int time(int t){
for(i=0;i<=t;i++){
while(MTIMSC_TOF==0){
}
MTIMSC_TOF=0;

}

return(i);
}

void MCU_init(void); /* Device initialization function declaration */

void main(void) {

/* Uncomment this function call after using Device Initialization
to use the generated code */
/* MCU_init(); */

EnableInterrupts; /* enable interrupts */

/* include your code here */
PTBDD=255;
SOPT1=SOPT1&127;
MTIMCNT=0;
MTIMSC_TOF=0;
MTIMMOD=458;
MTIMSC=0;

for(;;) {
a=0;
c=1;

```

```

while(PTAD_PTAD1==1){
a=1;
for(cont2=0;cont2<=2000;cont2++){
for (cont1=0;cont1<=4;cont1++){
time(1);
}
}

c++;
}
if(c!=0){
for(b=1;b<c;b++){
PTBD_PTBD0=1;
time2();
time2();
time2();
time2();
PTBD_PTBD0=0; /*pulsos en segundos*/
time2();
time2();
time2();
time2();
}
PTBD_PTBD1=1; /*permiso para que termine de contar los segundos la lcd*/
for(cont2=0;cont2<=2000;cont2++){
for (cont1=0;cont1<=4;cont1++){
time(1);
}
}
a=0;
PTBD_PTBD1=0;
for(cont2=0;cont2<=2000;cont2++){
for (cont1=0;cont1<=4;cont1++){
time(1);
}
}
}

__RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */
} /* loop forever */
/* please make sure that you never leave this function */
}

```

### III. Programa del microcontrolador de la pantalla (LCD)

```

#include <hidef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */
int p1,p2,p3,p4,p5,p6,p7,p8;
int a,b,c,d,e,f,g;
int time(){
for(a=0;a<=20000;a++){
}
return;
}

int cont,lim,j,nlcd,lcd[10],cen,dec,uni;
int escribir(char l0,char l1,char l2,char l3,char l4,char l5,char l6,char l7,char l8,int l9){
PTBD=l9;config();if(l0!=0){PTBD=l0;dato(); }if(l1!=0){PTBD=l1;dato(); }
if(l2!=0){PTBD=l2;dato(); }if(l3!=0){PTBD=l3;dato(); }if(l4!=0){PTBD=l4;dato(); }
if(l5!=0){PTBD=l5;dato(); }if(l6!=0){PTBD=l6;dato(); }if(l7!=0){PTBD=l7;dato(); }
if(l8!=0){PTBD=l8;dato(); };return;}

/* *****CONFIGURACION DE LA
LCD***** */
int config(){PTAD_PTAD3=1;time3(2500);PTAD_PTAD3=0; return;}
/* ***** */
/* *****ESCRIBIR DATOS ENLA
LCD***** */
int dato(){PTAD_PTAD3=1;PTAD_PTAD2=1;time3(2500);
PTAD_PTAD3=0;PTAD_PTAD2=0;return;}
/* ***** */
/* *****FUNCION DE
TIEMPO***** */
int time3(int lim){
for(cont=0;cont<=lim;cont++){ }return(cont);}
/* ***** */
void MCU_init(void); /* Device initialization function declaration */

void main(void) {

/* Uncomment this function call after using Device Initialization
to use the generated code */
/* MCU_init(); */

EnableInterrupts; /* enable interrupts */

/* include your code here */
SOPT1=SOPT1&&127;
PTBDD=255;
PTADD_PTADD3=1;PTADD_PTADD2=1;

```

```
PTBD=1; config();PTBD=14;config();PTBD=15;config();PTBD=56;config();
```

```
    nlcd=48;
    for(j=0;j<=9;j++){
    lcd[j]=nlcd;
    nlcd++;
    }
    escribir('U','A','A','A','N',' ',' ',' ',' ',133) ;
    escribir('T','R','A','C','T','O','R',' ',' ',196) ;
    for(j=0;j<=50;j++){
    time3(20000);
    }
    PTBD=1;config();
```

```
    escribir('v','o','l',' ',' ',' ',' ',' ',129) ;
    escribir('t','i','m','e',' ',' ',' ',' ',134) ;
    escribir('C','d','D',' ',' ',' ',' ',' ',140) ;
    escribir('s',' ',' ',' ',' ',' ',' ',' ',201) ;
    escribir('2','0','0','m','l',' ',' ',' ',' ',192) ;
```

```
for(;;) {
```

```
    c=0;
    while(PTAD_PTAD0==0){

    }
    b=-1;
    time();
    /*time();*/
    while(PTAD_PTAD0==1){
    }
    c=1;
    time();
```

```
while((PTAD_PTAD0==0)&&(c==1))
```

```
{
    while((PTAD_PTAD1==1)&&(PTAD_PTAD0==0)){
    }
    b++;
    while((PTAD_PTAD1==0)&&(PTAD_PTAD0==0)){
    }
}
```

```

}

cen=b/100;
dec=(b-(cen*100))/10;
uni=(b-(cen*100))-(dec*10) ;
PTBD=198;
config();
PTBD=lcd[cen];
dato();
PTBD=lcd[dec];
dato();
PTBD=lcd[uni];
dato();

p1=(3600/(b*5));

p2=p1/100;
p3=(p1-(p2*100))/10;
p4=(p1-(p2*100))-(p3*10);
p5=((3600%(b*5))*10)/(b*5);

PTBD=203;
config();
PTBD=lcd[p2];
dato();
PTBD=lcd[p3];
dato();
PTBD=lcd[p4];
dato();
PTBD='!';
dato();
PTBD=lcd[p5];
dato();

time3(20000);
time3(20000);
time3(20000);
time3(20000);
time3(20000);
time3(20000);

__RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */
} /* loop forever */
/* please make sure that you never leave this function */
}

```

## A6. Formatos para la Toma de Datos de Consumo de Combustible

### F - Consumo de Combustible

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008

Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 Turbo

No. de Parcela: 1 Implemento: Arado de 3 discos Kimball

Tipo de Medidor: Medidor de Consumo de Combustible Electrónico

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ )	Velocidad del motor (rpm) y marcha utilizados
200	34	21.1	4ta Baja rpm 2200
200	34	21.1	4ta Baja rpm 2200
200	43	16.7	4ta Baja rpm 2200
200	44	16.3	4ta Baja rpm 2200
200	43	16.7	4ta Baja rpm 2200
200	40	18.0	4ta Baja rpm 2200
200	53	13.5	4ta Baja rpm 2200
200	28	25.7	4ta Baja rpm 2200
		18.6	
Observaciones: El promedio del consumo de combustible del medidor electrónico en la parcela No.1 fue de $18.6\ l\ h^{-1}$ .			

## F - Consumo de Combustible

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 2 Implemento: Arado de 3 discos KimballTipo de Medidor: Medidor de Consumo de Combustible Electrónico

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ )	Velocidad del motor (rpm) y marcha utilizados
200	39	18.4	4ta Baja rpm 2200
200	52	13.8	4ta Baja rpm 2200
200	52	13.8	4ta Baja rpm 2200
200	53	13.5	4ta Baja rpm 2200
200	42	17.1	4ta Baja rpm 2200
200	42	17.1	4ta Baja rpm 2200
200	39	18.4	4ta Baja rpm 2200
200	47	15.3	4ta Baja rpm 2200
		15.9	
Observaciones: El promedio del consumo de combustible del medidor electrónico en la parcela No.2 fue de $15.9\ l\ h^{-1}$ .			

## F - Consumo de Combustible

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 3 Implemento: Arado de 3 discos KimballTipo de Medidor: Medidor de Consumo de Combustible Electrónico

Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ )	Velocidad del motor (rpm) y marcha utilizados
200	46	15.6	4ta Baja rpm 2200
200	54	13.3	4ta Baja rpm 2200
200	51	14.1	4ta Baja rpm 2200
200	40	18.0	4ta Baja rpm 2200
200	39	18.4	4ta Baja rpm 2200
200	46	15.6	4ta Baja rpm 2200
200	39	18.4	4ta Baja rpm 2200
200	43	16.7	4ta Baja rpm 2200
		16.3	

Observaciones: El promedio del consumo de combustible del medidor electrónico en la parcela No.3 fue de  $16.3\ l\ h^{-1}$ . Por lo tanto el promedio total del consumo de combustible del medidor electrónico de cada parcela fue de  $16.9\ l\ h^{-1}$ .

## F - Consumo de Combustible

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 Turbo.No. de Parcela: 1, 2 y 3 Implemento: Arado de 3 discos Kimball.Tipo de Medidor: Medidor Manual de Consumo de Combustible.

No	Volumen de combustible (ml)	Tiempo (s)	Tasa de Consumo de Combustible ( $l\ h^{-1}$ )	Velocidad del motor (rpm) y marcha utilizados
1	4440	825	19.4	4ta Baja rpm 2200
		(13min 45s)		
2	5800	1039	20.1	4ta Baja rpm 2200
		(17min 19s)		
3	3545	909	14.0	4ta Baja rpm 2200
		(15min 09s)		
	Promedio del Consumo de Combustible:		17.8	

## A7. Programa y Resultados de la Prueba t de dos muestras en SAS (Statistical Analysis System)

### Programa:

```

data consumo;
input t bloq y;
cards;
1 1 18.64
1 2 15.93
1 3 16.26
2 1 19.37
2 2 20.10
2 3 14.04
proc print;
proc anova;
class bloq t;
model y = bloq t;
means t/lsd;
run;

```

### Resultados:

Obs	t	bloq	y
1	1	1	18.64
2	1	2	15.93
3	1	3	16.26
4	2	1	19.37
5	2	2	20.10
6	2	3	14.04

### The ANOVA Procedure

#### Class Level Information

Class	Levels	Values
bloq	3	1 2 3
t	2	1 2

Number of observations 6

### The ANOVA Procedure

*Dependent Variable: y*

<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Sum of Squares</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Model	3	17.22996667	5.74332222	1.12	0.5029
Error	2	10.22803333	5.11401667		
Corrected Total	5	27.45800000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.627503	13.00414	2.261419	17.39000

<b>Source</b>	<b>DF</b>	<b>Anova SS</b>	<b>Mean Square</b>	<b>F Value</b>	<b>Pr &gt; F</b>
bloq	2	16.03290000	8.01645000	1.57	0.3895
t	1	1.19706667	1.19706667	0.23	0.6763

### The ANOVA Procedure

*t Tests (LSD) for y*

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	2
Error Mean Square	5.114017
Critical Value of t	4.30265
Least Significant Difference	7.9446

Means with the same letter are not significantly different.

<b>t Grouping</b>	<b>Mean</b>	<b>N</b>	<b>t</b>
A	17.837	3	2
A			
A	16.943	3	1

**A8. Formatos de campo de la Profundidad de Trabajo, Formatos de  
Campo de la Velocidad de Trabajo y Formatos de Campo del Ancho de  
Trabajo.**

F – Profundidad de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008

Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 Turbo.

No. de Parcela: 1.

Implemento: Arado de 3 discos Kimball.

No Línea	Profundidad (cm)	Observaciones
1	15	
2	16	
3	12	
4	15	
5	17	
6	23	
7	21	
8	20	
Promedio	17.4	

## F – Profundidad de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 Turbo.No. de Parcela: 2.Implemento: Arado de 3 discos Kimball.

No Línea	Profundidad (cm)	Observaciones
1	22	
2	20	
3	17	
4	18	
5	17	
6	21	
7	24	En esta parcela, se observo una variabilidad de humedad en el terreno dado que la profundidad se vio incrementada debido a un aumento de humedad del suelo.
8	21	
9	22	
Promedio	20.2	

## F – Profundidad de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 Turbo.No. de Parcela: 3.Implemento: Arado de 3 discos Kimball.

No Línea	Profundidad (cm)	Observaciones
1	25	Continúa con la variabilidad de humedad, por lo que se sigue incrementando la profundidad de la labor.
2	27	
3	19	
4	18	
5	26	Promedios de profundidad: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parcela No.1 = 17.4 cm</li> <li>▪ Parcela No.2 = 20.2 cm</li> <li>▪ Parcela No.3 = 23.4 cm</li> </ul> Por lo tanto el promedio total de la profundidad de trabajo fue de 20.3 cm
6	29	
7	26	
8	23	
9	18	
Promedio	23.4	

## F – Velocidad de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 1Implemento: Arado de 3 discos Kimball

No.	Distancia Recorrida (m)	Tiempo (s)	Velocidad (Km h <sup>-1</sup> )	Observaciones
1	20	8.91	8.08	
2	20	9.02	7.98	
3	20	9.36	7.69	
4	20	9.65	7.46	
5	20	9.10	7.91	
6	20	9.12	7.89	
7	20	8.59	8.38	
8	20	10.00	7.20	
9	20	9.20	7.83	
10	20	10.57	6.81	
11	20	9.73	7.40	
12	20	10.61	6.79	
13	20	8.61	8.36	Promedio de la velocidad en la parcela No.1 fue: 7.70 Km h <sup>-1</sup>
14	20	8.75	8.23	
15	20	9.68	7.44	

## F – Velocidad de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 2Implemento: Arado de 3 discos Kimball

No	Distancia Recorrida (m)	Tiempo (s)	Velocidad (Km h <sup>-1</sup> )	Observaciones
1	20	9.02	7.98	
2	20	10.10	7.13	
3	20	8.94	8.05	
4	20	8.44	8.53	
5	20	9.38	7.68	
6	20	8.95	8.04	
7	20	9.07	7.94	
8	20	9.31	7.73	
9	20	8.88	8.11	
10	20	8.89	8.10	
11	20	10.27	7.01	
12	20	9.94	7.24	
13	20	9.73	7.40	Promedio de la velocidad en la parcela No.2 fue: 7.70 Km h <sup>-1</sup>
14	20	9.39	7.67	
15	20	10.45	6.89	

## F – Velocidad de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 3Implemento: Arado de 3 discos Kimball

No.	Distancia Recorrida (m)	Tiempo (s)	Velocidad (Km h <sup>-1</sup> )	Observaciones
1	20	8.96	8.04	Promedio de la velocidad en la Parcela No.3 fue: 7.82 Km h <sup>-1</sup>
2	20	8.97	8.03	
3	20	8.40	8.57	
4	20	8.22	8.76	
5	20	9.38	7.68	
6	20	9.66	7.45	
7	20	9.91	7.27	Por lo tanto, el promedio de la velocidad de cada Parcela fue: 7.74 Km h <sup>-1</sup>
8	20	8.67	8.30	
9	20	8.67	8.30	
10	20	9.60	7.50	
11	20	8.41	8.56	
12	20	10.34	6.96	
13	20	9.37	7.68	
14	20	9.84	7.32	
15	20	10.36	6.95	

## F – Ancho de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 1Implemento: Arado de 3 discos Kimball

Punto de Referencia	Ancho (m)	Diferencias de Ancho (m)	Observaciones
6.03	7.00	0.97	
	9.03	2.03	
	11.00	1.97	
	12.33	1.33	
	13.00	0.67	
	14.53	1.53	
	15.52	0.99	
	16.79	1.27	
	17.88	1.09	
	19.09	1.21	
Ancho de trabajo =		1.31	

## F – Ancho de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 Turbo.No. de Parcela: 2.Implemento: Arado de 3 discos Kimball.

Punto de Referencia	Ancho (m)	Diferencias de Ancho (m)	Observaciones
3.93	5.11	1.18	
	6.06	0.95	
	7.30	1.24	
	15.88	8.58	
	17.06	1.18	
	18.00	0.94	
	19.06	1.06	
Ancho de trabajo =		2.16	

## F – Ancho de Trabajo

Lugar: El Bajío, UAAAN Fecha: 8 de Marzo del 2008Tractor (Marca y Modelo): New Holland 6810 TurboNo. de Parcela: 3Implemento: Arado de 3 discos Kimball

Punto de Referencia	Ancho (m)	Diferencias de Ancho (m)	Observaciones
3.76	4.74	0.98	
	5.70	0.96	
	6.68	0.98	
	12.65	5.97	
	13.90	1.25	
	14.84	0.94	
	16.10	1.26	
Ancho de trabajo =		1.76	
Ancho de trabajo en promedio de cada parcela =			1.74 m