

Diseño de Tablero de Instrumentos Digital

Ing. Ernesto Galiano

Especialidad de Sistemas Embebidos
Instituto Universitario Aeronáutico

egaliano@computrol-ing.com.ar

Abstract. El uso de tableros es imprescindible en cualquier tipo de vehículo de transporte. Normalmente en los mismos se utilizan indicaciones con instrumentos de aguja que tienen problemas tales como errores en la medición, y fragilidad en el sistema mecánico.

Para solucionar estos inconvenientes, se presenta una alternativa al tablero de instrumentos tradicional con indicadores de aguja, realizando un tablero completamente digital, que además de incluir las tradicionales mediciones en un vehículo (en este caso un tractor) tiene posibilidades de registro de fallas y adaptación automática a diferentes modelos de tractor.

Se verifica en las pruebas, que el equipo tiene una muy buena precisión en las mediciones de RPM, temperatura y nivel de combustible. Por medio del uso de LED en vez de lámparas, también se elimina la sensibilidad a movimientos bruscos, confirmando que la opción por un instrumento completamente digital es perfectamente realizable con la actual tecnología, con prestaciones adecuadas para máquinas sometidas a vibraciones.

1-INTRODUCCION

El uso de tableros es imprescindible en cualquier tipo de medio de transporte o equipos que utilizan motores, su uso responde a la visualización de las variables principales del vehículo en el cual esta instalado y la manera en que esas variables son utilizadas, cambia según el mismo.

Así por ejemplo, en un generador eléctrico mostrará el estado del motor, las variables de tensión y corriente de salida, y elementos de seguridad como puerta cerrada. Si fuese un automóvil, se muestran variables del motor y elementos de seguridad.

En este trabajo se desarrolló un tablero para tractores, en donde también se muestran variables del motor, de seguridad y pueden aparecer indicaciones de uso que generalmente tienen que ver con el implemento agrícola que puede estar conectado a través de la toma de fuerza y las conexiones eléctricas y/o de aceite.

1.1 ESTADO DE LA INSTRUMENTACION DE TRACTORES.

En la fabricación de tableros para tractores están involucradas variables como escala, seguridad, precio, error permitido, confiabilidad, facilidad de reparación, disponibilidad de concesionarios, estrategias de marketing y prestaciones, estas definen una ecuación y de la lectura de los resultados de la misma, se observa en el mercado una cierta variedad de soluciones de instrumentación, elegidas de acuerdo al grado de ponderación que cada fabricante elige para estas variables de sus productos.

Revisando las características de los tractores nacionales e importados disponibles en el mercado, la gran mayoría de los tractores utilizan el sistema de visualización de tablero de instrumentos tradicional, compuesto por instrumentos de aguja de bobina móvil, de imán móvil o electrotérmico, los elementos de iluminación son pequeñas lámparas de 12 o 24V. Si tomamos los tractores vendidos en el país, la proporción es mayor.

Los instrumentos y las lámparas, son activados por señales provenientes de diversos sensores, dispuestos en el tractor para monitorear el estado del mismo.

El conjunto sensores-instrumentos-lámparas, y su mejora, es el objeto del presente trabajo. Su necesidad aparece porque se están modificando las variables del tablero, en especial los requerimientos de prestaciones, los que hacen necesario un estudio sobre el cambio de paradigmas en la visualización.

1-2 SENSORES.

A continuación, una breve descripción de los mismos, para un caso general.

1- Sensor de nivel de combustible: Es un sensor de tipo resistivo, que esta ubicado en el interior del tanque de combustible, su resistencia varia de acuerdo a la cantidad de combustible en el mismo, siguiendo una ley determinada por el sistema del sensor (tubular o de palanca) y por sus características dimensionales. Se compone de un cursor que se desplaza por un bobinado o un hilo de alambre. Los valores normales de resistencia están entre 5 y 200 Ohms.

2- Sensor de temperatura de agua: Es un sensor de tipo resistivo, su característica de temperatura esta determinada por el tipo de elemento variable con la temperatura en su interior, generalmente es una pastilla de termistor. En los 110°C, su valor límite de temperatura, los valores de resistencia oscilan entre 85 y 100 Ohms.

3- Sensor de revoluciones por minuto: Es un dispositivo que entrega como salida una señal de onda cuadrada, de frecuencia variable proporcional a las rpm del motor. Se encuentra dentro del alternador. Su salida oscila cerca de los 200Hz cada 1000 RPM.

4- Sensores de motor: Estos sensores son del tipo llave y corresponden al motor, en general se abren o cierran de acuerdo al tipo y marca de sensor en el momento de producirse el evento que les da su nombre.

Como ejemplo pueden citarse los sensores de tipo límite de presión, temperatura, combustible y filtro de aire tapado.

5- Sensores de uso: También son sensores el tipo llave, indican que se han llevado a cabo acciones normales en el uso del vehiculo, su indicación esta asociada a que se cumplimiento la acción con éxito.

Como ejemplo tenemos los sensores de freno de mano y doble tracción.

1.3 ELEMENTOS DE VISUALIZACIÓN LUMINICOS.

En los tableros, se dispone de iconos iluminados por detrás, su diseño está normalizado según la función que indique.

Si al activarse indican que deberá verificarse el estado del motor, se encenderá una luz roja en el tablero con el icono correspondiente.

Si los activados son sensores de uso, se encenderá una luz amarilla.

Generalmente la iluminación se produce por pequeñas lámparas de 3-5W, que se ubican en un zócalo que a su vez se conecta al circuito impreso a través de un conector del tipo giratorio, este sistema puede tener inconvenientes si en la zona de utilización hay mucha humedad o polvillo.

Además es posible que aparezcan inconvenientes o roturas a mediano y largo plazo, debido a la generación de calor que se produce en estas lámparas.

1.4 INSTRUMENTOS DE AGUJA.

Se dividen en dos tipos, electromagnéticos y electrotérmicos[1], los primeros pueden ser de imán móvil o de bobina móvil, en los dos casos, la aguja se desplaza cuando se atraen un imán y una bobina, al circular corriente sobre ella, esta corriente es modulada por el sensor correspondiente.

En los segundos, el calentamiento de un eje hace que este se deforme, y si la aguja esta solidaria al mismo, provocará una deflexión en la misma.

En la figura 1, puede observarse el funcionamiento de este tipo de instrumentos, conectado al correspondiente sensor.

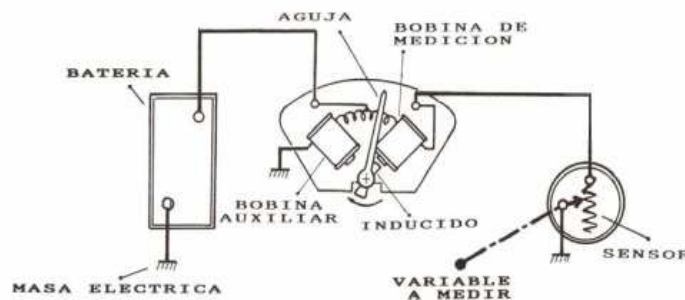


Fig. 1. Instrumento Electromagnético.

Estos indicadores funcionan en forma relativamente confiable y son relativamente lineales, la relación precio-prestaciones ha aumentado en los últimos años y no es raro encontrar por ejemplo, medidores de rpm que tienen errores en los extremos de escala, lo cual obliga a calibrarlos en planta en la parte de la escala mas utilizada. O instrumentos medidores con diferencias entre instrumentos del mismo tipo y fabricante.

Otro inconveniente que se presenta especialmente en la maquinaria agrícola son las vibraciones, el tablero de instrumentos no esta aislado por la amortiguación del vehículo, simplemente porque los tractores no poseen dicha amortiguación, lo que hace que los apoyos de los ejes de las agujas indicadores sufran un desgaste permanente, provocando fallas francas o disminución de su exactitud y precisión.

2 POSIBLES MEJORAS

Habiendo analizado en distintos tipos de vehículos automotores la disponibilidad de tableros y las variaciones de los mismos con respecto al tiempo de diseño, y la gama de precios, se puede concluir que hay dos líneas generales con las cuales es posible mejorar las prestaciones de los tableros, se pueden encontrar combinadas entre ellas y también con la instrumentación tradicional.

2.1 INSTRUMENTAL DE AGUJA PRECISO.

Desde hace un tiempo es posible ver en automotores de alta gama, instrumentos del panel provistos de indicadores de aguja, que basan su movimiento por motores paso a paso, los mismos tienen un micromotor paso a paso y una reducción, que hace que no sean visibles los pasos en la deflexión de la aguja.

El control de estos motores debe realizarse con un microprocesador o elemento similar, lo cual permite también resolver el caso de alinealidades en el sensado y presentación de las variables.

Esta tecnología está últimamente más utilizada en automotores de gama media, seguramente influenciado esto por la reducción de costos que implica el volumen de producción.

Precisamente por este motivo, se observa que no están ya los instrumentos separados, sino que se observan integrados en una sola carcasa, con un solo microprocesador más potente, que controla la presentación.

En cuanto a iluminación, el uso de diodos led posibilita la virtual eliminación de los inconvenientes de rotura y calentamiento que se presentaban con las lámparas.

En el caso de tractores, este sistema todavía conserva el inconveniente de poseer partes móviles, y baja escala de producción. No obstante se obtiene una notoria mejoría en las prestaciones.

2.2 INSTRUMENTACION DIGITAL.

En los últimos años se puede ver en vehículos automotores, el reemplazo de los instrumentos de aguja por displays gráficos y LCD.

Los mismos tienen la misma estructura que los mostrados recién provistos con motores paso a paso, la única diferencia es que en vez de esos motores, presentan las variables a través de barras, números o también instrumentos de aguja representados gráficamente.

Con este tipo de visualización, se disminuye la sensibilidad a golpes y vibraciones, constituyendo la alternativa más confiable actualmente.

Adicionado a esto, el esquema de display-teclado-memoria permite posibilidades de diagnóstico y seteo, no presentes en los tableros de tecnologías anteriores.

El trabajo aquí presentado, se basó en esta configuración como propuesta de mejora a los tableros utilizados en los tractores vendidos en el país.

2.3 PLANIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA. ANTEPROYECTO.

La propuesta de un tablero de instrumentos digital, tiene tres líneas de trabajo, desarrollo mecánico, electrónico y de software.

He utilizado para el desarrollo de los mismos, el Procedimiento de Diseño de la empresa en donde trabajo, en el mismo están contempladas las fases del diseño como el establecimiento de requisitos de entrada, la planificación, el desarrollo del diseño, verificación y validación, así como el control de cambios en cada paso del diseño.

He realizado tres cronogramas distintos de diseño, considerando las diferencias en cada línea de trabajo, avanzando en paralelo y realizando iteraciones cuando correspondía entre ellos.

2.3.1 DISEÑO MECÁNICO

Se inicio el trabajo analizando donde debería ubicarse el tablero, y sus medidas. Determinamos la forma física que debería tener el equipo, el largo de los cables, y los materiales del frente y teclado, y sus texturas acorde a la cabina del tractor.

Se definió la ubicación relativa del teclado respecto al display, buscando la comodidad del operador.

2.3.2 DEFINICIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA

Se realizó un diagrama funcional y se hizo un detallado análisis de las entradas y salidas del sistema, agregando y cambiando partes hasta llegar a un diagrama funcional definitivo, que contemple los requisitos de entrada, el mismo puede verse en la fig 2.

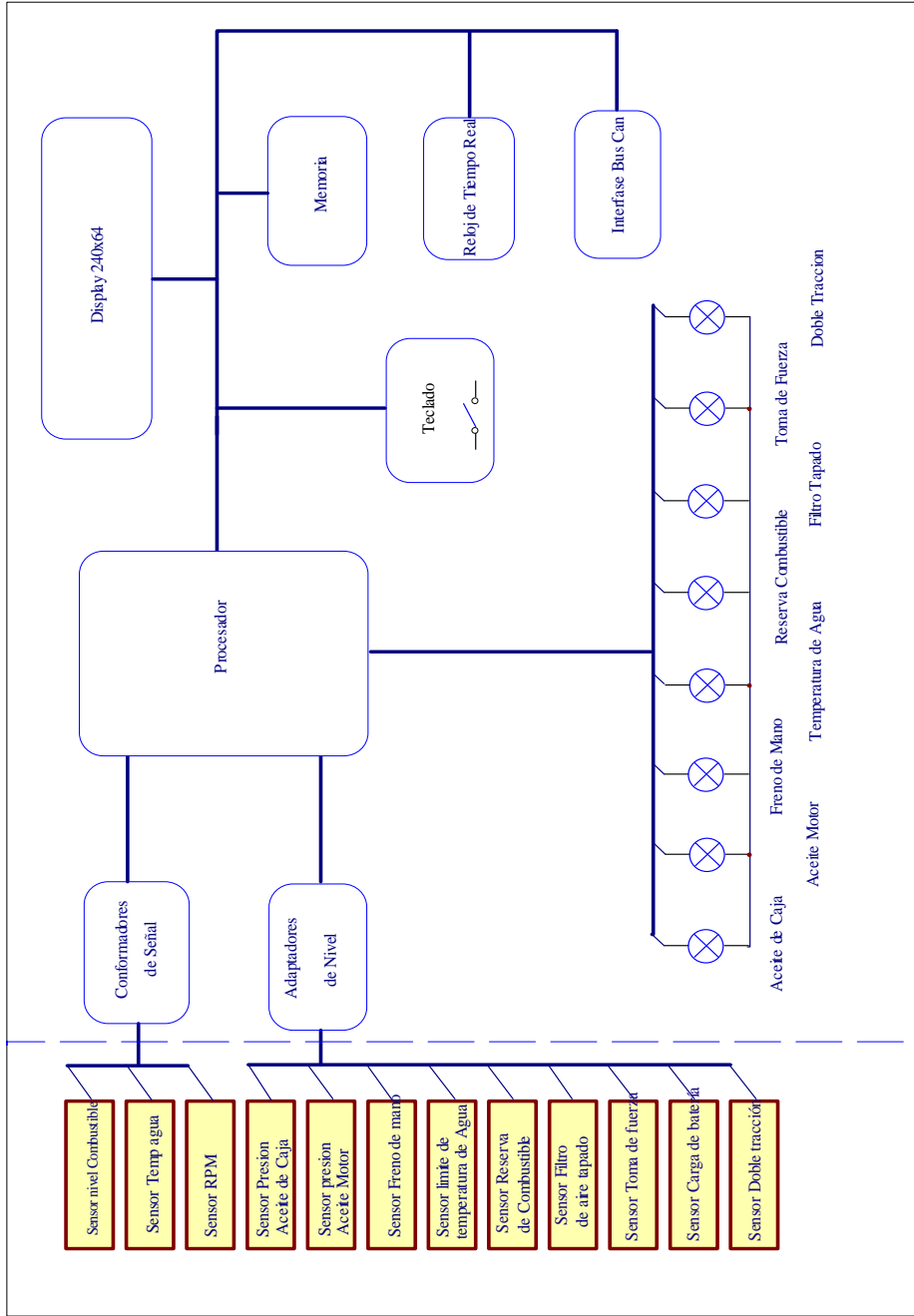


Fig. 2. Diagrama funcional del tablero.

2.3.3 CAPACIDAD DEL PROCESADOR.

Del análisis detallado del diagrama funcional, se observa que el procesador deberá disponer de al menos 30 pines de I/O, al menos 3 entradas de A/D, posibilidad de manejo de buses SPI e I2C para los periféricos y capacidad de conexión a través del bus CAN [2].

La aplicación no es intensiva en datos, es de control y hay comparaciones a nivel bit. Por lo tanto se considera que un controlador de 8 bit será suficiente.

Seleccionando estas características en la página del fabricante Microchip, aparecieron varios modelos de microcontroladores, eligiéndose el PIC18F4585 por ser el que tiene memoria RAM de 1 KByte, capacidad que permitiría la utilización de rutinas gráficas de alta velocidad si fuesen necesarias.

2.3.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE.

Se planificaron los siguientes pasos:

- Determinación de requisitos.(a partir del diagrama funcional)
- Desarrollo de drivers para los periféricos.(teclado, memoria, reloj, display gráfico)
- Desarrollo de secuencia general de trabajo.
- Desarrollo de secuencia de diagnóstico.
- Desarrollo de secuencia de selección de vehículo.
- Verificación iterativa al final de cada uno de los componentes anteriores.
- Verificación general.
- Validación con casos de uso.

2.3.5 TIEMPOS DE EJECUCIÓN Y ASPECTOS VISUALES DE DESEMPEÑO.

Analizando el comportamiento del equipo, se observa que el proyecto no requiere un alto grado de precisión en temporizaciones, ni velocidad de muestreo.

Los aspectos visuales se refieren a consultas de hechos pasados o variables presentes en memoria, por lo tanto no se requiere tampoco drivers en ensamblador para las rutinas de graficación.

La mayor exigencia es medir las RPM en tiempo real, con una cadencia que es perfectamente realizable con rutinas en C, en una configuración de lazo de programa estándar.

2.3.6 POSIBILIDADES DE AMPLIACIÓN.

Esta relacionada con la capacidad de conexión al bus CAN para realizar la interfase con el motor si este es del tipo con control electrónico, de esta manera se leerían parámetros, se pueden efectuar diagnósticos y hasta se puede controlar el motor.

Seguramente una ampliación no estará resumida a este aspecto, sino que será un complemento de un rediseño de cabina y de las funciones ergonómicas de la misma y por lo tanto del tablero.

Se espera entonces, que cuando sea necesario ampliar, también serán necesarias otras funciones que por el momento son desconocidas e imprevisibles. De todas maneras, la conexión prevista de bus CAN, va a permitir la puesta a punto de la mas importante de las nuevas características del tablero, lo que es muy importante dada la complejidad de la misma.

2.3.7 RECURSOS NECESARIOS DURANTE EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO.

Como elementos principales para la construcción del prototipo, además del diseño electrónico, de software y ensamblado de partes, se observó que serían necesarios los siguientes:

- 1- Diseño del gabinete.
- 2- Matricería del gabinete.
- 3- Circuito impreso.
- 4- Emulador de software.
- 5- Simulador de entradas y salidas del tractor.
- 6- Diseño del frente autoadhesivo.

2.3.8 TECNOLOGIA DE FABRICACIÓN.

Se decidió realizar el equipo en sistema de montaje convencional debido a la disponibilidad de los materiales.

2.3.9 COSTO DE PRODUCCIÓN.

Se realizó según estándares de producción, determinándose el precio de los materiales adquiridos en distribuidores nacionales de componentes y mano de obra local.

3 DESARROLLO DE LA MEJORA PROPUESTA.

El trabajo se realizó siguiendo la planificación realizada, en todos los casos se siguió la secuencia *requisitos* —► *diseño* —► *verificación* —► *validación*, indispensable para que el diseño que pueda cumplir con los requisitos de entrada.

3.1 GABINETE.

Teniendo la forma y textura del plástico, se realizó el dibujo final con medidas exactas. El gabinete quedó compuesto de un frente y una tapa trasera.

Para verificar disposiciones y medidas se realizó primero un modelo en chapa, con el cual se fue trabajando el prototipo hasta tener las otras partes disponibles, de manera de tener seguridad en las medidas para encargar las matrices para el proceso de termoformado. En esta etapa también se definió la salida de los cables a través de un prensacable que evita el ingreso de polvillo y humedad.

Con el diagrama funcional como requisito de entrada, se realizó el dibujo del frente del equipo, el mismo se buscó un material transparente, con cierto brillo y con buena durabilidad, encontrándose que el Mylar cumplía con estos requisitos.

Se verificó el diseño durante la etapa de construcción de los demás elementos, quedando pendiente la validación final de campo, que se estima en dos meses de uso.

3.2 HARDWARE.

En el diseño circuital se empezó con el acondicionamiento de las señales provenientes de los sensores, en los resistivos se realizó medición de resistencia con fuente de corriente, para asegurar linealidad en la medición, un amplificador de señal y desplazador de nivel, entregan a las entradas analógicas, o a 5V para una entrada entre 180 Ohms y 10 Ohms.

En cuanto a los sensores tipo llave, se realizó el acondicionamiento de las señales para evitar inconvenientes tales como transitorios de entrada.

Seguido a esto, se realizó la conexión correspondiente al teclado y display gráfico, se utilizó el modelo WG24064K-NYG-VZ de la marca Winstar, la pantalla tiene un máximo de 240 x 64 píxeles [4].

Para el teclado se utilizaron tact switch cuadradas de 12x12 mm, con una altura de 6mm.

Se dispuso esta configuración frente a un teclado táctil (touch screen) debido a la comodidad de uso para el operador.

Lo siguiente fue la conformación de la señal proveniente del alternador de tractor para obtener referencia de las RPM del motor, se dispuso un circuito simple con

comparadores para obtener una señal cuadrada en su salida. La señal proveniente del alternador es un sinusoidal deformada.

Con esto, las señales de entrada serán:

Resistivas..... 0 a 5V para 180 a 10 Ohm de resistencia.
RPM..... 0 a 180 Hz para 0 a 3000 RPM, onda cuadrada.
Llaves..... 5V abierto, 0V cerrado.

Para almacenamiento se seleccionó la memoria 24LC32 [5], con capacidad para almacenar datos relativos a fallas en el motor, y gráficos si fuese necesario.

Como el equipo necesita un reloj de tiempo real para el almacenamiento de los inconvenientes del motor, con su respectiva fecha y hora, seleccioné el DS1307 de Dallas Semiconductor [6].

Para realizar la interfaz CAN, seleccione el circuito MCP2551 [7] de Microchip, integrado específico que realiza la conexión entre la sección CAN del microcontrolador y la red externa.

Para finalizar, se diseñó una fuente del tipo switching [8] que permite obtener todas las tensiones necesarias para el funcionamiento del circuito, con 12V o 24V de baterías, lo que corresponde a distintos modelos de tractor.

3.3 SOFTWARE.

Las diferentes partes del programa realizado, fueron testeadas por separado e integradas al cuerpo principal una vez verificadas y validadas con el circuito respectivo.

Se realizaron subrutinas para el manejo de cada sección de la plaqueta, se verificó el funcionamiento en condiciones normales y luego se efectuaron pruebas en condiciones anormales a modo de validación.

Las mismas consistieron en:

1- Alimentar los circuitos con valores de tensión de entrada extremos en modo permanente, en este caso 5V +-20% y 12V +-20%, y verificar que su funcionamiento no varíe en esta condición de uso.

2- Llevar la temperatura de los circuitos periféricos a temperaturas entre 0 °C y 50°C, y verificar también estabilidad en funcionamiento.

En ambos casos no hubo que reformar el circuito, el comportamiento fue adecuado debido a que había tomado las previsiones al diseñar el circuito general.

El entorno de desarrollo utilizado fue el MPLAB IDE [9] de Microchip, y el lenguaje de programación, C de la empresa CCS [10].

Se eligió este compilador, por tener buen soporte de rutinas especiales disponibles, entre ellas, el manejo del bus I2C [11], lo cual simplificó el diseño de driver y elimina la aparición de errores en el control de dicho bus.

Para las subrutinas de control de display, teclado y reloj de tiempo real se siguió un razonamiento similar, se tomaron rutinas sugeridas por el fabricante de cada dispositivo, que estaban disponibles para otros compiladores o para otros microcontroladores, y se adaptaron para este trabajo particular, esta metodología no ahorra tiempo porque implica un proceso de búsqueda y de control de las rutinas con las hojas de especificaciones de los fabricantes, pero si aumenta la confiabilidad global del sistema ya que supone el uso de rutinas utilizadas por muchos fabricantes en equipamiento similar.

Finalmente, se realizó una verificación y validación general, disponiendo de un dispositivo probador que consiste en un gabinete con potenciómetros del mismo valor resistivo que los sensores, y llaves que reemplazan a los sensores todo o nada del tractor, el mismo permitió hacer las pruebas de temperatura y tensión con el equipo completo. No se observaron variaciones que obliguen a correcciones de software, se comprobó además en la misma verificación y validación, el diseño del hardware.

En la pantalla se pueden observar los resultados que el programa ofrece a los requerimientos iniciales, se pueden observar barras permanentes con indicación de combustible y RPM, y los diferentes valores de los parámetros del motor, recorriéndolos con el teclado. Se pueden además verificar estados de memoria de eventos, y a través del mismo teclado, seleccionar el tipo de tractor sobre el cual estará instalado el tablero.

Se hicieron pruebas de campo, verificándose la funcionalidad de los sensores y el tablero. Se tuvo que hacer algunas correcciones a las constantes de medición debido a diferencias de medidas en el sensor de combustible, una vez realizado esto, se procedió al contraste de lo indicado por el tablero, con los resultados de indicadores externos confiables, siendo los resultados satisfactorios, en las revoluciones por minuto del motor, la temperatura y los litros de gas oil almacenados, el error total medido no llega al 5%, que es un error totalmente aceptable .

4 CONCLUSIONES.

- Se observó que la representación de las variables físicas fue realmente buena, se verificó linealidad en los valores mostrados de tiempo, combustible, temperatura, revoluciones por minuto, lográndose mayor exactitud en la medida que en los equivalentes de aguja, este fue uno de los principales requisitos de entrada a este diseño.

- Otro requisito de diseño fue la menor cantidad de fallas, estas se ven disminuidas por la ausencia de partes móviles en el equipo, como dato adicional en el display tenemos un Tiempo Medio Entre Fallas o MTBF[12] de 100.000Horas [13], de manera que es esperable una tasa de fallas muy baja.
- El uso de diodos LED como elementos de iluminación eliminó por completo el calentamiento en el tablero debido a luces internas, se tuvo opción de elegir entre distintos tipos de blancos y colores, lográndose una presentación mucho más agradable y definida que con lámparas de 12V.
- Las posibilidades de diagnóstico implementadas permiten una rápida solución al problema de conocer la historia mecánica reciente del tractor, indicando los inconvenientes producidos en el motor desde el último reseteo. Esta característica que era un requisito de entrada fue implementada con éxito, marcando una diferenciación concreta en sus posibilidades de uso frente a los tableros convencionales.

Las anteriores conclusiones indican que se satisfacen con éxito los requisitos de entrada, por otro lado, hay observaciones que se han realizado durante el trabajo y en la etapa de validación, que son dignas de destacar, y son las siguientes.

- La realización de los tres componentes mayoritarios, gabinete, hardware y software, se realizó teniendo en cuenta lo disponible tanto en recursos humanos como materiales, y fue concretada con la metodología *requisitos* —► *diseño* —► *verificación* —► *validación*, que permitió una implementación sin dificultades adicionales por falta de método.
- El sistema de desplazamiento a través de las diferentes opciones de presentación por medio de teclas ha resultado efectivo y amigable para personas con poca instrucción en el manejo de estos equipos.
- La posibilidad de conectarse a 12V y 24V, y la facilidad de selección de modelos, permite al fabricante de los tractores, disponer de mucho menos stock de mercadería ya que se elimina por completo la necesidad de tener un modelo para cada tractor, contribuyendo de esta manera a la disponibilidad de recursos de la empresa y a facilitar la entrega de los distintos modelos.
- La disposición del modulo CAN permite el estudio sobre el circuito real, de las diferentes redes de interconexión utilizadas en vehículos, y la preparación de equipos nuevos que se utilizaran en los motores que acepten este tipo de protocolos.

Esta línea, y la de modificación de los sensores serán los objetivos de los siguientes trabajos referidos a este tema.

5 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.

- [1] <http://www.mecanicavirtual.org>
- [2] <http://www.semiconductors.bosch.de/pdf/can2spec.pdf>
- [3] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39625c.pdf>
- [4] <http://www.winstar.com.tw/UserFiles/File/WG24064K-NYG-VZ.pdf>
- [5] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21072G.pdf>
- [6] <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1307.pdf>
- [7] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667E.pdf>
- [8] Switchmode Power Suply Referente Manual- On Semiconductor- SMPSRM/D- Revision 3A- Julio de 2002.
- [9] https://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469
- [10] <http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers>
- [11] <http://www.i2c-bus.org/>
- [12] http://www.msc-ge.com/download/displays/dabla_allg/ag-24064b1yily-00-h.pdf
- [13] <http://es.wikipedia.org/wiki/MTBF>