

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

Sistema de autonomía y monitoreo para ambulancia
de alta complejidad

Autores:

- Mendez, Andrés Raúl
- Miguel, Alejandro

Director:

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico*

en la

Facultad Regional Paraná

Febrero de 2019

Declaración de autoría:

Nosotros declaramos que el Proyecto Final “SISTEMA DE AUTONOMIA Y MONITOREO PARA AMBULANCIA DE ALTA COMPLEJIDAD” y el trabajo realizado son propios. Declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

-
-

Fecha:

Agradecimientos:

En estas líneas quisiéramos agradecer a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Paraná quien fue nuestro segundo hogar y durante estos años nos brindo las herramientas necesarias para hoy llegar a este momento, agradecer a las personas que nos impulsaron a seguir con nuestros estudios y dieron ese aliento en momentos difíciles.

Un especial agradecimiento a nuestras familias que supieron tener la comprensión sobre nosotros apoyándonos incondicionalmente.

Mendez, Andrés Raúl
Miguel, Alejandro Martin

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

Sistema de autonomía y monitoreo para ambulancia de alta complejidad

Mendez, Andrés Raúl

Miguel, Alejandro Martin

Abstract:

The redesign of an autonomy system and the design of a monitoring system in an ambulance of the Materno Infantil San Roque Hospital was carried out. It was based on certain specifications and requirements for patient transfers. The monitoring system does not alter any medical equipment and was performed with microcontroller technology, real time clock and more than 10 analog sensors that are constantly reading the consumption of the system.

With these modifications, it was possible to provide the vehicle with a system that supply approximately 8 hours of autonomy for long distance transfers and offers its users a control of the remaining autonomy to make decisions in the event of a transfer. The accuracy of the system is estimated, according to the tests, in a few minutes of error, although with the data collection is thought to be able to adjust the calculations in the future to reduce it.

Keywords:

Autonomy, Battery, Current, Load, Temperature, Voltage.

Resumen:

Se rediseñó un sistema de autonomía y se diseñó un sistema de monitoreo en una ambulancia del Hospital Materno Infantil San Roque, el mismo se basó en ciertas especificaciones y requerimientos para traslados. El sistema de monitoreo no altera ninguna aparatología médica y se realizó con tecnología de microcontroladores, reloj de tiempo real y más de 10 sensores analógicos que constantemente están tomando lectura del sistema.

Con estas modificaciones se logró dotar al vehículo de un sistema que brinda unas 8 horas de autonomía para traslados de larga distancia y les ofrece a los usuarios del mismo llevar un control de la autonomía restante para poder tomar decisiones ante una eventualidad en el traslado. La precisión del sistema se estima según las pruebas que se realizaron en unos pocos minutos de error, aunque con la toma de dato se piensa poder ajustar los cálculos en un futuro para reducirlo.

Palabras Clave:

Autonomía, Batería, Carga, Corriente, Temperatura, Tensión.

Reconocimientos:

Queremos expresarle nuestro agradecimiento al Ing. electrónico José Lujan quien nos dio una orientación en los comienzos del proyecto brindándonos su experiencia con modificaciones de este estilo, también un profundo agradecimiento a la institución hospitalaria que nos brindo la oportunidad y su apoyo en todo momento, tanto desde el equipo de Electromedicina, como desde el de mantenimiento y transporte.

Índice

| | |
|--|----|
| Capítulo 1: Introducción | 1 |
| 1.1 Descripción del Proyecto | 2 |
| 1.2 Fundamentación | 2 |
| 1.3 Estudio de Mercado | 3 |
| Capítulo 2: Desarrollo | 4 |
| 2.1 Diagrama General del Proyecto | 5 |
| A. Familiarización con los equipos en ambulancias de alta complejidad..... | 6 |
| I. Equipamiento de traslados:..... | 6 |
| II. Reconocimiento del Vehículo..... | 8 |
| III. Información de Aspectos Mecánicos..... | 9 |
| IV. Análisis de Consumos de los Equipos..... | 10 |
| V. Análisis del Cableado | 11 |
| VI. Balance Eléctrico de Ambulancia | 12 |
| B. Solución al Problema | 13 |
| I. Equipamiento Instalado..... | 13 |
| II. Nuevo Esquema Eléctrico..... | 14 |
| C. Monitor de Autonomía..... | 15 |
| I. Fundamentos Teóricos | 15 |
| II. Sensores..... | 18 |
| III. Esquemático..... | 21 |
| D. | 22 |
| I. Descripción de Algoritmos y Diagrama de Flujo del Software | 22 |
| II. HMI-Interfaz Usuario..... | 26 |
| II. Base de Datos..... | 29 |
| Capítulo 3: Resultados..... | 31 |
| Capítulo 4: Análisis de Costos | 35 |
| Capítulo 5: Discusión y Conclusión. | 37 |
| Capítulo 6: Literatura Citada. | 39 |
| Anexos..... | 41 |

Lista de Imágenes

| | |
|---|----|
| Imagen 1 - Respirador Artificial [1] | 6 |
| Imagen 2 - Monitor Multiparamétrico [2] | 7 |
| Imagen 3 - Compresor de Aire [3] | 7 |
| Imagen 4 - Bamba de Aspiración [4] | 7 |
| Imagen 5 - Incubadora [5] | 8 |
| Imagen 6 - Modular [6] | 8 |
| Imagen 7 - Panel [7] | 8 |
| Imagen 8 - Compresor [8] | 9 |
| Imagen 9 - Fusiblera [9] | 9 |
| Imagen 10 - Alaternador [10] | 9 |
| Imagen 11 - Tablero [11] | 10 |
| Imagen 12 - Conexión Externa [12] | 10 |
| Imagen 14 - Señal inversor [14] | 13 |
| Imagen 13 - Inversor [13] | 13 |
| Imagen 15 - Aislador de carga [15] | 13 |
| Imagen 16 - Batería auxiliar [16] | 14 |
| Imagen 17 - Nuevo Esquema Eléctrico [17] | 14 |
| Imagen 18 - Estados de Carga [18] | 15 |
| Imagen 19 - Vector de posición [19] | 16 |
| Imagen 21 - Wcs1700 ac/dc [21] | 18 |
| Imagen 20 - Voltaje-Temperatura Lm 35 [20] | 18 |
| Imagen 22 - Núcleo de Ferrite [22] | 19 |
| Imagen 23 - MH481EUA [23] | 19 |
| Imagen 24 - Tensión-Campo Magnético [24] | 19 |
| Imagen 25 - Divisor Resistivo [25] | 20 |
| Imagen 26 - Esquemático Monitor de Autonomía [26] | 21 |
| Imagen 27 - a) Diagrama de Flujo Software [27] | 23 |
| Imagen 28 - b) Diagrama de Flujo Software [28] | 24 |
| Imagen 29 - c) Diagrama de Flujo Software [29] | 25 |
| Imagen 30 - Corriente-Tiempo y Factor de Carga-Corriente [30] | 32 |
| Imagen 31 - Carga-Tiempo [31] | 32 |
| Imagen 33 - Corriente-Tiempo y Factor de Carga-Corriente [33] | 33 |
| Imagen 32 - Voltaje-Tiempo y Temperatura-Tiempo [32] | 33 |
| Imagen 34 - Carga-Tiempo y Voltaje-Tiempo [34] | 34 |
| Imagen 35 - Temperatura-Tiempo y Autonomía-Corriente [35] | 34 |
| Imagen 36 - Batería auxiliar-Inversor [33] | 42 |
| Imagen 37 - Núcleo Ferrite [34] | 42 |
| Imagen 38 - Sensores Batería Aux2 [35] | 43 |
| Imagen 39 - Sensores Batería Aux1 [36] | 43 |
| Imagen 40 - Monitor de Autonomía [37] | 43 |
| Imagen 41 - Monitor Instalado [38] | 43 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 - Consumos de corriente continua..... | 11 |
| Tabla 2 - Sección-corriente máxima cables de cobre | 11 |
| Tabla 3 - Balance eléctrico..... | 12 |
| Tabla 4 - Tabla genérica de tensiones para baterías de plomo-acido | 16 |
| Tabla 5 - Primeras 3 columnas del Archivo Datos.csv | 29 |
| Tabla 6 - Columnas 4 a 10 del archivo Dato.csv | 29 |
| Tabla 7 - Columnas 11 a 17 del archivo Dato.csv | 30 |
| Tabla 8 - Columnas 17 a 21 del archivo Dato.csv | 30 |
| Tabla 9 - Datos de carga de la batería | 32 |
| Tabla 10 - Descarga de batería..... | 33 |
| Tabla 11 - Gastos en Insumos | 36 |

Lista de Abreviaciones

| | |
|----------------|---|
| ac/dc | Corriente alterna/corriente continua |
| C | Capacidad |
| C _p | Capacidad de Peukert |
| CapBat | Capacidad de Batería |
| DC | Corriente continua |
| e | Caída de tensión máxima admisible |
| F _c | Factor de carga |
| H | Base de tiempo de las baterías |
| HMI | Interfaz Hombre Maquina |
| I | Corriente |
| I2C | Comunicación Serie (Circuito Inter-Integrado) |
| ICSP | Programación Serial en Circuito |
| ISP | Periférico de Interfaz Serial |
| LCD | Pantalla de Cristal Líquido |
| R _o | Resistividad del conductor a la temperatura de servicio |
| RTC | Reloj de Tiempo Real |
| S | Sección calculada |
| SD | Tarjeta digital estándar (Secure Digital) |
| SOC | estado de carga (State of Charge) |

:

Lista de Símbolos

| | |
|--------------------|--|
| [A] | Ampere |
| [Ah] | Ampere-hora |
| [°C] | Grados centígrados |
| [Hs] | Horas |
| [kΩ] | Kilo ohm |
| [m ³] | Metros cúbicos |
| [mm ²] | Milímetros cuadrados |
| [V] | Volt |
| [V/°C] | Volt sobre grado centígrado |
| [W] | Watt de potencia |
| +/- | Indica que una magnitud puede ser tanto positiva como negativa |
| L | Longitud de la línea |
| P | Potencia activa |
| t | Tiempo expresado en horas |
| U | Tensión nominal de la línea |
| V | Tensión |
| [Vac] | Tensión alterna |
| [Vcc] | Tensión de alimentación en continua |
| [Vdc] | Tensión continua |

Dedicado a:

Quienes con sus palabras de aliento no nos dejaron bajar los brazos en los momentos difíciles, sin ellos no habríamos llegado hasta aquí.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Descripción del Proyecto

El hospital Materno Infantil San Roque de la ciudad de Paraná, provincia de Entre Ríos posee una ambulancia Fiat Ducato modelo 2016 la cual estaba provista de equipo de media complejidad, inversor de baja potencia y con una autonomía de alimentación para traslados de 2 horas la cual resulta ineficaz por la ubicación geográfica de la ciudad, considerando que el 90% de los traslados son hacia la provincia de Buenos Aires. Nuestro proyecto consistió en realizar las modificaciones necesarias en la instalación eléctrica del vehículo, instalación de baterías auxiliares y elementos de seguridad necesarios para garantizar traslados de al menos 8 horas. Acompañando a esto se realizó el diseño e implementación de un sistema de monitoreo constante de la autonomía y carga de las baterías auxiliares, que lleva un registro de la fecha de instalación de las mismas, los valores de tensiones, corrientes, temperaturas, más de 15 alarmas por sucesos críticos y alertas de precaución, esto dota al usuario de una herramienta muy valiosa para poder detectar una falla en el sistema y tomar una decisión en caso de una eventual desperfecto o demora en el traslado, también ayuda a llevar un mejor control sobre la vida útil de las baterías.

1.2 Fundamentación

Dada la necesidad del hospital de poseer otra ambulancia de alta complejidad, para traslados de pacientes de neonatología y pediátricos, en cuyos casos es necesario transportar equipos tales como respirador artificial, incubadora, monitores de soporte vital, bombas de infusión, etc. Es imperativo poseer un vehículo con una autonomía eléctrica de 8 horas mínimo y la posibilidad de estar monitoreando el sistema brinda una herramienta indispensable a la hora de toma de decisiones. Nuestra motivación es realizar un proyecto que resulte útil y esté disponible para la comunidad de la provincia.

1.3 Estudio de Mercado

El objetivo de nuestro proyecto es satisfacer una necesidad actual del hospital el cual brinda servicios para toda la provincia por ser el hospital cabecera de la misma en neonatología y pediatría.

El equipo es muy útil para los profesionales de salud (médicos, enfermeras y choferes que realizan los traslados), como para el paciente, el cual muchas veces depende de este tipo de equipos para luchar por su vida.

Si bien las ambulancias muchas veces vienen equipadas de diferentes maneras que le otorgan la clasificación de baja, media y alta complejidad, pero en ocasiones esta no se ajusta a los requerimientos de las circunstancias, como en este caso que la ambulancia viene preparada con autonomía de 2 horas.

En cuanto al monitor de autonomía es un equipo diseñado a medida de los requerimientos, no existen en el mercado nada similar, sólo algunos visores de estado de carga que no alcanzan a cubrir la necesidad del caso.

Los recursos para la instalación eléctrica, inversor, componentes eléctricos y baterías fueron provistos por el hospital y el monitor de autonomía será una donación de este equipo.

El costo del proyecto es estimativo, ya que varía sustancialmente según la calidad y tipo de materiales empleados para la realización, pero la expectativa es no superar el monto de \$30000 pesos para cableado, inversor, baterías, llaves inversoras, fusibles especiales, monitor de autonomía y demás complementos.

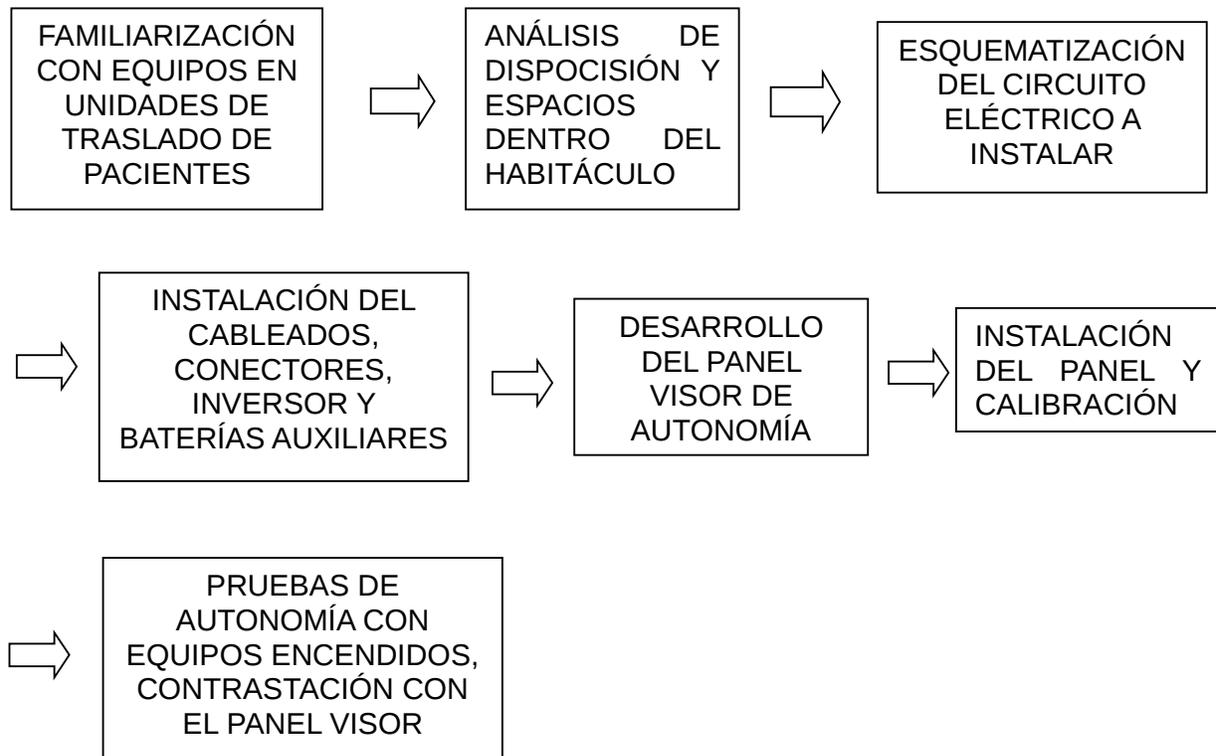
En el mercado una ambulancia de alta complejidad puede superar el valor de los \$2.000.000 de pesos.

El ciclo de vida del producto va a estar ligado al ciclo de vida de la ambulancia el cual puede ser muy relativo en salud pública.

Capítulo 2: Desarrollo

2.1 Diagrama General del Proyecto

El proyecto se planteó con el siguiente diagrama general, consta de siete bloques donde los primeros tres corresponden a la primera etapa, el cuarto bloque corresponde a la segunda etapa, el quinto y sexto bloque son de la tercera etapa, y finalmente el séptimo se refiere la cuarta y última etapa.



A. Familiarización con los equipos en ambulancias de alta complejidad

En la primera etapa del proyecto nos familiarizamos con los equipos de traslado que se usan normalmente, como así también la instalación que trajo la ambulancia desde la empresa (RyO Valle) quien equipó el vehículo originalmente, el espacio físico dentro del mismo y las limitaciones del vehículo como el caso del alternador. Se realizaron pruebas considerando los consumos de todos los equipos, en el peor de los casos se tendrá una carga máxima que consume 84[A], se detectó que el compresor de aire es el equipo de mayor consumo llegando a los 40[A]. En una primera instancia se planteó reemplazar el mismo con tubos de aire comprimido medicinal, pero esto no se permite por la norma IRAM 16030 (que no permite que un móvil sea equipado con más de 6 [m³] de oxígeno en total y que además limita que los recipientes no puedan superar una capacidad de 3 [m³]). Se realizó un análisis de relación corriente-diámetro de cable, debido que se tienen grandes consumos en corriente continua.

Los equipos utilizados en traslados vienen equipados con baterías internas propias que le dan a los mismos una autonomía de entre 2 a 5 horas, para determinar estos tiempos fueron ensayadas las pruebas de autonomía correspondientes.

Investigamos las propiedades de los acumuladores de ácido-plomo ampliamente utilizados en vehículos, para determinar las distintas formas de estimar o medir la carga y autonomía. Con lo cual llegamos a la conclusión que la forma más eficiente de determinar los parámetros es por medio de la medición de corriente, tensión y temperatura de la batería, con los cuales se realizan cálculos matemáticos.

I.Equipamiento de traslados:

Respirador Artificial:



Respirador de cuidados intensivos Crossvent4, es ultra compacto, controlado electrónicamente; ciclado por tiempo, limitado por volumen o por presión con capacidades para cuidados intensivos.

Imagen 1 - Respirador Artificial [1]

Monitor Multiparamétrico:

Los monitores de paciente Philips IntelliVue MP20 proporcionan monitoreo poderoso y mediciones esenciales en un diseño compacto. Ideales para cuidado intermedio, cirugía ambulatoria, cuidado posoperatorio, áreas de menor agudeza y durante la transferencia del paciente.



Imagen 2 - Monitor Multiparamétrico [2]

Compresor de aire:



El Compresor Mini proporciona un flujo continuo de aire presurizado en ausencia de un suministro central de gas o cilindros de gas. Usando aire circundante, el compresor recolecta y almacena gas, para uso directo con el sistema de ventilación SERVO-I, siempre y cuando el ventilador esté activo.

Imagen 3 - Compresor de Aire [3]

Bomba de Aspiración:



Aspirador a diafragma con batería y cargador. Ideal para pequeñas y medianas intervenciones. Funcionamiento continuo. Libre de mantenimiento.

Imagen 4 - Bomba de Aspiración [4]

Incubadora de traslado:



Imagen 5 - Incubadora [5]

II.Reconocimiento del Vehículo

Modular de Habitación:



Imagen 6 - Modular [6]

En la parte posterior de la ambulancia se encuentra el habitáculo médico-paciente donde encontramos en la parte izquierda el Modular.

En la siguiente imagen podemos ver los tomas de 220[V] de Alterna y los tomacorrientes de 12[V], tanto de 10[A] como de 20[A] de continua.



Imagen 7 - Panel [7]



Imagen 8 - Compresor [8]

Detrás del asiento entre la puerta de acceso a la cabina y el modular se encuentra el compresor

Vista frontal modular – Fusiblera:

En la parte superior derecha del modular se encuentra la fusiblera junto con el relay que enciende las luces externas del vehículo.

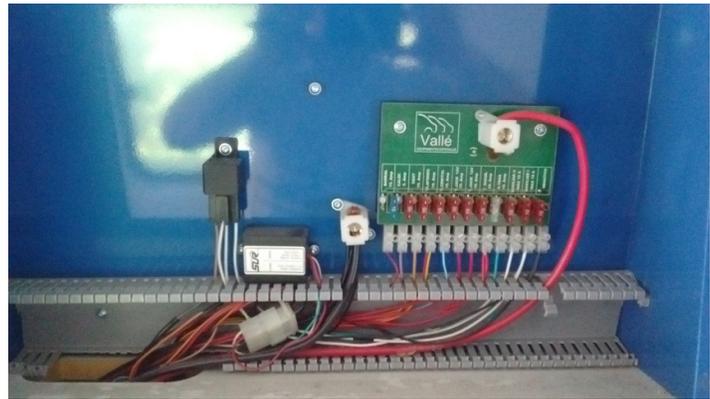


Imagen 9 - Fusiblera [9]

III. Información de Aspectos Mecánicos

Alternador:



Imagen 10 - Alternador [10]

Fiat incorpora en su modelo Ducato 2016 un alternador marca Bosch de 12[V] y salida de 140[A], con regulador de voltaje incorporado. Es un aspecto muy importante porque la corriente exigida no puede superar los límites de 120[A].

IV. Análisis de Consumos de los Equipos

Se realizaron mediciones de los consumos de los equipos a través de una pinza amperométrica UNI-T modelo UT208 (precisión en Corriente DC +/- 2% +8), la cual permite medir corrientes tanto en alterna como en continua. Los elevados consumos en equipos de traslados se midieron en la incubadora y el compresor. En el caso de la incubadora se realizó la medición desde el momento de encendido hasta que la misma llegó a la temperatura seleccionada que por lo general es de 36[°C], este tiempo varía en relación a la temperatura del medioambiente, el cual es de por lo menos 40 minutos en el peor de los casos. El compresor se midió su consumo desde el encendido hasta llegar al corte por presión. También se procedió a medir el consumo de las luces interiores del habitáculo, de la bomba de aspiración, desfibrilador y demás equipos.

Todos los equipos médicos que se utilizan en traslado vienen equipados con un sistema de almacenamiento interno de batería, para darle una cierta autonomía. La ambulancia tiene un tablero de control para conmutar de manera manual entre la línea del inversor y una línea externa de 220V que se puede utilizar en caso de emergencia enchufando la ambulancia a través de un toma externo.



Imagen 11 - Tablero [11]

En las siguientes imágenes podemos ver el toma externo de la ambulancia.



Imagen 12 - Conexión Externa [12]

A continuación, presentamos la tabla de los consumos de cada equipo medidos en corriente continua antes del convertidor o sobre la línea de alimentación en caso que fuere de continua.

| Equipo | Consumo |
|--------------------------|---------|
| Compresor | 40[A] |
| Incubadora | 20 [A] |
| Aspirador | 6[A] |
| Respirador | 8[A] |
| Luces del habitáculo | 2 [A] |
| Monitor Multiparametrico | 8[A] |
| TOTAL | 84[A] |

Tabla 1 - Consumos de corriente continua

La corriente total de 84 [A] es la que se consume en el peor de los casos posibles.

V.Análisis del Cableado

Para determinar la sección de los cables se empleó la siguiente ecuación contemplando los parámetros de condiciones de trabajo habituales, para el cálculo de sección en continua:

$$S = \frac{(2r_0PL)}{(e - U)}$$

Donde:

S: Sección calculada (mm²)

r₀: Resistividad del conductor a la temperatura de servicio (Omh·mm²/m)

P: Potencia activa (w)

L: Longitud de la línea (m)

e: Caída de tensión máxima admisible (V)

U: Tensión nominal de la línea (V)

Para valores comerciales se utiliza la siguiente tabla de sección-corriente máxima

| Sección del cable | Intensidad máxima | Potencia máxima en 12 Vcc | Potencia máxima en 24 Vcc | Potencia máxima en 48 Vcc | Potencia máxima en 220 Vac |
|---------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1,5 mm ² | 11 A | 132 W | 264 W | 528 W | 2.420 W |
| 2,5 mm ² | 15 A | 180 W | 360 W | 720 W | 3.300 W |
| 4 mm ² | 20 A | 240 W | 480 W | 960 W | 4.400 W |
| 6 mm ² | 25 A | 300 W | 600 W | 1.200 W | 5.500 W |
| 10 mm ² | 34 A | 408 W | 816 W | 1.632 W | 7.480 W |
| 16 mm ² | 45 A | 540 W | 1.080 W | 2.160 W | 9.900 W |
| 25 mm ² | 59 A | 708 W | 1.416 W | 2.832 W | 12.980 W |

Tabla 2 - Sección-corriente máxima cables de cobre

VI. Balance Eléctrico de Ambulancia

Para los análisis de balance de carga, se nos facilitó una tabla enviada por la empresa carrocera, en la cual se puede observar que la ambulancia vino preparada para una autonomía de 110 minutos en condiciones ideales, se analizó la posibilidad de llevar esta autonomía a un mínimo de 480 minutos, para poder realizar traslados Paraná - Buenos Aires.

| Batería principal | 88 | [Ah] | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total consumos [A] | Balance | |
|---|----------------------|------|-------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|---|--------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-------------|---------------------|----|----|----|----|--------------------|---------|--|
| Batería auxiliar | 95 | [Ah] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Energía disponible [A] <i>(dato provisto por el fabricante del vehículo)</i> | Consumos auxiliares | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | | | |
| | | | Compressor MAQUET | Incubadora de transporte MEDIX | Humidificador WILLAMED | Respirador CROSSVENT 4+ | 2 bombas de infusión AITECS | Saturómetro portátil | Aspirador SILLAB con cargador conectado | Monitor multiparametro PHILIPS | Toma incubadora | Toma 12 V | Toma entendedor | Iluminación | Calentador auxiliar | | | | | | | |
| Misión | Potencia nominal [W] | | 550 | 250 | 280 | 50 | 10 | 50 | 25 | 90 | 250 | 120 | 100 | 150 | 150 | | | | | | | |
| | Cantidad | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | Tensión [V] | | 14,65 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Corriente [A] | | 37,5 | 17,1 | 19,1 | 3,4 | 1,4 | 3,4 | 1,7 | 6,1 | 17,1 | 16,4 | 6,8 | 10,2 | 10,2 | | | | | | 150,5 | |
| Ir al sitio | Tasa de utilización | 35 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 1 | | | | | | | |
| | Corriente [A] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cargar al paciente | Tasa de utilización | 35 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | Corriente [A] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ir al Hospital | Tasa de utilización | 35 | 1 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | Corriente [A] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Retornar a la base | Tasa de utilización | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | | | | | | | |
| | Corriente [A] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | |
|------------------------|-------------|--------------------|----------------|--------------------|---|
| Misión | Ir al sitio | Cargar al paciente | Ir al Hospital | Retornar a la base | 95,0 Capacidad batería auxiliar fin de misión |
| Tiempo [min] | 20 | 40 | 30 | 20 | |
| Energía consumida [Ah] | | | | | |

Tabla 3 - Balance eléctrico

B. Solución al Problema

Después de un profundo análisis de las necesidades del caso y de los recursos disponibles se llegó a la conclusión de instalar una batería auxiliar extra de 12[V] y 180[Ah], la cual va a estar conectada por medio de un aislador de carga para proteger el sistema de carga original del vehículo, modificar la instalación eléctrica y el recambio por un inversor de 12[V_{dc}] a 220[V_{ac}] de mayor potencia.

En base a esto se realizó un nuevo esquema eléctrico y se analizó la disposición física dentro del habitáculo para la instalación.

I. Equipamiento Instalado

Inversor 12[V_{dc}] a 220[V_{ac}]:



| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| Model No. | FI-1500/12-CPB |
| Voltaje DC de potencia de entrada | DC 10-15V |
| Potencia de salida | 1500W |
| Sobrevoltaje de la potencia de salida | 3500W |
| Alarma por batería baja | 10.5 ± 0.5V |
| Corte por batería baja | 10 ± 0.5V |
| Corte por batería alta | 15.5 ± 0.5V |
| Protección contra cortocircuito | SI |
| Sin carga de corriente | < 2A |
| Alarma y corte Térmico | 60°C ± 5°C |
| Fusible DC de potencia de entrada | 35A x 6 |
| Dimensiones (LxWxH) | 395 x 240 x 90 mm |
| Peso neto (con cables) | 5.5 KGS |

Imagen 13 - Inversor [13]

La señal de salida del inversor es una función senoidal modificada

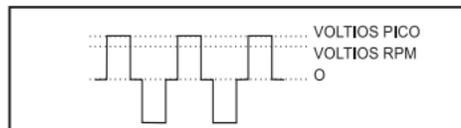


Imagen 14 - Señal inversor [14]

Aislador de carga de baterías:



Imagen 15 - Aislador de carga [15]

El puente de diodo permite cargar simultáneamente dos o más baterías desde el mismo alternador, sin conectar las baterías entre sí. Por ejemplo, al descargar la batería de servicio no se descarga la batería de arranque, y viceversa. Los puentes de diodo presentan una baja caída de tensión gracias a la utilización de diodos Schottky de alta eficiencia.

Batería Auxiliar:

La Batería es de plomo-acido de 12[V] y 180[Ah].

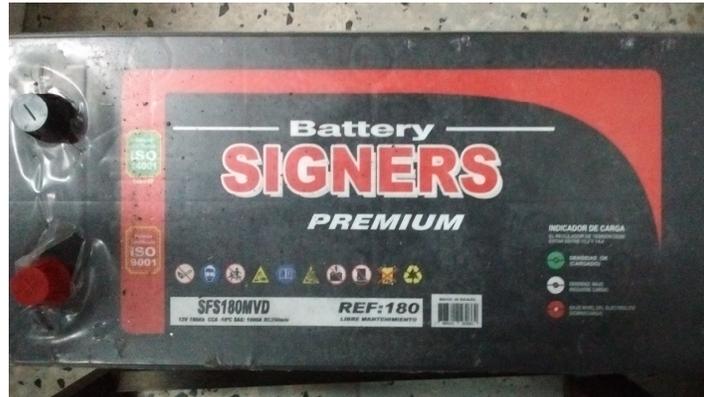


Imagen 16 - Batería auxiliar [16]

II. Nuevo Esquema Eléctrico

En el mismo podemos ver incluidos el aislador de carga, la 2da batería auxiliar, el monitor de autonomía y la división de cargas entre las dos baterías auxiliares. Se decidió dividir las cargas para optimizar el funcionamiento del sistema, la batería auxiliar de 95[Ah] va a alimentar los equipos que tienen alimentación de 12[V] y la batería auxiliar de 180[Ah] va a alimentar los circuitos de 220[V]. El aislador de carga se incluyó para proteger al alternador de una posible sobrecarga, este tiene limitada la corriente en 120[A] cargando una sola batería a la vez, no permitiendo que estas se vean entre sí.

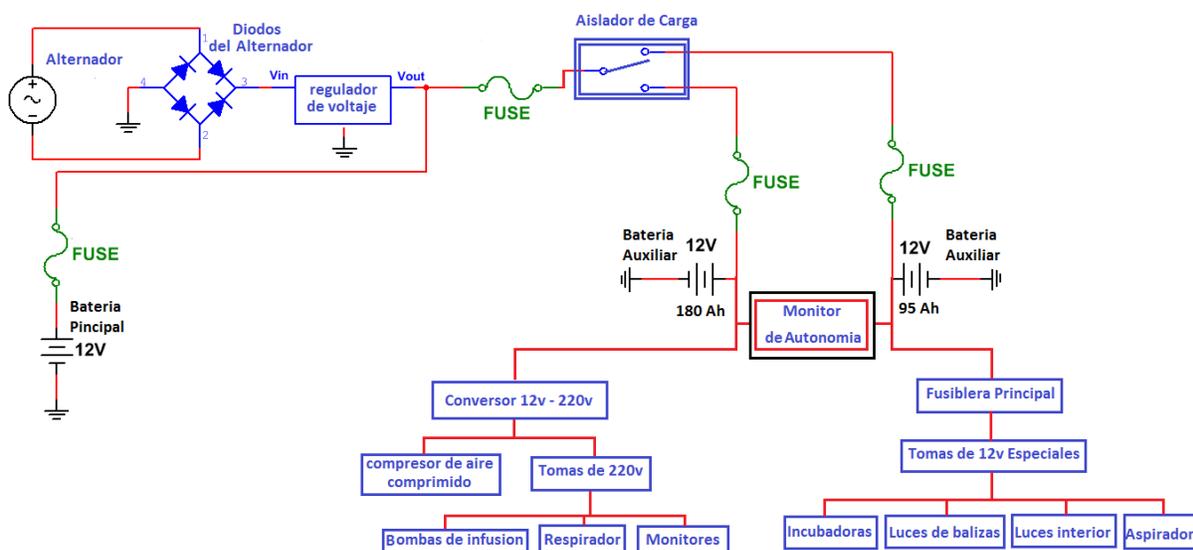


Imagen 17 - Nuevo Esquema Eléctrico [17]

C. Monitor de Autonomía

I. Fundamentos Teóricos

Baterías de Plomo Acido

La carga de las baterías de plomo-acido se divide en tres etapas, en la primer etapa denominada Bulk es donde llega la corriente a intensidad máxima en cada momento, al llegar entre el 80 y el 90% de carga de la batería, esta etapa normalmente la tensión en bornes puede variar entre 14.4[V] y 14.6[V], luego se pasa a la siguiente etapa denominada etapa de Absorción, en ésta la corriente de carga disminuye paulatinamente hasta que la batería alcanza el 100% de su carga. Por último tenemos la etapa de Flotación la tensión baja hasta unos 13,7[V] y a intensidad muy baja para compensar la autodescarga. Podemos ver en la figura una representación de las etapas.

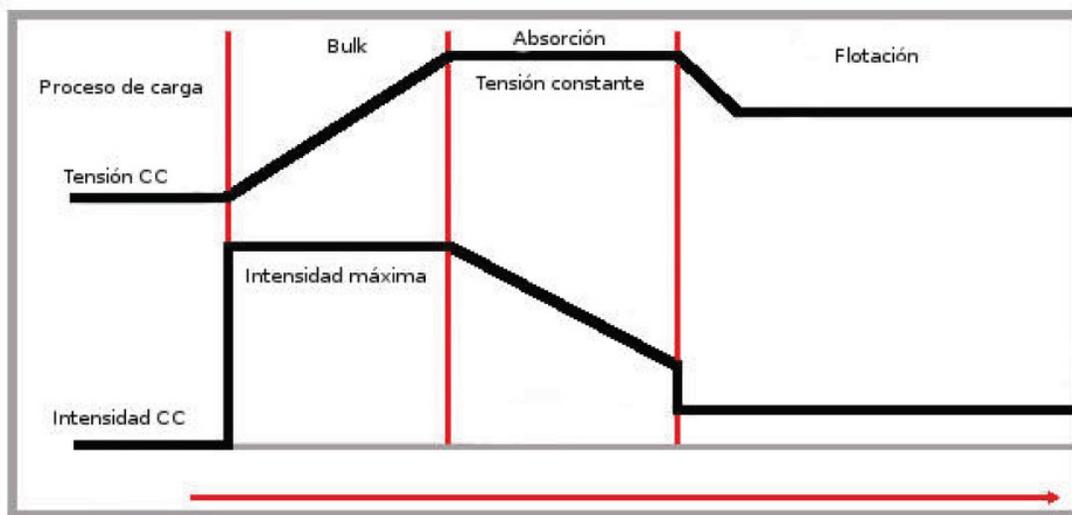


Imagen 18 - Estados de Carga [18]

Determinación de la Carga SOC

Para poder determinar la carga SOC(State of Charge) se empleó una tabla genérica elaborada a partir de múltiples ensayos la cual tiene en cuenta el estado en que se encuentra la batería, depende de si se encuentra en carga, reposo o descarga, a una temperatura de 20[°C], y se corrigen los valores de tensión con un coeficiente de degradación de voltaje cuyo valor es de -0.0235[V/°C] para que en los cambios de temperatura, lleven los valores de tensión a 20[°C].

| SoC | -C/3 | -C/5 | -C/10 | -C/20 | -C/100 | at rest | +C/40 | +C/20 | +C/10 | +C/5 |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 9.5 | 10.2 | 10.99 | 11.46 | 11.5 | 11.6 | | | | |
| 10 | 9.95 | 10.6 | 11.27 | 11.6 | 11.68 | 11.7 | 11.7 | 12.08 | 12.38 | 12.6 |
| 20 | 10.38 | 10.91 | 11.5 | 11.85 | 11.89 | 11.9 | 11.9 | 12.25 | 12.6 | 12.75 |
| 30 | 10.72 | 11.12 | 11.68 | 12.06 | 12.08 | 12.1 | 12.55 | 12.55 | 12.8 | 12.95 |
| 40 | 10.88 | 11.33 | 11.88 | 12.21 | 12.24 | 12.25 | 12.7 | 12.85 | 12.85 | 13.2 |
| 50 | 11.15 | 11.55 | 12 | 12.33 | 12.28 | 12.3 | 12.8 | 13.05 | 13.2 | 13.35 |
| 60 | 11.35 | 11.65 | 12.11 | 12.45 | 12.39 | 12.4 | 12.9 | 13.15 | 13.3 | 13.52 |
| 70 | 11.5 | 11.8 | 12.25 | 12.5 | 12.49 | 12.5 | 12.95 | 13.2 | 13.4 | 13.7 |
| 80 | 11.6 | 11.9 | 12.35 | 12.55 | 12.57 | 12.58 | 13 | 13.3 | 13.65 | 14 |
| 90 | 11.65 | 12.45 | 12.5 | 12.58 | 12.59 | 12.6 | 13.15 | 13.6 | 14.1 | 15.2 |
| 100 | 11.7 | 12.08 | 12.5 | 12.6 | 12.62 | 12.63 | 13.5 | 14.2 | 15.2 | 15.9 |

Tabla 4 - Tabla genérica de tensiones para baterías de plomo-acido

La posición en las columnas se determina de acuerdo al factor de carga que se define por el estado de la batería, en carga, reposo o descarga a partir de la siguiente ecuación.

$$Fc = \frac{I}{CapBat}$$

Este factor de carga se evalúa entre los valores almacenados en el vector posición

```
// - - - - descarga - - - - - | sin carga | + + + + + Cargando + + +
// -C/3  -C/5   -C/10  -C/20  -C/100  reposo   +C/40  +C/20  +C/10 +C/5
{-0.333,-0.20, -0.10, -0.05, -0.01, 0.0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2};
```

Imagen 19 - Vector de posición [19]

Autonomía

La capacidad de una batería es la medida de la carga almacenada “C” dentro de la misma medida en Ampere-Hora [Ah], el tiempo que tarda en descargarse se denomina autonomía “t” cuyo valor se mide en horas [Hs], este tiempo podría determinarse de acuerdo a la cantidad de corriente extraída de la misma a una razón constante.

$$t = \frac{C}{I}$$

En la realidad la capacidad de la batería se reduce mientras el consumo de corriente aumenta, por lo que el científico alemán Peukert encontró la fórmula que demuestra numéricamente como las descargas a tasas altas de corriente, le quitan energía almacenada más rápidamente que lo que muestran los cálculos realizados en la primer ecuación. Este efecto se conoce como efecto Peukert y su fórmula que lo representa es la siguiente:

$$t = \frac{C_p}{I^k}$$

Donde "I" es la corriente de descarga, "C_p" es lo que se conoce como Capacidad de Peukert y "k" es el exponente de Peukert el cual tiene un valor que va entre 1,1 y 1,3. En el caso de las baterías de plomo-acido tiene un valor típicamente usado de 1,3. La Capacidad de Peukert está determinada con una tasa de descarga de 1[A], generalmente las baterías nunca dicen el valor de la Capacidad de Peukert, los fabricantes solo utilizan tasas por hora bajas, por lo general si no se encuentra especificada en la batería comúnmente se le da una base de tiempo de 20hs (0.05C), donde a la base de tiempo se le llama C-rate que se emplea para medir corriente de carga y descarga. Al conocer esta base de tiempo que llamaremos "H", la capacidad especificada "C" y el exponente de Peukert "k" se puede obtener la capacidad de Peukert utilizando la siguiente fórmula:

$$C_p = H \left(\frac{C}{H} \right)^k$$

Por lo que para obtener finalmente el tiempo de autonomía se debe emplear la ecuación

$$t = \frac{H \left(\frac{C}{H} \right)^k}{I^k}$$

Pero esta ecuación se puede mejorar para utilizarla, a partir de unos pasos algebraicos para obtener una expresión más simplificada que nos permita obtener la estimación correcta del tiempo de autonomía:

$$t = \frac{C \left(\frac{C}{H} \right)^{k-1}}{I^k}$$

II. Sensores

Para el sensado que realiza el monitor de autonomía, se utilizaron diez sensores de tres tipos diferentes:

- Sensores de temperatura
- Sensores de Corriente
- Sensores de Tensión

Sensores de temperatura

Se seleccionó el sensor LM35 por su fiabilidad y su gran linealidad en el rango de trabajo requerido

Minimum Supply Voltage vs. Temperature

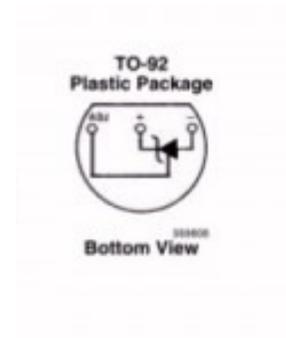
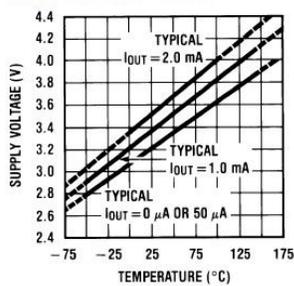


Imagen 20 - Voltaje-Temperatura Lm 35 [20]

Sensores de Corriente

Para el caso de la corriente se analizó la posibilidad de usar un sensor comercial del tipo sensor de corriente 70[A] Wcs1700 ac/dc.



Imagen 21 - Wcs1700 ac/dc [21]

Pero debido a su elevado costo y la cantidad que requería el sistema se optó por utilizar sensores de efecto hall lineales, concentrando el campo magnético en un núcleo de ferrite.

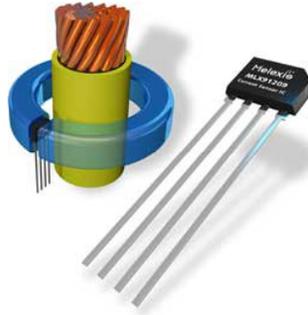


Imagen 22 - Núcleo de Ferrite [22]

Por esto elegimos el sensor MH481EUA que además de ser un sensor lineal, dispone de un amplificador dentro de la misma pastilla facilitando la lectura del mismo.

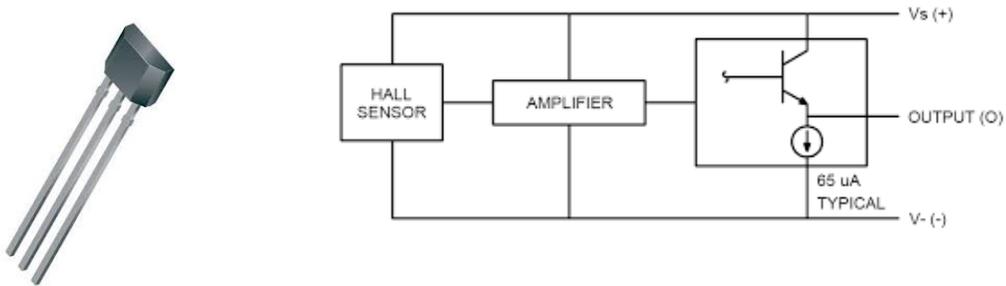


Imagen 23 - MH481EUA [23]

Transfer Characteristics (Vs=5.0VDC)

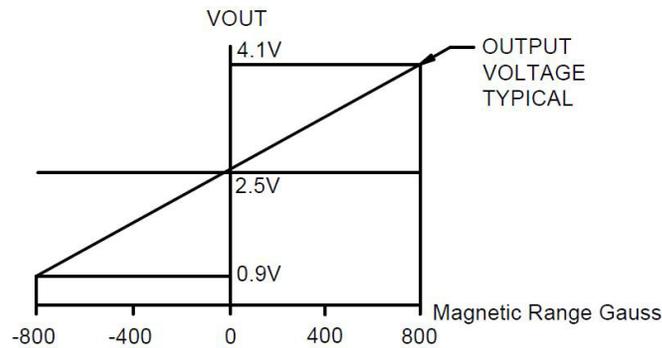
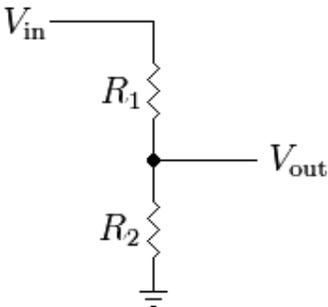


Imagen 24 - Tensión-Campo Magnético [24]

Sensores de Tensión

Para determinar los valores de tensión se emplearon divisores resistivos, para lograr un amplio rango de tensiones a medir se optó por una tensión $V_{in}=18[V]$ y una resistencia $R_1=10[k\Omega]$ para evitar consumo, utilizando la ecuación de Thevenin buscamos que la tensión máxima de referencia sean $V_{out}=5[V]$ para conectar a los pines analógicos del microcontrolador, entonces comenzamos con:



$$5V = \frac{R_2 \times 18V}{R_2 + 10K}$$

Despejamos R_2 para determinar su valor

$$5V \times (R_2 + 10K) = R_2 \times 18V$$

$$5V \times 10K = R_2 \times (18V - 5V)$$

$$R_2 = \frac{5V \times 10K}{(18V - 5V)} = 3,9K$$

Imagen 25 - Divisor Resistivo [25]

III. Esquemático

Finalmente se confecciono el esquemático del Monitor de Autonomía, y se realizaron pruebas en simulador antes de implementarlo. El mismo quedo de la siguiente manera.

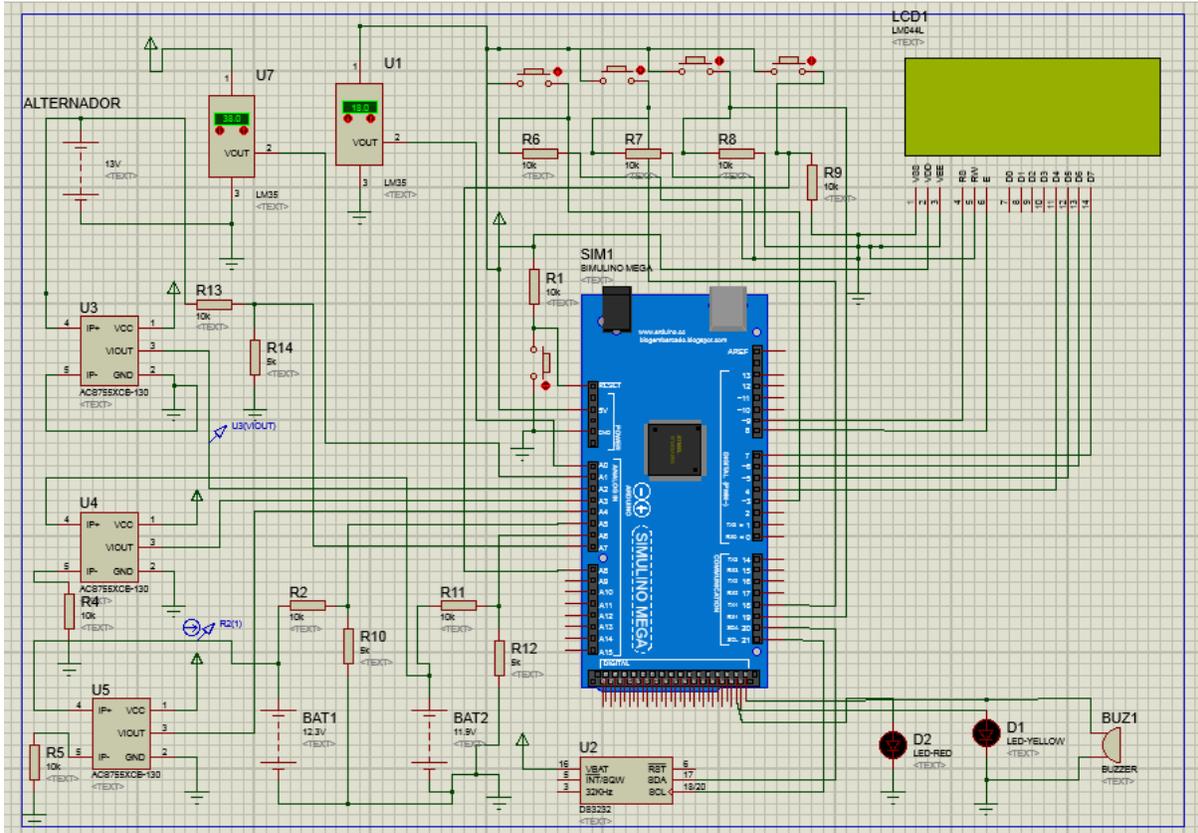


Imagen 26 – Esquemático Monitor de Autonomía [26]

D. Descripción de Algoritmos y Diagrama de Flujo del Software

I. El sistema de monitoreo funciona de la forma que se detalla a continuación: En el inicio se configuran las interrupciones, los pines analógicos y digitales del microcontrolador ATmega 2560 de 8 bit, se inicializa la pantalla LCD 20x4 junto con sus pines dedicados, se inicializa la comunicación serie a 9600 baudios, se verifica el correcto funcionamiento del reloj de tiempo real (RTC) conectado a los pines de interfaz I2C, si este no se encuentra el dispositivo muestra en la pantalla un mensaje que dice “Modulo RTC No Encontrado”. Luego procede a inicializar el resto del proyecto, en el código se encuentra una línea para ajustar la fecha y la hora del RTC a la fecha actual, la misma debe ser comentada para que no se ejecute en las próximas grabaciones ya que el reloj se encuentra configurado. Se inicializa el Timer1 el cual ejecuta una interrupción cada 1 segundo y se utiliza esta interrupción para definir los tiempos de ejecución de distintas subrutinas. Luego se configuran los pines de salida donde se conectan los leds y el pin para el buzzer que se emplean para las distintas alarmas, se comprueba cada conector de los distintos sensores, esté colocado en su respectivo puerto, si esto no ocurre se muestra un mensaje que dice “Conector (1/2) Desconectado”, de este bucle se sale solo si se encuentran los dos conectores colocados correctamente. Se sigue con la inicialización de la tarjeta de memoria SD conectada al bus ISP, y en el caso que haya un error se muestra un mensaje que dice “Fallo en tarjeta SD” que dura unos 5 segundos, luego permite que prosiga la secuencia de inicio del dispositivo. En la siguiente acción se leen los sensores y se procede a realizar el cálculo de carga de las baterías y se determina si están dentro de los rangos admisibles y si su tensión es 0(cero) se considera la batería desconectada, cuando esto sucede se presenta en pantalla un mensaje que dice “Batería Fuera de Rango” y se enciende una alarma de aviso. Si el estado de las baterías está dentro de los Rangos permitidos se procede a mostrar en pantallas consecutivas las lecturas de los sensores de temperatura medida en cada batería, luego las corrientes entrantes y salientes de la batería (1 y 2 respectivamente), y la corriente que viene del alternador, por último se ve en pantalla la tensión tanto de las dos baterías como la del alternador. Luego se pasa al Bucle principal (se encuentra marcado con un círculo con el número 3) donde se corrobora nuevamente si se encuentran instalados los conectores y luego si las cargas de las baterías siguen estando dentro de los rangos admitidos. Dentro del bucle se van a considerar el contador principal, contador secundario y de página, primero se visualiza la pantalla donde se muestra la carga de cada batería y su estado, la fecha y la hora actual. Con los botones de desplazamiento podremos

acceder a la siguiente pantalla que muestra la autonomía de cada batería así como tanto la fecha y la hora, y por último se podrá acceder a la pantalla que muestra la fecha de instalación de cada batería, su capacidad y base de tiempo. Si se sigue con los botones de desplazamiento solo se volverá a mostrar la pantalla siguiente o la pantalla anterior según el caso.

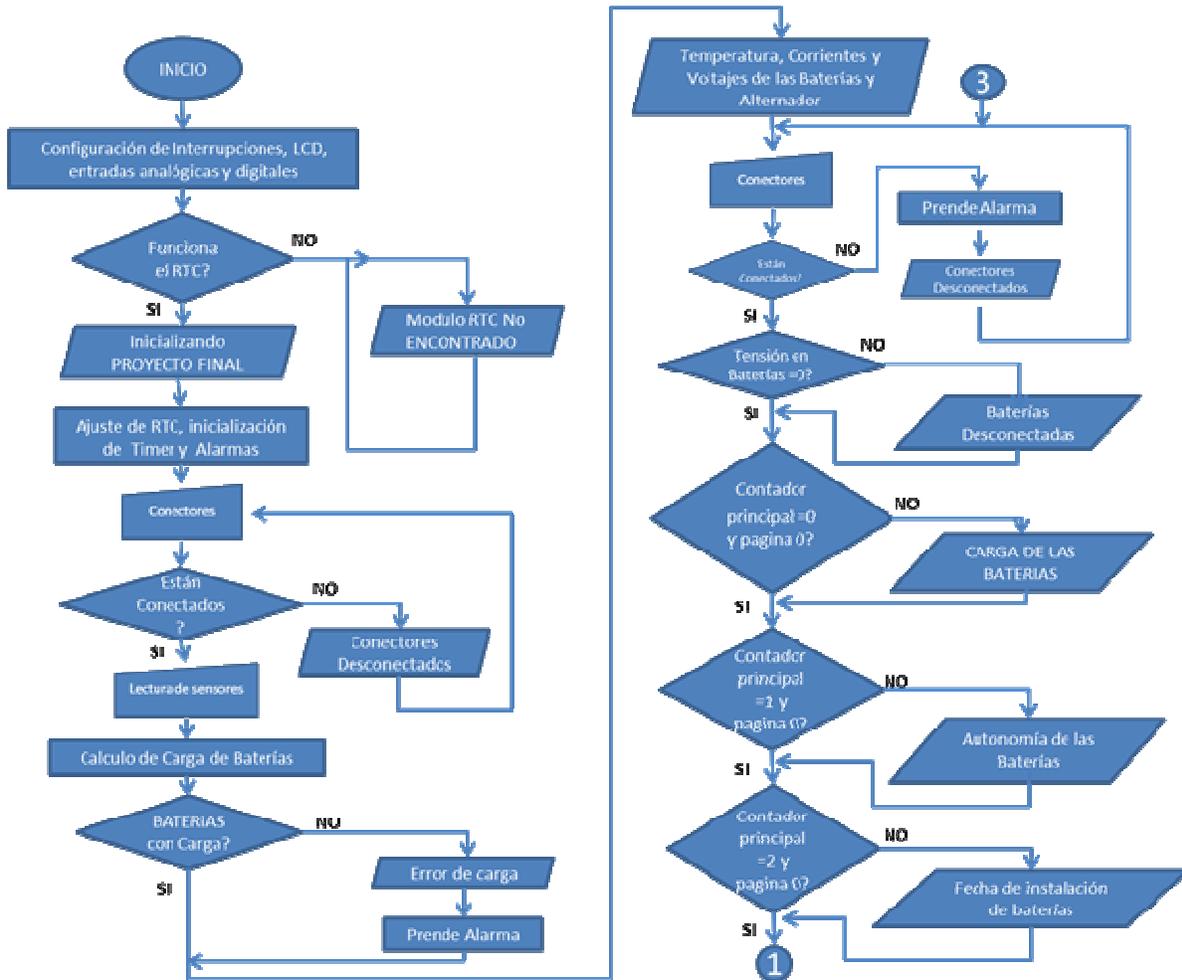


Imagen 27 – a) Diagrama de Flujo Software [27]

A continuación se verifica que las alarmas se encuentren activadas (circulo con el numero 1), las mismas por defecto se encuentran activas, entonces entra en la estructura condicional donde se hace un test de seguridad, en esta función se determina qué tipo de alarma debe activarse (Crítica o Aviso), una vez determinada el tipo de alarma se procede a identificar cual fue el motivo de su disparo, cuando se identifica la alarma se procede a encender la alarma luminosa y sonora, al mismo tiempo se muestra en pantalla un mensaje con la identificación de la Alarma, se guarda el estado completo del sistema en la tarjeta SD. Cuando suena una alarma, el usuario las puede silenciar por medio de uno de los botones, esto reinicia un contador que se incrementa cada un segundo (Timer 1), con

este contador se cuentan 10 minutos y se vuelvan a activar todas las alarmas, donde se va mostrar un mensaje en pantalla que dice “Pasaron 10 minutos ULTIMA ALARMA”. En la interrupción del (timer 1) se agregó un contador de tiempo para el guardado de datos en la tarjeta SD, cuando se cumple este tiempo se guarda el estado completo del sistema

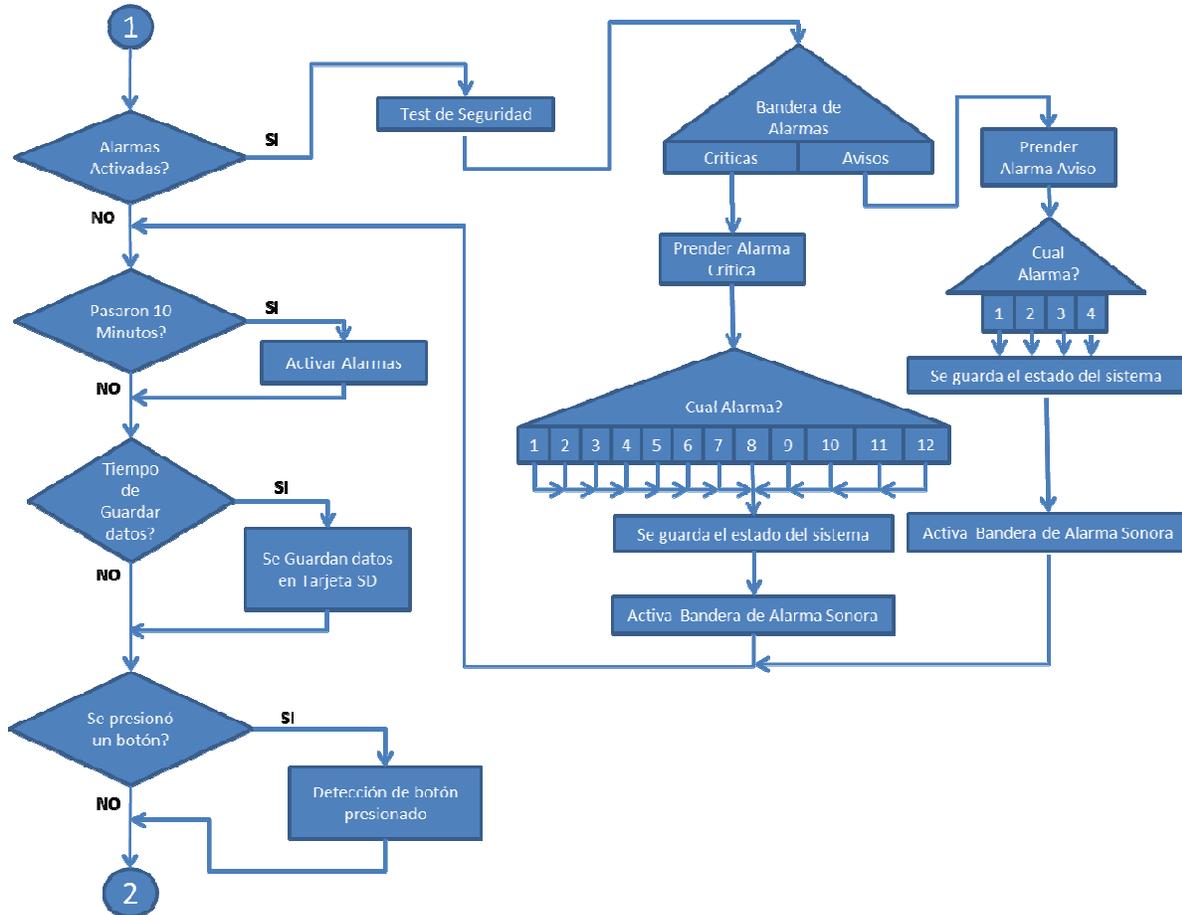


Imagen 28 - b) Diagrama de Flujo Software [28]

Por último, en la etapa del bucle principal se realiza una lectura en un puerto analógico denominado Teclado, en el caso de ser presionado el botón que se encuentra bajo llave, se accede al menú secundario. En este menú se puede configurar los datos de cada batería, la fecha y la hora del reloj RTC, y ver las mediciones de los sensores (este menú solo podrá ser accedido por los técnicos de mantenimiento). Cuando se elige ver las mediciones de los sensores (Pagina=1) pasa a tener el control el contador secundario el cual se incrementa o decrementa por medio de los botones de desplazamiento, con el cual podremos visualizar las 4 pantallas donde ver las temperaturas, las corrientes entrantes y salientes de cada una de las baterías, así como la corriente del Alternador y por último las tensiones tanto de las Baterías como del Alternador. Estas pantallas solo

podrán ser accedidas por un tiempo de 5 minutos luego el programa le devuelve el mando al contador principal.

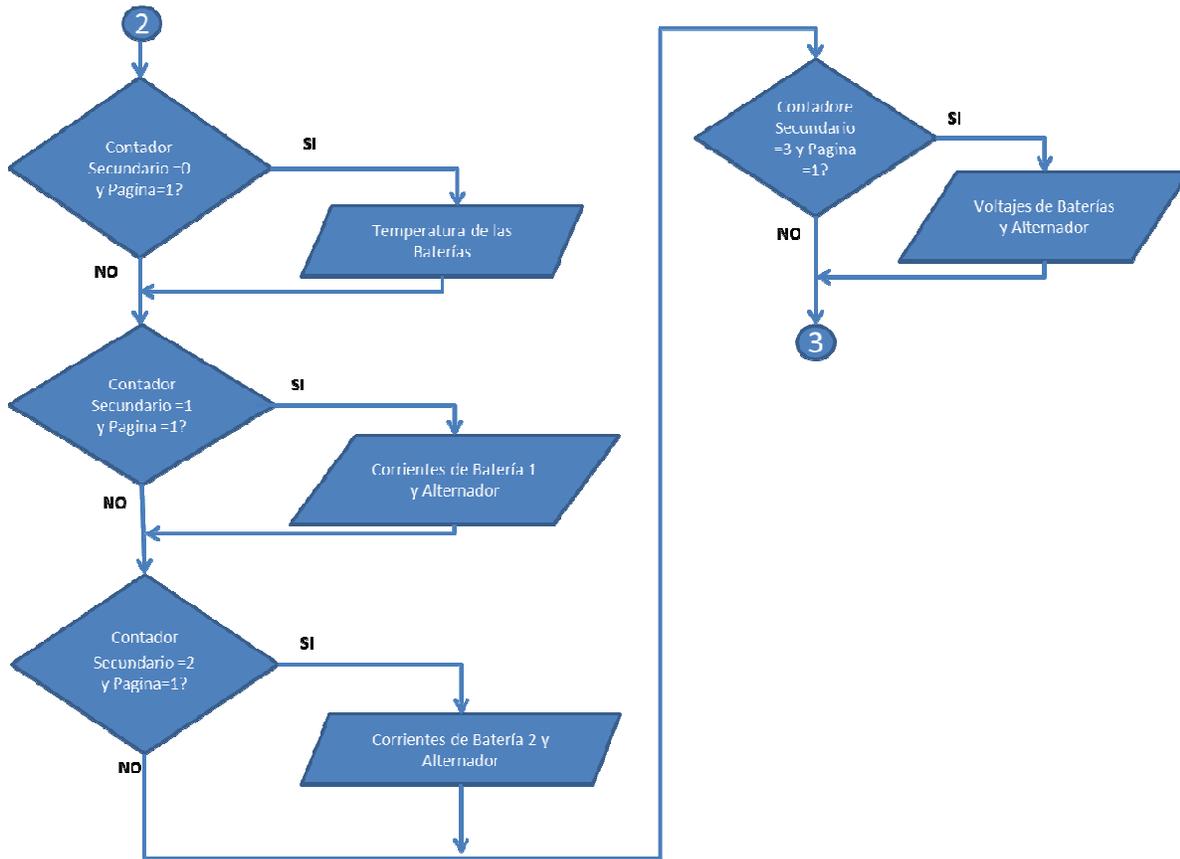


Imagen 29 - c) Diagrama de Flujo Software [29]

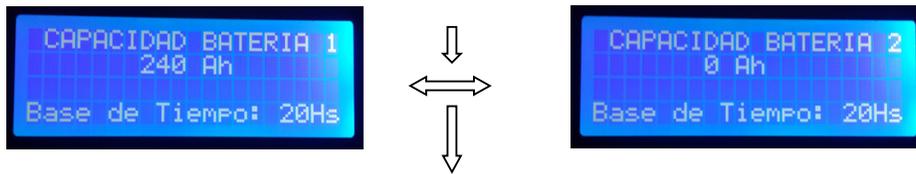
Finaliza la última etapa del bucle y vuelve por el círculo con el número 3.

II. HMI-Interfaz Usuario

Cuando el Monitor de Autonomía se enciende se pueden observar en la pantalla:



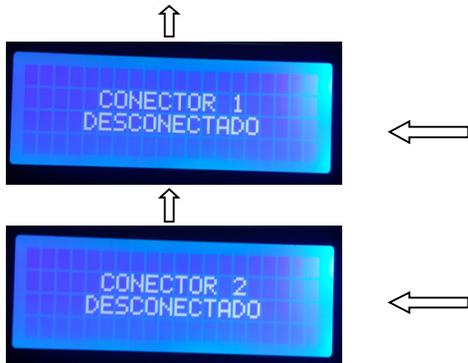
Se visualizan los datos de las baterías auxiliares.



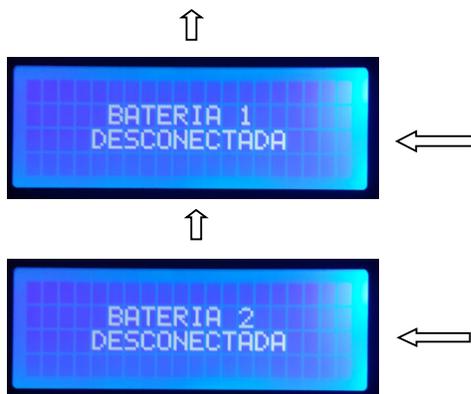
Comprobación de la conectividad de los Sensores.



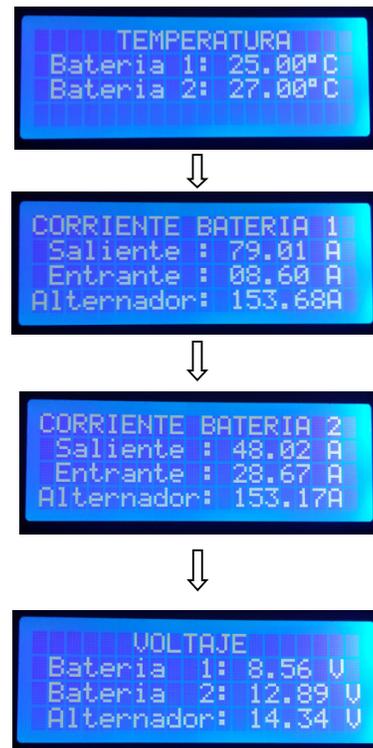
En caso de que no estén conectados.



Si la tensión de las baterías auxiliares $V_{bat}=0[V]$ están desconectadas.



Al estar los conectores colocados en sus respectivos puertos, muestra las lecturas.



A continuación se puede observar la carga actual de las baterías y sus estados:



Con los botones de desplazamiento se pueden alternar entre las tres pantallas, la segunda pantalla muestra la autonomía y la tercera pantalla muestra los datos y las fechas de instalación de cada batería.

El significado de las letras que acompañan el porcentaje de carga es:

U= batería en carga y descarga simultánea.

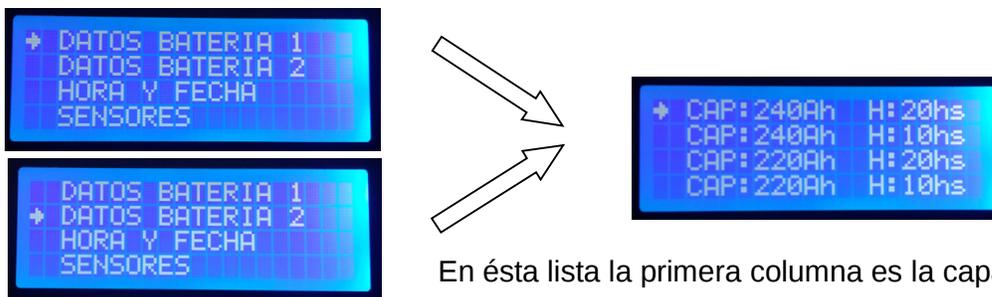
C= batería únicamente en carga.

D= batería únicamente en descarga.

R= batería en reposo.

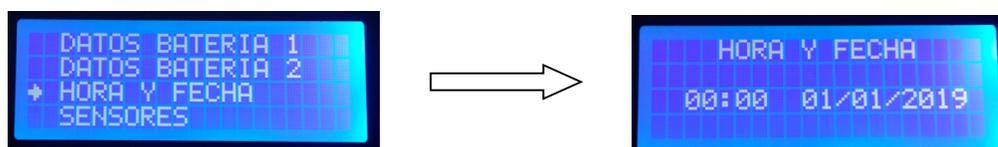
Cuando se habilita el botón “Aceptar” de color azul en la parte frontal del monitor con la llave se puede acceder al siguiente menú con cuatro opciones:

En las primeras dos opciones, se puede seleccionar de una amplia lista de baterías comerciales los datos que correspondan cargar.



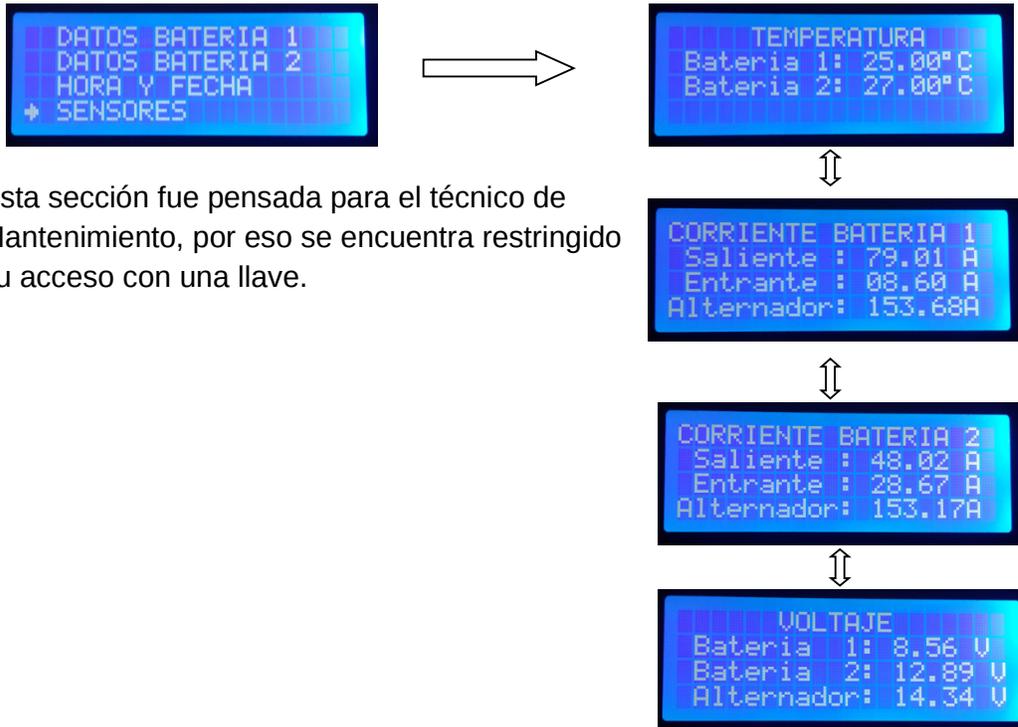
En ésta lista la primera columna es la capacidad en amperes-hora y la segunda es la base de tiempo en horas.

En la segunda opción se puede configurar la hora y la fecha, para cuando se ha realizado un cambio de pila en el reloj de tiempo real RTC.



En este menú se emplean los botones de desplazamiento para incrementar o disminuir las cantidades y el botón de “Pausa de Alarmas” para confirmar cada dato.

La cuarta y última opción permite ver las lecturas de los sensores y con los botones de desplazamiento podremos alternar entre las distintas opciones, que se presentan en un desplazamiento circular.



Ésta sección fue pensada para el técnico de Mantenimiento, por eso se encuentra restringido su acceso con una llave.

Cada vez que suena una alarma se enciende una luz roja indicando que es una alarma crítica o amarilla de aviso, se visualiza por unos segundos de manera alternante con la pantalla actual y nos indica que evento la disparó. A continuación se muestran diversas posibilidades:



III. Base de datos

El equipo está dotado de un módulo de almacenamiento el cual guarda el estado general del sistema, donde registra los datos de lectura de sensores, cálculos de carga, autonomía, factor de carga para poder realizar análisis y correcciones posteriores. Como también registra el estado cada vez que se dispara una alarma.

El módulo genera una hoja de cálculo que puede ser ejecutada en cualquier software dedicado.

A continuación, se puede apreciar un archivo generado por el monitor de autonomía:

| Fecha de Inicio: 07/02/2019 13:13Hs | Alarma | Detalle de Alarma |
|-------------------------------------|---------|---|
| 07/02/2019 13:14Hs | | |
| 07/02/2019 13:14Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:14Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:15Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:15Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:15Hs | | |
| 07/02/2019 13:15Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:15Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:16Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:16Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:16Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:16Hs | | |
| 07/02/2019 13:16Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |
| 07/02/2019 13:16Hs | Critica | Autonomia Menor a 20 Minutos en Bateria 1 |

Tabla 5 - Primeras 3 columnas del Archivo Datos.csv

| Temperatura Batateria 1 | Voltaje Batateria 1 | Corriente Saliente Batateria 1 | Corriente Entrante Batateria 1 | Autonomia Batateria 1 | Porcentaje carga Bateria 1 | Factor de Carga 1 |
|-------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------|
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 12.14 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.54 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |
| 25.00 | 12.53 | 18.39 | 11.63 | 00:00 | 30 | 0.00 |

Tabla 6 - Columnas 4 a 10 del archivo Dato.csv

| Estado de Bateria 1 | Temperatura Bateria 2 | Voltaje Bateria 2 | Corriente Saliente Bateria 2 | Corriente Entrante Bateria 2 | Autonomia Bateria 2 | Porcentaje carga Bateria 2 |
|---------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------|
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:00 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:00 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 82.44 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.95 | 0.00 | 82.44 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |
| U | 26.00 | 12.96 | 0.00 | 81.94 | 00:49 | 70 |

Tabla 7 - Columnas 11 a 17 del archivo Dato.csv

| Factor de Carga 2 | Estado de Bateria 2 | Corriente Alternador | Voltaje Alternador |
|-------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.78 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.78 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.35 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.35 |
| 0.02 | C | 60.78 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.78 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.35 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.37 |
| 0.02 | C | 60.27 | 14.35 |

Tabla 8 - Columnas 17 a 21 del archivo Dato.csv

Con toda la información recopilada el técnico de mantenimiento puede analizar los datos y ver el comportamiento del sistema durante todo el tiempo que ha sido utilizado hasta que la memoria SD se haya llenado completamente.

Capítulo 3: Resultados

Para poder mostrar los resultados del funcionamiento del monitor de autonomía se decidió realizar algunas pruebas controladas donde se pudo observar la carga y descarga de las baterías auxiliares. Por medio del archivo generado por el monitor se confeccionaron gráficas para ilustrar de una mejor manera los resultados obtenidos.

Prueba de carga para batería auxiliar de 12 [V] – 180[Ah].

| Fecha de Inicio: 07/02/2019 | 16:09Hs | Temperatura Batateria 1 | Voltaje Batateria 1 | Corriente Saliente Batateria 1 | Corriente Entrante Batateria 1 | Porcentaje carga Batateria 1 | Factor de Carga 1 | Estado de Batateria 1 | Tiempo |
|-----------------------------|---------|-------------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------|--------|
| 07/02/2019 | 16:11Hs | 25 | 12,8 | 0,00 | 22,01 | 30 | 0,12 | C | 16,11 |
| 07/02/2019 | 16:26Hs | 26 | 12,81 | 0,00 | 20,70 | 30 | 0,12 | C | 16,26 |
| 07/02/2019 | 16:41Hs | 26 | 12,82 | 0,00 | 19,42 | 30 | 0,11 | C | 16,41 |
| 07/02/2019 | 16:56Hs | 27 | 12,84 | 0,00 | 18,14 | 30 | 0,10 | C | 16,56 |
| 07/02/2019 | 17:11Hs | 27 | 12,86 | 0,00 | 16,82 | 40 | 0,09 | C | 17,11 |
| 07/02/2019 | 17:26Hs | 28 | 12,86 | 0,00 | 15,53 | 40 | 0,09 | C | 17,26 |
| 07/02/2019 | 17:39Hs | 28 | 12,9 | 0,00 | 14,25 | 40 | 0,08 | C | 17,39 |
| 07/02/2019 | 17:41Hs | 28 | 12,91 | 0,00 | 12,92 | 40 | 0,07 | C | 17,41 |
| 07/02/2019 | 17:56Hs | 28 | 12,93 | 0,00 | 11,07 | 40 | 0,06 | C | 17,56 |
| 07/02/2019 | 18:11Hs | 28 | 12,97 | 0,00 | 11,01 | 40 | 0,06 | C | 18,11 |
| 07/02/2019 | 18:26Hs | 28 | 12,99 | 0,00 | 9,84 | 40 | 0,05 | C | 18,26 |
| 07/02/2019 | 18:41Hs | 28 | 13,11 | 0,00 | 8,01 | 40 | 0,04 | C | 18,41 |
| 07/02/2019 | 18:56Hs | 28 | 13,21 | 0,00 | 7,97 | 50 | 0,04 | C | 18,56 |
| 07/02/2019 | 19:11Hs | 29 | 13,23 | 0,00 | 6,50 | 50 | 0,04 | C | 19,11 |

Tabla 9 - Datos de carga de la batería

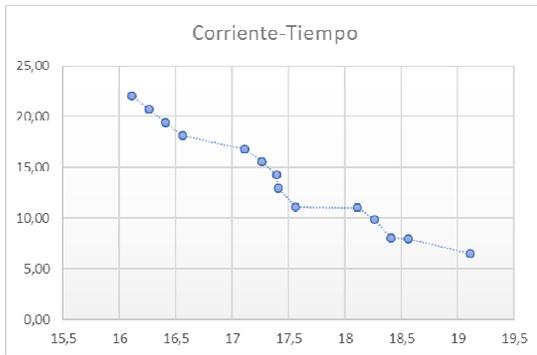
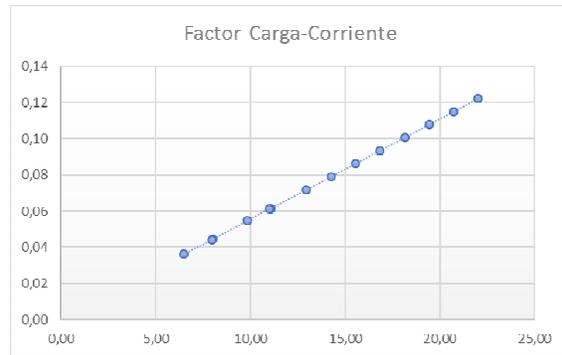


Imagen 30 –Corriente-Tiempo



Factor de Carga-Corriente [30]

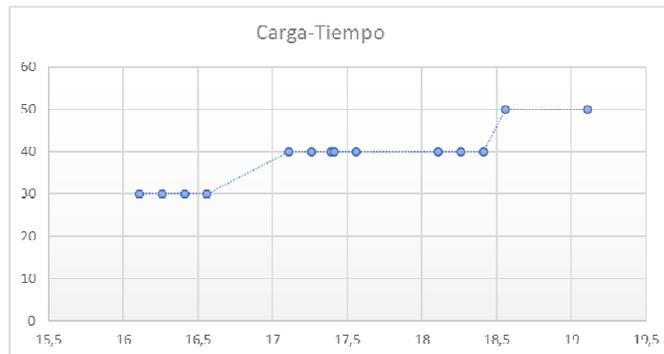


Imagen 31 - Carga-Tiempo [31]

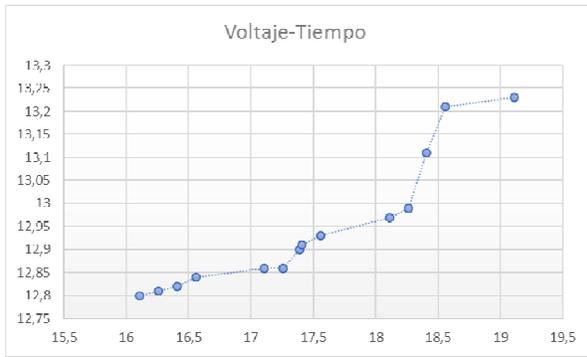
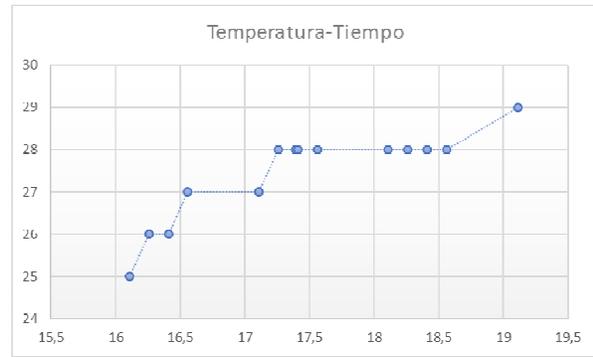


Imagen 32 - Voltaje-Tiempo



Temperatura-Tiempo [32]

A continuación se presenta la tabla de prueba de descarga de la misma batería, que fue elaborado con distintas corrientes de descarga para ver cómo se va modificando el tiempo de autonomía.

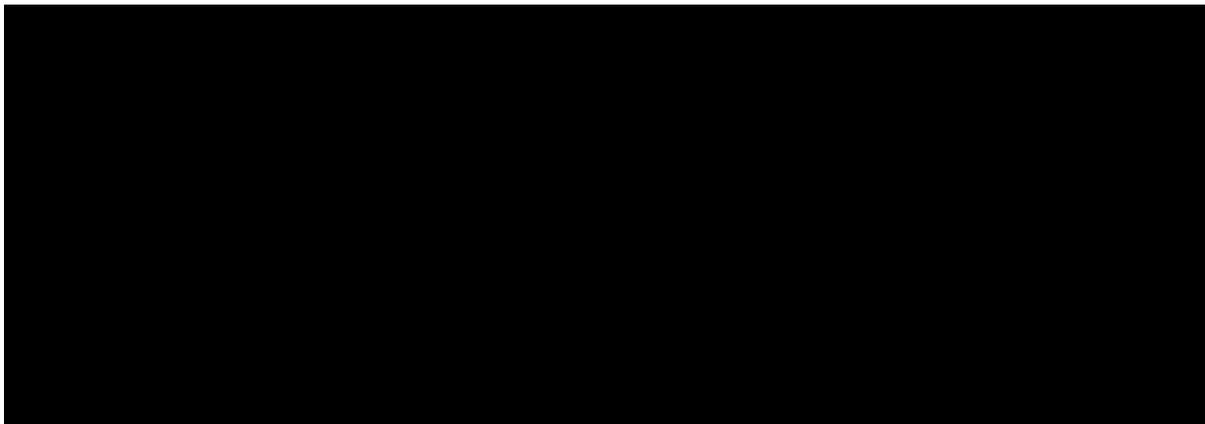


Tabla 10 - Descarga de Batería

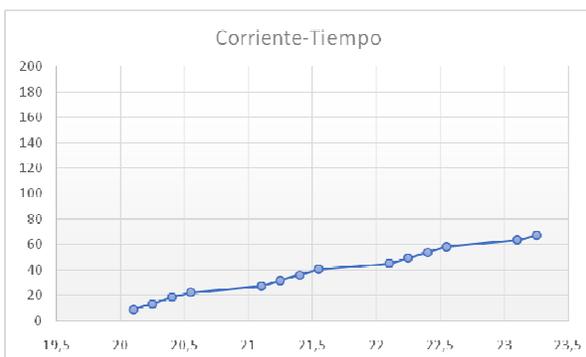
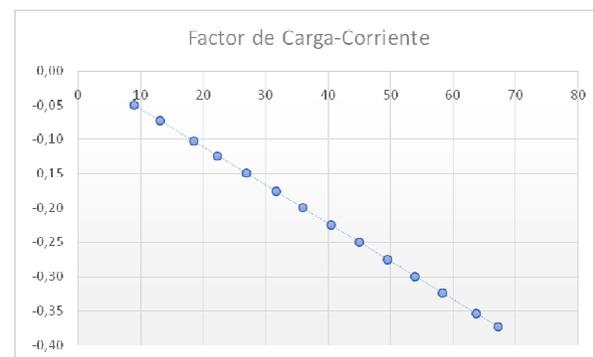


Imagen 33 - Corriente-Tiempo



Factor de Carga-Corriente [33]

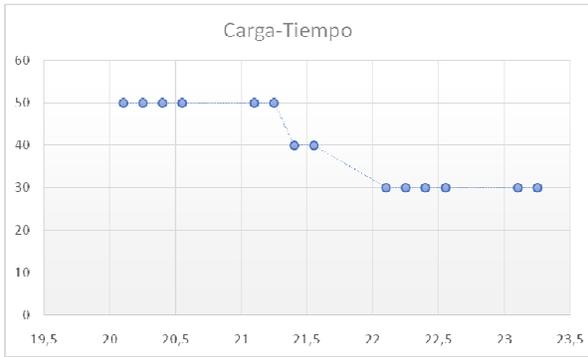
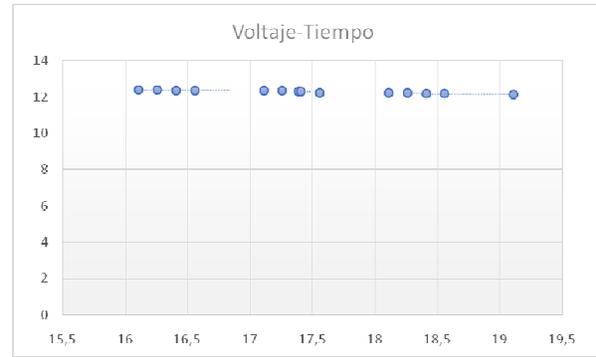


Imagen 34 - Carga-Tiempo



Voltaje-Tiempo [34]

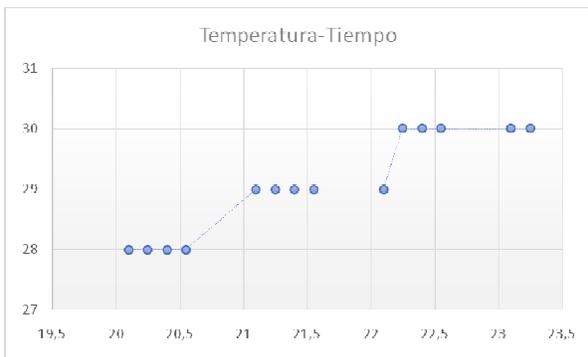
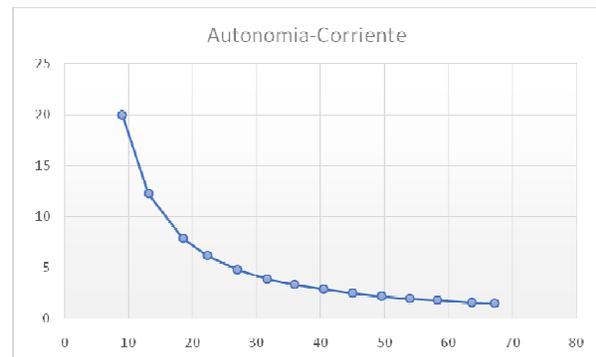


Imagen 35 - Temperatura-Tiempo



Autonomía-Corriente [35]

Capítulo 4: Análisis de Costos

Se confeccionó la siguiente tabla con el gasto de insumos utilizados en el proyecto, la misma esta expresada en pesos argentinos.

| Insumos | Cantidad | Precio \$ (Pesos) | Total \$(Pesos) |
|------------------------------|---|-------------------|-----------------|
| Batería 12[V] 180[A] | 1 | 8000 | |
| Aislador de carga 120 [A] | 1 | 10000 | |
| Caja Estanco 15cmx10cm | 1 | 150 | |
| Pantalla Lcd 20x4 | 1 | 460 | |
| Botones | 5 | 200 | |
| Placa de MEGA 2560 | 1 | 700 | |
| Placa reloj tiempo real | 1 | 230 | |
| Placa tarjeta SD | 1 | 238 | |
| Cables con terminales | 30 | 95 | |
| Conectores DB9 | 10 | 250 | |
| fusiblera | 1 | 50 | |
| llave de encendido | 1 | 50 | |
| Conector alimentación | 1 | 25 | |
| Sensores Efecto Hall | 5 | 748 | |
| Sensores de temperatura | 2 | 220 | |
| Potenciómetros | 11 | 550 | |
| buzzer | 1 | 125 | |
| Led alta luminiscencia | 2 | 10 | |
| Resistencias | 10 | 10 | |
| | | | |
| Núcleos de ferrite | material reciclado de equipos en desuso | | |
| Cables y terminales | material puesto por deposito del hospital | | |
| tornillería | material puesto por deposito del hospital | | |
| cajón de madera para batería | material donado por herrería del hospital | | |
| hierros para soporte | material reciclado de equipos en desuso | | |
| | | | |
| | | | 22111 |

Tabla 11 - Gastos en Insumos

Cantidad de horas dedicadas al proyecto suman un total de 240, de las cuales se destinaron la mitad a la programación y las otras a armado del hardware e instalación del sistema en el vehículo. Según tablas de convenios de desarrolladores de software la hora de programación tiene un costo de 680 pesos y las restantes horas de trabajo técnico tienen un costo de 250 pesos. Los que nos da una suma de \$111,600 pesos para mano de obra.

Si bien no es un proyecto pensado en la comercialización del mismo por estar diseñado para cubrir una necesidad particular se puede observar que este tipo de equipamientos tendía un mercado muy acotado por lo cual a su precio debería ser elevado para cubrir los costos de investigación y desarrollo.

Capítulo 5: Discusión y Conclusión.

Desde que se nos encargó la tarea de realizar este proyecto tuvimos que enfrentar varios inconvenientes desde la poca información existente respecto al problema, hasta la dificultad para conseguir los materiales necesarios.

Utilizamos como base una modificación que se había realizado en otra ambulancia, pero encontramos muchas falencias en el diseño implementado y en el rediseño las fuimos superando.

En primera instancia tuvimos que familiarizarnos con diversos equipos médicos, su funcionamiento y consumos, aprendimos que no hay una ecuación particular para realizar traslados de pacientes, si no que muchas veces todas las variables cambian según la patología del paciente, la distancia del viaje y las condiciones externas. Basándonos en esto realizamos todos los cálculos considerando siempre la peor de las situaciones posibles.

Con el rediseño del circuito eléctrico he instalación de una batería auxiliar más, se logró alcanzar el objetivo de autonomía deseada, lo que también brindó un grado de seguridad eléctrica-mecánica al aislar las baterías, evitando que éstas queden en paralelo debido a la peligrosidad que implica la falla de algunas de las mismas. También se balancearon las cargas conectadas según los consumos de los equipos, para garantizar la vida útil de las baterías.

Respecto al monitor de autonomía se pensó en el momento de su diseño que este no debía interferir con el sistema eléctrico del vehículo, notamos que pasó a ser una herramienta más en el traslado, brindando información del estado del sistema que ayuda a la toma de decisiones ante eventuales imprevistos.

El registro de datos que realiza el monitor es información muy valiosa para el servicio técnico de mantenimiento, permitiendo detectar fallas y ayudando a la detección temprana de estas.

Proyección de Mejoras para el sistema:

- Instalar un módulo de comunicación GPRS y GPS para poder llevar un control del traslado pudiendo accionar una alerta en caso de ser necesario.
- También se pensó en agregar paneles solares en el techo del vehículo para cargar las baterías.
- Instalar un cargador inteligente de baterías para garantizar el llenado de las baterías antes de realizar traslados.

Capítulo 6: Literatura Citada.

Bibliografía

Guembe Zabaleta, San Martín Biurrun y Miqueleiz. (2016), Cálculo del estado de carga en baterías de plomo-ácido: diseño y validación experimental. Pamplona, España: Universidad Pública de Navarra.

Murdocca, R.M.(2011), Laboratorio de Interfaces, San Luis, Argentina: Universidad Nacional de San Luis.

Atorimo, Bortolin, Rodríguez, Farías y Rodríguez. (2009), Experimento con un sensor de efecto Hall, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de General Sarmiento.

Enlaces

Prysmian Group. (2017-2018). Catálogos Cables de Energías.
<https://ar.prysmiangroup.com/catalogos/cables-de-energia>

Energías renovables y limpias. (2012). Cálculo Sección cables en una instalación eléctrica. <https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/09/calculo-seccion-cables-instalacion-electrica>

PlanetCalc. (2014). Tiempo de descarga de batería dependiendo de la carga.
<https://es.planetcalc.com/2283/>

Smart Gauge Electronics. (2005-2008). Peukert's Equation.
<http://www.smartgauge.co.uk/peukert2>

Anexos

Anexo I – Imágenes del Proceso de Instalación en la Ambulancia.



Imagen 36 - Batería auxiliar-Inversor [33]

Prueba de ubicación del inversor y la segunda batería auxiliar en el habitáculo médico-paciente.



Se retiró el asiento del acompañante para la posterior instalación del aislador de cargas



Imagen 37 - Núcleo Ferrite [34]

Cada sensor de efecto hall, fue colocado dentro de un núcleo de ferrite para concentrar el campo magnético y mejorar la medición.

Se instalaron dos sensores de efecto hall uno para la corriente entrante y el otro para la corriente saliente, un sensor de temperatura y un divisor resistivo para cada batería.



Imagen 38 - Sensores Batería Aux2 [35]



Imagen 39 - Sensores Batería Aux1 [36]

Instalación del aislador de carga y colocación de sensores para la primera batería auxiliar bajo el asiento.

Monitor de autonomía con los sensores en la etapa de prueba antes de instalarlo.

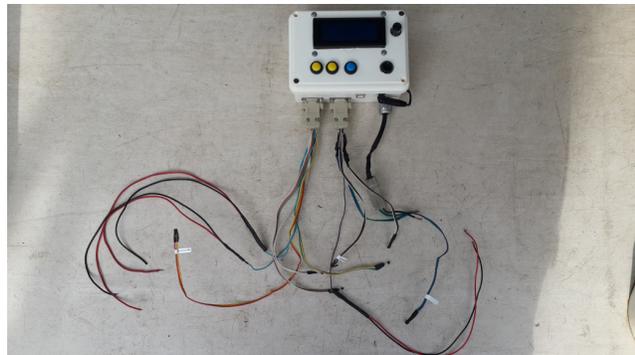


Imagen 40 - Monitor de Autonomía [37]



Imagen 41 - Monitor Instalado [38]

El monitor ya instalado en la pared posterior del asiento del acompañante.

Anexo II – Hojas de Datos

GUEST[®]**OWNER'S MANUAL
SINGLE INPUT 120A MAXIMUM BATTERY ISOLATORS**

| Models | Current Rating | No. of outputs |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 2530 | 120A | 2 |

IMPORTANT SAFETY INSTRUCTION

This manual contains important safety and wiring instructions for the isolator. Read the entire manual before using. Also read all instructions and cautions for the isolator, batteries and equipment in the vicinity of the batteries.

RISK OF EXPLOSIVE GASES! WORKING IN THE VICINITY OF LEAD ACID BATTERIES IS DANGEROUS. BATTERIES GENERATE EXPLOSIVE GASES DURING NORMAL OPERATION. THEREFORE IT IS OF THE UTMOST IMPORTANCE THAT WHEN INSTALLING THE ISOLATOR THESE INSTRUCTIONS ARE FOLLOWED.

Personal Safety Precautions

Adhere to the following personal safety precautions when installing or working with the isolators:

- Someone should be within voice range or close enough to come to your aid when you work near a lead-acid battery.
- Have plenty of fresh water and soap nearby in case battery acid contacts skin, clothing, or eyes.
- Wear complete eye protection and clothing protection. Avoid touching eyes while working near a battery.
- If battery acid contacts skin or clothing, wash them immediately with soap and water. If acid enters the eye, flood the eye with cold, running water for at least ten minutes and get medical attention.
- Never smoke or allow an open flame in the vicinity of the battery.
- Do not drop a metal tool onto the battery. It may short-circuit the battery, spark and may cause an explosion.
- Remove all personal metal items such as rings, bracelets, necklaces, and watches when working near a lead-acid battery. A battery can produce short circuit currents high enough to weld a ring or the like to metal, causing a severe burn.

Preparing to Charge Precautions

Before charging a battery, read the following precautions:

- If the battery or batteries must be removed from the product, always remove the grounded terminal from the battery first.
- Be sure the area around the battery is well ventilated while the battery is being charged. Gas can be forcefully blown away using a piece of cardboard or other non-metallic material as a "hand fan".
- Clean battery terminals. Be careful to keep corrosion from coming into contact with eyes.
- Add distilled water in each cell until battery acid reaches levels specified by the battery manufacturer, if applicable. Do not overfill. Check water levels frequently. For a battery without cell caps, carefully follow the manufacturer's recharging instructions.
- Never allow the charger battery connection ring terminals to touch each other.
- NEVER charge a frozen battery.

INTRODUCTION

The Guest Battery Isolators are specifically designed to efficiently utilize the energy produced by the alternator and distribute the power evenly to each battery.

The isolators are connected between the alternator(s) and the batteries. The difficulty in connecting the isolators is due to the large variety of alternator configurations. This manual illustrates the most common wiring configurations.

When installing a Guest Battery Isolator make sure the proper circuit breaker and wire sizes are utilized.

The Guest Battery Isolators are designed for alternator systems with negative ground and batteries of the same voltage level.

INSTALLATION**Choosing the Battery Isolator location**

The battery isolator should have at least eight inches of unobstructed area on all sides of the unit for effective cooling. The case of the battery isolator will become hot during operation. Because the battery isolator is convection cooled (airflow over the fins of the heat sink), the battery isolator **MUST** be mounted with the fins in the vertical position. Mounting on its back on a horizontal surface may cause the battery isolator to produce excessive heat. Do not install the battery isolator on carpeted, upholstered, or varnished surfaces.

Mounting the Battery Isolator

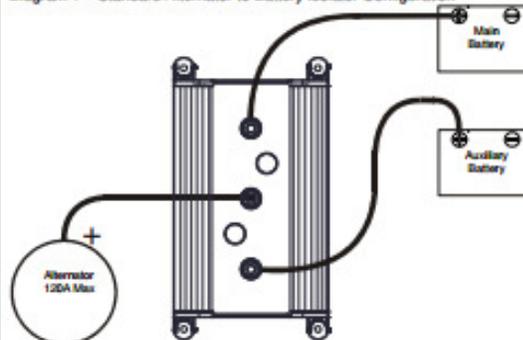
- Use corrosion resistant #10 sized screws or bolts, backed by a flat washer, and secured to the mounting surface with a split-ring lock washer.
- Hold the isolator to the mounting surface and mark the holes.
- Remove the isolator and drill the mounting holes.
- Align the isolator and assemble the mounting hardware secure.

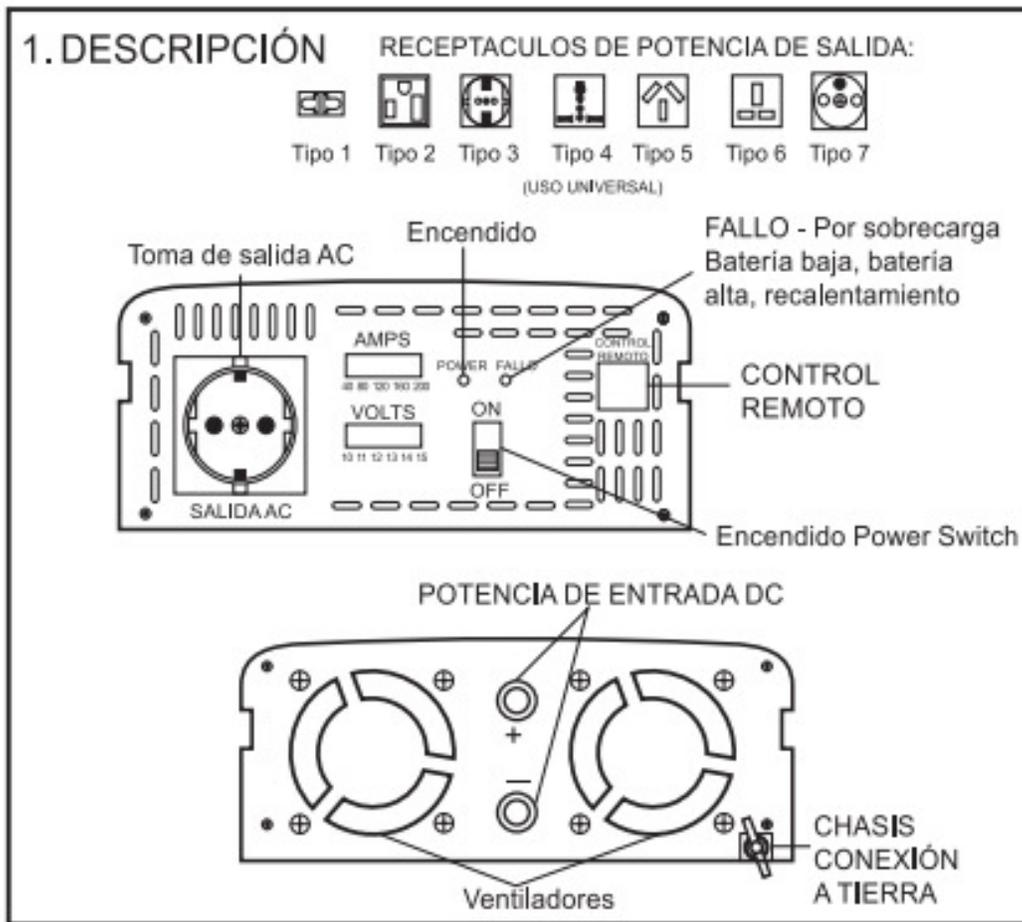
Wire Size

| Current Rating | Recommended Wire Size | | | |
|----------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 – 15ft | 15 – 20ft | 20 – 25ft | 25 – 30ft |
| 50 Amps | 10AWG | 10AWG | 8AWG | 8AWG |
| 70 Amps | 8AWG | 8AWG | 6AWG | 6AWG |
| 100 Amps | 8AWG | 6AWG | 6AWG | 4AWG |
| 120Amps | 4AWG | 4AWG | 2AWG | 2AWG |

Typical Wiring Configuration

Diagram 1 – Standard Alternator to Battery Isolator Configuration





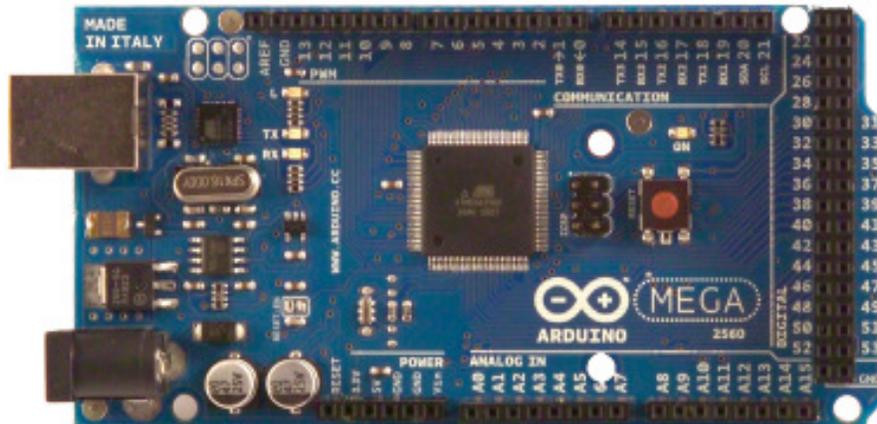
2. CONEXIONES

Conecte el cable rojo desde la terminal "+" (terminal roja) de la batería al borne de conexión "+" (conexión roja) del inversor y el cable negro desde la terminal "-" (terminal negra) de la batería al borne de conexión "-" (conexión negra) del inversor.

Asegúrese de ajustar los tornillos a fin de evitar fallas en la conexión.

Longitud de cable \leq 2m.

Arduino MEGA 2560



Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

| | |
|--|--------|
| Technical Specifications | Page 2 |
| How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials | Page 6 |
| Terms & Conditions | Page 7 |
| Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero® | Page 7 |



radiospares **RADIONICS**





MicroSD card module for Arduino (SKU:DFR0229)



Contents

- [1 Introduction](#)
- [2 Specification](#)
- [3 Tutorial](#)
 - [3.1 Diagram](#)
 - [3.2 Sample Code](#)
 - [3.3 Result](#)
- [4 Trouble shooting](#)

Introduction

This is a Micro SD(TF) module from DFRobot. It is compatible with TF SD card (commonly used in Mobile Phone) which is the most tiny card in the market. SD module has various applications such as data logger, audio, video, graphics. This module will greatly expand the capability an Arduino can do with their poor limited memory.

This module has SPI interface and 5V power supply which is compatible with Arduino UNO/Mega. The Pinout is fully compatible with DFRobot's IO Expansion Shield V5.

DS3231**Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal****General Description**

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

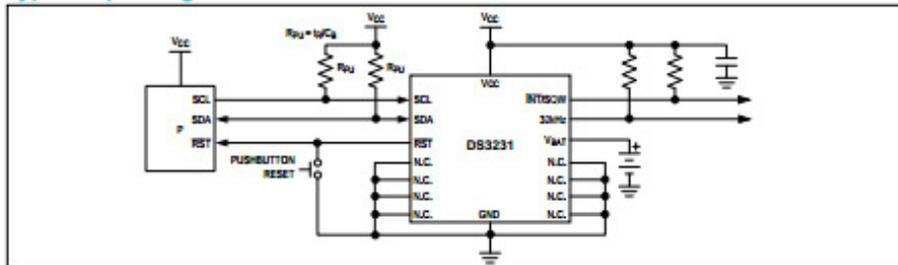
Benefits and Features

- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
 - Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: $\pm 3^\circ\text{C}$ Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit

Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.



MH481

Ratiometric Linear Hall Effect Sensors

MH481, a linear Hall-effect sensor, is composed of hall sensor, linear amplifier and emitter-follower output stage. The integrated circuitry features low noise output, which makes it unnecessary to use external filtering. It also includes thin film resistors to provide increased temperature stability and accuracy. These linear Hall sensors have an operating Temperature range of -40°C to +100°C, appropriate for commercial, consumer, and industrial environments.

The high sensitivity of Hall Effect sensor accurately tracks extremely small changes in magnetic flux density. The linear sourcing output voltage is set by the supply voltage and varies in proportion to the strength of the magnetic field. Typical operation current is 2.9 mA and operating voltage range is 3.0 volts to 6.5 volts.

MH481 is rated for operation between the ambient temperatures -40°C and 100°C for the E temperature range. The package style available provides magnetically optimized solutions for most applications. Package UA is a three-lead ultramini SIP for through-hole mounting.

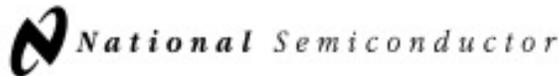
RoHS and Pb free/Green package has been qualified by third party lab.

Features and Benefits

- Operating Voltage Range: 3.0V-6.5V
- Power consumption of 2.9 mA at 5 Vdc for energy efficiency
- Low-Noise Operation
- Single current sourcing output
- Linear output for circuit design flexibility
- Thin film resistors for a stable and accurate output
- Responds to either positive or negative gauss
- Small Size
- Magnetically Optimized Package
- Cost competitive
- Robust ESD performance

Applications

- Current sensing
- Motor control
- Position sensing
- Magnetic code reading
- Rotary encoder
- Ferrous metal detector
- Vibration sensing
- Liquid level sensing
- Weight sensing



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in $^{\circ}$ Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ over a full -55 to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in $^{\circ}$ Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^{\circ}\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

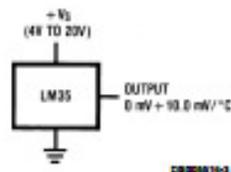
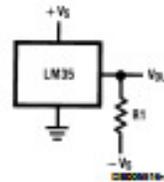


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor