

Estación de Carga de Bajo Coste para Vehículo Eléctrico

Una máquina expendedora de kWh que funciona con una moneda

Por Miguel Martín Ballbé (España)

La aceptación de los coches eléctricos parece estar entorpecida por una ausencia general de estaciones donde poder cargar nuestras baterías de la misma forma que repostamos en una gasolinera, pero llevándonos algo más de tiempo, por supuesto. Presentamos aquí un diseño de una máquina expendedora de energía eléctrica que funciona con monedas. Está basada en un PIC y el programa ha sido desarrollado con Flowcode.



Hasta hace poco, la introducción extendida de los Vehículos Eléctricos (VE) como opción mayoritaria se encontraba con dos obstáculos principales. El primero de ellos era su alto precio (Tesla Roadster: 100 k\$; Mini-e: 50 k\$; Reva Microcar: 12 k€) que no conseguía inclinar la balanza frente al coste mucho más bajo de un vehículo ICE (internal combustion engine, es decir, motor de combustión interna). El otro problema está relacionado con la autonomía de los VE's (valor típico 100 km / 60 millas), comparado con los vehículos ICE y la necesidad de una toma de corriente AC para cargar las baterías. Este último problema es el más serio (nadie se quiere encontrar con las baterías vacías durante el viaje diario al trabajo. Sin embargo hay algunas cosas a considerar:

1. La distancia diaria al trabajo (de casa al trabajo) es, normalmente, menos de 60 km.

2. (Casi) en cualquier sitio hay tomas de tensión AC, muchas más que estaciones de servicio.
3. El coste por kilómetro está en torno a un tercio comparado con el del ICE, ya que las prestaciones de un motor eléctrico están en torno al 85% mientras que las de un ICE están en torno al 30%, donde la mayor parte de energía se disipa como calor en los gases de escape, radiador, embrague, caja de cambios y frenos.

La instalación de tomas de energía AC públicas cerca de (o en) las plazas de aparcamiento, sería relativamente simple y, aparentemente, sólo requeriría una pequeña inversión. Las estaciones de carga para los VE podrían ser instaladas en o cerca de lugares como restaurantes, centros comerciales, áreas de servicio de las autopistas, zonas de aparcamiento municipales, estaciones de trenes,...

Por ejemplo, hay grandes centros comerciales con aparcamientos en los sótanos. El interés de los propietarios en la instalación de estaciones de carga para los VE no debería ser el ingreso en caja inmediato de dinero, sino el tiempo que los propietarios de los VE tendrían que gastar mientras están cargando («compra mientras cargas»). Básicamente, el mismo ejemplo se aplicaría a los restaurantes, estaciones de servicio y cines en las carreteras, que están dotados de sus propias zonas de aparcamiento.

Pero la energía tiene que pagarse y es aquí donde el coste efectivo de la Estación de Carga para VE puede ser muy útil. Para establecer una Estación de Carga para VE que funcione con monedas (o fichas), todo lo que necesitamos es una simple y pequeña moneda unida con la que un conmutador se cierra brevemente con cada moneda de euro (libras/dólar) aceptada. A continuación, un circuito

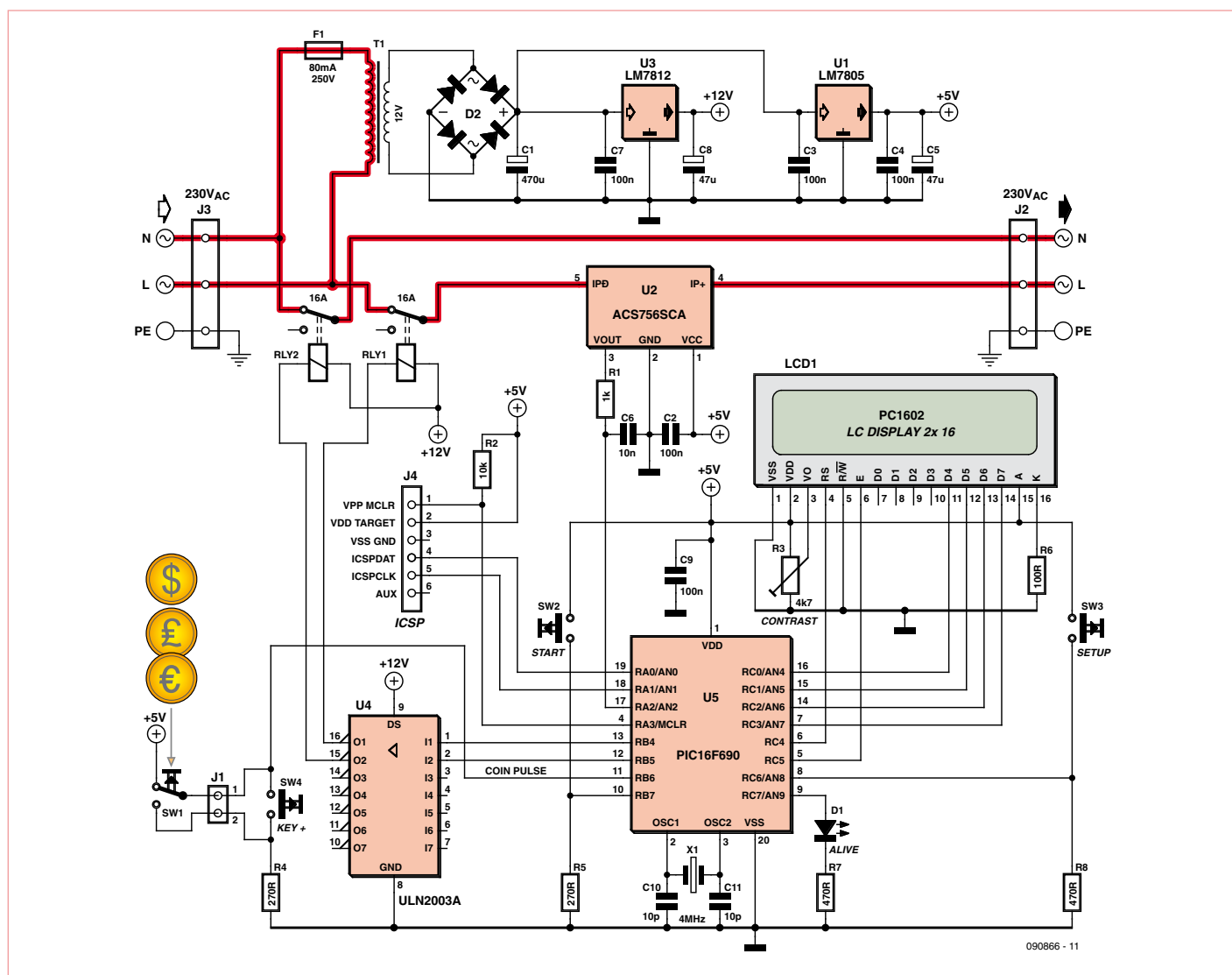


Figura1. Esquema eléctrico de la Estación de Carga para el VE. Hay que tener cuidado con todas las líneas componentes y conexiones que transporten tensión AC. Estos elementos están resaltados en rojo.

debería comenzar a medir el flujo de corriente, calcular la energía «vendida» en kWh, y cortar el suministro de energía de acuerdo a la relación establecida (por nosotros).

Requerimientos de diseño

Para permitir el uso de una máquina expendedora estándar que funcione con monedas, el sistema tiene que ser capaz de medir el flujo de corriente AC cuando un VE está siendo cargado. El sistema encenderá el cargador después de que, al menos, se haya insertado una moneda y contará el número total de monedas para calcular la energía equivalente en kWh que tiene que suministrar al cliente. Midiendo el flujo medio de corriente por segundo, el sistema puede calcular la cantidad de energía (en kWh) proporcionada al VE (el kWh es la unidad estándar en el recibo de electricidad).

El sistema desconectará el cargador cuando la energía suministrada sea igual a la cantidad pagada con las monedas insertadas.

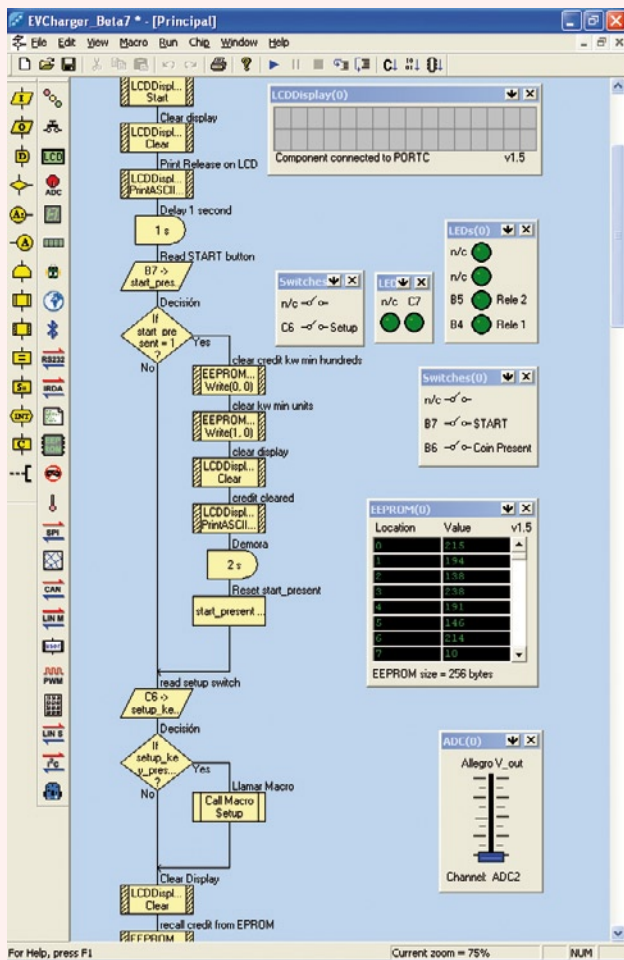
Descripción del circuito

Echemos una ojeada al esquema eléctrico de la **Figura 1**. Cuando está presente la tensión AC, una fuente de alimentación clásica, basada en los reguladores 7812 y 7805, proporcionará unas tensiones de 12 V y 5 V DC. La tensión de 12 V es usada para activar las bobinas de los relés RL1 y RL2. En cuanto está presente la tensión de 5 VDC, el PIC comienza a ejecutar su programa. Debe haber un pequeño retraso proporcionado por «POWERUPtiMeR» y que estaría establecido en la configuración del «BIT». Una vez que el cliente inserta las monedas y pulsa sobre el botón «START» (SW2), el PIC coloca sus salidas RB4 y RB5 a nivel alto, lo

que provoca que las dos etapas controladoras del ULN2003 lleven sus salidas del colector abierto a masa, provocando que los relés se activen.

El Allegro ACS756SCA (U2) mide el flujo de corriente hacia el VE y genera una señal V_{out} que es proporcional al paso de corriente instantánea efectiva proveniente de la toma de corriente AC a la que está conectado el VE. La MCU, un PIC16F690 (U5), controla la energía que pasa hacia el VE y actualiza la pantalla para mostrar al usuario la cantidad de energía que ha «cargado» en el VE. Cuando la energía suministrada alcanza el valor que hemos pagado, el PIC desactiva el relé y vuelve a su estado inicial. La resistencia en serie con el diodo LED de retro-iluminación de la pantalla LCD, mantienen la corriente de reposo baja y reduce el coste reduciendo la luz de salida. El con-

Las macros de Flowcode



Suponiendo que tenemos un VE que se está cargando a 10 Arms y que la corriente tiene forma senoidal (¡dependiente en gran medida de la carga!), tenemos que $I_{\max} = 10\sqrt{2} = 14.14$ A.

El dispositivo de Allegro $V_{\text{out}} = 2.5 \text{ V} \pm (40 \text{ mV} \times 14.14 \text{ A}) = 3.0656 \text{ V max.}$ ($= 627 \text{ ADC}$) y 1.934 V min. ($= 396 \text{ ADC}$) (debido a la dirección alterna del flujo de corriente).

Peak_V_out_ADC: $\text{ADC}(V_{\max}) - \text{ADC}(V_{\min}) = 627 - 396 = 231 \text{ ADC}$, esto nos da la amplitud de la componente AC en V_{out} .

Multiplicamos la escala x10 para una mejor resolución: (PIC de 8-bits: ¡cálculos limitados!)

$\text{Peak_V}_{\text{out_ADC}} = \text{Peak_V}_{\text{out_ADC}} \times 10 = 231 \text{ ADC} \times 10 = 2310$ (integer).

$\text{Peak_V}_{\text{out_mV}} = (\text{Peak_V}_{\text{out_ADC}} / 1024) \times 500 = (23100 / 1024) \times 50 = 1127$

$231 \text{ ADC} = 1.127 \text{ V} = 1127 \text{ mV}$

$\text{Peak_current_A} = \text{Peak_V}_{\text{out_mV}} / 40$. $\text{Peak_current} = 1127 \text{ mV} / 40 \text{ mV} = 28 \text{ A}$ ($= 14 + 14 \text{ A}$)

$\text{Peak_current_A} = \text{Peak_current_A} / 2$, es decir, $28 / 2 = 14 \text{ A}$

Multiplicamos la escala x10 para una mejor resolución:

$\text{Peak_current_A} = \text{Peak_current_A} \times 1000 = 14000$

$\text{RMS_current} = \text{Peak_current_A} / 141 = 14000 / 141 = 99$ (9.9 A)

$14 / 1.41 = 9.9 \text{ A}_{\text{rms}} = I_{\text{rms}}$

Esto nos lleva a que hay que multiplicar la corriente RMS por 10 para una precisión mejor.

La macro 'segundo'

Calcula la corriente RMS y genera el valor kW/min:

- $\text{Peak_current_ADC} = \text{ADC}(V_{\max}) - \text{ADC}(V_{\min})$

sumo de corriente del propio circuito está en torno a los 30 mA (con una entrada de 12 V) en el modo de reposo y de unos 150 mA cuando el sistema está cargando.

Programa y cálculos

Se ha utilizado Flowcode V3 para PIC Micros para desarrollar, simular y compilar el programa. El fichero .fcf está disponible gratuitamente en la página web de Elektor.

La Macro "Main", que está resumida más abajo, hace lo siguiente:

- Presenta la versión en la pantalla LCD.
- Si se presiona el botón START se pone a cero el valor del crédito almacenado en la memoria EEPROM (esto permite al propietario borrar el crédito que queda).
- Copia el valor del crédito almacenado en la memoria EEPROM. Esto permite recuperar la carga en el caso de un fallo de alimentación, haciendo una llamada al dato del crédito almacenado.

- Presenta en pantalla el mensaje «introduzca moneda y presione START».
- Lee el conmutador de entrada de moneda desde el circuito de validación de moneda.

El crédito del cliente se almacena con cada moneda. Cuando el cliente ha insertado las monedas y conectado el VE, puede pulsar el botón START y el relé se cierra. Incluso la persona menos dotada debe ser capaz de hacer esto.

$\text{Crédito} = \text{moneda crédito} \times 6 \times 60$. Es decir, 6 kWh; aunque la unidad interna está en kWmin (1 kWh = 60 kWmin).

Si $\text{crédito} > 0$, START comienza a cargar después de 30 segundos, incluso sin que el usuario presione el botón START. Este es el proceso que restablece la carga en el caso de fallo de tensión de red.

El programa tiene un bucle que realiza 2000 (o "número de calibración") medidas de la señal V_{out} desde el sensor de corriente. El valor leído será comparado y los valores



- Peak_Vout: (convierte desde ADC a mV)
- Delta_current: Peak_mV/40
- RMS_current: Delta_current/2
- Reinicia valores min. max. a 512 (prepara para el próximo ciclo de medida)

Calcula los W/s:

- W/s: RMS_current(Amps) x 230 V (o tensión de red AC definida en la macro 'setup')
- instead W_s= RMS_current x 23 = 99 x 23 = 2277 W/s (RMS_current es multiplicada x10)

Muestra en pantalla LCD RMS_current (dividido por 10) y el crédito restante en kW/min.

(Además) de contar en kW/min da al cargador una indicación de 'llenando combustible' de modo que podemos ver el crédito inicial decreciendo lentamente. Recuerda, 1 kWh = 3.6x10⁶ Ws = 60 kWmin.

Calcula los W/s

- Carry_W/s= W/s + Carry_W/s
- if carry_W/s >60000 then kWmin= kWmin+1; and carry_W/s= carry_W/s - 60000
- if kWmin >= 6 then subtract 1100 Wh from credit and set kWmin = 0
- Credit= credit - 1
- then go to macro 'update LCD'
- return

Compara el crédito:

- IF credit <=0 then switch relay off and goto init.
- return

Supongamos que el VE consume 10 A, y el usuario ha pagado tan sólo 6 kWh, es decir, 360 kWmin.

$$\text{power} = 10 \text{ A} \times 230 \text{ V} = 2.3 \text{ kW}$$

$$\text{time} = 1/2.3 \text{ kWh} = 0.434 \text{ horas} = 26 \text{ minutos. (Es decir, se transfiere 1 kWh cada 26 minutos)}$$

El sistema mide la Irms cada segundo. Irms = 10 A

$$\text{Power} = \text{Irms} \times 230 \text{ V} = 2300 \text{ Ws}$$

$$\text{carry_W/s alcanzará el valor } 60.000 \text{ cada } 26 \text{ segundos } (60000 \text{ Ws} / 2300 \text{ Ws} = 26)$$

$$60000 \text{ Ws} = 1 \text{ kWmin y } 60 \text{ kWmin} = 1 \text{ kWh}$$

Cada 26 segundos el valor de los kWmin disminuirá en una unidad, para 360 conteos hacia atrás.

Después de 360 x 26 segundos = 9360 segundos = 156 minutos (compra finalizada ☺), el relé se desactivará.

La macro de 'set-up'

Se proporciona una herramienta de configuración para permitir al propietario ajustar el sistema a la tensión de red presente en la instalación para calibrar el conteo de energía y cambiar el precio de venta del kWh.

Se entra al "Set-up" cuando el sistema arranca, mientras se tiene pulsado el botón "setup".

El conmutador "Coin" actúa como '+'; "Setup" actúa como '-'; "Start" actúa como 'confirm'.

La tensión AC de rejilla, el precio y la calibración se almacenan en la memoria EEPROM para su uso en la macro 'main'.

La macro 'finish'

Borra la pantalla LCD y desactiva los relés.



max. y min. serán salvados en memoria. La salida del ACS756SCA es lineal, dependiendo del flujo de corriente, de manera que conociendo V_{out}, podemos conocer el valor instantáneo de la corriente (IP).

La señal V_{out} de Allegro es V_{cc}/2 cuando I_p = 0. En términos del convertidor A/D (de 10-bits), es igual a 1024/2 = 512 ADC, ya que V_{cc} = 5 V = 1024 ADC. La corriente es en alterna (AC) y la sensibilidad es 40 mV/A.

La corriente I_{rms} es medida y calculada de la fórmula: I_{rms} = I_{peak} / 2√2.

En el apartado correspondiente podemos encontrar una breve explicación de la macro "main" y del resto de macros, incluyendo varios cálculos realizados por el sistema. Es posible que nuestros lectores prefieran dirigirse al programa Flowcode, en el fichero **090866-11.zip**, para poder ser capaces de seguir el uso de algunas etiquetas.

«Para no olvidarnos», estos son los bits de configuración del PIC: XT, WDT-OFF,

POWUPTMR-ON, MCLR-External. La señal de reloj "Fail-Safe" está habilitada. Se usa un cristal de cuarzo de 4 MHz.

Primer arranque

La primera vez que el sistema se arranca, los datos de la memoria EEPROM no son consistentes, mostrando unos valores de crédito bastante extraños. Para solventar esto, bastará con que arranquemos el sistema con el botón START presionado. La pantalla nos mostrará el mensaje 'credit cleared' ("crédito borrado"). A continuación, se ejecuta la macro SETUP que cargará los valores correctos en las distintas variables. Esto se hace encendiendo el sistema pero manteniendo pulsado esta vez el botón "SETUP". Se muestran algunas instrucciones de cómo se comporta el conmutador "COIN" que actúa como la tecla "+", de la misma manera que "SETUP" se comporta como "-" y "START" se usa para confirmar nuestra selección.



En primer lugar, el sistema nos pregunta por la configuración de la tensión de red. Podemos pulsar las teclas para incrementar o disminuir la tensión de red AC. El valor inicial es de 230 VAC. Seleccionaremos el valor real de nuestra zona, no el valor nominal.

En segundo lugar, introduciremos el valor de calibración. Disminuyéndolo hace que el sistema calcule más rápido.

Por último, el precio de venta se ajusta estableciendo el número de kWh que se suministran por unidad de moneda.

¡Ejemplo!

Condiciones de prueba: Monitor de energía Velleman, entrada 230 VAC, aunque sólo se suministrarán 220 VAC cuando esté cargado con un calentador de 1400 W. Crédito igual a 6 kWh, mostrando en pantalla 360 kWhmin. El monitor muestra el consumo de 0.0 kWh. Valor de calibración por defecto: 2000. Carga conectada (calentador de 1400 W), 6 A detectados tanto en el equipo Velleman como en el Cargador del VE. Después de aproximadamente 46 minutos, el Monitor de Energía Velleman cambiará su medida de 0,9 a 1,0 kWh. El crédito en el Cargador del VE era de 302 kWhmin. Fin de la prueba.

Así pues, el Cargador del VE ha contado 58 kWhmin en lugar de 60 kWhmin. Partiendo de que $1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ W/s}$, tenemos que $58 \text{ kWhmin} = 3.480.000 \text{ Ws}$ y, en consecuencia, ha habido una diferencia en el conteo de 120.000 W/s . Lo que da como resultado que la macro "segundo" ha calculado un periodo de tiempo demasiado largo. Con la relación $3.600.000/3.480.000 = 1,034$

sólo tenemos una aproximación, ya que el periodo de llamada a la macro "segundo" de 34 ms es demasiado largo. Por lo tanto, si obtenemos 1,034 s con un valor de calibración de "2000", alcanzaremos una calibración de 1 segundo con un valor de calibración de $2000/1,034 = 1933$, que es el valor de calibración que se requiere.

Consideraciones finales e ideas

Mirando los diferentes tipos de VE, la carga típica de un escúter eléctrico, en kWh, es: $48 \text{ V} \times 60 \text{ Ah} = 2,88 \text{ kWh}$. La carga de un coche eléctrico es mucho más larga y llega hasta los 30 kWh para, por ejemplo, el BMW Mini-e AC Propulsion, o el Tesla Roadster. El ElektorWheelie, cargará: $24 \text{ V} \times 9 \text{ Ah} = 216 \text{ Wh}$ que, con las tarifas actuales, la recarga costará 3 céntimos de euro (suponiendo que 1 € da para 33 unidades de recarga). Un escúter eléctrico sólo tardará una hora en su recarga, mientras que un coche puede tardar hasta 8 horas.

El uso de un sensor de corriente Allegro está inspirado en el artículo *ElektorWheelie*. El dispositivo 756ACS, aunque es bidireccional, es más adecuado para aplicaciones en AC. El componente viene calibrado de fábrica y una comparación de lecturas frente unas pinzas de corriente Fluke de alta gama, proporciona idénticos resultados.

Futuras funcionalidades incluyen mejoras en la desconexión de los relés cuando el crédito es cero. Primero verificar la I_{RMS} y, si la corriente es aún grande, digamos superior a 4 A, cambia el relé cuando la corriente alcanza su paso por cero. Esto implica que los retardos en el relé, el controlador y

la MCU deben ser tenidos en cuenta. Por último, me gustaría ver un medidor de tensión de línea AC incluido en el proyecto para asegurar que los cálculos de energía son fiables, tanto para el vendedor como para el cliente.

(090866)

Algunas páginas web de interés

<http://www.e-max-scooter.com>

<http://evworld.com/index.cfm>

http://fadisel.es/vending-cebek/coins-selector_P_325.aspx

<http://www.abberfield.com.au/a/60.html>

Seguridad Eléctrica

El circuito está conectado a una toma de tensión de red AC y no constituye un dispositivo de aislamiento entre la red AC y la carga. En consecuencia, **se deben observar todas las precauciones de seguridad eléctrica relevantes para equipos que transportan y llevan tensiones AC cuando construimos y usamos este proyecto**. Esto no debe tomarse a la ligera y, a modo de ayuda, se han marcado en rojo las zonas afectadas del esquema eléctrico. Estas zonas indican conexiones que trabajen con tensiones AC y requieren el correspondiente aislamiento. Los constructores también deben observar las correspondientes "medidas de seguridad para la carga" proporcionadas por el fabricante de cualquier VE conectado a las mismas.

Es obligatorio instalar las tomas de tierra adecuadas para su uso externo, así como indicadores de corriente externos. El artículo "Regulador para camping" de Elektor de junio 2009, es un complemento ideal para las líneas de tensión de red con una carga de 10 A o menos.

Todos los conectores, cables, cableado y demás accesorios, usados en o junto con el Cargador para VE, deben ser seleccionados y aprobados para su uso en el exterior. Esta unidad debe ser montada dentro de un embalaje rugerizado que cumpla con las normas, locales y nacionales, que regulan la seguridad eléctrica. Lo mismo sucede para el sistema de validación de moneda.

Por último, los principiantes deben solicitar la asistencia de un electricista cualificado cuando construyan este proyecto.

La célula de combustible Aire y Agua por petróleo



C-7II2 Solar Hydrogen Education kit

Produce a escala con elementos y **funcionamiento real** el proceso de la célula de combustible reversible. La obtención de electricidad a partir de hidrógeno y oxígeno, así como la producción y almacenamiento de hidrógeno a partir del agua.

Especialmente indicado para educación en aulas o auto-aprendizaje.

Herramienta económica, óptima y creativa, de construcción simple y manual detallado.

Contiene panel solar fotovoltaico, célula de combustible reversible, depósitos de hidrógeno y oxígeno, tubos, conexiones eléctricas y manual paso a paso. Solo requiere agua destilada.

C-7II5 Wind Hydrogen Education kit

Proceso y **funcionamiento real**. Permite inventar y combinar libremente diferentes aplicaciones con energías limpias usando la célula de combustible y el aerogenerador.

Especialmente indicado para potenciar la creatividad en el aula. Los alumnos o usuarios pueden desarrollar su propio combustible libre de carbono en un proceso natural y divertido de auto-aprendizaje.

Contiene un auténtico aerogenerador, célula de combustible reversible, depósitos, conexiones y manual detallado. Solo requiere agua destilada y 2 pilas AA en algunos experimentos.



C-7II0 Hydrocar

Auténtico coche de hidrógeno con funcionamiento real. Mientras dispone de hidrógeno se mantiene en movimiento, sorteando los obstáculos y emitiendo luz azul durante la circulación. Cuando el hidrógeno se agota, puede auto-recargarse realizando la función inversa sobre la célula de combustible.

Especialmente indicado para experimentación, auto-aprendizaje y demostraciones de la tecnología de la célula de combustible sobre vehículos.

El kit se compone de las piezas del vehículo, célula de combustible reversible, depósitos, conexiones, panel solar y manual detallado. Solo requiere agua destilada y 2 pilas AA en algunos experimentos.