

CARGADOR DE PAQUETES DE BATERÍAS DE NIMH DE 24V, 10AH PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

ANEXOS

ANEXO I: DISEÑO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

Fuente Flyback

Datos Iniciales

Entrada de red:

$$Vac_{\text{máx}} := 260\text{V}$$

$$Vac_{\text{mín}} := 180\text{V}$$

$$f_{\text{in}} := 50\text{Hz}$$

Salida:

$$Vo1 := 34\text{V}$$

$$Io1 := 4\text{A}$$

$$fs := 100\cdot\text{kHz}$$

$$riz_{\text{Vo1}} := 1\text{V}$$

Circuito de bias:

$$Vb := 15\text{V}$$

$$riz_{\text{Vb}} := 100\text{mV}$$

$$rend := 0.78$$

$$Kesr := 151\mu\text{F}\cdot\text{ohm}$$

$$riz_{\text{Vp}} := 0.41\cdot Vac_{\text{mín}} = 73.8\text{V}$$

Cálculos previos

$$Po := Vo1 \cdot Io1 = 136\text{W}$$

$$Pdc := \frac{Po}{rend} = 174.359\text{W}$$

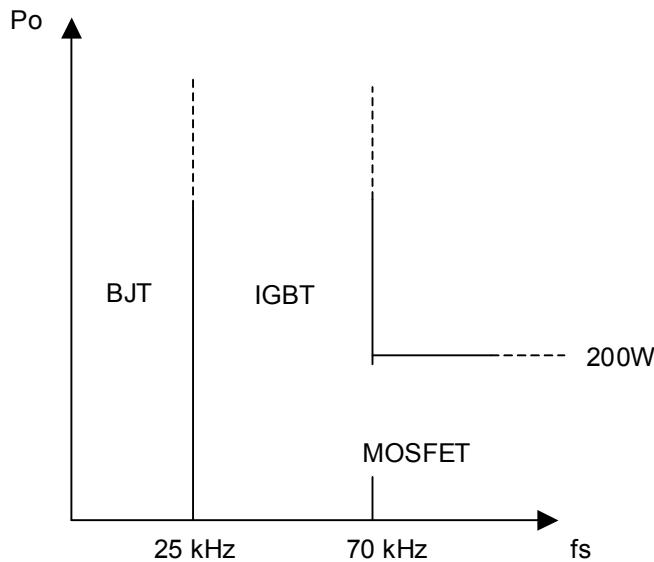
$$Vdc_{\text{máx}} := Vac_{\text{máx}} \cdot \sqrt{2} = 367.696\text{V}$$

$$Vdc_{\text{mín}} := Vac_{\text{mín}} \cdot \sqrt{2} = 254.558\text{V}$$

$$Idc_{\text{máx}} := \frac{Pdc}{Vdc_{\text{mín}}} = 0.685\text{A}$$

$$Idc_{\text{mín}} := \frac{Pdc}{Vdc_{\text{máx}}} = 0.474\text{A}$$

Selección del transistor



Transistor MOSFET

Transistor seleccionado

$$V_{DS\text{ máx}} := 800V$$

Transistor MOSFET 800V, 17A,
 $R_{on} = 0.295\text{ohm}$ $R_{\theta jc} = 0.66^{\circ}\text{C/W}$, $R_{\theta ja} = 50^{\circ}\text{C/W}$

Utilizo el método del an16 de Power Int para calcular el Dmax.

$$V_{ds\text{ on}} := 10V$$

$$V_{or} := 135V$$

Vor: Tension reflejada. Esta tensión la suponemos nosotros de este valor, aunque más abajo, en la zona de selección del clamp hay una fórmula que confirma este valor. Ahora no tenemos datos suficientes para realizar el cálculo.

Fórmulas si el clamp fuera diodo y zener:

$$V_{clo} := 1.5 \cdot Vor = 202.5 V$$

V_{clo} : Tensión clamp del Zener a baja I y baja T^a .

$$V_{clm} := 1.4 \cdot V_{clo} = 283.5 V$$

V_{clm} : Tensión clamp del Zener a alta I y alta T^a .

$$V_{drain} := V_{dc\text{ máx}} + (1.4 \cdot 1.5 \cdot Vor) + 20V = 671.196 V$$

Tensión sobredimensionada que soportará el transistor.

Selección del transistor

$$Ts := \frac{1}{fs}$$

$$D_{\max} := \frac{V_{or}}{V_{or} + (V_{dc_mín} - V_{ds_on})} = 0.356$$

D<0'5, Modo discontinuo.

$$ton_{\max} := Ts \cdot D_{\max} \quad ton_{\max} = 3.557 \cdot \mu s$$

$$V_{sw} = V_d + [N1/N2] \cdot V_o = V_d / [1 - D_{\max}]$$

I_{i_piko} es lo mismo que $I_{Ld_máx}$. Está relacionada con $V_{i_mín}$.

Tenemos diferentes fórmulas para sacar la corriente de pico por el primario.

$$I_{i_piko} := \frac{5.5 \cdot P_{dc}}{V_{dc_mín}} = 3.767 \text{ A}$$

$$I_{pk} := I_{dc_máx} \cdot \frac{2}{D_{\max}} = 3.852 \text{ A}$$

$$L_{d2} := \frac{V_{dc_mín} \cdot D_{\max}}{I_{pk} \cdot fs} = 235.077 \cdot \mu H$$

Por último la fórmula de este diseño:

$$I_{Ld_máx} := 5.5 I_{dc_máx} = 3.767 \text{ A}$$

El caso límite de conducción discontinua ocurre cuando se trabaja con D_{\max} , debido a que la tensión de la entrada es mínima,

$$V_{ac_mín} = 180 \text{ V} .$$

El valor de la inductancia del primario debería de tener este valor:

$$L_d := \frac{(V_{dc_mín} \cdot ton_{\max})}{I_{Ld_máx}} = 240.338 \cdot \mu H$$

Especificaciones de la bobina

$$\alpha_{Cu} := 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{K}$$

Coeficiente de temperatura relacionado con la resistividad.
<http://personales.upv.es/jquiles/prffi/corriente/ayuda/hlpresistividad.htm>

Resistividad del Cu a 20°C = 0.0172 ohm*mm²/m

$$f(\Delta t) := 0.0172 \cdot (1 + \alpha_{Cu} \cdot \Delta t) \cdot \frac{\text{ohm} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

α es el coeficiente de resistencia térmico.

$$\sigma := \frac{1}{f(80K)} \quad \sigma = 4.326 \times 10^7 \cdot \frac{\text{mho}}{\text{m}}$$

Ferrita 3C85

B_{sat} := 3000G

$$J_{rms1} := 5 \times 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

Densidad de corriente de los conductores.

K_{Cu} := 0.45

Factor de llenado de los conductores: 0.3 - 0.6

$$\mu_0 := 1 \cdot \frac{\text{G}}{\text{Oe}}$$

Ld1 := 230μH

ka := 1

Excitación unidireccional con onda cuadrada

ka = kv(rms)/2

$$AwAc := \frac{Pdc}{ka \cdot K_{Cu} \cdot J_{rms1} \cdot fs \cdot B_{sat}} = 2.583 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$$

Especificaciones de la bobina

Núcleo elegido

Datos del núcleo elegido E30/15/7 (FERROXCUBE) Ferrita tipo 3C80

$$Ac := 60 \text{ mm}^2 \quad \text{Área de la sección del núcleo.}$$

$$\text{Altura} := 9.7 \text{ mm}$$

$$\text{Anchura} := 19.5 \text{ mm} - 7.2 \text{ mm} = 12.3 \cdot \text{mm}$$

$$Aw := \text{Altura} \cdot 2 \cdot \frac{(\text{Anchura})}{2} = 119.31 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Área de la ventana de devanados.}$$

$$Ac \cdot Aw = 7.159 \times 10^3 \cdot \text{mm}^4$$

$$GG := \text{Altura} \cdot 2 = 19.4 \cdot \text{mm}$$

GG es la altura del nucleo central multiplicado por 2.

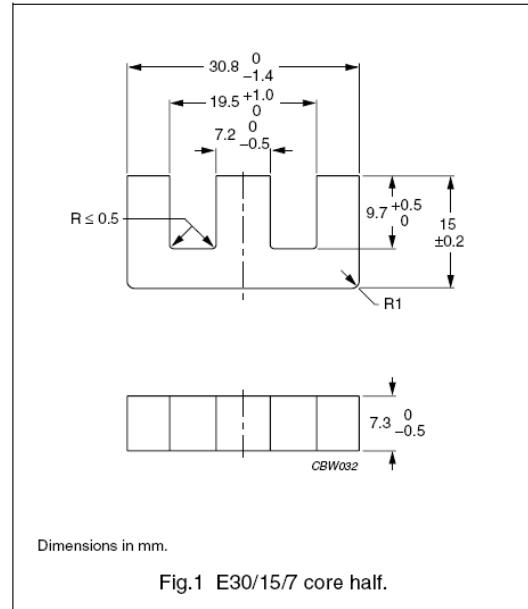
$$\sqrt{Ac} = 0.775 \cdot \text{cm} \quad J_{\text{rms}} := 5.8 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Núcleo elegido

CORE SETS

Effective core parameters

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$\Sigma(l/A)$	core factor (C1)	1.12	mm^{-1}
V_e	effective volume	4000	mm^3
l_e	effective length	67.0	mm
A_e	effective area	60.0	mm^2
A_{\min}	minimum area	49.0	mm^2
m	mass of core half	≈ 11	g



Entrehierro ε

Calculamos el flujo que se genera = B.

$$B := \frac{Ld1 \cdot l_{Ld_máx}}{50 \cdot Ac} = 0.289 \text{ T}$$

Aquí se realiza un proceso iterativo con el número de espiras del primario. $Np1 = 50$.

Comparamos B con el flujo maximo para no saturar el nucleo.

$$B < B_{\text{sat}} = 1$$

0 = Nucleo saturado.

$$\varepsilon := \frac{\mu_0 \cdot Ld1 \cdot l_{Ld_máx}^2}{Ac \cdot B^2} = 0.82 \cdot \text{mm}$$

Seleccion $\varepsilon1 := 1 \text{ mm}$ Elijo este valor de entrehierro.

$$B_{\text{comp}} := \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot Ld1 \cdot l_{Ld_máx}^2}{Ac \cdot \varepsilon1}} = 0.261 \text{ T}$$

Con entrehierro de 1mm no superamos el flujo máximo.
Nucleo OK.

$$B_{\text{comp}} < B_{\text{sat}} = 1$$

Cálculo del número de espiras

$$Kf := 1 + \frac{\epsilon_1}{Ac} \cdot \ln\left(2 \cdot \frac{GG}{\epsilon_1}\right) = 1.472$$

Kf es el factor de dispersión para núcleos **E**.

Número de espiras

$$Np1 := \sqrt{\frac{Ld1 \cdot \epsilon_1}{Kf \cdot \mu_0 \cdot Ac}} = 45.518$$

$$Np3 := \frac{Ld1 \cdot Ipk}{Ac \cdot B} = 51.119$$

$Np3$ es el numero minimo de espiras.

Otra forma de cálculo es a partir de los datos del fabricante con ϵ correspondiente

$$AL := 0.1\mu H$$

$$Np2 := \sqrt{\frac{Ld1}{AL}} = 47.958$$

Seleccion $Np := 50$

$$Vdiodo := 1V$$

$$Ns2 := Np \cdot \frac{(Vo1 + Vdiodo) \cdot (1 - D_{máx})}{D_{máx} \cdot (Vdc_{mín})} = 12.454$$

Seleccion $Ns := 13$

$$Nb1 := Np \cdot \frac{(Vb + Vdiodo) \cdot (1 - D_{máx})}{Vdc_{mín} \cdot D_{máx}} = 5.693$$

Seleccion $Nb := 6$

Cálculo del número de espiras

Cálculo de las inductancias

Relaciones de transformación para simulación Spice

$$\frac{N_p}{N_s} = 3.846$$

$$L_p := L_{d1} = 230 \cdot \mu H$$

$$L_{s1} := \frac{L_p}{\left(\frac{N_p}{N_s}\right)^2} = 15.548 \cdot \mu H$$

$$L_s := 16 \mu H$$

La inductancia de fuga se asume que es un 2% de la inductancia del primario:

$$L_{b1} := \frac{L_p}{\left(\frac{N_p}{N_b}\right)^2} = 3.312 \cdot \mu H$$

$$L_{fuga} := 0.02 \cdot L_p = 4.6 \cdot \mu H$$

$$L_b := 4 \mu H$$

Cálculo de las inductancias

Información del devanado primario

$$I_{Ld_rms} := \frac{I_{Ld_máx}}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{ton_máx}{Ts}} = 1.297 \text{ A}$$

$$A_{Cu_p} := \frac{I_{Ld_rms}}{J_{rms}} = 0.224 \cdot \text{mm}^2$$

Área del conductor primario.

$$d_{p1} := \sqrt{\frac{(4 \cdot A_{Cu_p})}{\pi}} = 0.534 \cdot \text{mm}$$

Diámetro del primario.

Profundidad de penetración

$$\delta := \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f_s \cdot \mu_0 \cdot \sigma}} = 0.242 \cdot \text{mm}$$

Como criterio de diseño, para saber que no tenemos efecto pelicular el radio tiene que ser menor que la profundidad.

Si es igual a 0, tenemos efecto skin.

$$\frac{d_{p1}}{2} = 0.267 \cdot \text{mm}$$

$$\frac{d_{p1}}{2} < \delta = 0$$

Si no cumple, hay que aumentar el número de conductores.

Al estar al límite hay que mirar si aumentamos el número de conductores disminuyendo, por lo tanto, la sección de estos.

También tenemos que comprobar que el área ocupada con estos conductores es menor al área disponible en el núcleo.

$$A_{ocupada} := \frac{N_p \cdot A_{Cu_p}}{K_{Cu}} = 24.849 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{w1} = 105.165 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{ocupada} < A_w = 1$$

Según este criterio, con esta sección no tenemos problemas de sitio.

Tenemos efecto skin por lo que tendremos que aumentar el número de conductores.

Información del devanado primario

Información del devanado secundario

$$I_{rms_s} := \frac{4}{\sqrt{6}} \cdot I_{o1} = 6.532 \text{ A}$$

4*I_{o1} es el valor de la corriente de pico de salida, al igual que hemos sacado antes el valor de pico de la corriente de entrada.

El $\sqrt{6}$ expresa una fraccion de conduccion y el paso a rms.

$$A_{Cu_s} := \frac{I_{rms_s}}{J_{rms}} = 1.126 \cdot \text{mm}^2$$

$$d_{s1} := \sqrt{\frac{(4 \cdot A_{Cu_s})}{\pi}} = 1.197 \cdot \text{mm}$$

Información del devanado secundario

Selección de diámetros del hilo

Valores que hay que igualar: $d_{p1} = 0.534 \cdot \text{mm}$

$$A_{Cu_p} = 0.224 \cdot \text{mm}^2$$

$d_{p2} := 0.5106 \text{mm}$ Aumentamos el número de conductores por vuelta a 2.

El devanado con valores AWG es: $d_p = \text{AWG}\#26 * 2 \text{ conductores}$.

En lugar del diámetro de AWG#26, ponemos el más cercano que es **0.4mm**

$$d_{p_simple} := 0.4 \text{mm}$$

$$A_{Cu_p_simple} := \pi \cdot \frac{d_{p_simple}^2}{4} = 0.126 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{Cu_p_total} := A_{Cu_p_simple} \cdot 2 = 0.251 \cdot \text{mm}^2$$

Hacemos comprobaciones:

$$A_{Cu_p_total} > A_{Cu_p} = 1$$

El devanado que hemos creado es ligeramente superior al original, si es un poco más pequeño no hay problema.

Efecto Skin:

$$\frac{d_{p_simple}}{2} < \delta = 1$$

No tenemos efecto skin.

Comprobación de espacio en el núcleo:

En apartados anteriores está calculado con un conductor por vuelta, siendo que lo hemos cambiado, ahora lo volvemos a comprobar.

$$Aw1 = 105.165 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{ocupada_p} := \frac{N_p \cdot A_{Cu_p_total}}{K_{Cu}} = 27.925 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{ocupada_p} < Aw1 = 1$$

Tenemos hueco.

Valores a igualar: $d_{s1} = 1.197 \cdot \text{mm}$

$\delta = 0.242 \cdot \text{mm}$ Profundidad de penetración en los conductores.

$$A_{Cu_s} = 1.126 \cdot \text{mm}^2$$

Diametro elegido: AWG#16. $d_{s2} := 1.291 \text{ mm}$

$$A_{Cu_s1} := \pi \cdot \frac{d_{s2}^2}{4} = 1.309 \cdot \text{mm}^2$$

Tenemos que comprobar si hay efecto skin y tambien si estos diametros de cables caben en el hueco del nucleo.

Efecto skin:

$\frac{d_{s2}}{2} < \delta = 0$ Se produce efecto skin.
Tenemos que disminuir la sección aumentando el número de cables.
Para igualar el diseño, aumentamos el número de cables y disminuimos la sección.

El diametro de cable del que disponemos es 0.4mm.

Tendremos **$d_s = 0.4 \text{ mm} * 9 \text{ conductores}$** .

$d_{s_simple} := 0.4 \text{ mm}$ Diametro correspondiente a AWG26, pero redondeado a 0.4mm

$$A_{Cu_s_simple} := \pi \cdot \frac{d_{s_simple}^2}{4} = 0.126 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{Cu_s_total} := A_{Cu_s_simple} \cdot 9 = 1.131 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Dejo una sección parecida a } A_{Cu_s1}.$$

$$A_{Cu_s_total} > A_{Cu_s} = 1$$

Compruebo otra vez el efecto skin:

$$\frac{d_{s_simple}}{2} < \delta = 1 \quad \text{No tenemos efecto skin.}$$

Espacio en el nucleo:

$$Aw1 = 105.165 \cdot \text{mm}^2 \quad A_{ocupada_s} := \frac{Ns \cdot A_{Cu_s_total}}{K_{Cu}} = 32.673 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{ocupada_s} < Aw1 = 1$$

Tenemos hueco.

d_b = AWG#26 * 2conductores.

Diametro correspondiente a AWG26 - Tnememos que aproximar ya que no disponemos de diametro exactos, ponemos 0.4mm directamente.

$$d_b_{\text{simple}} := 0.4\text{mm}$$

$$A_{\text{Cu}_b_{\text{simple}}} := \pi \cdot \frac{d_{\text{s}_{\text{simple}}}^2}{4} = 0.126 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{Cu}_b_{\text{total}}} := A_{\text{Cu}_s_{\text{simple}}} \cdot 1 = 0.126 \cdot \text{mm}^2$$

Compruebo efecto skin:

$$\frac{d_b_{\text{simple}}}{2} < \delta = 1 \quad \text{No tenemos efecto skin.}$$

Espacio en el nucleo:

$$Aw1 = 105.165 \cdot \text{mm}^2 \quad A_{\text{ocupada}_b} := \frac{Nb \cdot A_{\text{Cu}_b_{\text{total}}}}{K_{\text{Cu}}} = 1.676 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{\text{ocupada}_b} < Aw1 = 1 \quad \text{Tenemos hueco.}$$

$$Area_{\text{total}} := A_{\text{ocupada}_p} + A_{\text{ocupada}_s} + A_{\text{ocupada}_b} = 62.273 \cdot \text{mm}^2$$

$$Aw1 = 105.165 \cdot \text{mm}^2 \quad Area_{\text{total}} < Aw1 = 1 \quad \text{Tenemos hueco.}$$

Comprobación magnética

$$B_{\text{máx}} := \frac{Ld1 \cdot I_{Ld_{\text{máx}}}}{Np \cdot Ac} \quad B_{\text{ac}} := 0.4B_{\text{máx}}$$

$$B_{\text{máx}} = 0.289 \text{ T}$$

$$B_{\text{ac}} = 0.116 \text{ T}$$

$$J_{\text{rms}} = 5.8 \cdot \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

Comprobación térmica:

Primario:

$$J_{\text{rms_p}} := \frac{I_{Ld_{\text{rms}}}}{\pi \cdot \frac{d_{p_simple}^2}{4} \cdot 2} = 5.161 \cdot \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$J_{\text{rms_p}} < J_{\text{rms}} = 1$$

En el primario cumplimos criterios térmicos.

Secundario:

$$J_{\text{rms_s}} := \frac{I_{\text{rms_s}}}{\pi \cdot \frac{d_{s_simple}^2}{4} \cdot 12} = 4.332 \cdot \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

$$J_{\text{rms_s}} < J_{\text{rms}} = 1$$

En el secundario cumplimos criterios térmicos.

Comprobación magnética

PRIMARIO:

$$I_{avg} := I_{dc_máx} = 0.685 \text{ A}$$

$$I_{pk} = 3.852 \text{ A} \quad I_{Ld_rms} = 1.297 \text{ A} \quad I_r := 2 \cdot \left(I_{pk} - \frac{I_{avg}}{D_{máx}} \right) = 3.852 \text{ A}$$

$$K_{rp} := \frac{I_r}{I_{pk}} = 1 \quad \text{DCM cláaramente}$$

$$I_{rms} := I_{pk} \cdot \sqrt{D_{máx} \cdot \left(\frac{K_{rp}^2}{3} - K_{rp} + 1 \right)} = 1.326 \text{ A}$$

Vemos que I_{rms} y I_{Ld_rms} no son exactamente iguales.

SECUNDARIO:

$$I_{rms_s} = 6.532 \text{ A}$$

$$I_{pks} := I_{pk} \cdot \frac{N_p}{N_s} = 14.814 \text{ A} \quad I_{avg_s} := \frac{I_{pks} \cdot (1 - D_{máx})}{2} = 4.772 \text{ A}$$

$$I_{rms_s2} := I_{pks} \cdot \sqrt{(1 - D_{máx}) \cdot \left(\frac{K_{rp}^2}{3} - K_{rp} + 1 \right)} = 6.865 \text{ A} \quad I_{rms_s3} := I_{rms} \cdot \frac{N_p}{N_s} = 5.101 \text{ A}$$

$$I_{ripples} := \sqrt{I_{rms_s2}^2 - I_{avg_s}^2} = 5.579 \text{ A}$$

Inductancia mutua para calcular el coupling del transformador en la simulacion:

$$\text{coupling} := \frac{1}{\frac{1}{(L_p \cdot L_s)^2}} = 1.648 \times 10^4 \frac{1}{\text{H}}$$

Para que el acople sea 1, la inductancia mutua M debe de ser:

$$\frac{1}{\text{coupling}} = 60.663 \cdot \mu\text{H} \quad \text{Este valor se obtiene con parámetros constructivos del trafo como radio de la bobina, distancias etc...}$$

▢ Modo de funcionamiento continuación

Otra forma de obtener el modo de funcionamiento es con la k_{critica} .

$$K_a := 2 \cdot \frac{L_{d1}}{8.5\Omega \cdot T_s} = 5.412$$
$$M := \frac{V_{o1}}{\left(\frac{V_{ac_máx} + V_{ac_mín}}{2} \right)} = 0.155$$
$$k_{\text{critica_máx}} := \frac{1}{2M^2} = 20.934$$

$$k_{\text{critica_mín}} := \frac{1}{2 \cdot \left(M + \frac{N_p}{N_s} \right)^2} = 0.031$$

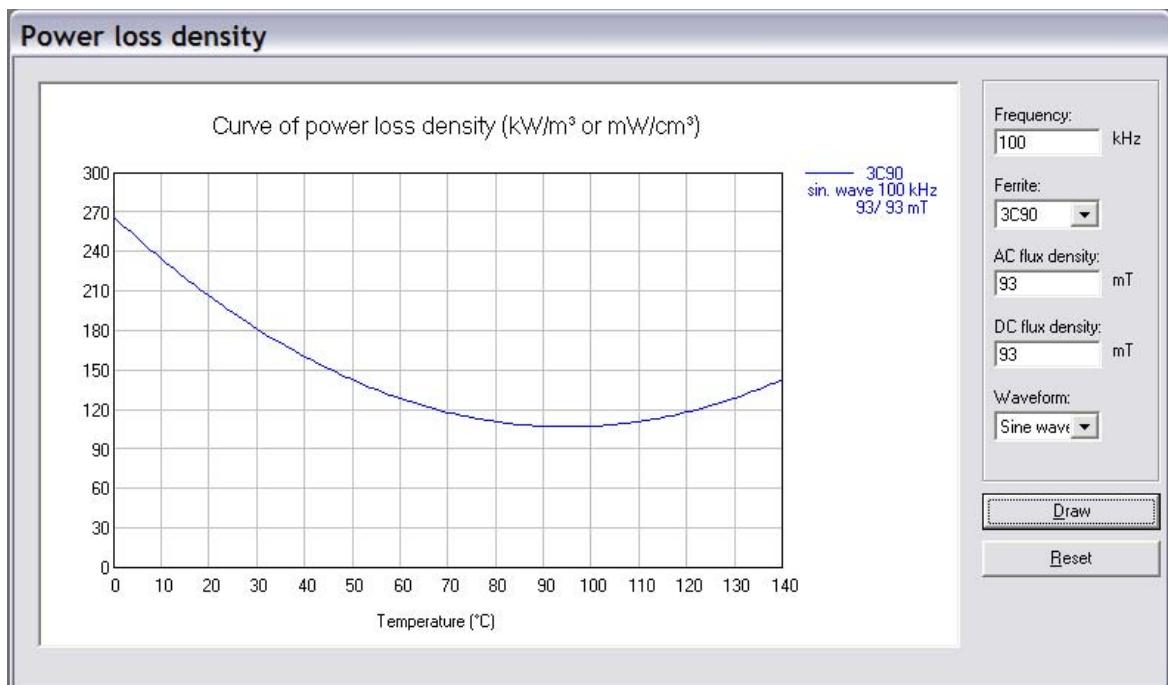
$$k_a > k_{\text{critica_mín}} = 1 \quad \text{DCM}$$

Otra manera: Sacada de an32 topSwitch:

$$K_p := \frac{V_{o1} \cdot (1 - D_{\text{máx}})}{(V_{dc_mín} - V_{ds_on}) \cdot D_{\text{máx}}} = 1 \quad \text{DCM}$$

▢ Modo de funcionamiento continuación

Pérdidas en el circuito magnético



Pérdidas a 100°C = 270mW/cm³, con B_{ac}=B_{dc}=126mT

Densidades de corriente resultantes

$$J_{rms_s} = 4.332 \cdot \frac{A}{mm^2}$$

Calculado anteriormente.

$$A_{ocup} := \frac{(N_p \cdot A_{Cu_p_total} + N_s \cdot A_{Cu_s_total} + N_b \cdot A_{Cu_b_total})}{K_{Cu}}$$

Area ocupada $A_{ocup} = 62.273 \cdot mm^2$ $Aw = 119.31 \cdot mm^2$

$$A_{ocup} < Aw = 1$$

El área ocupada es inferior a la disponible Aw

Pérdidas en el circuito magnético

$$Co1 := \frac{Io1}{riz_Vo1} \cdot \left[Ts \cdot \left(1 - \frac{Io1}{I_Ld_{máx} \cdot \frac{Np}{Ns}} \right)^2 + 4Kesr \right] = 2.437 \times 10^3 \cdot \mu F$$

$$Co2 := \frac{Io1}{riz_Vo1} \cdot (ton_{máx} + 4Kesr) = 2.43 \times 10^3 \cdot \mu F$$

$$Co3 := \frac{Io1}{riz_Vo1} \cdot \left(\frac{Ts}{8} + 4Kesr \right) = 2.421 \times 10^3 \cdot \mu F$$

Selección

$$Co := 1000 \mu F \cdot 2 = 2 \times 10^3 \cdot \mu F$$

$$Resr1 := 0.151 \Omega$$

$$Resr := \frac{Resr1}{2} = 0.076 \Omega$$

Transistor seleccionado

$$V_{DS_{máx}} = 800 V$$

Los datos del datasheet del transistor seleccionado se han copiado al principio del diseño para así poder calcular la tensión reflejada y con ello poder sacar el Dmax.

$$Vds := Vdc_{máx} + \frac{Np}{Ns} (Vo1 + Vdiodo) = 502.311 V$$

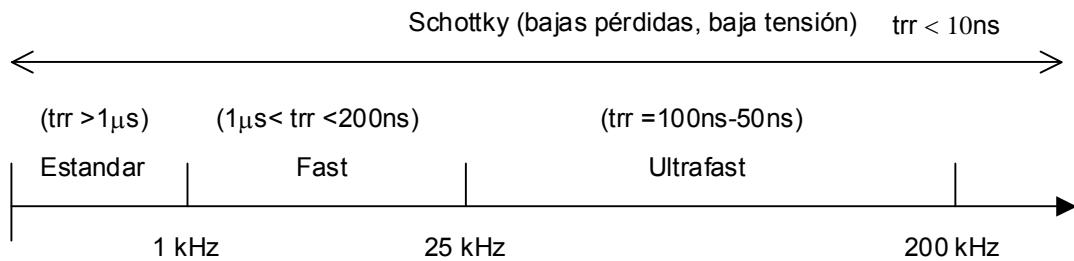
$$Vds = 502.311 V$$

Transistor MOSFET 800V, 17A,
Ron= 0.295ohm Rθjc=0.66°C/W,
Rθja=50°C/W,

$$I_Ld_{máx} = 3.767 A$$

$$Ron := 0.295 \Omega \quad R\theta_{jc} := 0.66 \frac{K}{W} \quad R\theta_{ja} := 50 \frac{K}{W}$$

▣ Selección de diodos



Diodos de rectificación en el secundario: D2= BYV32G 200V, 20A ultrafast

www.fairchildsemi.com
www.onsemi.com
www.vishay.com
www.liteon-semi.com
www.sensitron.com

$$Vr1 := V_{o1} + \frac{N_s}{N_p} \cdot V_{dc_máx} = 129.601 \text{ V} \quad Vr1 \text{ tiene que ser mayor que este valor}$$

Diodo de rectificación de red: GBU605 - PUENTE RECTIFICADOR, 6A, 600V

▣ Selección de diodos

Condensador del rectificador

$$C_i := \frac{I_{dc_máx}}{2 \cdot f_{in_riz_Vp}} \quad I_{dc_máx} = 0.685 \text{ A} \quad C_i = 93 \cdot \mu\text{F}$$

Seguimos el criterio de poner $1 \frac{\mu\text{F}}{\text{W}}$

Ponemos un condensador de **150uF** y 400V.

Colocar en paralelo un condensador tipo MKP o FKP de 0.01 Ci para desacoplo del ruido generado por la conmutación del MOSFET

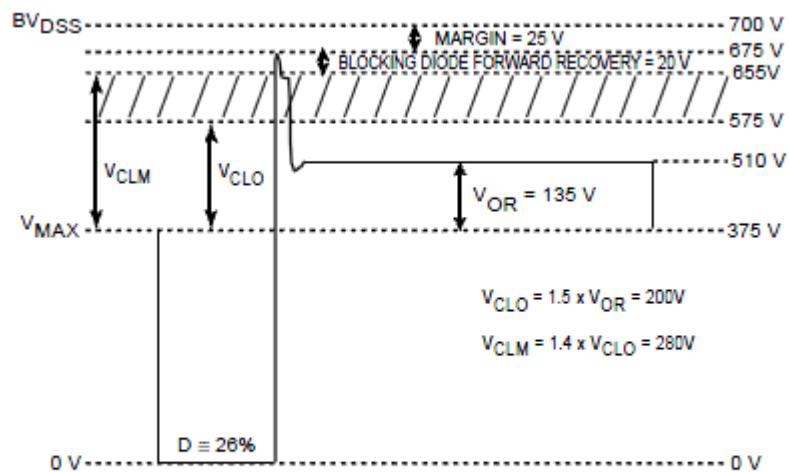
Este condensador de EMI se calcula para que a la frecuencia de conmutación ofrezca una impedancia 10 veces inferior a la de la resistencia de carga equivalente.

$$C_{MKP} := 10 \cdot \frac{I_{Ld_máx}}{V_{dc_mín} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s} = 0.236 \cdot \mu\text{F}$$

$$V_{MKP} := 4.2 \cdot V_{ac_máx} = 1.092 \times 10^3 \text{ V}$$

Condensador del rectificador

Circuito de clamp1



For Universal/230 VAC Input Using 700 V *TOPSwitch*
Use $V_{OR} = 135$ V and 200 V Zener Clamp

Circuito de clamp1

☐ Circuito de clamp2

Solución circuito RC

Es un circuito RC en el que el condensador debe ser capaz de absorber la energía de la inductancia de pérdidas (2%Ld) de la bobina sin que se supere la tensión máxima del transistor

$$V_{DS\max} = 800 \text{ V}$$

$$V_{margen} := 100 \text{ V}$$

$$VR := \frac{N_p}{N_s} \cdot V_{o1} = 130.769 \text{ V}$$

Tensión reflejada. No utilizamos esta fórmula para nuestro desarrollo, sino que utilizamos las fórmulas del an16.

$$V_{or} = 135 \text{ V}$$

Tensión de punta: Es la sobreoscilación que se produce en el paso a off. Va desde la tensión reflejada VR hasta alcanzar el margen.

$$V_{spike} := V_{DS\max} - V_{margen} - V_{dc\max} = 332.304 \text{ V}$$

$$V_{dc\max} + VR = 498.465 \text{ V}$$

$$L_{fuga} = 4.6 \times 10^{-6} \text{ H}$$

$$I_{pk} = 3.852 \text{ A}$$

$$C_{clamp1} := \frac{L_{fuga} \cdot (I_{pk})^2}{(V_{spike})^2 - (V_{or})^2}$$

$$C_{clamp1} = 0.74 \cdot nF$$

Valor mínimo

$$C_{clamp} := 1nF$$

$$630 \text{ V}$$

La resistencia R_{clamp} se calcula para que descargue el condensador del valor $V_{spike} + VR$ al valor VR en un tiempo de un periodo T_s

$$R_{clamp1} := \frac{V_{spike}}{fs \cdot C_{clamp} \cdot [V_{spike} - (V_{or})]}$$

$$R_{clamp1} = 16.842 \cdot k\Omega$$

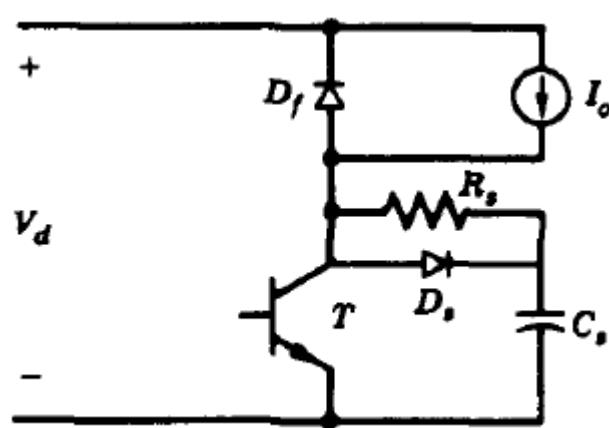
$$R_{clamp} := 17k\Omega$$

Potencia disipada en la resistencia

$$\frac{(V_{spike} - V_{or})^2}{R_{clamp}} \cdot (1 - D_{\max}) + \frac{1}{2} \cdot L_{fuga} \cdot I_{Ld\max}^2 \cdot fs = 4.74 \text{ W}$$

☐ Circuito de clamp2

Circuito de snubber



(p 684 Mohan)

t_{fall} es el tiempo de reducción de la corriente

$$t_{\text{fall}} := 0.01T_s \quad t_{\text{fall}} = 100 \cdot \text{ns}$$

$$C_{\text{snubber1}} := \frac{I_{\text{Ld_máx}} \cdot t_{\text{fall}}}{2V_{\text{dc_máx}}} \quad C_{\text{snubber1}} = 0.512 \cdot \text{nF} \quad (\text{p683 Mohan})$$

Selección C_snubber := 0.47nF 1000 V

$$R_{\text{snubber}} := \frac{V_{\text{dc_máx}}}{0.2 \cdot I_{\text{pk}}} \quad R_{\text{snubber}} = 477.339 \Omega \quad (\text{p685 Mohan})$$

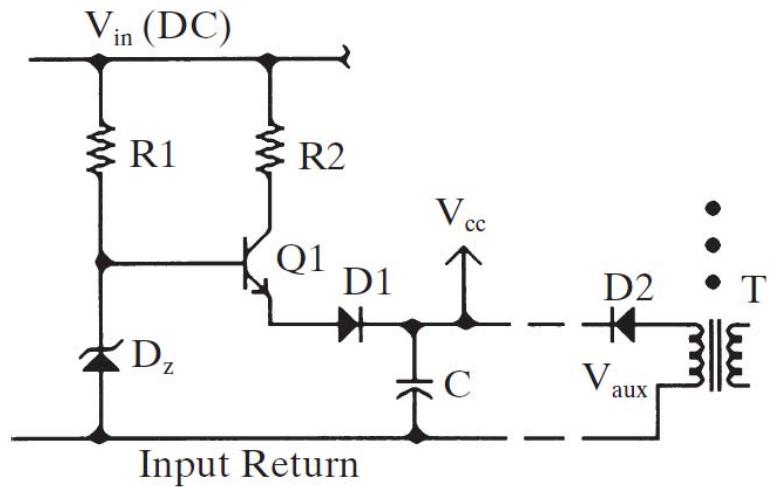
Selección R_snubber := 1KΩ

Potencia disipada en la resistencia $\frac{C_{\text{snubber}} \cdot V_{\text{dc_máx}}^2}{2} \cdot f_s = 3.177 \text{ W}$ (p685 Mohan)

$$I_{\text{Ld_máx}} = 3.767 \text{ A}$$

Circuito de snubber

Circuito de arranque



$$V_z := 12V$$

$$I_{z_m\acute{a}n} := 1mA$$

$$I_{start} := 30mA$$

$$R1 := \frac{V_{dc_m\acute{a}n} - V_z}{I_{z_m\acute{a}n}} = 2.426 \times 10^5 \Omega \quad R_{arr1} := 270k\Omega$$

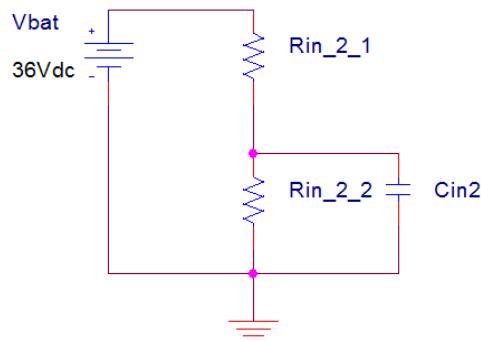
$$R2 := \frac{V_{dc_m\acute{a}n} - V_z}{I_{start}} = 8.085 \times 10^3 \Omega \quad R_{arr2} := 8k\Omega$$

Circuito de arranque

Circuito de acondicionamiento de los sensores 1

Medidor de tensión:

Para medir la tensión se ha instalado un divisor de tensión justo antes de la salida a la batería.

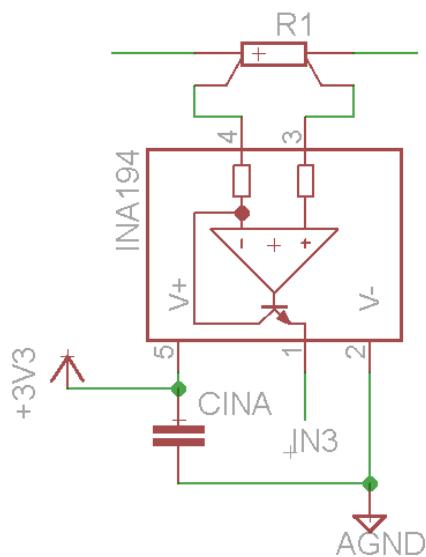


$$Rin_2_2 := 10\text{k}\Omega$$

$$Rin_2_1 := Rin_2_2 \cdot \frac{36\text{V}}{2.5\text{V}} - Rin_2_2 = 134 \cdot \text{k}\Omega$$

Medidor de corriente:

Para medir corriente se ha intercalado en el retorno del circuito de la batería una resistencia shunt de 10 mV. A esta resistencia se le ha conectado un INA194. Este dispositivo es un medidor de corriente por el shunt. Con una ganancia de 50 V/V.



Circuito de acondicionamiento de los sensores 1

Circuito de acondicionamiento de los sensores 2

Medidor de temperatura:

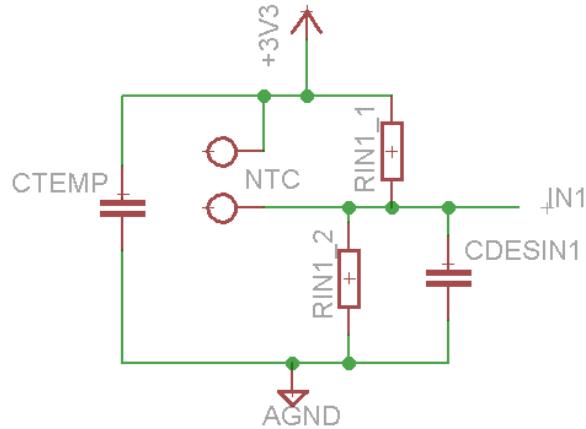
Para linealizar la medida de temperatura en torno a una temperatura central T_c añadimos una resistencia en paralelo con la NTC.

Los valores de nuestra NTC son los siguientes:

$$B1 := 4400K$$

$$T_0 := 25K + 273K = 298K$$

$$R25 := 10k\Omega$$



La fórmula del comportamiento de la NTC es la siguiente:

Linealizamos en torno a $35^\circ C$

$$T_c := 35K + 273K = 308K$$

$$T_{max} := 70K + 273K = 343K$$

$$R_t := R_{25} \cdot e^{B1 \cdot \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_0} \right)} = 6.192 \cdot k\Omega$$

$$R_{70^\circ C} := R_{25} \cdot e^{B1 \cdot \left(\frac{1}{T_{max}} - \frac{1}{T_0} \right)} = 1.441 \cdot k\Omega$$

$$R_{in1_1} := R_t \cdot \frac{B1 - 2 \cdot T_c}{B1 + 2 \cdot T_c} = 4.671 \cdot k\Omega$$

$$R_{paralelo} := \frac{R_{in1_1} \cdot R_{70^\circ C}}{R_{in1_1} + R_{70^\circ C}} = 1.101 \cdot k\Omega$$

$$R_{in1_2} := \frac{R_{paralelo}}{\left(\frac{3.3V}{2.5V} \right) - 1} = 3.442 \cdot k\Omega$$

Circuito de acondicionamiento de los sensores 2

Lista de componentes

Hasta aquí llega el diseño de la etapa de potencia con todos sus componentes. A continuación se introduce una lista de los componentes instalados.

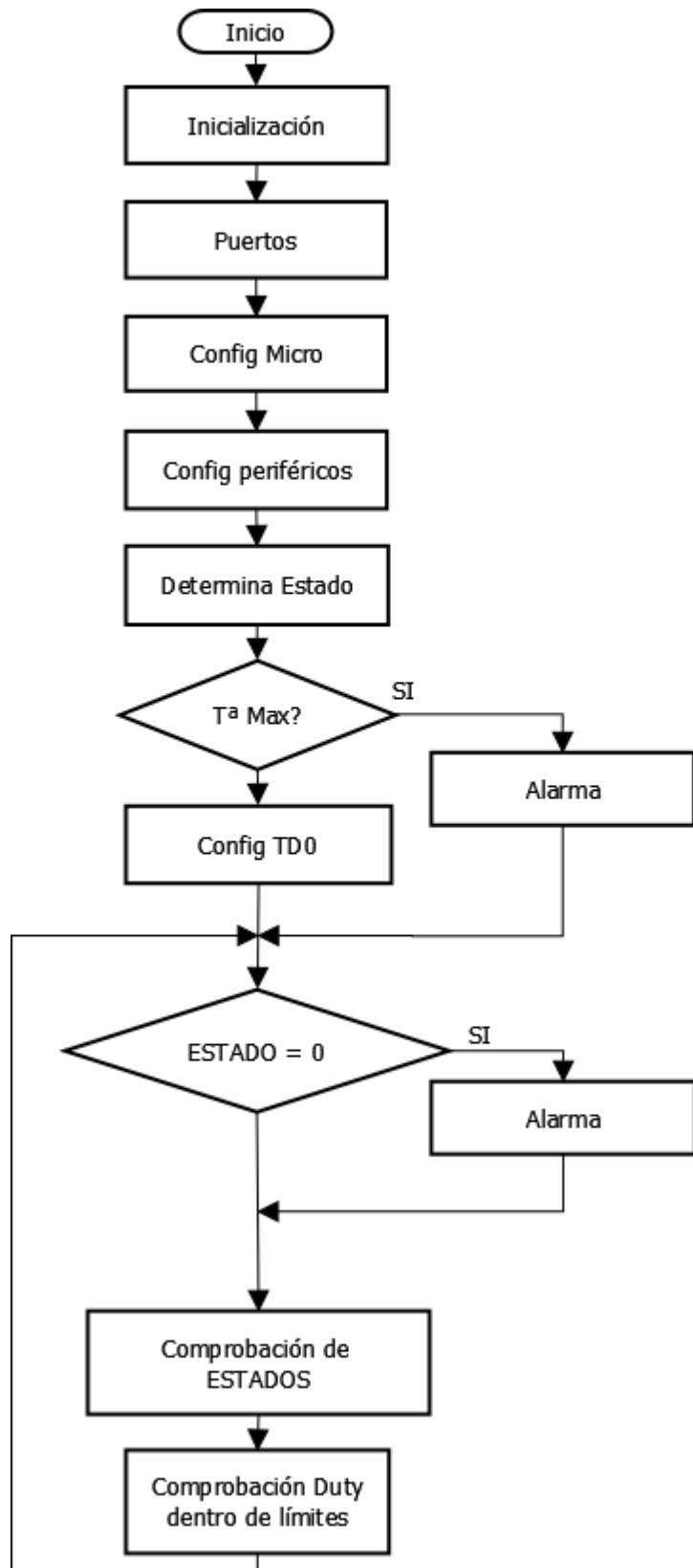
$Rx := 1.5M\Omega$	$Cx := 470nF$	$Ltx1 := 200\mu H$
$Rarr1 := 270k\Omega$	$Crect := 150\mu F$	$Ltx2 := 16\mu H$
$Rarr2 := 8k\Omega$	$Cmkp := 220nF$	$Ltx3 := 4\mu H$
$Rarr3 := 10k\Omega$	$Cb := 15\mu F$	
$R2 := 100\Omega$	$Cclp := 1nF$	
$Rclp := 17k\Omega$	$Csnb := 0.47nF$	
$Rsn := 1k\Omega$	$Co := 2 \cdot 1000\mu F$	
$Rin2_1 := 134k\Omega$	$Cin2 := 1\mu F$	
$Rin2_2 := 10k\Omega$	$Cin3 := 1\mu F$	
$Rshunt := 10\Omega$	$C33 := 10\mu F$	
$Rin1_1 := 4.7k\Omega$	$Cina := 10\mu F$	
$Rin1_2 := 3.3k\Omega$	$Ctemp := 10\mu F$	
$Ruc := 47k\Omega$	$Cdesin1 := 0.18\mu F$	
$Rin1 := 300\Omega$	$Cuc := 10nF$	
$Rin2 := 300\Omega$	$Cin3V3 := 10\mu F$	
$Rin3 := 300\Omega$	$Cy := 5.6nF$	
$Rled1 := 330\Omega$	$Ctlp := 100nF$	
$Rled2 := 330\Omega$		
$Ropto := 100\Omega$		
$Rmos := 10\Omega$		
$R3 := 100\Omega$		

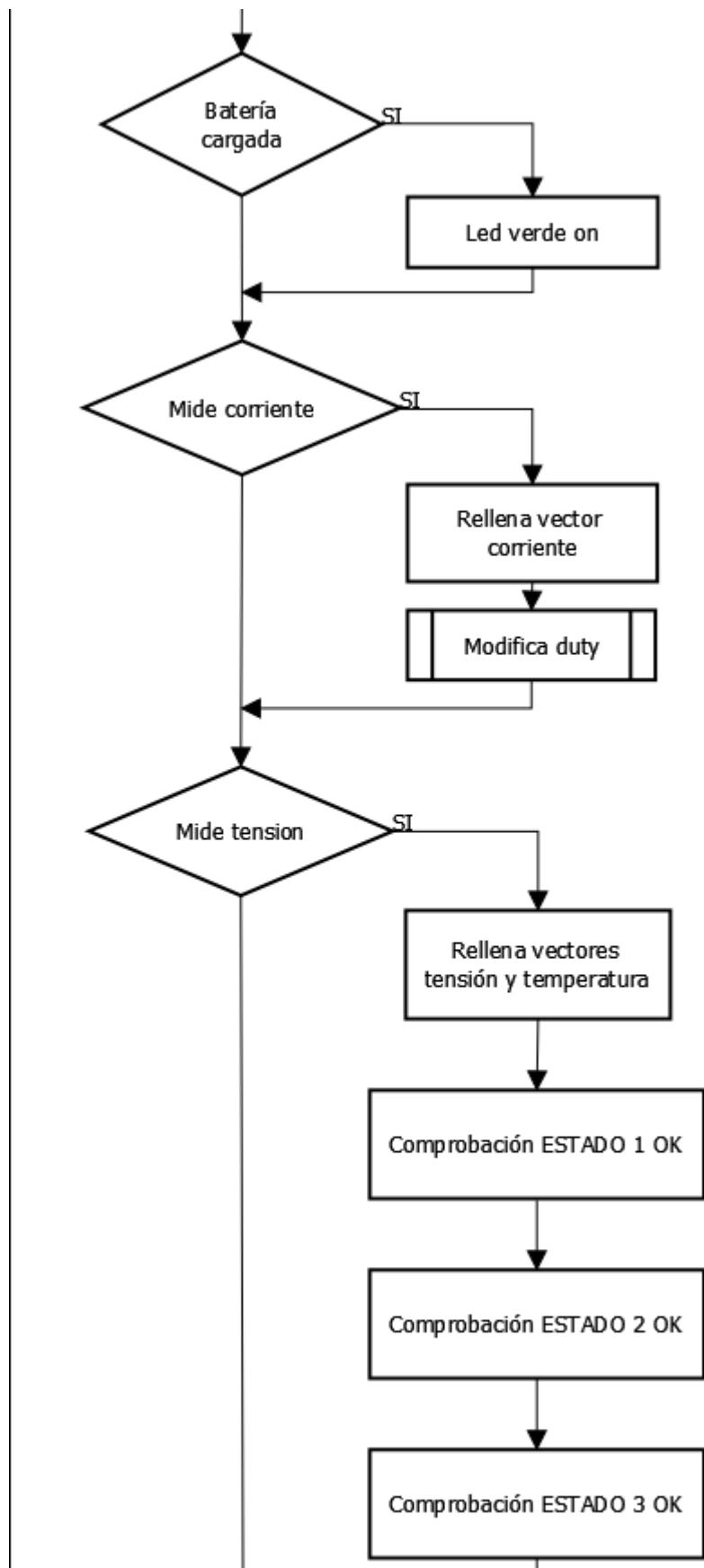
Lista de componentes

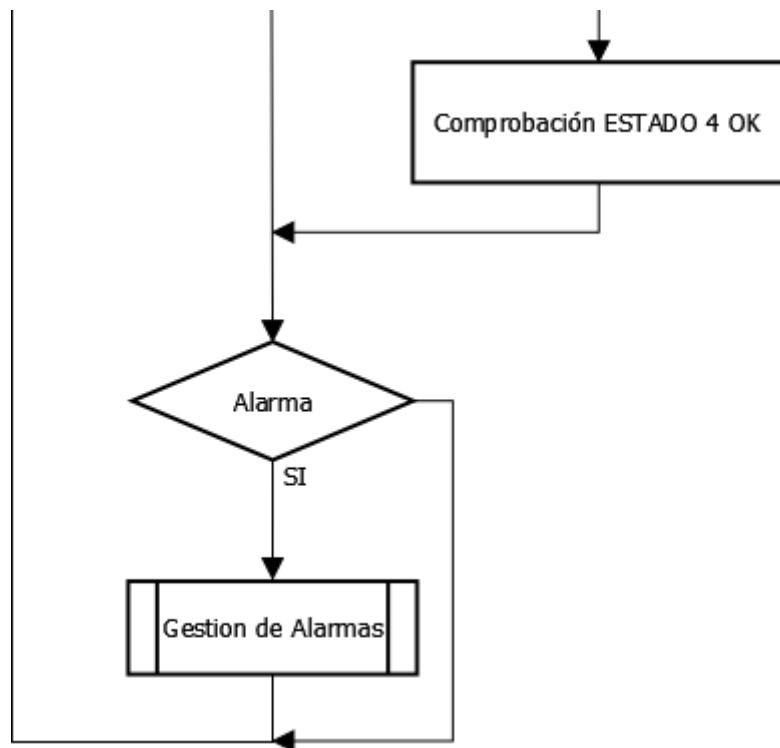
ANEXO II: DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROGRAMA

A continuación podemos encontrar el diagrama de flujo del programa.

Programa principal:

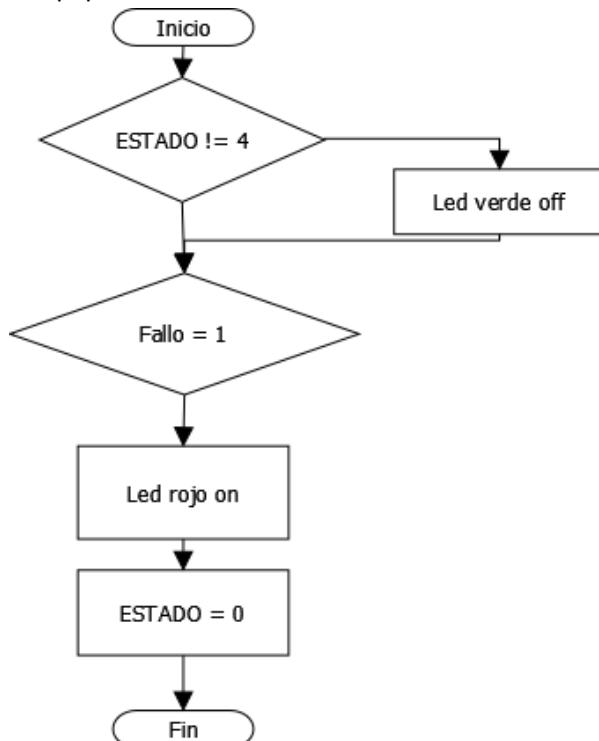




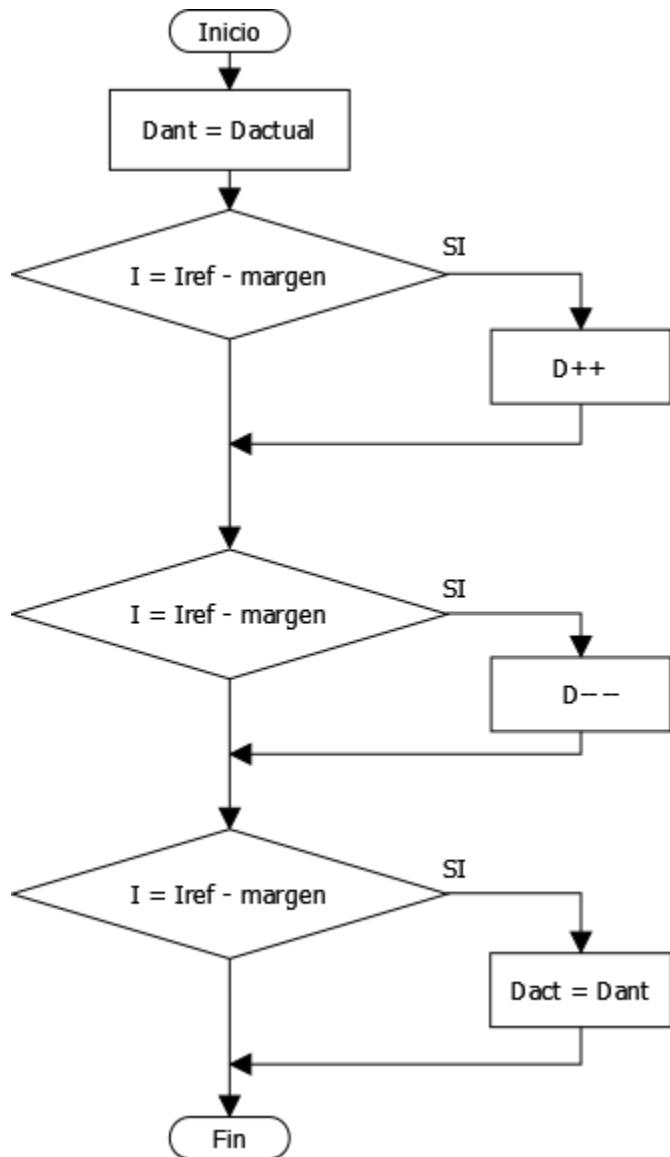


El siguiente diagrama hace referencia la función Gestión de Alarmas.

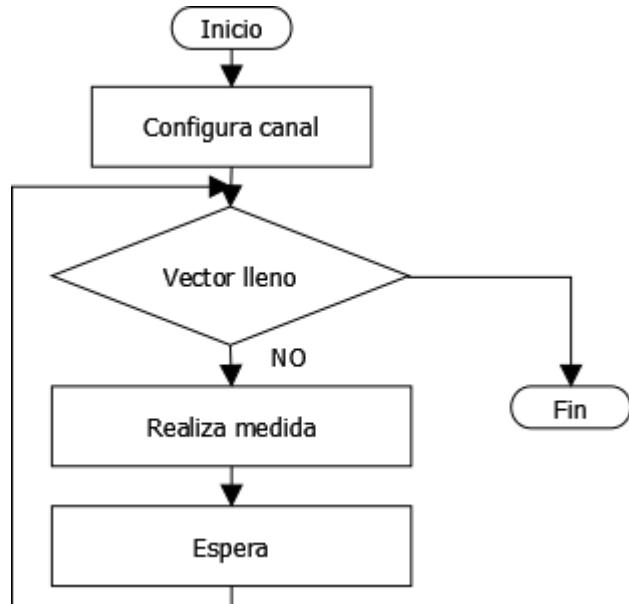
En esta función se comprueba si ha saltado una alarma y se ejecutan las ordenes necesarias para proteger el equipo.



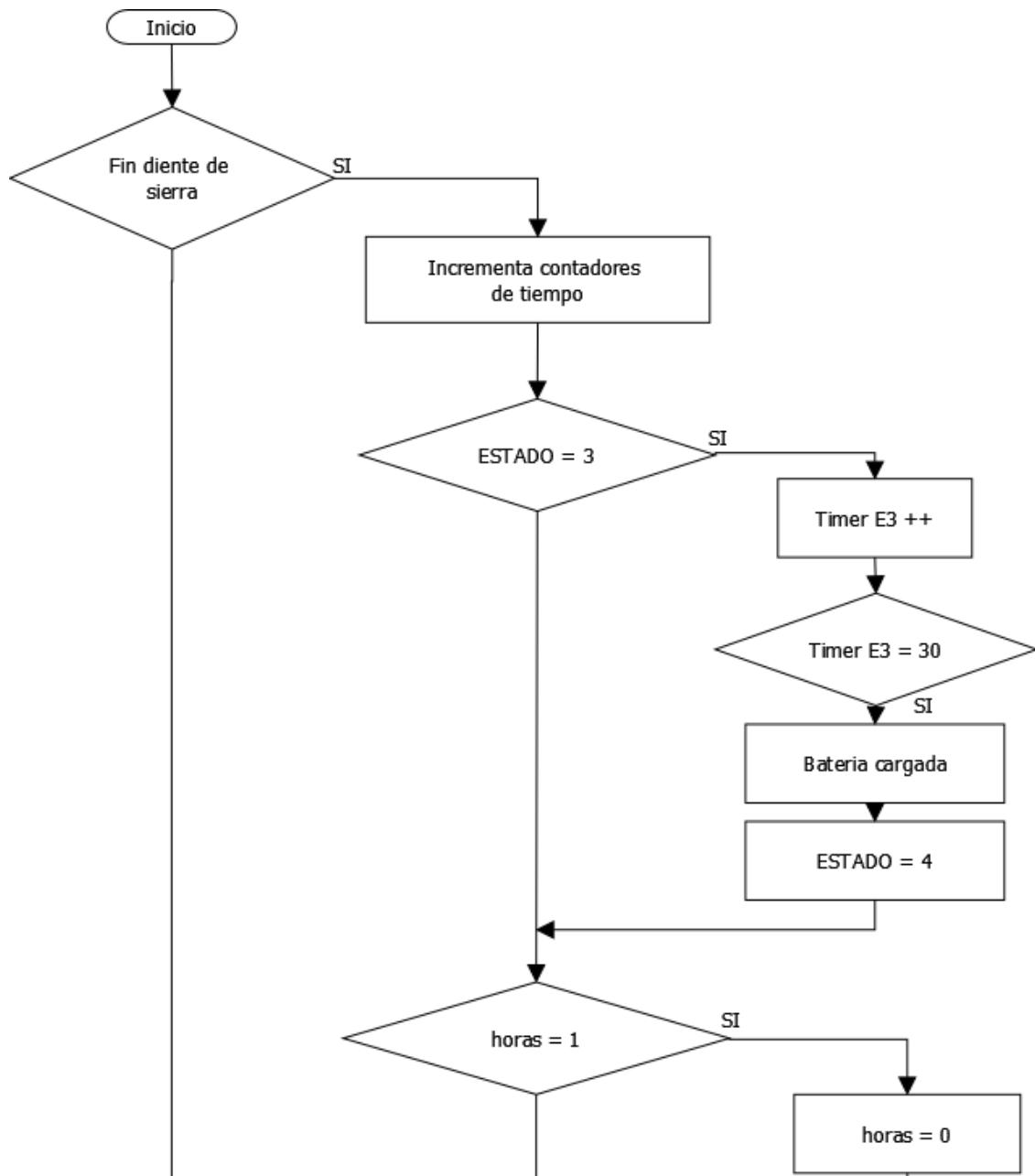
Este diagrama de bloques representa el funcionamiento de la función llamada Modifica_duty que sirve para ir variando el tiempo de ciclo según la corriente que atravesese a la batería y el estado de carga en el que se encuentre.

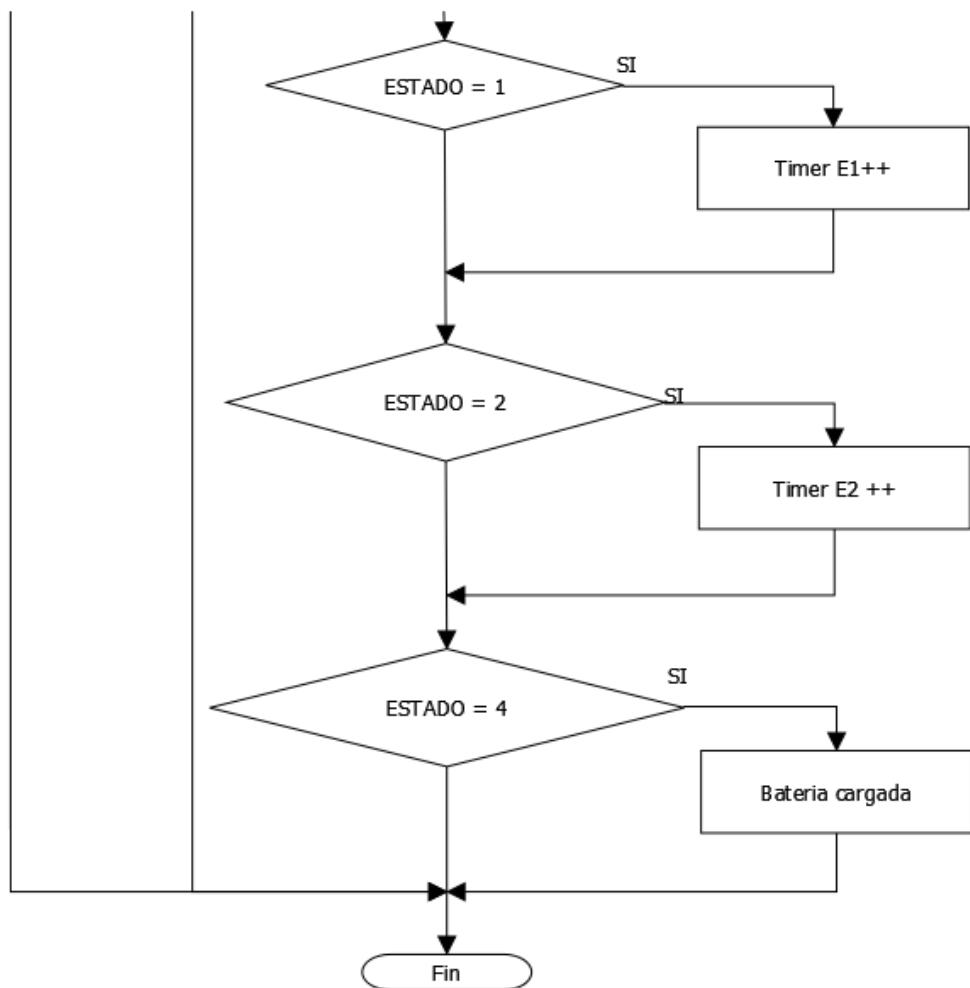


Esta función, llamada Llena_vector, sirve para llenar los vectores de corriente, tensión y temperatura que tenemos para almacenar la información recogida por el conversor A/D. Al recoger múltiples muestras se filtra el ruido que hayan podido coger las muestras individuales.



A continuación se muestra el diagrama de bloques que hace referencia a la interrupción del timer. Esta rutina ha servido para llevar a cabo un control del tiempo transcurrido, ya que la interrupción se genera de forma periódica cada vez que termina un ciclo de operación del transistor, es decir, cada 10 μ s.





ANEXO III: CÓDIGO DEL PROGRAMA

```
// NiMH Cell Charger

// 22/02/2013

// MSP430F5152

////////////////////

// ADC Calculations          //

// 10 bit ADC, 0 - 1023      //

// Vref = VCC = 2.5V          //

// 2.5V / 1024 = 2.44mV per bit //

// (full scale = 0x3FF)       //

////////////////////

//***** //

#include "msp430.h"          // Constantes y funciones especificas del micro.

#include "intrinsics.h"

#include "hal_tlv.h"

#include "hal_tlv.c"

// Etiquetas

#define VBATT_SIZE 10           // Comparan valores con subrutinas Average.

#define IBATT_SIZE 10

#define TEMP_SIZE 10

// Function Prototypes

void configuraCLK (void);

void configuraVREF (void);

void configurarADC (void);

void configurarTDO (void);

void configurarUART (void);

void gestionAlarmas (void);

void SetVcoreUp (unsigned int level);

void ArrayFill(int,int,int *start, int *end, int *cptr);

void Modifica_duty(int corriente, int margen);

int Average(int *cptr, int *start, int *end);

// Global Variables

// Valores de referencia multiplicados por 10 para no hacer divisiones.
```

```

int Vref0 = 2840;           // 10V -> Estado 0 para fallo en batería.
int Vref1 = 5400;           // 19V
int Vref2 = 9380;           // 32V
int Vref3 = 10100;          // 35V

// los valores de corriente también están multiplicados

int Iref0 = 30;             // 1.25A
int Iref1 = 2560;            // 4A
int Iref2 = 8190;            // 0.5A
int Iref3 = 1030;            // 0.015A

int margen_I0 = 10;
int margen_I1 = 20;           // 10mA
int margen_I2 = 40;           // 20mA
int margen_I3 = 20;           // 10mA
int margen_I4 = 10;            // 5mA

int paso = 10;                // Valor de variación de duty 1%.
// Temperaturas multiplicados por 10.

int Tmax = 9580;              // 70°C
int Ungrado = 80;              // 1°C

int VBATT[VBATT_SIZE];        // A3
int IBATT[IBATT_SIZE];        // A5
int TEMP[TEMP_SIZE];           // A4

int *Vptr;                     // VBATT FIFO Pointer
int *Iptr;                     // IBATT FIFO pointer
int *Tptr;                     // TEMP FIFO pointer
int *ptr;                      // Discretionary pointer

int ADC_Result;    // Para copiar resultado ADCMEM0 en interr. ADC.

```

```
int current_Vaverage = 0x0000;           // Valor medio del vector de tensión.
int last_Vaverage = 0x0000;                // Valor medio anterior de la
//tensión.

int current_Taverage = 0x0000;           // Valor medio del vector de Ta.
int last_Taverage = 0x0000;                // Valor medio anterior de la Ta.
int current_Iaverage = 0x0000;           // Valor medio del vector de I.

int mide_corriente = 0;
int mide_tension = 0;
// Hacer transiciones lentas
int D_ant = 10;                         // Duty anterior.
int D_max = 384;
int D_min = 10;

int ESTADO = 0; // Estado de carga en que nos encontramos.

int Proper_Termination = 0;           // Batería cargada.
int Alarma = 0;                      // Alarma general.
int Fallo_Bateria = 0;                // Error de forma general.
int Sobrecarga = 0;                  // Sobretensión
int Descarga = 0;                    // La batería se descarga.
int Sobrecalentamiento = 0;           // Exceso de calentamiento.
int E1_timer = 0;                    // Control del tiempo en cada estado.
int E2_timer = 0;
int E3_timer = 0;
int E4_timer = 0;

unsigned long contador = 0;
int miliseg = 0;
int medioseg = 0;
int segundos = 0;
int minutos = 0;
int horas = 0;
```

```

void main (void)
{
    WDTCTL = WDTPW + WDTHOLD; // Stop WDT

    // Configure pins
    P1SEL |= BIT1+BIT2; // P1.1,2 = USCI_A0 TXD/RXD
    P1DIR = 0xC1; // P1=11000001 -> Bits 0, 6 y 7 como salida.

    P2SEL = 0x00; // P2.0 options select
    P2DIR = 0xFF; // Todos como salida.

    P3SEL = 0x00; // Puerto 3 puesto como pines.
    P3DIR = BIT0+BIT1; // Bit 3.0 y 3.1 leds de aviso.
    P3OUT = 0x00; // Leds apagados.

    // Configure TD0.x GPIO pins
    PJSEL |= BIT6;
    PJDIR |= BIT6;

    SetVcoreUp (0x01); // Increase Vcore setting to level_3 to support
                        // fsystem=25MHz
    SetVcoreUp (0x02); // NOTE: Change core voltage one level at a time..
    SetVcoreUp (0x03); // Level_3 es el máximo nivel de Vcore -> PMMCOREV
                        // 2.3.1.

    __delay_cycles(2000);

    configuraCLK();
    configuraVREF();
    configurarADC();

    __enable_interrupt(); // activa todas las interrupciones.
}

```

```
// Primero realizamos una medida de corriente, tensión y temperatura.

Vptr = &VBATT[VBATT_SIZE-1];

ArrayFill(ADC10INCH_3, VBATT_SIZE, VBATT, VBATT+VBATT_SIZE-1, Vptr);

current_Vaverage = Average(Vptr, VBATT, VBATT + VBATT_SIZE-1);

// Sacamos el valor medio de todas las tensiones en el vector.

last_Vaverage = current_Vaverage;

Tptr = &TEMP[TEMP_SIZE-1];

ArrayFill(ADC10INCH_4, TEMP_SIZE, TEMP, TEMP+TEMP_SIZE-1, Tptr);

current_Taverage = Average(Tptr, TEMP, TEMP + TEMP_SIZE-1);

// Sacamos el valor medio de todas las tensiones en el vector.

last_Taverage = current_Taverage;

Iptr = &IBATT[IBATT_SIZE-1];

ArrayFill(ADC10INCH_5, IBATT_SIZE, IBATT, IBATT+IBATT_SIZE-1, Iptr);

// Medimos corriente.

current_Iaverage = Average(Iptr, IBATT, IBATT + IBATT_SIZE-1);

if (current_Vaverage < Vref0) ESTADO = 0;

if ((current_Vaverage < Vref1) && (current_Vaverage > Vref0)) ESTADO = 1;

if ((current_Vaverage > Vref1) && (current_Vaverage < Vref2)) ESTADO = 2;

if (current_Vaverage > Vref2) ESTADO = 3;

if (current_Taverage > Tmax)

{

    ESTADO = 0;

    Alarma = 1;

    Sobrecalentamiento = 1;

}
```

```
configurarTDO();
__bis_SR_register(GIE);

while(1)
{
    if (ESTADO == 0)
    {
        Alarma = 1;
    }

    if (ESTADO == 1)
    {
        if (current_Vaverage > Vref1)
        {
            ESTADO = 2;
            E1_timer = 0;
            E2_timer = 0;
            contador = 0;
            segundos = 0;
            minutos = 0;
            horas = 0;
        }
    }

    if (ESTADO == 2)
    {
        if (current_Vaverage > Vref2)
        {
            ESTADO = 3;
            E2_timer = 0;
            E3_timer = 0;
        }
    }
}
```

```
    contador = 0;
    segundos = 0;
    minutos = 0;
    horas = 0;
}

}

// No hay nada que hacer aquí.

if (ESTADO == 3)
{
    // Se hace todo en la interrupción del timer
}

//-----

if (ESTADO == 4)
{
    Proper_Termination = 1;
}

if (TD0CCR1 > D_max)
{
    Alarma = 1;
    Sobrecarga = 1;
}

if (TD0CCR1 < D_min)
{
    TD0CCR1 = 10; // Duty mínimo para seguridad del transistor.
}
```

```

if (current_Vaverage > Vref3)
{
    Alarma = 1;
    Sobrecarga = 1;
}

if (current_Vaverage < Vref0)
{
    Alarma = 1;
    Descarga = 1;
}

if (Proper_Termination == 1)
{
    P3OUT |= BIT1; // Led VERDE ON
}

if (mide_corriente == 1)      // 1seg.
{
    mide_corriente = 0;
    Iptr = &IBATT[ IBATT_SIZE-1 ];
    ArrayFill(ADC10INCH_5, IBATT_SIZE, IBATT, IBATT+IBATT_SIZE-1, Iptr);
    // Medimos corriente.

    current_Iaverage = Average(Iptr, IBATT, IBATT + IBATT_SIZE-1);

    if (ESTADO == 0)
    {
        Modifica_duty(Iref0, margen_I0);
    }
    if (ESTADO == 1)
    {
        Modifica_duty(Iref1, margen_I1);
    }
}

```

```

if (ESTADO == 2)
{
    Modifica_duty(Iref2, margen_I2);
}

if (ESTADO == 3)
{
    Modifica_duty(Iref3, margen_I3);
}

if (ESTADO == 4)
{
    Modifica_duty(Iref4, margen_I4);
}

if (mide_tension == 1)
{
    mide_tension = 0;
// Medimos tensión y temperatura.

Tptr = &TEMP[TEMP_SIZE-1];
ArrayFill(ADC10INCH_4, TEMP_SIZE, TEMP, TEMP+TEMP_SIZE-1, Tptr);
// Fill the TEMPERATURE array.

current_Taverage = Average(Tptr, TEMP, TEMP + TEMP_SIZE-1);

Vptr = &VBATT[VBATT_SIZE-1];
ArrayFill(ADC10INCH_3, VBATT_SIZE, VBATT, VBATT+VBATT_SIZE-1, Vptr);
// Fill VBATT array to establish Initial Conditions.

current_Vaverage = Average(Vptr, VBATT, VBATT + VBATT_SIZE-1);

if(ESTADO == 1)
{
    if (current_Vaverage <= (last_Vaverage))// -> Si la tensión se ha
                                                // mantenido o disminuido
    {
        Alarma = 1;
}

```

```

        Descarga = 1;

    }

else

    {

        last_Vaverage = current_Vaverage;

    }

if (current_Taverage > (last_Taverage + Ungrado))

// -> Si la temperatura ha aumentado 1°C

    {

        Alarma = 1;

        Sobrecalentamiento = 1;

    }

else

    {

        last_Taverage = current_Taverage;

    }

if(ESTADO == 2)

    {

        if(current_Vaverage <= (last_Vaverage))

// Si la tensión ha disminuido 1V -> pasar a ESTADO=3.

        {

            ESTADO = 3;// La batería todavía no está cargada, ya que
            falta todavía el último tramo cargado a un ritmo más lento.

        }

        else

        {

            last_Vaverage = current_Vaverage;

        }

        if (current_Vaverage >= 9670) //34V Valor por 10.

        {

            ESTADO = 3;

        }
    }
}

```

```
        if (current_Taverage >= (last_Taverage + Ungrado))

// En 1 min. Variación de Ta de 1°C.

    {

        ESTADO = 3;

    }

    else

    {

        last_Taverage = current_Taverage;

    }

}

if(ESTADO == 3)

{

    if (current_Vaverage >= 9670) //34V Valor por 10.

    {

        ESTADO = 4;

    }

    if (current_Taverage >= (last_Taverage + Ungrado))

    {

        Alarma = 1;

        Sobrecalentamiento = 1;

    }

    else

    {

        last_Taverage = current_Taverage;

        // store last Taverage to compare with next measurement

    }

}

if (ESTADO == 4)

{

    if (current_Taverage >= (last_Taverage + Ungrado))

// -> Si la temperatura ha aumentado 1°C Fallo de batería.

    {
```

```

        Alarma = 1;

        Sobrecalentamiento = 1;

    }

    else

    {

        last_Taverage = current_Taverage;

    }

}

}

if (Alarma == 1)

{

    gestionAlarmas();

}

}

}

void gestionAlarmas(void)

{

    if(ESTADO != 4)// Si está completamente cargada pero salta alarma
//dejar verde on.

    {

        P3OUT &= ~BIT1;    // Led verde off

    }

    if (Fallo_Bateria == 1)

    {

        ESTADO = 0;

        P3OUT |= BIT0;    // Led rojo ON

    }

}

if (Sobrecarga == 1)

{
    ESTADO = 0;

    P3OUT |= BIT0;    // Led rojo ON
}

```

```

}

if (Descarga == 1)
{
    ESTADO = 0;
    P3OUT |= BIT0; // Led rojo ON
}

if (Sobrecalentamiento == 1)
{
    ESTADO = 0;
    P3OUT |= BIT0; // Led rojo ON
}

}

void configuraCLK(void) // Reloj configurado a 12MHz.
{
    UCSCTL3 |= SELREF_2; // Set DCO FLL reference = REFO
    UCSCTL4 = SELA_2 + SELS_3 + SELM_3; // Set ACLK = REFO

    __bis_SR_register(SCG0); // Disable the FLL control loop
    UCSCTL0 = 0x0000; // Set lowest possible DCOx, MODx
    UCSCTL1 = DCORSEL_5; // Select DCO range 24MHz operation
    UCSCTL2 = FLLD_1 + 374; // Set DCO Multiplier for 12MHz
                            // (N + 1) * FLLRef = Fdco
                            // (374 + 1) * 32768 = 12MHz
                            // Set FLL Div = fDCOCLK/2
    __bic_SR_register(SCG0); // re-enable the FLL control loop

// Worst-case settling time for the DCO when the DCO range bits have been
// changed is n x 32 x 32 x f_MCLK / f_FLL_reference. See UCS chapter in

```

```

// 5xx

// UG for optimization.

// 32 x 32 x 12 MHz / 32,768 Hz = 375000 = MCLK cycles for DCO to settle
__delay_cycles(375000);

// Loop until XT1 & DCO fault flag is cleared

do
{
    UCSCTL7 &= ~(XT1LFOFFG + XT1HFOFFG + DCOFFG); // Clear XT1,DCO fault flags
    SFRIFG1 &= ~OFIFG; // Clear fault flags
}while (SFRIFG1&OFIFG); // Test oscillator fault flag

}

void configuraVREF(void)
{ // REFERENCIA DE TENSIÓN INTERNA.

    while(REFCTL0 & REFGENBUSY); // If ref generator busy, WAIT
    REFCTL0 = REFMSTR + REFVSEL_2 + REFTCOFF + REFON; // Vref=2.5V
    __delay_cycles(75);
}

void configurarTD0(void) // Configuración del timerD.

{
    struct s_TLV_Timer_D_Cal_Data * pTD0CAL;
    // Structure initialized in tlv.h
    unsigned char bTD0CAL_bytes;

    // Configure TimerD in Hi-Res Free Running Mode
    Get_TLV_Info(TLV_TIMER_D_CAL, 0, &bTD0CAL_bytes, (unsigned int **) &pTD0CAL);
    //Get TimerD0 Cal Values (instance 0)
    if(bTD0CAL_bytes == 0x0)
    {
}

```

```

// No TimerD free running cal data found

    __delay_cycles(5000);           // Loop here
}

TD0HCTL1 = pTD0CAL->TDH0CTL1_128; // Read the 128Mhz TimerD TLV Data

TD0CTL1 |= TDCLKM_1;           // Select Hi-res local clock
TD0HCTL0 = TDHEN + TDHM_0;
// CALEN=0 => free running mode; enable Hi-res mode
// THDMx = 00 => 8x

// Configure the CCRx blocks

TD0CCTL1 = OUTMOD_7;           // CCR1 toggle/set

TD0CTL0 |= MC_1 + TDCLR + TDIE;
// up-mode, clear TDR, Start timer, interrupts on.

TD0CL0 = 1280;                 // Periodo.
TD0CCR1 = 0x0000;               // DUTY
D_ant=TD0CCR1;

}

void SetVcoreUp (unsigned int level)

{ PMMCTL0_H = PMMPW_H;
// Open PMM registers for write
SVSMHCTL = SVSHE + SVSHRVL0 * level + SVMHE + SVSMHRRLO * level;
// Set SVS/SVM high side new level
SVSMLCTL = SVSLE + SVMLE + SVSMLRRL0 * level;
// Set SVM low side to new level
while ((PMMIFG & SVSMLDLYIFG) == 0);
// Wait till SVM is settled
PMMIFG &= ~(SVMLVLRIFG + SVMLIFG);
// Clear already set flags
}

```

```

PMMCTL0_L = PMMCOREV0 * level;

// Set VCore to new level

if ((PMMIFG & SVMLIFG))

// Wait till new level reached

while ((PMMIFG & SVMLVLIFG) == 0);

SVSMLCTL = SVSLE + SVSLRVL0 * level + SVMLE + SVSMLRRL0 * level;

// Set SVS/SVM low side to new level

PMMCTL0_H = 0x00; // Lock PMM registers for write access

}

void Modifica_duty ( int corriente, int margen )

{
    D_ant = TD0CCR1; // Actualizamos duty.

    if (current_Iaverage < (corriente - margen))

    {
        TD0CCR1 = D_ant + paso;
    }

    if (current_Iaverage > (corriente + margen))

    {
        TD0CCR1 = D_ant - paso;
    }

    if ((current_Iaverage > (corriente - margen) && (current_Iaverage
    < (corriente + margen)))

        TD0CCR1 = D_ant;
    }

void configurarADC(void)

{
    ADC10MEM0 = 0x00;

// Memoria del ADC con todo puesto a 0

    ADC10CTL0 = ADC10SHT_12 + ADC10ON;

    ADC10CTL1 |= ADC10SHP + ADC10CONSEQ_0;
}

```

```

// Single-channel single-conversion.

ADC10CTL2 = ADC10RES;

// ADC con una resolución de 10 bits.

ADC10MCTL0 = ADC10SREF_1;

// VREF

ADC10IE = ADC10IE0;

// Enable ADC conv complete interrupt
}

void ArrayFill(int canal, int samples, int *start, int *end, int *cptr)
{
    int i;

    cptr++; // Post incremento del puntero
    ADC10CTL0 = ADC10SHT_12 + ADC10ON;

    // Los vuelvo a poner aquí porque a la salida los reseteamos.

    ADC10CTL1 |= ADC10SHP + ADC10CONSEQ_0;
    ADC10MCTL0 = ADC10SREF_1 + canal;

    // Elegimos el canal a muestrear.

    if (cptr > end)
    {
        cptr = start;
    }

ADC10CTL0 &= ~ADC10ENC; // Desabilitamos la conversión.

while (ADC10CTL1 & BUSY);

for(i=0x00; i<samples ; i++)
{
    while (ADC10CTL1 & BUSY); // Wait if ADC10 core is active
    ADC10CTL0 |= ADC10ENC + ADC10SC; // Start the conversion
    __delay_cycles(25000); // Delay between conversions
    *cptr = ADC_Result;
}

```

```
        cptr++;
    }
}

int Average(int *cptr, int *start, int *end)
{
    int sum = 0;
    int j = 10;

    do
    {
        while ((cptr > start) && (j > 0))
        {
            sum += *cptr;
            cptr--;
            j--;
        }
        cptr = end;
    }

    while (j > 0);

    return sum;
}

// Interrupt routines
// TD0_D1 Interrupt vector
#pragma vector = TIMER0_D1_VECTOR
_interrupt void TIMER0_D1_ISR (void)
{
    if ((TD0CTL0 & TDIFG)==1)
    {
        TD0CTL0 &= ~TDIFG;
        contador++;
    }
}
```

```
if (contador == 99999)
{
    contador = 0;

    mide_corriente = 1;
    segundos++;

    if (segundos >= 60)
    {
        segundos = 0;
        minutos++;

        if ((minutos == 1) && ESTADO != 1)
        {
            mide_tension = 1;
        }

        if (ESTADO == 3)

// Aquí ya no se trata gestionar fallos, pasamos a Estado 4.

        {
            E3_timer++;

            if (E3_timer == 30)

// Este timer mide minutos, los otros miden horas.

            {
                Proper_Termination = 1;

// La batería está cargada.

                ESTADO = 4;
                E3_timer = 0;
                E4_timer = 0;
                contador = 0;
                segundos = 0;
                minutos = 0;
                horas = 0;
            }
        }
    }
}
```

```
if(minutos == 60)
{
    minutos = 0;
    horas++;
    if(horas == 1)
    {
        horas = 0;
        if(ESTADO == 1)
        {
            E1_timer++;
            if (E1_timer == 1)
            {
                E1_timer = 0;
                Alarma = 1;
                Fallo_Bateria = 1;
            }
        }
        if (ESTADO == 2)
        {
            E2_timer++;
            if (E2_timer == 3)
            {
                E2_timer = 0;
                Alarma = 1;
                Fallo_Bateria = 1;
            }
        }
        if (ESTADO == 4)
        {
            Proper_Termination = 1;
        }
    }
    // La batería está cargada.
}
}
```

```
        }

    }

}

TD0IV = 0x0000;

}

// ADC10 interrupt service routine

#pragma vector=ADC10_VECTOR

__interrupt void ADC10_ISR(void)

{
    switch(__even_in_range(ADC10IV,12))

    {

        case 0: break;                      // No interrupt

        case 2: break;                      // conversion result overflow

        case 4: break;                      // conversion time overflow

        case 6: break;                      // ADC10HI

        case 8: break;                      // ADC10LO

        case 10: break;                     // ADC10IN

        case 12: ADC_Result = ADC10MEM0;

                    break;                  // Clear CPUOFF bit from 0(SR)

        default: break;
    }
}
```

ANEXO IV SIMULACIÓN EN ORCAD PSPICE A/D

A continuación se introduce el código empleado para realizar las simulaciones en el programa PSpice A/D.

```
*FLYBACK_BIAS

.PARAM k = 0.98
.PARAM D = 0.08
.PARAM VBAT = 32V
.STEP PARAM D LIST = 0.285

C_Cx 2 1 0.47uF IC=325V
R_Rx 2 1 1.5meg
R_r1 2 80 0.01
C_CRect 3 0 150uF IC=325V
C_Cmkp 3 0 0.22u IC=325V
R_Rgnd2 9 0 1meg
R_Rgnd3 70 0 1meg

R_Rclamp 3 4 17000
C_Cclamp 3 4 1n IC=250V
d_Dclamp 11, 4, mod_DCL
.model mod_DCL d (rs=1m)

R_Rsnubb 11 6 1k
C_Csnubb 6 0 0.47nF IC=800V
d_Dsnubb 11, 6, mod_DSN
.model mod_DSN d (rs=1m)

R_Rmos 12 11 0.25
C_Cmos 11 0 300pF
```

```

K_tx1          L1_TX1  L2_TX1  L3_TX1  {k}
R_Rtx1         3 16  0.4
L1_tx1         16 10  230uH
L2_tx1         9 7  16uH
L3_tx1         70 71  4uH
L_Lleak        10 11  {230U*(1-k) }

C_Cbias        72 70  15UF  IC=15V
R_Rbia         72 70  1000
d_Dbia         71, 72, mod_DBIA
.model         mod_DBIA d (rs=1m)

C_Cout1        9 8  1000uF  IC= {VBAT}
C_Cout2        9 8  1000uF  IC= {VBAT}
d_Dout         7, 8, mod_DOUT
.model         mod_DOUT d (rs=1m)

d_DR4          0, 1, mod_DR4
.model         mod_DR4 d (rs=1m)
d_DR1          80, 3, mod_DR1
.model         mod_DR1 d (rs=1m)
d_DR3          0, 80, mod_DR3
.model         mod_DR3 d (rs=1m)
d_DR2          1, 3, mod_DR2
.model         mod_DR2 d (rs=1m)

s_Mosfet       12,0,13,0, mod_Q
.model         mod_Q vswitch (ron=1m]

V_VD           13 0
+PULSE (0 1 0 100n 100n {((D)/100kHz)} {1/100kHz})

```

```
Rbat          8 20 1
V_Vbat        20 9 ({VBAT})
V_V4          1 2
+SIN 0V 325V 50Hz 0 0 0

.OPTIONS RELTOL=0.01

.OPTIONS ITL4=100
.OPTIONS VNTOL=90m
.OPTIONS ABSTOL=50u
.TRAN 1uS 30000uS 800uS 0.1uS uic
.PROBE
.END
```

ANEXO V MANUAL DE USUARIO

CARGADOR DE BATERÍAS

MANUAL DE USUARIO

Por favor, lea y guarde estas instrucciones para el uso seguro y prolongado de su nuevo cargador.

INSTRUCCIONES IMPORTANTES DE SEGURIDAD

LEA ESTE DOCUMENTO ATENTAMENTE

- GUARDE ESTAS INSTRUCCIONES.

- Este manual contiene información importante acerca de la seguridad y modo de funcionamiento para cargar las baterías de forma automática.
- Para reducir riesgos de daños eléctricos en el dispositivo, el enchufe y el cable no tire del cable al desconectar el cargador.
 - No utilice un cable dañado o en mal estado. Reemplace el cable lo antes posible.

- No desmonte el cargador. Llévelo al centro de servicio cualificado cuando sea necesario repararlo. Un montaje incorrecto puede resultar en riesgo de incendio, shock eléctrico o daño a personas u objetos.
- Para reducir el riesgo de explosión de las baterías siga estas instrucciones y aquellas publicadas por el proveedor de baterías.
- No exponga el cargador a lluvia o nieve.

PRECAUCIONES PERSONALES

- No lleve ningún objeto metálico como anillos, brazaletes, collares o relojes cuando manipule las baterías. Las baterías pueden producir un cortocircuito a alta corriente produciendo quemaduras severas.

- Use este cargador únicamente para cargar baterías de níquel-hiduro metálico de 24 V y capacidad mayor que 4 Ah. El cargador no está diseñado para proporcionar corriente a otro sistema que no sea una batería de estas características.

PREPARARSE PARA CARGAR LA BATERÍA

- Si fuese necesario quite la batería de su emplazamiento habitual. Asegúrese de que todos los accesorios que alimenta la batería estén apagados para que al desenchufar la batería no se pueda producir un arco eléctrico.
- Limpie los terminales de la batería si tienen suciedad.
- Conecte el cargador a la corriente eléctrica y posteriormente conecte la batería. Un procedimiento contrario

- podría causar daños en el cargador o la batería.
- Si el indicador luminoso de color rojo se enciende desconecte la batería de inmediato.
- Si el indicador luminoso de color verde se enciende la batería está cargada y es el momento de desenchufarla.
- Para quitar la batería desenchufe el cargador de la corriente eléctrica y posteriormente desconecte la batería.

POSICIÓN DEL CARGADOR

- Conecte el cargador tan lejos de la batería como sea posible.
- Nunca ponga el cargador directamente encima de la batería mientras ésta está siendo cargada.
- Nunca ponga una batería encima del cargador.
- No coloque el cargador al alcance de la lluvia, la nieve o donde algún líquido pueda derramarse.

TOMA DE TIERRA Y CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA

- El cargador debería de estar conectado a la toma de tierra para reducir el riesgo de shock eléctrico. El cargador está equipado con un circuito de toma de tierra y con componentes para protegerlo contra sobrecorrientes.



PELIGRO - RIESGO DE SHOCK ELÉCTRICO

- El cargador debe de estar conectado a un enchufe que esté correctamente instalado y con un circuito de tierra

acorde a la normativa eléctrica vigente.

- Nunca altere el cable de conexión a la red eléctrica. Si éste no encaja en el cargador, contacte con un profesional cualificado para instalarlo. Una conexión inadecuada puede resultar en un riesgo de shock eléctrico.
- El cargador está diseñado para funcionar a 230V, 50 Hz con una potencia de entrada máxima de 180 W

PRECAUCIONES CON LA CONEXIÓN DE LA BATERÍA

- **PRECAUCIÓN: Conecte y desconecte el cargador de la red eléctrica antes de conectar y desconectar la batería.**

- Nunca permita que los terminales de salida del cargador de toquen.
- Asegúrese de conectar la batería con la polaridad correcta.

INSTRUCCIONES DE USO

- Este cargador está equipado con tecnología que activa y desactiva la carga de forma automática. Despues de conectar la batería, el cargador necesita sensar un voltaje mínimo para comenzar la carga y este terminará cuando se alcance un voltaje máximo, pero seguirá monitorizando la batería para frenar la autodescarga propia de estas baterías.
- Este dispositivo es para uso exclusivo de baterías de 24 V y capacidad mayor a 4 Ah.

- La batería debe poseer un sensor de temperatura tipo NTC de $10\text{ k}\Omega$ a una temperatura ambiente de 25°C . Si este sensor no se encuentra disponible utilizar la sonda suministrada y colocarla próxima a la batería.

Nota: Si el cargador no detecta una tensión mínima (10 V) por consecuencia de una descarga muy elevada de las baterías éste no comenzará la carga.

Paso 1: Hacer las conexiones.

Asegúrese de que los cables de conexión a la red eléctrica están en buenas

condiciones. Haga la conexión del cargador con la red eléctrica.

Paso 2: Conectar la batería.

Una vez conectado el cargador a la red eléctrica conectar la batería.

TIEMPO DE CARGA

La carga completa de baterías de capacidad 10Ah cuesta un tiempo aproximado de 3 horas. Si la carga no se ha realizado en este tiempo compruebe el estado de las baterías y del cargador.

Baterías con una carga parcial necesitan menos tiempo para ser cargadas.

Una vez cargadas, el cargador indicará con una señal luminosa de color verde que el cargador puede ser desconectado. Si las baterías siguen cargadas una vez que la indicación luminosa está activada se seguirán cargando a pequeña corriente para evitar la autodescarga.

POSIBLES PROBLEMAS

NO HAY INDICADORES LUMINOSOS

- Asegúrese de que el cargador está conectado a un enchufe en buen estado.
- Despues de desconectar de la red, asegúrese de revisar las conexiones de la batería con el cargador. Asegúrese de que los terminales de la batería estén limpios.
- Asegúrese de que la batería está en buen estado. Podría estar dañada o estar en circuito abierto.

INDICADOR LUMINOSO ROJO

- Asegúrese de que la batería no se encuentra en un estado de descarga muy avanzado.

- Asegúrese de que la temperatura de las baterías es inferior a 70ºC.
- Asegúrese de la seguridad estructural de las baterías. Podría estar dañada o en circuito abierto.

INDICADOR VERDE Y ROJO

- Si esta condición se cumple, la batería está cargada completamente pero ha sufrido un fallo en la última etapa de la carga.

INDICADOR LUMINOSO VERDE

- La batería está completamente cargada y puede ser desenchufada.

MANTENIMIENTO DEL CARGADOR

PRECAUCIÓN: Asegúrese de que el cargador está desconectado de la red eléctrica antes de realizar el mantenimiento.

Un mínimo de cuidados puede mantener al cargador funcionando en buenas condiciones durante años.

- Limpie los terminales después de cada uso.
- Si es necesario, la carcasa podría ser limpiada con un paño húmedo.

No hay componentes útiles para el usuario en el interior del cargador.

Para información adicional relacionada con el uso de este dispositivo acuda a un centro especializado o llame al teléfono de atención al cliente.

