

Autonomous Solar Energizer for Livestock Control: Engineering & Development Report

1. Resumen Ejecutivo.

Este documento detalla el desarrollo de un Energizador Autónomo Híbrido de Alto Voltaje (HV Energizer), diseñado para el control eficiente de ganado en entornos remotos. El dispositivo representa el ciclo completo de ingeniería de producto, integrando subsistemas de gestión de energía solar, electrónica de potencia para generación de pulsos de 12kV a 14kV y diseño mecánico con protección IP65 para garantizar operación continua y confiable bajo condiciones ambientales adversas.

2. Especificaciones Técnicas.

Parámetro	Valor	Notas de Ingeniería
Voltaje de Pulso	12kV – 14kV (Pico).	Generación de pulsos de alta tensión regulados.
Energía de Pulso	2 Joules.	Cumplimiento del estándar de energía para cercos eléctricos rurales.
Fuente de Alimentación	Híbrida	Panel Solar (Carga Principal) + Red Eléctrica (Backup/Operación Urbana).
Batería Interna	SLA 12V 12Ah	Gestión integrada en PCB para ciclos de carga optimizados.
Consumo Nominal	300 mA.	Consumo en operación continua (sin carga de batería).
Autonomía (Sin Sol)	1.7 días (Aproximadamente 40 horas).	Cálculo basado en la capacidad de la batería y el consumo nominal.
Protección Mecánica	IP65	Carcasa estanca, diseñada para resistencia total a polvo y agua.

3. Ingeniería de Hardware y Diseño Electrónico.

a. Arquitectura de Potencia y Disparo.

El diseño electrónico se centra en la eficiencia y la seguridad.

1. Etapa de Elevación (Boost): Se utiliza una topología Boost (Elevador) para escalar los 12VDC de la batería a una tensión de 400VDC. Esta conversión es asistida por un transformador oscilador diseñado específicamente para alta eficiencia.
2. Almacenamiento y Disparo: La energía elevada se almacena en un capacitor de polipropileno de baja ESR. El monitoreo de la carga se realiza mediante un

circuito de detección que emplea diodos Zener en combinación con un Diac (DB3) para garantizar el disparo preciso a un umbral de 420V.

3. Comutación HV: El pulso de energía almacenada es liberado a la bobina de alta tensión mediante la activación controlada de un SCR de potencia, elevando la tensión a los picos requeridos de hasta \$14kV para la cerca.

b. Gestión de Energía y Carga Dual.

Se implementó un circuito comutador inteligente para manejar dos fuentes de alimentación y optimizar la vida útil de la batería:

- Carga Continua: Ideal para regiones con baja irradiancia solar. La batería se mantiene en carga constante.
- Carga Inteligente (Smart Charging): Optimiza el ciclo de vida de la SLA. La carga se activa únicamente cuando el voltaje cae a 12V, cargando hasta 14.4 y deteniéndose para prevenir la sobrecarga.

c. Diseño de PCB (KiCad).

El diseño de la PCB se enfocó en el aislamiento de seguridad y la robustez:

- Se utilizó KiCad para el ruteado, prestando especial atención a las pistas de alta corriente y el uso de planos de tierra.
- Se diseñaron ranuras de aislamiento físico (Isolation Slots) en la PCB para aumentar la distancia de fuga (Creepage and Clearance) entre la etapa de baja tensión y la salida de \$14kV.
- La manufactura se gestionó con JLCPCB en China, asegurando componentes de calidad industrial.

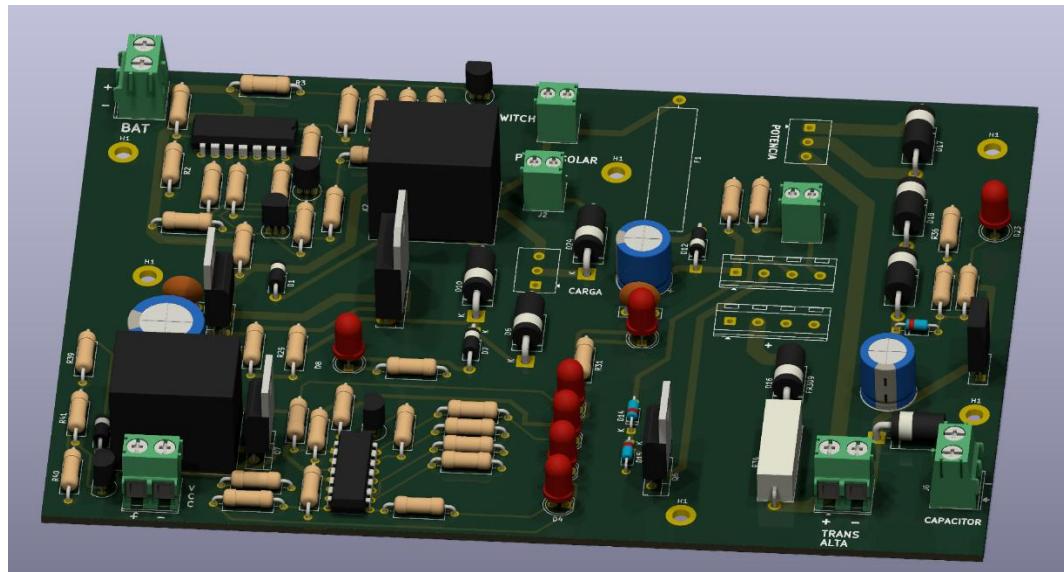


Figura 1: Renderizado de la PCB diseñada en KiCad.

4. Diseño Mecánico (Fusion 360).

- Modelado CAD: La carcasa fue diseñada en Fusion 360 para cumplir con la clasificación IP65, asegurando estanqueidad contra polvo y chorros de agua.
- Prototipado Rápido: Se utilizaron impresoras 3D (FDM) para iteraciones rápidas de la carcasa, validando tolerancias de encaje para la PCB, el transformador y el sellado de las juntas antes de la manufactura final.



Figura 2: Vista isométrica de la caja diseñada en Fusion 360.

5. Desafíos de Ingeniería y soluciones.

Desafío	Solución
Arcos voltaicos indeseados dentro de la caja.	Rediseño del ruteado en KiCad para aumentar el "Creepage and Clearance" (distancia de fuga).
Tiempos de Descarga elevados (baja frecuencia de pulso).	Aumento de la capacidad del transformador elevador y optimización del circuito oscilador.

Desgaste Prematuro de la batería (SLA).	Implementación de dos Modos de Carga (Continua / Inteligente) seleccionables por el usuario.
Necesidad de Operación con doble fuente (solar/red eléctrica).	Integración de un circuito conmutador de alimentación con protección para evitar la retroalimentación entre fuentes.

6. Manufactura y ensamble.

Gestión de proveedores internacionales (JLCPCB) para la fabricación de PCBs y sourcing de componentes electrónicos específicos.