

eCProbe Lab: Avances en el diseño y construcción de un recolector experimental de datos para prueba de baterías alcalinas en condiciones normales de operación

Ricardo Cattafi^{1,*}

¹Facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad Católica Santa María La Antigua

*Autor para correspondencia. E-mail: rcattafia@usma.com.pa

Recibido: 11 de septiembre de 2020

Aceptado: 22 de octubre de 2020

Resumen

Este trabajo presenta los avances del diseño y construcción en fase experimental de un dispositivo recolector de datos para factores de prueba de baterías alcalinas en condiciones normales de operación denominado eCProbe Lab. El desarrollo de éste es parte del plan de trabajo de un estudio para determinar la correlación entre factores ambientales y geográficos y la caducidad de carga de las baterías alcalinas primarias de tamaño AAA, AA, C, D y 9V en centros de distribución de baterías en Panamá. Los resultados muestran que ha habido un avance del 100% en la fase de especificación y diseño y un 60% en la construcción del eCProbe Lab. Se usó un plan de trabajo a 60 días (ampliado a 120 días por retrasos en la logística del cumplimiento de plan de trabajo) que comprendía las etapas de especificaciones de diseño, elaboración de modelos, simulación eléctrica, construcción y montaje y pruebas. Los resultados obtenidos muestran que el método, las especificaciones, el diseño y los métodos de construcción se han cumplido según el plan propuesto salvo la extensión de tiempo efectuada por problemas logísticos.

Palabras clave: Baterías alcalinas, Recolección de datos, Caducidad de baterías, Panamá.

Abstract

This work presents the advances in the design and construction in the experimental phase of a data collection device for test factors of alkaline batteries in normal operating conditions called eCProbe Lab. Its development is part of the work plan of a study to determine the Correlation between environmental and geographical factors and the expiration date of AAA, AA, C, D and 9V primary alkaline batteries in battery distribution centers in Panama. The results show that there has been 100% progress in the specification and design phase and 60% in the construction of the eCProbe Lab. A 60-

day work plan was used (extended to 120 days due to delays in compliance logistics of work plan) that comprised the stages of design specifications, modeling, electrical simulation, construction and assembly and testing. The results obtained show that the method, specifications, design and construction methods have been complied with according to the proposed plan, except for the extension of time made by logistical problems.

Keywords: Alkaline batteries, Data collection, Battery expiration, Panama.

1. Introducción

Las baterías alcalinas primarias (no recargables) son un producto comercial de alto consumo a nivel global. Solo en EEUU, el crecimiento estimado de ventas para el 2021 será de 7730 Millones de dólares (Statista, 2019). Según (OEC, 2020) las exportaciones en 2017 alcanzaron 7,99 Billones de dólares, siendo los mayores productores de baterías a nivel mundial: China (33%), EEUU (8,2%), Alemania (7,9%), Indonesia (7,1%), Singapur (6,6%), Japón (6,3%) y Bélgica (6%). Estas cifras incluyen todos los tipos de baterías comerciales de tipo primarias.

En Panamá no se fabrican baterías; no obstante, por ser un país con un fuerte componente logístico, la importación y reexportación de baterías a Latinoamérica y el Caribe es un área importante del comercio nacional, principalmente de la Zona Libre de Colón. Para el 2017, y según (OEC, 2020), Panamá importó la cantidad de 12,7 millones de dólares y reexportó 314,000 dólares en baterías primarias, siendo los principales destinos EEUU (32%), Chile (19%), Brasil (17%), Jamaica (11%) y Guyana (5,7%). También reexporta marginalmente a Colombia, Paraguay, Surinam, Antigua y Bermuda, Aruba y República Dominicana. Las importaciones de Panamá provienen principalmente de países fabricantes de baterías como China (43%), EEUU (34%) y Japón (17%)

No obstante ser un negocio de alta demanda, las ganancias producidas a partir de ese volumen de ventas podrían verse afectadas por factores como la geolocalización de las instalaciones de almacenamiento o las condiciones ambientales como la temperatura media y la humedad relativa de dichas instalaciones. De acuerdo con Crespo (2019), se ha observado que pareciera existir un diferente porcentaje de desecho de baterías por caducidad de la carga en diferentes puntos de distribución a nivel de Latinoamérica y el Caribe aun teniendo una fecha de fabricación similar.

Consideraciones técnicas

Una batería –también llamada batería eléctrica– es un dispositivo generador de energía eléctrica fundamentado en la conversión de energía potencial química en energía eléctrica a través de reacciones químicas de óxido-reducción entre un metal y un ácido, sal o álcali (electrolito). Está formada por una o un grupo de celdas galvánicas (pilas) interconectadas que generan corriente eléctrica continua. Posee dos polos (ánodo y cátodo) con polaridades contrapuestas por los que fluyen los electrones al cerrar un circuito. Entre los dos polos se establece una diferencia de potencial (voltaje) que se decremента durante el ciclo de vida de la batería, siendo, inicialmente, próxima al voltaje nominal de la batería. El voltaje nominal indicado en las baterías oscila entre 1.5V o de 9V según su tamaño (Crompton, 2000).

Según el tipo de reacción química (reversible o no reversible) se catalogan en primarias (no recargable) y secundarias (recargable). Se denominan alcalinas aquellas que utilizan un álcali (p.e. KOH) como electrolito (Crompton, 2000). En este trabajo se consideran las baterías alcalinas de tipo primario.

Las baterías alcalinas se usan principalmente para equipos de consumo de uso doméstico (17%), médico (15%), de cómputo (23%) y de comunicaciones (31%) (BBC Research, 2008). Se fabrican en tamaños AAA, AA, C, D y 9V y se distribuyen al detal en empaques de uno, dos, cuatro o más baterías; o al mayor en cajas de cartón de veinticuatro baterías. Cada batería está formada por una estructura cilíndrica o prismática que posee una carcasa metálica sellada donde se especifica de forma impresa la marca comercial, el tipo de batería, el tamaño, el voltaje nominal y la fecha de caducidad (Maxell Latinoamerica, 2019).

Caducidad de las Baterías

La caducidad de una batería puede ocurrir por dos razones: primera, por haber culminado su ciclo de vida. Como se observa en la Figura 1, el ciclo de vida inicia al momento de la carga inicial (generalmente en la fábrica) y finaliza cuando alcanza el nivel mínimo de voltaje (EOL) necesario para producir un flujo de corriente eléctrica entre sus polos.



Figura 1. Curva característica de carga/descarga de una batería. Adaptada de (Simpson, 2007)

El segundo caso ocurre cuando la fecha actual supera la fecha de caducidad estampada en la carcasa en el momento de su fabricación. En cualquiera de los dos casos una batería alcalina primaria que haya caducado debe ser desechada.

El Problema

El desecho de baterías por caducidad de carga durante su periodo de almacenamiento produce pérdidas en las empresas productoras y distribuidoras. Dichas pérdidas pueden impactar de forma importante el resultado económico anual de dichas empresas y son un factor de disconformidad en la calidad del servicio de estas.

Por ejemplo, la empresa Maxell Panamá –quien distribuye baterías a América Central, América del Sur y el Caribe- procesa un número porcentual diverso de devoluciones anuales por caducidad de las baterías almacenadas en bodega, haciéndose esto más notable en algunas ciudades de dichas regiones que en otras (Crespo, 2019).

Fundamentado en dicha observación, y en el comportamiento esperado del ciclo de descarga de las baterías, surge como interrogante la posible correlación entre la caducidad de la carga de las baterías y los factores geolocalización, temperatura promedio y humedad relativa existentes en las bodegas de almacenamiento o sitios de distribución final.

La geolocalización se considera como la posición geográfica (longitud y latitud) de las instalaciones de almacenamiento o distribución de las baterías de prueba al momento de hacer la medición. En caso de que efectivamente exista una correlación significativa entre la caducidad y la geolocalización de las baterías, es asumible que existan factores ambientales que sean responsables de la correlación como la temperatura media y/o la humedad relativa del lugar de almacenamiento, suponiendo que los mismos no tienen control forzado de temperatura y/o humedad relativa.

El objetivo del estudio es determinar la correlación entre factores ambientales y geográficos y la caducidad de carga de las baterías alcalinas primarias de tamaño AAA, AA, C, D y 9V de una marca comercial distribuida en Panamá utilizando el eCProbe Lab como dispositivo de recopilación de datos.

No obstante, para fines de este documento, el objetivo se centra en describir los avances en el desarrollo del eCProbe Lab como dispositivo recolector de datos para prueba de baterías alcalinas en condiciones normales de operación.

eCProbe Lab: Un recolector de datos experimental

Para la medición de la caducidad de carga de la batería (voltaje en el cual alcanza el EOL), la geolocalización, la temperatura media y la humedad relativa se diseñó y construyó en fase experimental un dispositivo recolector de datos para factores de prueba de baterías alcalinas en condiciones normales de operación denominado eCProbe Lab.

El mismo es un banco de pruebas para baterías de tamaños AAA, AA, C, D y 9V con control automatizado de recopilación de datos, almacenamiento y transmisión a un centro de datos. El dispositivo debe contener sensores internos y la capacidad de comunicarse alámbrica o inalámbricamente con un módulo de sensorización externo para pruebas en condiciones de alto nivel de humedad relativa o de temperatura donde exista riesgo de daños en los componentes del equipo principal.

Actualmente existen diversos tipos de dispositivos para la recolección de datos (comúnmente denominados dataloggers) en el mercado como (<https://rb.gy/eo4ssi>) y cámaras ambientales de prueba como (<https://rb.gy/h5otp4>). Estas últimas se utilizan en entornos industriales para someter a pruebas dispositivos en diversos entornos ambientales. Por otra parte, las características comunes que se pueden encontrar en un datalogger comercial son: a) lectura de datos de humedad relativa, voltaje y temperatura, b) conectividad WiFi con equipos móviles o fijos, c) algunos poseen interfaz de datos LCD 5x1; no obstante, los data loggers comerciales no están diseñados específicamente para medición de baterías en tiempo real, por lo que se requiere diseñar y construir un dispositivo que

cumpla las características del experimento diseñado. Las cámaras ambientales de prueba no son una opción debido a que el experimento está diseñado para realizarse en condiciones normales de uso o almacenamiento.

El dispositivo requerido en el experimento debe cumplir las características de un datalooger comercial y además debe incluir: b) detección de geolocalización, c) conectividades Ethernet y RF, d) toma de tiempo real, e) interfaz de datos LCD 16x4, f) almacenamiento de datos en tarjetas SD, g) conectividad alámbrica con sensores externos; además de incorporar un receptáculo todos los tamaños de baterías a probar (AAA, AA, C, D y 9V).

2. Métodos

A continuación, se describen en forma general el método del experimento previsto y en forma detallada el método de desarrollo del eCProbe Lab.

Método experimental

Para determinar si existe la posible correlación entre uno o más de los factores mencionados y la caducidad de la carga de las baterías en las bodegas de almacenamiento o sitios de distribución final se diseñó un experimento en el cual se someterán a prueba una muestra representativa de baterías de tamaños AAA, AA, C, D y 9V de cinco (5) marcas comerciales distribuidas en Panamá (Ray-O-Vac, Varta, Maxcell, Energizer y Duracell). Las pruebas están previstas realizarlas en cinco (5) centros de distribución de baterías repartidas en diferentes zonas geográficas del territorio nacional.

Una unidad de eCProbe Lab se ubicará en cada uno de los sitios de la prueba (centros de almacenamiento y distribución a nivel nacional) con un juego de baterías de cada tamaño estudiado.

Dichos datos serán almacenados en tarjetas SD y se enviarán vía Ethernet o WiFi a un centro de almacenamiento de datos. Los mismos servirán como insumo para realizar análisis estadísticos de comparación de grupos para evidenciar si existe un comportamiento distinto de la caducidad de las baterías dependiendo de los factores mencionados.

Método de desarrollo del eCProbe

Se utilizó una metodología adaptada sobre la propuesta de (Jiménez Fernández, C, López Ojeda & León de Mora, 2010) que consiste en realizar el diseño, construcción y prueba del circuito en cinco etapas:

- 1) Especificaciones de diseño: se describen la funcionalidad del componente y sus propiedades eléctricas, físicas y operacionales.
- 2) Elaboración de modelos: consiste en un diseño conceptual usando modelos gráficos e intuitivos que muestran la interconexión de los componentes, fuentes de alimentación y conectores de entrada y salida

3) Simulación Eléctrica: valida la operatividad del circuito para detectar errores tanto en las especificaciones, como en los modelos. La simulación se realiza con programas especiales para tal fin que permiten escoger entre diferentes tipos de simulación y tiene acceso a una base de datos de dispositivos electrónicos que permiten simular su comportamiento. También se pueden simular en forma física usando componentes convencionales o tipo Arduino.

4) Construcción y Montaje: construcción de soportes e instalación de los dispositivos electrónicos que conforman el diseño en una placa.

5) Pruebas: Se realizan las pruebas del componente para verificar si su funcionalidad corresponde con las especificaciones.

3. Resultados

Los avances logrados en el diseño y elaboración del eCProbe Lab hasta la fecha de elaboración de este documento son los siguientes:

a) Especificación del eCProbe Lab

Se realizó una lista de especificaciones del dispositivo (Anexo A). La especificación considera los aspectos constructivos, estéticos y operacionales del eCProbe Lab

b) Elaboración de modelos y pruebas conceptuales

b.1) Diseño conceptual del eCProbe Lab

El diseño conceptual del eCProbe Lab se realizó en dos formatos: un formato pictórico (Figura 2) y un diagrama esquemático (no mostrado). Para efectos de simplificación se utilizó un modelo basado en componentes compatibles con la arquitectura Arduino NANO.

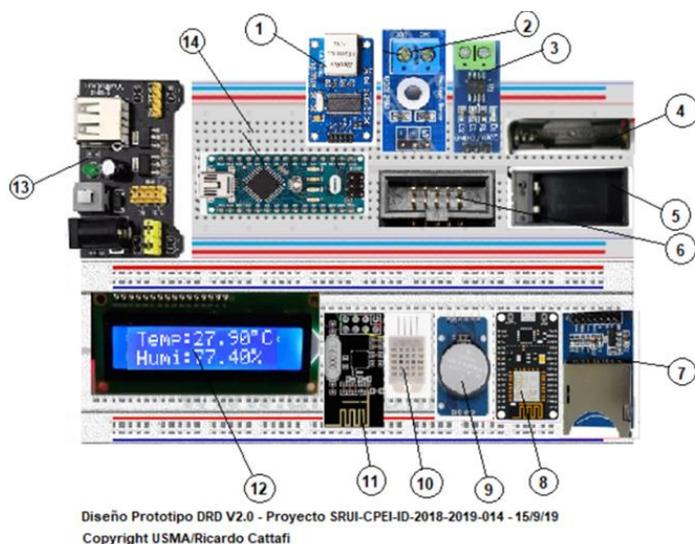


Figura 2. Modelo conceptual pictórico del eCProbe Lab mostrando sus componentes: 1)Módulo de Ethernet, 2) Módulo de medición de voltaje, 3)Módulo de medición de corriente, 4) Porta batería de tipo AA, 5) Porta batería de tipo 9V, 6)Conector de cable cinta de 10 pines, 7)Módulo de

lectura/escritura de Tarjeta SD, 8) Módulo de transmisión WiFi, 9) Módulo de Tiempo Real, 10) Sensor de Temperatura/humedad relativa, 11)Módulo de transmisión inalámbrica RF, 12)Display LCD 16x2, 13)Módulo de control de fuente de Alimentación, 14)Arduino NANO, 15) Protoboard

b.3) Diseño de detalles del eCProbe Lab

El diseño detallado fue realizado utilizando el programa AutoCAD V2020 y técnicas de dibujo de modelos tridimensionales. El resultado fueron los planos de diseño detallado de los cuales se muestra un extracto en la Figura 3.

c) Simulación eléctrica

c.1) Prueba conceptual del eCProbe Lab

Se realizó una prueba conceptual del eCProbe Lab consistente en una simulación con el software Proteus V8.6 y un montaje en tableta de simulación de circuitos (protoboard). Tanto la simulación en software como en circuito físico produjeron los datos esperados.

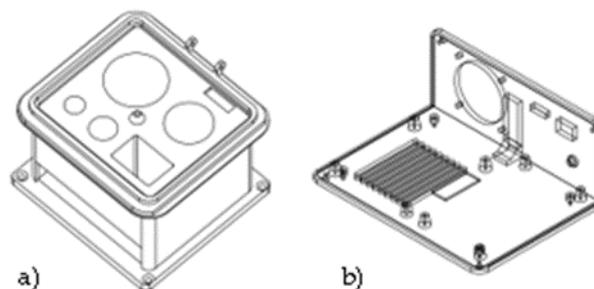


Figura 3. Imagen del modelo tridimensional del eCProbe Lab a) Porta baterías y b) eCProbe Lab-Base de carcasa

d) Construcción y Montaje

d.1) Construcción de la carcasa y la porta baterías

La carcasa y la porta baterías del eCProbe se construyó utilizando la técnica FDM (Fused Deposition Modeling) en una impresora 3D marca Prusa i3 MK3S y filamento de material PTEG color blanco.

d.2) Instalación de componentes

Como se observa en la Figura 3, los componentes electrónicos y eléctricos fueron instalados manualmente siguiendo procedimientos convencionales. Luego fueron ensamblados en la carcasa.

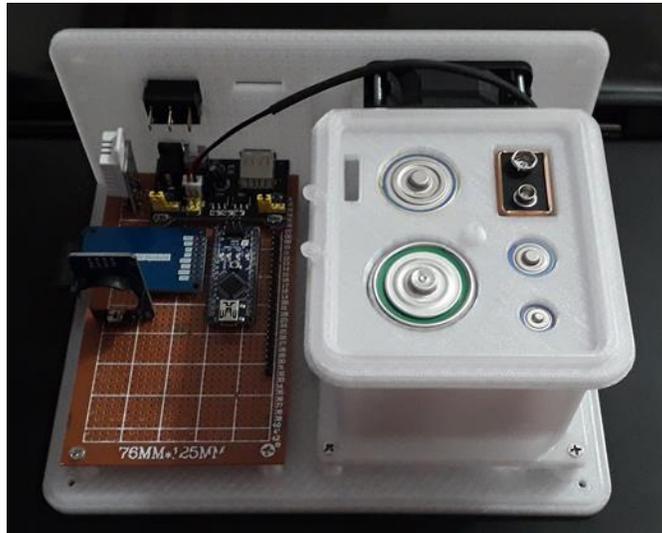


Figura 4. Fotografía del eCProbe Lab mostrando su parte interna, la porta baterías y algunos componentes electrónicos

e) Prueba conceptual del eCProbe Lab

Se realizó una prueba conceptual del eCProbe Lab consistente en una simulación con el software Proteus V8.6 y un montaje en tableta de simulación de circuitos (protoboard). Tanto la simulación en software como en circuito físico produjeron los datos esperados.

4. Conclusión

La construcción del eCProbe Lab es parte del plan de trabajo de un estudio para determinar la correlación entre factores ambientales y geográficos y la caducidad de carga de las baterías alcalinas primarias de tamaño AAA, AA, C, D y 9V.

El objetivo de este trabajo es mostrar los avances del diseño y construcción en fase experimental de un dispositivo recolector de datos para prueba de baterías alcalinas primarias en condiciones normales de operación.

Los resultados muestran que el método, las especificaciones, el diseño y los métodos de construcción se han cumplido. La fase de especificación y diseño del eCProbe Lab se cumplió en un 100% mientras su construcción tiene un 60% de avance. Aunque el plan original preveía su culminación en 60 días, algunos retrasos han ocurrido en el plan original y se estableció un nuevo periodo de culminación de 120 días. No obstante, la construcción realizada hasta ahora cumple con las especificaciones previstas por lo que se considera cumplido el propósito de este trabajo.

5. Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto Nro. SRUI-CPEI-ID-2018-2019-014 subvencionado por la Universidad Católica Santa María la Antigua.

6. Referencias

- Battery Association of Japan. (2017). Total, Battery Production Statistics. Recuperado el 12 de Febrero de 2019, de <https://web.archive.org/web/20180617172302/http://www.baj.or.jp/e/statistics/01.html>
- BBC Research. (2008). Global Market for Portable Battery Powered Products Worth \$461.5 Billion by 2013. Obtenido de <https://bccresearch.wordpress.com/tag/battery/>
- Crespo, M. (Septiembre de 2019). Reunión Informativa del plan del proyecto SRUI-CPEI-ID-2018-2019-014. Reunión llevada a cabo en la Dirección de Investigación de la USMA. Panamá.
- Crompton, T. (2000). Battery reference book. Newnes.
- Dawar, N., & Parker, P. (4 de 1994). Marketing Universals: Consumers' Use of Brand Name, Price, Physical Appearance, and Retailer Reputation as Signals of Product Quality. *Journal of Marketing*, 58(2), 81.
- de Sevilla España Jiménez Fernández, U., Ojeda, L., & de Mora, L. (2010). Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación*. 37, 19-27.
- Distribución de Uso de las Baterías. (s.f.). Obtenido de <https://bccresearch.files.wordpress.com/2008/07/graph.jpg>
- Jiménez Fernández, C, López Ojeda, A., & León de Mora, C. (2010). Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación*. 37, 19-27.
- Maxell Latinoamerica. (2019). Maxell Latinoamérica-Productos. Obtenido de <http://www.maxell-latin.com/productos/energa/#subcat-82>
- OECD (2014). Apuesta por las Recargables. Organización de Consumidores y Usuarios. Obtenido de https://www.ocu.org/-/media/ocu/images/paper%20publications/ocucumpra%20maestra/2014/394/pilas%20recargables%20vs%20alcalinas/reference/pilas%20recargables%20vs%20alcalinas/cm394_jul2014_bateriasaa%20pdf.pdf?la=es-es
- Simpson, C. (2007). Characteristics of Rechargeable Batteries. Texas Instruments Inc.
- Statista. (2019). Alkaline battery market size worldwide, 2013-2021 Statistics. Obtenido de <https://www.statista.com/statistics/881135/alkaline-battery-market-size-worldwide/>
- Battery Association of Japan. (2017). Total, Battery Production Statistics. Recuperado el 12 de Febrero de 2019, de <https://web.archive.org/web/20180617172302/http://www.baj.or.jp/e/statistics/01.html>
- BBC Research. (2008). Global Market for Portable Battery Powered Products Worth \$461.5 Billion by 2013. Obtenido de <https://bccresearch.wordpress.com/tag/battery/>
- Crompton, T. (2000). Battery reference book. Newnes.

Dawar, N., & Parker, P. (4 de 1994). Marketing Universals: Consumers' Use of Brand Name, Price, Physical Appearance, and Retailer Reputation as Signals of Product Quality. *Journal of Marketing*, 58(2), 81.

de Sevilla España Jiménez Fernández, U., Ojeda, L., & de Mora, L. (2010). Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación*. 37, 19-27.

Distribución de Uso de las Baterías. (s.f.). Obtenido de <https://bccresearch.files.wordpress.com/2008/07/graph.jpg>

Jiménez Fernández, C, López Ojeda, A., & León de Mora, C. (2010). Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación*. 37, 19-27.

Maxell Latinoamerica. (2019). Maxell Latinoamérica-Productos. Obtenido de <http://www.maxell-latin.com/productos/energa/#subcat-82>

Anexo A: Especificaciones técnicas y operacionales del eCProbe Lab

Funcionalidades Básicas

- El eCProbe Lab-Base se activa con un apagador que está en la parte posterior
- EL eCProbe Lab -Base enciende una luz de activado
- El eCProbe Lab -Base inicializa el microcontrolador
- Se colocan las baterías de prueba en cada receptáculo apropiado según el tamaño
- Se coloca la tarjeta SD-Card en el receptáculo apropiado
- Se pulsa el botón de reinicio
- Se verifica en la pantalla LCD que tenga la fecha correcta y se observen los valores de las mediciones de los sensores
- Se encienden las luces de conexión serial y conexión al SD-Card
- Se enciende la luz de conexión inalámbrica
- Inicia la grabación de datos en la SD-Card
- Inicia el envío de datos por la conexión inalámbrica

Dimensiones

- La vista superior del eCProbe Lab -Base tiene un formato rectangular de máximo 10 cmx15cm y una profundidad de 10 cm
- La vista posterior, lateral derecha y lateral izquierda del eCProbe Lab -Base tienen un formato rectangular con medidas ajustadas a la vista frontal
- La base del eCProbe Lab -Base estará soportada por cuatro regatones de tamaño apropiado fijados por tornillos
- El peso del eCProbe Lab -Base no puede superar los 200gm

Consideraciones de Potencia

- El eCProbe Lab -Base utiliza una entrada de potencia de 9V y 2 amp suministrada por una fuente de poder
- El funcionamiento de eCProbe Lab -Base está supeditado a la existencia de potencia externa

Estética

- El eCProbe Lab -Base tiene una forma prismática con base y lados rectangulares
- El eCProbe Lab -Base tiene las esquinas redondeadas
- Los colores del eCProbe Lab -Base son de dos tonalidades de color pastel (ocre, blanco o negro)
- El eCProbe Lab -Base tiene una pegatina (sticker) con la información técnica y de propiedad
- El eCProbe Lab -Base tiene conectores para alimentación y entrada de corriente del eCProbe Lab -Externo
- El eCProbe Lab -Base tiene luces indicadoras (LEDs) del mismo color

Interfaz de usuario

- El eCProbe Lab -Base se controla por medio de botones, luces indicadoras y de una pantalla LED

Tiempo de Vida

- El tiempo de vida del eCProbe Lab -Base es de 5 años

Ambiente general de operación

- El eCProbe Lab -Base es para ser utilizado en ambientes cubiertos, a temperatura y humedad ambiente
- El eCProbe Lab -Base tendrá un nivel de protección externa IP55 con limitada protección para polvo

Uso

- El eCProbe Lab -Base no puede ser sometido a usos fuera de los especificados

Riesgos de uso

- El eCProbe Lab -Base utiliza energía eléctrica para su funcionamiento por lo que posee los riesgos de recalentamiento, shock eléctrico
- Debido a que las baterías de prueba pueden estar sometidas a sobrecargas de corriente pueden recalentarse e incendiarse por lo que requiere monitoreo durante su operación

Mantenimiento esperado

- El eCProbe Lab -Base requiere un mantenimiento mínimo mientras se encuentre en condiciones normales de operación
- En caso de fallas debe ser mantenido por personal especializado ligado al proyecto

Reciclaje

- El eCProbe Lab -Base será reciclado una vez que cumpla su vida útil y se haya completado los objetivos del proyecto
- El reciclaje se realizará según las directivas del WEEE.

Métodos de fabricación

- El eCProbe Lab -Base será fabricado usando técnicas de:
 - o Impresión 3D en material PTEG
 - o Ensamblado de componentes en forma manual

Cantidades Producidas

- Para cumplir los objetivos del Proyecto se esperan producir cinco unidades del eCProbe Lab -Base

Costos

- Cada unidad de eCProbe Lab -Base tiene un costo estimado de \$250,00

Mercadeo

- El eCProbe-Base no será mercadeado. Su uso está limitado a los objetivos del proyecto