

UTSIC

UNIDAD TÉCNICA DE
**SERVICIOS DE INFORMÁTICA
Y COMUNICACIONES**

ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES PARA EL DESARROLLO DE LA URNA ELECTRÓNICA DEL IMPEPAC

Noviembre 2025



INDICE

Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES.	2
Tarjeta de Desarrollo: Raspberry Pi 4	2
Chasis	0
Módulo de Votación (Pantalla Táctil y Lector RFID).....	2
Parte Posterior del módulo de votación (Impresora Térmica, Batería y Cableado)	2
CONCLUSIÓN:	3
CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA URNA ELECTRÓNICA	4
RECOMENDACIONES PRÁCTICAS Y FORMATO INSTITUCIONAL.....	8



I. INTRODUCCIÓN.

El presente documento tiene como finalidad la justificación de la elección de los materiales y componentes necesarios para el desarrollo del prototipo de la urna electrónica del IMPEPAC.

II. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y FUNCIONALES.

El análisis parte de la identificación de los requerimientos funcionales de alta prioridad, como la capacidad de iniciar el sistema, permitir al votante elegir candidaturas y confirmar su selección, generar un documento físico (testigo de voto), y calcular y presentar el conteo total de votos de manera automatizada (acta de término de la jornada electoral). Los requerimientos no funcionales se definen por la elección de la tecnología de software libre (PHP, Rocky Linux 9, GTK3, SQLite 3) y la arquitectura (ARM).

Tarjeta de Desarrollo: Raspberry Pi 4

Para la elección de la arquitectura de la unidad central de procesamiento de la Urna Electrónica, se tomó en cuenta criterios de racionalidad presupuestal y aspectos técnicos resumidos en la tabla 1.

Tabla 1. Resume ventajas, limitaciones y recomendaciones respecto al uso de cada plataforma como unidad central en una urna electrónica de votación.

Criterio	Raspberry Pi (ARM, Linux)	Arduino / Microcontroladores	x86 (mini PC)
Costo unitario aproximado	Bajo–Medio (~25–120 USD)	Muy bajo (~5–40 USD)	Medio–Alto (~150–600+ USD)
Consumo energético	Muy eficiente (3–8 W), apto para batería/UPS.	Excelente (miliamperios).	Alto (10–60 W), requiere más gestión térmica y energía
Sistema operativo	Soporta Linux completo (Rocky Linux, Debian, etc.) → facilita servicios, cifrado, DB.	No ejecuta SO completo; firmware en tiempo real.	Soporta Linux/Windows/entornos empresariales completos.
Interfaz gráfica / pantalla táctil	Soporta pantallas grandes (>7") y controladores táctiles.	Limitado; mejor como controlador de sensores o botones; no para UI compleja.	Soporta sin problema; ideal para UI compleja y renderizado pesado.
Capacidades criptográficas	Bibliotecas robustas disponibles; suficientes para	Limitado por recursos; operaciones criptográficas	Alto rendimiento criptográfico; ideal si se requieren operaciones

	AES-256, RSA, <i>hashing</i> .	complejas serán lentas o imprácticas.	intensivas o <i>hardware crypto</i> .
Conectividad y E/S	Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, USB, GPIO → muy versátil.	GPIO abundante; limitada conectividad nativa.	Múltiples interfaces profesionales, puertos PCIe, USB múltiples.
Soporte y comunidad	Gran comunidad, amplia documentación.	Excelente comunidad para hardware y bibliotecas para sensores.	Soporte industrial y comercial; menos " <i>maker community</i> " pero fuerte en empresa.
Confiabilidad en campo	Buena para prototipos y despliegues masivos con configuración y pruebas; con opción SoC.	Muy confiable para tareas concretas y de bajo nivel; perfecto como subsistema.	Alta confiabilidad en modelos industriales; potencialmente mayor MTBF en hardware certificado.
Tamaño y factores mecánicos	Compacta; fácil integrar en chasis; poco calor.	Muy pequeña; ideal para ubicaciones reducidas y módulos de I/O.	Más grande; requiere ventilación; modelos <i>fanless</i> industriales son disponibles.

Facilidad de desarrollo	Herramientas GNU/Linux, Python/C/C++, contenedores, integración CI/CD.	Programación sólo en C/C++/Arduino; servicios de alto nivel poco disponibles.	Alta para entornos empresariales; mayor complejidad de despliegue, pero robusta.
Escalabilidad y producción	Alta: bajo costo unitario y fácil estandarización; buena para despliegue estatal.	Alta en volumen para funciones concretas; no para CPU principal a gran escala.	Posible pero más costosa; mejor para soluciones con requerimientos industriales o en centros de cómputo.
Seguridad física	Se recomienda implementación de <i>secure boot</i> , cifrado de disco y módulos <i>TPM/secure elements</i> en combinación.	Útil para sensores de tamper y bloqueo físico; no para almacenamiento cifrado avanzado.	Soporta módulos TPM, HSM y soluciones de seguridad empresarial; ventaja en escenarios de alta certificación.

La Raspberry Pi 4 fue seleccionada como unidad central de procesamiento del prototipo debido a su equilibrio entre capacidad de cómputo, costo, consumo energético, compatibilidad con sistemas operativos seguros y soporte comunitario. Sus principales ventajas son:

- Arquitectura ARM de 64 bits, adecuada para aplicaciones de cómputo, cifrado y control de interfaces gráficas.
- Capacidad para ejecutar sistemas operativos basados en Linux, como Rocky Linux 9.0, permitiendo la integración de:
 - Servicios de cifrado.
 - Bases de datos.
 - Autenticación de usuarios.
 - Auditoría de eventos.
- Bajo consumo energético, ideal para operación con batería.
- Amplia disponibilidad de puertos: USB, HDMI, GPIO, Ethernet, Wi-Fi y Bluetooth.
- Comunidad global activa, lo cual facilita:
 - Soporte técnico.
 - Actualizaciones de seguridad.
 - Desarrollo de aplicaciones y controladores.

La Raspberry Pi 4 se convierte así en el núcleo tecnológico del sistema de votación electrónica, permitiendo integrar los módulos de captura de votos, autenticación, impresión, almacenamiento y comunicación de manera eficiente y segura.

Por lo anterior, se considera que para el prototipo y pruebas piloto de una urna electrónica orientada a votaciones con interfaz táctil, auditoría y cifrado, Raspberry Pi (u otro SoC ARM con Linux) ofrece el mejor equilibrio entre coste, funcionalidad, facilidad de desarrollo y posibilidad de auditoría ciudadana.

Material del Chasis del Prototipo

Chasis

El chasis del prototipo de la urna electrónica fue diseñado utilizando acrílico blanco de 5 mm de espesor para el módulo de votación principal, así como acrílico transparente en el módulo frontal del compartimento de impresión, debido a una combinación de factores técnicos, funcionales, económicos y de seguridad.



El acrílico blanco de 5 mm fue seleccionado por las siguientes razones:

- Resistencia mecánica adecuada: El espesor de 5 mm proporciona rigidez estructural suficiente para proteger los componentes electrónicos internos ante vibraciones, movimientos, manipulación continua y golpes accidentales durante su operación.
- Ligereza: A diferencia de materiales metálicos, el acrílico reduce significativamente el peso del prototipo, facilitando su transporte, instalación y almacenamiento.
- Aislamiento eléctrico: El acrílico es un material dieléctrico, lo cual disminuye el riesgo de cortocircuitos en caso de fallas en el cableado interno.
- Facilidad de fabricación: Permite procesos de corte láser y ensamblado de alta precisión, lo cual es ideal para la elaboración de prototipos funcionales.
- Costo accesible: En comparación con chasis metálicos o polímeros industriales, el acrílico representa una alternativa de bajo costo que no compromete la funcionalidad.

Por su parte, el acrílico transparente ubicado en la parte frontal del módulo de impresión cumple una función clave en términos de:

- Transparencia y confianza ciudadana: Permite que el votante observe directamente la impresión de su comprobante de votación, fortaleciendo la transparencia, la trazabilidad y la confianza en el sistema.
- Verificación visual inmediata: El ciudadano puede confirmar su voto antes de que el ticket sea cortado automáticamente y depositado en el fondo físico de la urna.



- Protección física: Evita el acceso directo a la impresora térmica y a los comprobantes, reduciendo riesgos de manipulación indebida.

Módulo de Votación (Pantalla Táctil y Lector RFID)

El módulo de votación integra una pantalla táctil de 10.5 pulgadas y un lector de tarjetas RFID, ambos resguardados dentro del chasis de acrílico blanco.

La pantalla táctil de 10.5 pulgadas fue seleccionada debido a que:

- Proporciona una superficie visual adecuada para interfaces de votación claras, legibles y accesibles, incluso para personas adultas mayores.
- Permite mostrar boletas completas, instrucciones, confirmaciones y mensajes de seguridad sin saturar la interfaz.
- Favorece la usabilidad, accesibilidad e inclusión tecnológica.

El lector RFID fue integrado con el objetivo de:

- Permitir mecanismos de autenticación de votantes, personal electoral o administradores del sistema.
- Fortalecer los esquemas de control de acceso, evitando la emisión de votos no autorizados.
- Facilitar procesos de validación en escenarios piloto, escolares, consultas ciudadanas o procesos institucionales.

Parte Posterior del módulo de votación (Impresora Térmica, Batería y Cableado)

En la parte posterior del módulo de votación se integran:

- Impresora térmica
- Batería de 24,000 mAh

- Sistema de cableado interno oculto

La impresora térmica cumple una función fundamental en la verificabilidad del voto, ya que:

- Permite la generación de un comprobante físico del voto emitido.
- Refuerza los principios de auditoría, trazabilidad y transparencia electoral.
- Sirve como respaldo en caso de auditorías posteriores al proceso electrónico.

La batería de 24,000 mAh fue seleccionada debido a que:

- Garantiza la operación autónoma de la urna durante la jornada de votación.
- Permite continuidad del servicio ante fallas de suministro eléctrico.
- Aporta confiabilidad operativa en zonas con infraestructura eléctrica limitada.

El cableado oculto responde a criterios de:

- Seguridad física, evitando manipulaciones accidentales o intencionales.
- Estética y orden, facilitando el mantenimiento y reduciendo errores de conexión.
- Disminución de riesgos eléctricos.

CONCLUSIÓN:

De manera integral, la selección de acrílico, pantalla táctil, lectora RFID, impresora térmica, batería de alta capacidad y Raspberry Pi 4 responde a los siguientes principios de diseño:

- Seguridad física y lógica
- Transparencia electoral
- Autonomía operativa
- Accesibilidad para el usuario



- Viabilidad económica
- Escalabilidad para pruebas piloto y despliegues futuros

Estos elementos hacen que el prototipo sea técnicamente viable, socialmente confiable y económicamente sustentable, alineándose con los objetivos del proyecto de implementación de urna electrónica para procesos de votación en el estado de Morelos.

CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA URNA ELECTRÓNICA

Para garantizar la correcta operación, durabilidad y seguridad de la urna electrónica, es indispensable establecer rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo. Dichas actividades deberán incluir la limpieza periódica de la pantalla táctil y del chasis de acrílico, empleando únicamente materiales antiestáticos y soluciones no abrasivas para evitar daños a los componentes y conservar la visibilidad del sistema. Asimismo, deberá realizarse la revisión periódica del cableado interno, verificando la firmeza de las conexiones, la ausencia de falsos contactos y el adecuado aislamiento eléctrico. De igual forma, la batería de 24,000 mAh deberá ser inspeccionada regularmente, evaluando su capacidad de carga, ciclos de vida y desempeño durante jornadas prolongadas (según el manual de usuario proporcionado por el proveedor), procediendo a su reemplazo cuando se detecte degradación en su autonomía. Estas acciones permiten reducir fallas operativas, prolongar la vida útil del equipo y asegurar la confiabilidad del sistema en cada proceso electoral.

Procedimiento de Mantenimiento, pasos detallados:

1. Inspección inicial antes de la jornada
 - Verificar el estado general del chasis (acrílico), limpieza visible, ausencia de grietas o deformaciones.



- Comprobar que la pantalla táctil no presente rayones profundos ni zonas con pérdida de sensibilidad.
- Revisar el compartimento de la impresora y confirmar que tenga papel térmico suficiente.
- Verificar el estado de la batería (indicador LED) y que el cargador esté disponible.

2. Limpieza de la pantalla táctil

- Apagar la urna y desconectar la batería si procede.
- Usar paño de microfibra antiestático ligeramente humedecido con agua destilada o solución específica para pantallas (no usar alcohol isopropílico al 100% ni acetona).
- Limpiar con movimientos suaves y circulares; secar con paño seco de microfibra.
- No aplicar humedad directamente sobre puertos ni aberturas.

3. Limpieza del chasis acrílico

- Emplear paño suave y solución jabonosa diluida o limpiador específico para acrílico.
- Evitar solventes agresivos (acetona, thinner) que dañan el acrílico.
- Secar y, si es necesario, pulir con paño suave para eliminar marcas.
- Verificar cierres y tornillería del chasis tras la limpieza.

4. Revisión del cableado interno

- Apagar la urna y desconectar la batería antes de abrir el acceso.



- Abrir el compartimento de mantenimiento con las herramientas autorizadas.
- Verificar que conectores (USB, HDMI, conector de impresora, alimentación) estén firmes y sin corrosión.
- Revisar bridas y guías de cableado; asegurar que no haya tensiones ni roces que dañen el aislamiento.
- Registrar cualquier observación y cerrar el compartimento con los sellos o cierres correspondientes.

5. Verificación y prueba de la impresora térmica

- Comprobar que el rollo de papel esté correctamente colocado y el mecanismo de corte funcione.
- Realizar una impresión de prueba para validar calidad y sincronía con el software.
- Limpiar cabezal de impresión si el fabricante lo indica y retirar restos de papel o polvo.

6. Revisión de la batería (24,000 mAh)

- Medir tensión y, si se dispone, chequeo de capacidad con equipo de medición (registrar voltaje en reposo y carga).
- Revisar conectores, bornes y circuito de gestión de batería (BMS), buscando hinchamiento o daño físico.
- Registrar ciclos de carga/uso en la bitácora. Reemplazar batería si la capacidad real cae por debajo del 80% del nominal o si muestra signos de fallo.



7. Prueba operativa completa

- Encender la urna y realizar una votación de prueba (modo diagnóstico) que incluya:
 - Autenticación por RFID.
 - Selección en pantalla táctil.
 - Confirmación de voto.
 - Impresión de comprobante y registro en almacenamiento cifrado.
- Verificar que los logs/auditoría registren cada evento y que la comunicación (si aplica) funcione.

8. Registro en bitácora

- Anotar fecha, hora, responsable, tareas realizadas, resultados de pruebas y cualquier incidencia.
- Guardar registros digitales (log exportado) y una copia física de la bitácora para efectos de auditoría institucional.

9. Mantenimiento correctivo y escalamiento

- Si se detecta una falla grave (corte incorrecto o incompleto de impresora, pantalla inoperativa, batería defectuosa, conectividad caída), documentar e inmovilizar la unidad.
- Escalar a soporte técnico según protocolo (incluir número de serie de la urna, versión del software y logs).
- No reingresar la urna a operación hasta que se verifique la reparación y se realicen pruebas de validación.



RECOMENDACIONES PRÁCTICAS Y FORMATO INSTITUCIONAL

- Frecuencia: mantenimiento preventivo mínimo: (a) antes de cada jornada electoral, (b) al finalizar la jornada y (c) revisión trimestral para inventario y baterías.
- Insumos autorizados: paños de microfibra antiestático, solución limpiadora para acrílico aprobada, rollos de papel térmico especificados, baterías y repuestos homologados por IMPEPAC.
- Registro y trazabilidad: cada acción debe quedar registrada en bitácora física y en el log digital exportado (firmado por el responsable).
- Capacitación: incluir este procedimiento en la capacitación de funcionarios de casilla y personal de mantenimiento, con lista de verificación imprimible.