Diseño de lisímetro de pesada de bajo costo para gestión de riego en vivero forestal — Memoria técnica del diseño industrial

Autores:

Richard A. Rodríguez Padrón; Cristiano Schuster; Carlos Da Silveira; Jean Schuster; Víctor Castelli; Fernando Rocha; Maximiliano Torres; Luis G. Ramírez Merida

Institución responsable: Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC)

Financiadores:

Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII)

Código de proyecto ANII: *FMV_3_2022_1_172404*

Fecha: 16/09/2025.

Protección de Propiedad Intelectual:

Patente de Modelo de Utilidad – Acta N° 4889 – Solicitud N° 197044 – Fecha: 15/12/2023.

Resumen

Este reporte técnico documenta el diseño industrial de un lisímetro de pesada de bajo costo orientado a la gestión de riego en vivero forestal. El dispositivo integra una plataforma regulable de soporte, bandeja de drenaje con bandeja de filtrado, celdas de carga para medición gravimétrica, depósito de recolección de drenaje con tubería y electroválvula, y una caja estanca que aloja la electrónica de acondicionamiento y conversión A/D. Se describen criterios de materiales, fijaciones, protección IP, control de vibración y nivelación; además de procedimientos de tara y calibración, ensayos estáticos y dinámicos, tolerancias y recomendaciones de operación y mantenimiento. El diseño prioriza robustez, reproducibilidad y escalabilidad a múltiples unidades, mejorando eficiencia hídrica y trazabilidad del riego en producción forestal.

Palabras clave: diseño industrial; lisímetro; vivero forestal; celdas de carga; drenaje; calibración y tara; IP65; electroválvula; instrumentación de bajo costo.

1. Introducción

La gestión de riego en viveros forestales exige control fino de la lámina aplicada y del drenaje para asegurar calidad de planta, ahorro de agua y reducción de lixiviados. Los sensores dieléctricos puntuales aportan información local pero requieren calibraciones específicas y presentan variabilidad espacial. La lisimetría de pesada mide directamente el balance de masa del sistema sustrato-plántula-bandeja, permitiendo inferir el consumo hídrico por diferencias de peso con alta trazabilidad operativa.

2. Objetivos

General. Diseñar un lisímetro de pesada robusto y reproducible para vivero forestal, apto para operación continua y condiciones ambientales adversas.

Específicos.

- (i) Establecer un conjunto mecánico estable y nivelable con aislamiento a vibraciones.
- (ii) Integrar celdas de carga y acondicionamiento A/D en caja estanca IP.
- (iii) Incorporar circuito de drenaje con depósito y electroválvula de descarga controlada.
- (iv) Definir procedimientos de tara, calibración, pruebas y mantenimiento.
- (v) Documentar materiales y criterios para escalado a múltiples unidades.

3. Alcance y requisitos

Entorno de uso. Vivero/umbráculo con humedad elevada, salpicaduras, variaciones térmicas y vibración moderada.

Desempeño. Resolución efectiva ≤ 5 g; error total $\leq \pm 1$ % del rango útil (post-calibración); estabilidad de cero adecuada para operación diaria.

Adquisición. 1–10 Hz interna (promediado), registro 0,1–1 Hz.

Protección ambiental. Caja estanca IP65 o superior; materiales resistentes a corrosión.

Seguridad. SELV, puesta a tierra, ruteo de cables señal/potencia separado, alivios de tracción.

4. Principio de funcionamiento

La masa del conjunto bandeja–sustrato–plántulas se transduce en señal eléctrica mediante celdas de carga y se convierte en lectura digital vía A/D. El consumo hídrico operativo se estima por diferencia de pesadas alrededor de eventos de riego y drenaje. A nivel conceptual:

$$\Delta m \approx (m_{\text{post-riego}} - m_{\text{pre-riego}}) - m_{\text{drenaje}}$$

La instrumentación permite cuantificar ganancias por riego y pérdidas por drenaje/evapotranspiración en ventanas temporales definidas.

5. Arquitectura mecánica y de fluidos

Conjuntos principales (referencias):

1. Plataforma regulable (1): estructura rígida nivelable que soporta el conjunto y reduce flexión/ torsión.
2. Bandeja de drenaje (2): recolecta excedente; bajo ella se ubicará la bandeja de filtrado (4) para retener sólidos.
3. Celdas de carga (3): montadas sobre superficie plana; fijación con par recomendado por hoja técnica.
4. Depósito de recolección (9): acumula drenaje para cuantificación/descarga.
5. Reductor (6) y conexión (7): piezas PVC que vinculan la salida de bandeja con la tubería (10), minimizando turbulencias y salpicaduras.
6. Electroválvula (8): en línea de drenaje para apertura controlada (tiempo/pulsos/volumen).
7. Caja estanco (5): aloja acondicionamiento y A/D; prensaestopas y grado IP $\geq$ 65.

Criterios de diseño.

- Materiales: acero inoxidable/pintado; tornillería inox; PVC sanitario.
- Protección: deflectores/guardas contra salpicaduras; cubiertas para bordes.
- Nivelación: patas roscadas; burbuja/láser.
- Antivibración: topes elastoméricos; desacople de mangueras; guiado de cableado.
- Mantenibilidad: acceso frontal/superior a celdas, bandejas, electroválvula y caja estanca.

6. Arquitectura electrónica y cableado

Acondicionamiento + A/D. Amplificador de instrumentación y convertidor A/D (p. ej., HX711/ADS-serie), ganancia y muestreo acordes al rango de masa.

Cableado. Señal apantallada (tierra en un punto), separación de potencia; prensaestopas IP; alivio de tracción.

Actuación drenaje. Electroválvula/contador con relé o módulo de conmutación protegido.

Unidad de proceso (opcional). SBC (p. ej., Raspberry Pi) dentro o adyacente, considerando disipación y mantenimiento.

Nota: esta memoria se limita al diseño industrial; la lógica de software queda fuera de alcance.

7. Lista de materiales resumida

Conjunto	Ítem (familia)	Especificación general
----------	----------------	------------------------

Estructura	Plataforma regulable; herrajes	Inox/pintado; nivelación fina; rigidez a flexión
Medición	1–4 celdas de carga	Rango según bandeja (0–30 kg); clase $\geq$ C3
Acond./A-D	Amplificador + A/D	Resolución efectiva acorde a $\leq$ 5 g
Drenaje	Bandeja, filtro, tubería, reductor/conexión	PVC sanitario; estanqueidad; fácil limpieza
Actuación	Electroválvula	IP acorde; compatible con caudal y tensión
Depósito	Tanque/recipiente	Resistente; volumen según operación
Encl. eléctrica	Caja estanca, prensaestopas, regletas	IP $\geq$ 65; orden y accesibilidad
Alimentación	Fuente SELV 5–12 V	Protección, tierra, fusible

(Marcas/modelos quedan a criterio del proveedor manteniendo prestaciones.)

8. Ensamble y montaje (procedimiento)

1. Verificar planicidad de la base y montar la plataforma (1); nivelar.
2. Fijar celdas (3) sobre superficie rígida y plana con el par recomendado.
3. Instalar bandeja de drenaje (2) y bandeja de filtrado (4) asegurando asiento homogéneo.
4. Montar tubería (10) con reductor (6) y conexión (7) hacia depósito (9).
5. Instalar electroválvula (8) en línea de drenaje; verificar sentido de flujo.
6. Anclar caja estanca (5); cablear señal apantallada y separación de potencia; sellar prensaestopas.
7. Pruebas en vacío: estanqueidad, IP, vibración; verificación de cero estable.

9. Puesta en servicio: tara y calibración

Tara. Con bandeja en condición de operación (vacía), esperar estabilización y fijar offset. Calibración. Aplicar masas patrón ($\geq$ 5 puntos a lo largo del rango). Ajustar recta:

$$m = a \cdot \text{lectura} + b$$

Verificación. Repetibilidad ($n \geq 10$), histéresis (cargas ascendentes/descendentes), linealidad ($R^2 \geq 0,995$), deriva térmica.

Registro. Guardar a, ba, b, fecha, condiciones T/RH y responsable.

10. Pruebas y validación

Estáticas. Cero, sensibilidad, repetibilidad, histéresis, deriva diaria.

Dinámicas. Respuesta a eventos de riego (saltos de masa), recuperación post-impacto leve.

Drenaje. Correlación gravimétrica vs. volumen evacuado; error $\leq \pm 5$ %.

Criterios de aceptación. Error total $\leq \pm 1$ % del rango útil; drift diario $\leq 0,2$ % del rango.

11. Operación y seguridad

- Ubicar lejos de corrientes de aire directas sobre la bandeja.
- Minimizar vibraciones; revisar apoyos/topes.
- Separar físicamente cableado de señal y potencia; tierra única.
- Mantener limpio el camino de drenaje; evitar biopelículas y obstrucciones.
- Cumplir SELV, fusibles y protección IP; inspección visual periódica.

12. Mantenimiento

Mensual. Cero y aprietes; inspección de prensaestopas/cables; limpieza de bandeja/filtro.

Semestral. Re-calibración; prueba de estanqueidad/IP; revisión de electroválvula.

Repuestos. Celda de carga, A/D, electroválvula, fuente, caja y herrajes equivalentes.

13. Escalabilidad y replicabilidad

El diseño permite múltiples unidades en paralelo; se recomienda:

- Banco común de fuentes y caja de comunicaciones protegidas.
- Etiquetado por ID físico de unidad/bandeja y registro de coeficientes a, ba, b por unidad.
- Plantillas mecánicas para ubicación repetible de celdas y bandejas.

14. Limitaciones

Sensibilidad a vibración y viento; deriva térmica de celdas/electrónica; necesidad de re-calibración periódica; IP efectiva dependiente de instalación.

15. Propiedad Intelectual

Patente de Modelo de Utilidad – Acta N° 4889 – Solicitud N° 197044 – Fecha: 15/12/2023.
Planos CAD y archivos de fabricación no forman parte de este documento; su provisión puede evaluarse bajo acuerdo de confidencialidad (NDA).

16. Agradecimientos

A los equipos técnicos y a ANII por el apoyo.

17. Referencias (mínimas)

- Hojas técnicas de celdas de carga (clase de precisión, montaje, IP).
- Buenas prácticas de instrumentación en ambientes húmedos (IP, apantallado, puesta a tierra).

18. Citar

Rodríguez Padrón, R. A., Schuster, C., Da Silveira, C., Schuster, J., Castelli, V., Rocha, F., Torres, M., & Ramírez, L. (2025). *Diseño de lisímetro de pesada de bajo costo para gestión de riego en vivero forestal — Memoria técnica del diseño industrial (v1.0)*. UTEC — ITR Centro-Sur; ANII. Handle: (<https://hdl.handle.net/20.500.12381/5220>).

19. Licencia

Este documento se distribuye bajo Creative Commons Reconocimiento–No Comercial–Sin Obra Derivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).
© 2025, UTEC — autores.