

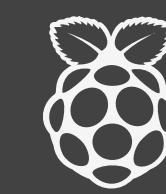
VISIÓN ARTIFICIAL DE BAJO COSTO

INSPECCIÓN 24/7 CON RASPBERRY PI + EDGE TPU



CSMIO 2025

XIII Congreso de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones



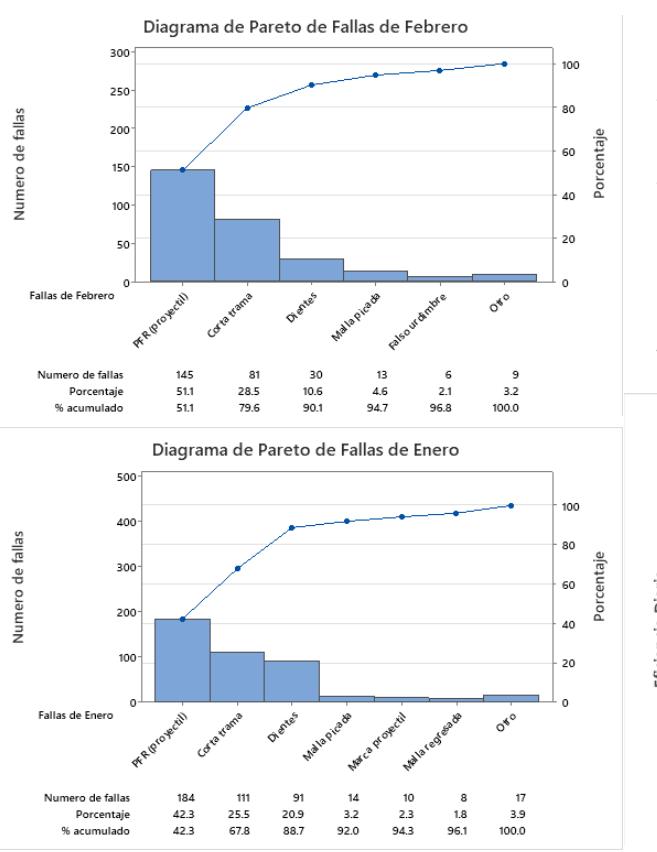
Coral

Arquitectura modular, reproducible y escalable para textil, empaque, metalmecánica, alimentos y PCB.

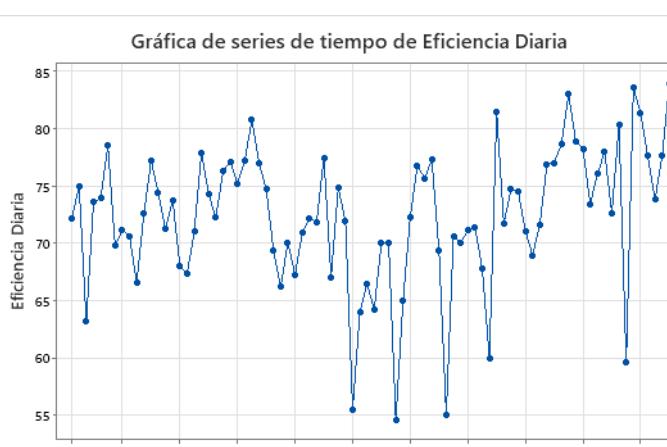
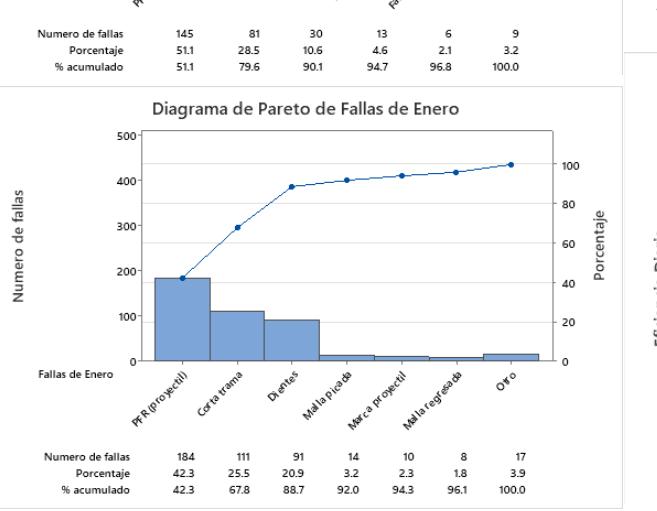
Angel Figueroa¹*, Ana Soltero¹, Eduardo Vázquez¹, Keven Aispuro¹

¹Tecnológico de Monterrey, Campus Culiacán, México

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



Entre enero y febrero, los diagramas de Pareto mostraron que PFR (proyectil), Corto trama y Dientes concentran 88.74 y 90.14% de las fallas que ocasionan un paro del telar, por lo que fueron la prioridad operativa. Al compartir esta información con la empresa y aplicar en conjunto varias quick wins, se logró un inicio de mejora visible a partir del mes de marzo.



DIMENSIONES

PCB Raspberry Pi 4: 85.6 × 56.5 mm (Raspberry Pi, 2024).

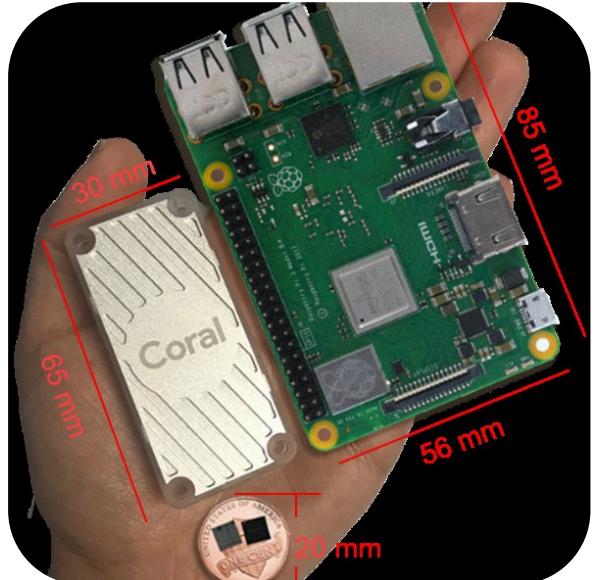
Pi 4 con carcasa disipadora (aluminio): ≈ 85-90 × 55-60 × 20-25 mm (Adafruit, 2025, Geekworm, 2025).

Carcasa oficial Pi 4 (plástico): ≈ 97 × 70 × 25 mm (PiShop, 2025).

Coral USB Accelerator: 65 × 30 mm (Google LLC, 2020).

Cámara v2 (placa + óptica): ≈ 25 × 24 × 9 mm (Raspberry Pi, 2015, ROBOTIS, 2025).

High Quality Camera (cuerpo): ≈ 38 × 38 × 18-19 mm (Raspberry Pi, 2025).



FUNDAMENTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

- La inspección humana suele rondar ≈ 80 % de acierto, con IA industrial se han reportado desempeños cercanos a ≈ 99.86 % en tareas de visión (Sundaram et al., 2023).
- El costo de mala calidad (COPQ) típico se ubica en 15-20 % de ventas, por lo que reducir estos escapes con IA impacta directamente el margen (American Society for Quality, 2025).
- AOI comercial 2D/3D suele costar ≈ US\$5k-200k+, mientras que una estación edge Pi + TPU ronda ≈ US\$175-220 en hardware (Averroes AI, 2025, Google LLC, 2020, Raspberry Pi, 2016, Raspberry Pi, 2020).
- Para el despliegue en Edge TPU, se puede usar TFLite int8 con entrenamiento “quantization-aware” para sostener exactitud y latencias de milisegundos (TensorFlow, 2025).
- Selección óptica por regla de muestreo (≥ 2-4 px por rasgo) y dimensionamiento de FOV garantiza detectabilidad acorde al tamaño mínimo de defecto (Edmund Optics, 2025).

| Escenario | Clases | Mínimo por clase | Recomendado | Nota breve / Fuente |
|------------------------------------|--------|---|--|---|
| Clasificación binaria (defecto/no) | 2 | 200-300 (Google Cloud, 2025, Microsoft, 2025) | 500-1000 (Google Cloud, 2025, Shahinfar, Jourabloo, & Liu, 2020) | Transfer learning + aumentos (Google Cloud, 2025) |
| Multiclas (3-5 tipos) | 3-5 | 150-300 (Microsoft, 2025, Shahinfar et al., 2020) | 500-800 (Google Cloud, 2025) | Balance crítico (Microsoft, 2025) |
| Detección de objetos | 1-5 | 500-800 totales (Roboflow, 2022) | 1500-3000 totales (Google Cloud, 2025) | Mínimos formales y práctica (Google Cloud, 2025) |
| Segmentación | 1-3 | 50-150 por clase (TensorFlow, 2024) | 200-400 por clase (Keras, 2020) | Máscara de calidad > cantidad (Keras, 2020) |

RASPBERRY PI 4



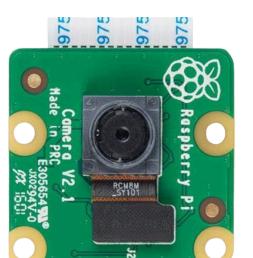
La Raspberry Pi 4 Model B integra el SoC Broadcom BCM2711 con CPU ARM Cortex-A72 de 64 bits, ofrece opciones de 1-8 GB LPDDR4, conectividad de 2 USB 3.0 y 2 USB 2.0, Gigabit Ethernet, Wi-Fi ac/Bluetooth 5.0, doble micro-HDMI (hasta 4K 60 fps) y un puerto MIPI CSI-2 para cámaras, lo que habilita pipelines de captura de baja latencia y procesamiento 100 % en el borde (Raspberry Pi, 2024).



CORAL USB ACCELERATOR

El Coral USB Accelerator añade una Edge TPU de 4 TOPS vía USB 3.0 y ejecuta modelos ligeros de visión (p. ej., MobileNet V2) a aprox. 400 fps con una eficiencia cercana a 2 TOPS/W, lo que reduce drásticamente la latencia de inferencia y libera la CPU de la Pi para E/S y registro (Google LLC, 2020).

CÁMARA RASPBERRY PI MODULE V2 (8 MP, 1080P)

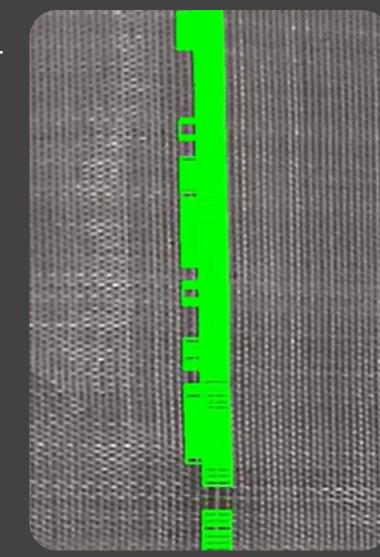


La Camera Module v2 emplea el sensor Sony IMX219 de 8 MP y soporta 1080p30, 720p60 y VGA90, con interfaz CSI-2 directa a la Pi para mínima latencia, es una opción confiable y económica para inspección continua, y puede complementarse con la High Quality Camera o la Global Shutter según necesidades de resolución o objetos en movimiento (Raspberry Pi, 2024).



RESULTADOS E IMPLEMENTACIÓN

Una prueba piloto con ORB sobre muestras reales detectó marcas de 2-3 mm con >90% de precisión, corriendo a 20-30 fps en CPU estándar, el siguiente paso es compilar muestras para un TFLite cuantizado para Coral y llevar la inferencia al borde (Figueroa et al., 2025).



- Diagnóstico:** define defecto mínimo (mm), velocidad de línea y FOV/óptica, usa ≥2-4 px por rasgo para detectabilidad (Edmund Optics, 2025).
- Piloto ORB en el borde:** Raspberry Pi 4 + Camara, ORB como baseline para detección y logging de casos dudosos (Raspberry Pi, 2023, Rublee, Rabaud, Konolige, & Bradski, 2011).
- Etiquetado humano:** clasifica los casos que ORB no resolvió, equilibra clases y separa 70/15/15 (train/val/test) (Microsoft, 2025).
- Entrenamiento v1 (transfer learning):** MobileNet/EfficientDet-Lite, mide precisión/recall/mAP y prioriza recall de defectos (Sundaram et al., 2023).
- Despliegue en Edge TPU:** convierte a TFLite int8 (QAT si aplica) y compila para el Coral, obtén latencias de ms en producción (TensorFlow Model Optimization Team, 2025, Google LLC, 2020).
- Iteración continua:** active learning con falsos/edge-cases, réntrenos periódicos y monitoreo de drift (TensorFlow, 2025).



Escanéame para ver el repositorio de referencias, fichas técnicas, BOM actualizado con enlaces de compra y enlaces a documentación oficial.