



BOLETÍN ESTRATÉGICO MULTIDISCIPLINAR



ESICI
ESCUELA DE INTELIGENCIA Y CONTRAINTELIGENCIA
"BRIGADIER GENERAL RICARDO CHARRY SOLANO"
INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR

DETECCIÓN DE OBJETOS EXTRAÑOS (FOD) MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Escrito por:

Gabriel Mateo Esquivel Huertas*

Orientado por:

Ing. Didier Aldana Rodríguez*

Ing. Harold Julián Acosta León*

SS. Michael Andrés Jaimes Beltrán*

* Escuela de Aviación del Ejército - ESAVE

RESUMEN:

La propuesta de investigación aborda la problemática de los objetos extraños (FOD) en pistas aeroportuarias mediante un sistema de detección automática en tiempo real basado en el modelo YOLOv10. Para ello, se creó y etiquetó un conjunto de 33 000 imágenes distribuidas en 31 clases de FOD, optimizando hiperparámetros como tamaño de imagen, aumentos de datos y número de épocas. Se integró una interfaz gráfica intuitiva y un sistema de notificaciones en tiempo real para su implementación operativa, resultando en una precisión de 70% y procesamiento de cada cuadro en menos de 50 ms.

ANTECEDENTES

- 2000: Un fragmento de titanio desprendido de un avión DC-10 de Continental Airlines fue la causa del accidente del Concorde.
- 2016: La FAA estima pérdidas por FOD cercanas a 4 mil millones de dólares anuales, evidenciando riesgos críticos para la seguridad aérea.
- Antes de 2020: La detección dependía de inspecciones visuales, detectores de metales, radares milimétricos y cámaras ópticas, con alta carga operativa y eficacia limitada.
- 2021: Se publica el dataset FOD-A (33 000 imágenes, 31 clases), facilitando investigaciones de visión por computadora para FOD.
- 2022: un objeto metálico de 70 mm provoca el estallido de una llanta en Barajas, España.
- 2024: Ultralytics lanza YOLOv10, ofreciendo mejoras en precisión y velocidad para detección de FOD en tiempo real.

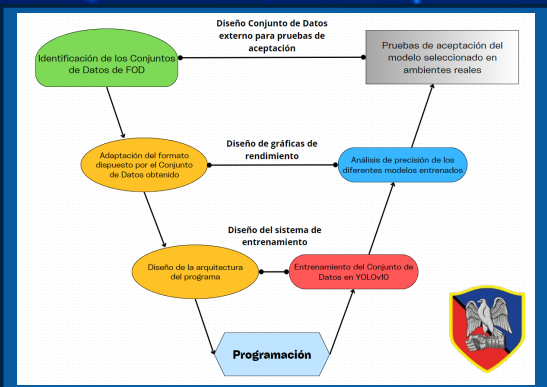
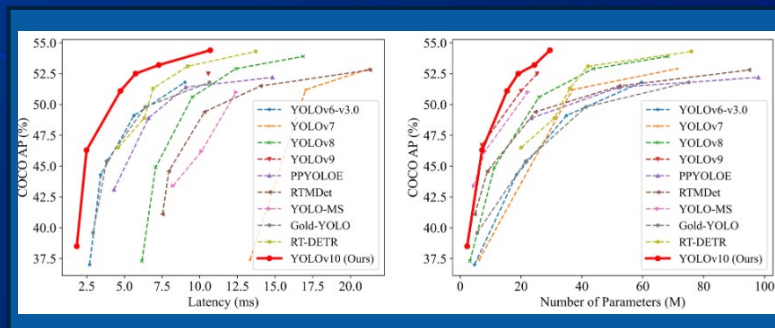


Diagrama de flujo para el desarrollo del programa para detección de FOD.

CONTEXTO ACTUAL

- A nivel global, desde 2024 se emplean modelos de visión por computadora (p. ej., YOLOv10) para detección de FOD en tiempo real, impulsados por la necesidad de reducir riesgos en aeropuertos con alta afluencia.
- Tradicionalmente, la detección se realiza con radares milimétricos y cámaras ópticas; actualmente se busca complementar estos sistemas con IA para aumentar la robustez de procesamiento ante condiciones variables (iluminación, clima).
- El lanzamiento del dataset FOD-A en 2021 (33 000 imágenes, 31 clases) ha acelerado las investigaciones y pruebas piloto, facilitando entrenar y validar modelos en entornos reales desde 2022–2023.
- Temporalmente, para 2025 se espera que los sistemas basados en YOLOv10 logren detección por cuadro en menos de 50 ms, y espacialmente se están desplegando pruebas en aeropuertos de regiones diversas, desde hubs internacionales hasta pistas militares.



Ultralytics. (2024). YOLOv10: Detección de objetos en tiempo real de extremo a extremo.

"EN GUARDIA POR LA PATRIA"



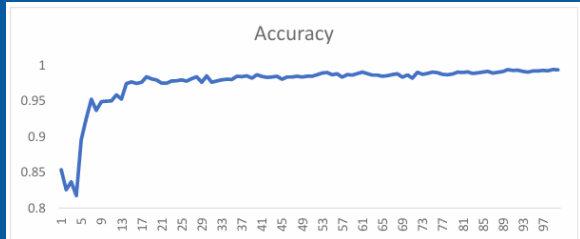


IMPLICACIONES

- Aumenta significativamente la seguridad aeroportuaria al detectar FOD en tiempo real, reduciendo casi por completo el riesgo de colisiones, daños en aeronaves y lesiones al personal, y evitando con ello evacuaciones de emergencia.
- Acelera el retorno de inversión al disminuir cierres de pista, cancelaciones de vuelos y reclamaciones por daños; esto reduce reparaciones costosas, ahorra horas de operación y baja las primas de los seguros para aeropuertos de cualquier tamaño.
- Se facilita el despliegue masivo del modelo sobre infraestructuras existentes, ya que las versiones ligeras de YOLOv10 exigen muy poca capacidad computacional y pueden integrarse en cámaras convencionales sin necesidad de servidores dedicados, permitiendo así actualizaciones continuas vía OTA.
- Actúa como instrumento de investigación y desarrollo local, porque el uso de datasets como FOD-A anima a universidades, como la ESAVE, y laboratorios a generar modelos adaptados a condiciones tropicales y particulares de aeródromos, fortaleciendo la capacidad nacional en visión por computadora.
- Se contribuye a la sostenibilidad operativa al reducir maniobras de limpieza manual y patrullaje redundante, optimizando el uso de combustible de vehículos de mantenimiento, mejorando la trazabilidad de operaciones y minimizando el impacto ambiental asociado.
- Permite la interoperabilidad con sistemas de control aeronáutico y sensores adicionales (radares milimétricos, LiDAR, plataformas ATC), creando con ello un ecosistema de monitoreo integral que permita optimizar patrullajes, programaciones de mantenimiento preventivo y cumplimiento de estándares internacionales de seguridad.
- Fomenta la formación de talento especializado en ciencia de datos, visión artificial y mantenimiento predictivo, promoviendo personal de alta calificación y consolidando en Colombia una comunidad de expertos en tecnología aeroportuaria.
- Mejora la reputación y competitividad internacional de los aeropuertos que implementen detección automática de FOD, atrayendo mayor tráfico aéreo, inversiones extranjeras y colaboraciones multinacionales en el sector.
- Facilita el cumplimiento normativo y la preparación ante auditorías, ya que la detección automatizada registra eventos con precisión y ofrece pruebas de cumplimiento de protocolos de seguridad ante organismos reguladores como la Aerocivil y la OACI.

AFECTACIONES PARA COLOMBIA

- En Colombia, donde aeropuertos como El Dorado (Bogotá), José María Córdova (Medellín) y Rafael Núñez (Cartagena) manejan alto tráfico aéreo, la implementación de detección automática de FOD mejoraría la seguridad aérea, reduciendo la probabilidad de incidentes causados por desechos en pista. Esto disminuiría considerablemente la frecuencia de cierres temporales y retrasos, beneficiando tanto a aerolíneas nacionales como internacionales.



Métricas de rendimiento del entrenamiento a 100 épocas, YOLOv10x

Entrenamiento #	Media del porcentaje de precisión
1	93 %
2	88 %
3	95 %
4	86 %

Tabla 2. Comparación de la precisión de cada entrenamiento aplicado al conjunto de datos entrenado.

Comparación de la precisión de cada entrenamiento aplicado al conjunto de datos entrenado



AFECTACIONES PARA COLOMBIA

- La economía aeroportuaria nacional se vería favorecida al reducirse los costos operativos asociados a inspecciones manuales y reclamaciones por daños a aeronaves. Menos interrupciones de vuelos y menor desgaste en equipos implican menores gastos de mantenimiento, lo cual impacta positivamente en la rentabilidad de aeropuertos pequeños y grandes, especialmente en épocas de alta demanda turística en el país.
- Dado que varias regiones de Colombia presentan condiciones climáticas extremas (altas lluvias en la región pacífica, neblina en la zona andina), los modelos entrenados con YOLOv10 deben adaptarse a variaciones locales de iluminación y visibilidad, incentivando con ello colaboraciones entre universidades y centros de investigación para recolectar y etiquetar datasets específicos, fortaleciendo la capacidad tecnológica nacional.
- La adopción de sistemas de bajo peso computacional como YOLOv10, que requiere menos parámetros y hardware menos costoso, facilita su despliegue en aeropuertos regionales con recursos limitados, como los ubicados en zonas rurales o fronterizas. Esto promueve la equidad en infraestructura de seguridad aérea, permitiendo elevar los estándares operativos en toda la red aeroportuaria colombiana.
- A nivel regulatorio, el uso de visión por computadora para monitoreo en tiempo real podría integrarse a las normativas de la Aerocivil, impulsando con ello la creación de protocolos de inspección automatizados y certificaciones de calidad. Además, generaría oportunidades de formación profesional en ingeniería de datos y ciencias de la computación, dinamizando así el sector tecnológico y contribuyendo al desarrollo de talento local.

REFERENCIAS

- Adi, K., Widodo, C. E., Puji Widodo, A., & Margiati, U. S. (2022). Detection of foreign object debris (FOD) using convolutional neural network (CNN). *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 15(1). <http://www.jatit.org>
- Ahmed Al Majizi, A. K., Khan, A. A., & Hussain, T. (2024). Foreign object damage detection and elimination. En *Proceedings of the First International Conference on Aeronautical Sciences, Engineering and Technology* (pp. 369–379). https://doi.org/10.1007/978-981-99-7775-8_40
- Arikilla, M., & Raviteja, B. (2023). Foreign object debris detection in aerodromes using deep learning approaches. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 720, 587–598. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3761-5_52
- Brito De Almeida, J. M., Bgen, C., & Domingos De Oliveira Telha, C. (2022). Application of artificial intelligence to the detection of foreign object debris at aerodromes' movement area. *Military and Aeronautical Sciences - Aviator Pilot Examination Committee. Academia da Força Aérea*.
- Chauhan, T., Goyal, C., Kumari, D., & Balaji, R. (2020). Smart system for FOD detection. *Materials Today: Proceedings*, 33, 4293–4297. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.434>
- Chauhan, T., Goyal, C., Kumari, D., & Thakur, A. K. (2020). A review on foreign object debris/damage (FOD) and its effects on aviation industry. *Materials Today: Proceedings*, 33, 4336–4339. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.457>
- Chen, W. (2015). Runway foreign object detection using RGB (Vol. 119).
- Chen, W., Xu, Q., Ning, H., Wang, T., & Li, J. (2011). Foreign object debris surveillance network for runway security. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 83(4), 229–234. <https://doi.org/10.1108/00022661111138648>
- Fairuzi, M. R., & Zulkifli, F. Y. (2021). Performance analysis of YOLOv4 and SSD Mobilenet V2 for foreign object debris (FOD) detection at airport runway using custom dataset. En *17th International Conference on Quality in Research (QIR)*, 11–16. <https://doi.org/10.1109/QIR54354.2021.9716186>
- Gheorghe, C., Duguleana, M., Boboc, R. G., & Postelnicu, C. C. (2024). Analyzing real-time object detection with YOLO algorithm in automotive applications: A review. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 141(3), 1939–1981. <https://doi.org/10.32604/cmcs.2024.054735>
- Hogan Itam, D., Chimeme Martin, E., & Taiwo Horsfall, I. (2024). Enhanced convolutional neural network methodology for solid waste classification utilizing data augmentation techniques. *Waste Management Bulletin*, 2(4), 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.11.002>
- Li, P., & Li, H. (2020). Research on FOD detection for airport runway based on YOLOv3. En *2020 39th Chinese Control Conference (CCC)*.
- Öztürk, S., & Kuzucuoğlu, A. E. (2016). A multi-robot coordination approach for autonomous runway foreign object debris (FOD) clearance. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 244–259. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.09.022>
- Takahashi, Y., et al. (2020). Machine learning for effectively avoiding overfitting is a crucial strategy for the genetic prediction of polygenic psychiatric phenotypes. *Translational Psychiatry*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41398-020-00957-5>
- Ultralytics. (2024). YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection. Recuperado el 5 de junio de 2025, de <https://docs.ultralytics.com/models/yolov10/#experiments-and-results>
- Wang, Z. (2023). Deep learning-based foreign object detection method for aviation runways. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 8(1), 3187–3202. <https://doi.org/10.2478/amns.2023.1.00030>
- Wu, Z., Xue, R., & Li, H. (2022). Real-time video fire detection via modified YOLOv5 network model. *Fire Technology*, 58(4), 2377–2403. <https://doi.org/10.1007/s10694-022-01260-z>
- Zainab, S. M., Khan, K., Fazil, A., & Zakwan, M. (2023). Foreign object debris (FOD) classification through material recognition using deep convolutional neural network with focus on metal. *IEEE Access*, 11, 10925–10934. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3239424>