

Analysis Of Factors Affecting the Selection and Acquisition of PPE by Construction Sector Companies in Lima, Peru

Leon Castro, Rocio del Carmen¹, Guevara Norabuena, Dayans Tachy², Guevara Norabuena, Maryory Sherlyn³, Ramos Sotil, Juan Ernesto⁴, and Vasquez Gonzales, Sebastian Alonso⁵

¹Northern Private University, Peru, rocio.leon@upn.pe

²⁻⁵Northern Private University, Peru, n00278848@upn.pe, n00278784@upn.pe, n00288827@upn.pe and n00272721@upn.pe

Abstract– In this research work, the analysis of studies that show high accident rates was addressed, highlighting the importance of Personal Protective Equipment (PPE). It is shown that the lack of adequate PPE is a main cause of accidents, proposing traditional solutions through surveys, reaching innovative solutions such as IoT devices in PPE for real-time monitoring and immersive technologies for training. Through surveys, complemented by direct observations at construction sites, challenges are understood, and workplace safety improved. A variety of graphical and tabular tools were used, such as the heat map and the Prioritization Matrix. These combined strategies provide a comprehensive and robust view of the factors influencing the selection and use of PPE in construction.

Keywords-- PPE, accidents, safety and construction.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

Análisis de Los Factores que Afectan la Selección y Adquisición de Epps por Parte de las Empresas del Sector Construcción en Lima – Perú

Leon Castro, Rocio del Carmen¹, Guevara Norabuena, Dayans Tachy², Guevara Norabuena, Maryory Sherlyn³, Ramos Sotil, Juan Ernesto⁴, and Vasquez Gonzales, Sebastian Alonso⁵

¹Northern Private University, Peru, rocio.leon@upn.pe

²⁻⁵Northern Private University, Peru, n00278848@upn.pe, n00278784@upn.pe, n00288827@upn.pe and n00272721@upn.pe

Resumen– En este trabajo de investigación se abordó el análisis de estudios que evidencian altos índices de accidentalidad, resaltando la importancia de los Equipos de Protección Personal (EPP). Se demuestra que la falta de EPP adecuados es una causa principal de accidentes, proponiendo soluciones tradicionales a través de encuestas, llegando a soluciones innovadoras como dispositivos IoT en EPP para monitoreo en tiempo real y tecnologías inmersivas para capacitación. A través de encuestas, complementadas con observaciones directas en sitios de construcción, se comprenden los desafíos y se mejora la seguridad en el trabajo. Se utilizaron una variedad de herramientas gráficas y tabulares, como el mapa de calor y la Matriz de Priorización. Estas estrategias combinadas brindan una visión integral y robusta de los factores que influyen en la selección y uso de EPP en la construcción.

Palabras clave- EPP, accidentes, seguridad y construcción.

I. INTRODUCCION

La seguridad en el lugar de trabajo es de suma importancia en el rubro de la construcción, donde los trabajadores están expuestos a diversos riesgos laborales. Los accidentes involucrados en proyectos de infraestructura siguen siendo un tema no resuelto que afecta todo el ciclo del proceso de construcción. Como datos estadísticos vemos que la industria de la construcción estadounidense ha mantenido una participación promedio de víctimas mortales (20%) superior a su representación media dentro de la fuerza laboral total (4,3%) durante los últimos 10 años [1,2].

Entre las medidas cruciales para garantizar la protección y el bienestar de los trabajadores se encuentra la selección y el uso adecuado de Equipos de Protección Personal (EPP). En este contexto, es fundamental comprender los factores que influyen en la selección y adquisición de EPP por parte de las empresas constructoras. Numerosos estudios se han centrado en abordar esta preocupación en el sector de la construcción.

La equidad social en la investigación relacionada con la construcción es fundamental para identificar y abordar los desafíos específicos que enfrentan los trabajadores hispanos, como el acceso limitado a capacitación, recursos y apoyo adecuados para garantizar su seguridad en el trabajo. Por otro lado, sobre el uso de equipos de protección personal en proyectos de construcción proporciona una visión integral de los riesgos asociados con la falta de adopción adecuada de EPP en el sector de la construcción, destacando la importancia de implementar medidas de seguridad efectivas para prevenir accidentes y proteger la salud de los trabajadores. De este modo, vemos que exploran el efecto del ajuste del equipo de protección personal (EPP) en el desempeño funcional en

diversos entornos ocupacionales, como también se proponen un sistema de seguridad basado en Bluetooth Low Energy (BLE) para evitar el mal uso de los EPP en obras de construcción. Además, se presenta un sistema de detección autónomo para el uso sin casco en obras de construcción mediante tecnología de sensores [1,2,6,9,11,20].

La industria de la construcción representa uno de los entornos laborales más riesgosos, con altas tasas de accidentes y lesiones en todo el mundo. A pesar de las regulaciones y obligaciones legales que exigen el uso de equipos de protección personal (EPP) para mitigar estos riesgos, la adherencia de los trabajadores a estas medidas de seguridad sigue siendo un desafío persistente. Diversos especialistas en el rubro como contratistas, consultores, trabajadores de la construcción y fabricantes y/o proveedores identificaron que equipos de seguridad inadecuados como un factor o causaprincipal que requiere ser corregido. A pesar de los esfuerzos de la dirección para promover el uso de EPPs, los trabajadores de la construcción dan varias excusas para no usar cascos correctamente y evitan ser detectados mediante puntos ciegos de vigilancia. Por ende, la importancia de crear un sistema eficiente para abordar este problema sigue siendo un desafío importante, dado que muchos accidentes ocurren debido al uso inadecuado o a la eliminación completa del EPP. Además, estos incidentes generan importantes costos económicos y sociales, lo que enfatiza la necesidad urgente de medidas de seguridad efectivas en toda la industria. Su principal impacto sería la mejora de las condiciones de seguridad y los riesgos asociados al mal uso de los EPPs [3,4,9,11].

La selección de orejeras y otros equipos de protección personal utilizados en combinación destacan la importancia de considerar la interacción entre diferentes tipos de EPP en el entorno de la construcción. También se analizó el nivel de acceso de los artesanos de la construcción a los EPP y las barreras percibidas y los factores motivadores de la adherencia a su uso en Ghana, ofreciendo perspectivas valiosas sobre las prácticas de seguridad en la industria de la construcción. Por otro lado, la dependencia de los contratistas de las cadenas de suministro globales complica aún más los riesgos asociados con la obtención de suministros críticos. Se evaluó la reutilización de equipos de protección personal al final de su vida útil en obras de construcción, abordando preocupaciones ambientales y económicas relacionadas con la eliminación de los EPP en este sector. Por ello, proponen un sistema de detección del cumplimiento de los equipos de protección

personal en tiempo real basado en un algoritmo de aprendizaje profundo, ofreciendo una solución innovadora para mejorar la seguridad en las obras de construcción. Entre el 40% y el 50% de la fuerza laboral industrial está expuesta a varios riesgos laborales en todo el mundo. Además, la salud y la seguridad individuales, así como la eficacia organizacional, se ven afectadas negativamente por los riesgos laborales [4,5,7,12,13,14].

En Perú, examinan la adopción y la intensidad de uso de EPP entre los manipuladores de plaguicidas agrícolas, subrayando la importancia de la educación y el acceso al crédito en la decisión de adoptar y utilizar EPP. Se desarrolla un enfoque flexible para la supervisión de los equipos de protección personal en el lugar de trabajo, utilizando tecnología de red de área de operador (OAN) y aprendizaje automático para mejorar la detección de uso incorrecto de EPP. El uso de EPP puede desempeñar un papel crítico en la reducción de la exposición y, por lo tanto, en la prevención de los efectos adversos para la salud entre los trabajadores agrícolas [13,17,18].

Se investigó el uso de equipos de protección personal y su relación con los accidentes entre los trabajadores de la construcción, destacando la importancia de la capacitación en seguridad y el cumplimiento del uso de EPP en los sitios de construcción. Desarrollando un marco para detectar en tiempo real el cumplimiento del equipo de protección personal en el sitio de construcción utilizando técnicas de aprendizaje profundo basadas en visión por computadora, ofreciendo una solución innovadora para mejorar la seguridad en la construcción. Estos estudios proporcionan una visión integral de los desafíos y oportunidades relacionados con la selección, adquisición y cumplimiento de EPP en el sector de la construcción [8,19].

II. METODOLOGIA

El propósito de este estudio es que muy aparte de demostrar que la falta de EPP adecuados es una causa principal de accidentes se proponen soluciones innovadoras para mejorar la seguridad. Estas soluciones incluyen el uso de dispositivos IoT para el monitoreo en tiempo real de los EPP y tecnologías inmersivas para la capacitación de los trabajadores. Para ello realizamos una revisión exhaustiva de la literatura sobre la utilización de Equipos de Protección Personal (EPP) y su impacto en la reducción de accidentes en proyectos de construcción. En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda de artículos utilizando la base de datos Scopus. Se seleccionaron 20 artículos científicos relevantes, cada uno de los cuales cita múltiples fuentes, abarcando el período desde 2019 hasta 2024. Las palabras claves utilizadas para la búsqueda de información incluyeron "accidentes", "EPP", "proyectos de construcción" y "seguridad laboral".

Inicialmente, se emplearon recursos visuales como esquemas y cuadros para sintetizar las conclusiones extraídas de los 20 estudios, enfatizando las causas primordiales del incumplimiento en la utilización de EPP y las estrategias aplicadas para abordar este fenómeno. Posteriormente, se propusieron diversas alternativas, que incluyeron herramientas y metodologías, algunas de las cuales fueron pioneras, para enfrentar el desafío de la elección y adquisición de EPPs en el

entorno empresarial.

Para resumir los hallazgos de los 20 artículos, se emplearon el Diagrama de Sankey, el Mapa de Calor (Heatmap) y una Matriz de Análisis de Priorización. Estas técnicas fueron fundamentales para nuestro trabajo, ya que el Diagrama de Sankey permite identificar las principales causas del no uso de EPP y las soluciones que abordan los artículos, destacando los factores más significativos. El Mapa de Calor visualizó las áreas críticas y frecuentes de riesgo, facilitando una comprensión clara de dónde se concentraban los problemas. La Matriz de Análisis de Priorización, por su parte, evaluó la severidad y probabilidad de los riesgos asociados, ayudándonos a priorizar las soluciones más efectivas utilizadas en los artículos revisados para abordar la problemática del uso de EPP en las empresas.

Para abordar la problemática del mal uso de EPP en las empresas, se propuso una serie de soluciones tradicionales y metodologías innovadoras. Entre las herramientas y técnicas convencionales utilizadas se encontraron encuestas y cuestionarios para obtener datos precisos sobre el uso de EPP y las percepciones de los empleados. Además, se realizaron capacitaciones y auditorías para asegurar el cumplimiento de las normas de seguridad.

Se realizó un análisis a los cuestionarios realizados en los artículos científicos seleccionados para poder hallar los factores por los cuales los trabajadores no usan adecuadamente sus EPP. Estos cuestionarios se dividieron en dos partes. La primera parte tuvo preguntas relacionadas con el género, la edad, la calificación educativa, la especialidad laboral y la experiencia en la industria en la que se desempeñan actualmente los encuestados. La segunda parte abordó determinantes del uso y no uso de EPP, y se pidió a los encuestados que califiquen su grado de acuerdo con los factores que influyen en su adherencia al uso y no uso de EPP en una escala de Likert de cinco puntos.

Como propuestas innovadoras, planteamos tecnológicas para la detección automática y monitoreo de equipos de protección personal mediante algoritmos de visión por computadora y sensores avanzados para así detectar automáticamente mediante alertas a los supervisores si los trabajadores estaban usando los EPPs correctamente, lo que permitió una vigilancia continua y precisa. Se mejoró la capacitación en el uso de EPP mediante tecnologías inmersivas como gafas de Realidad Aumentada (AR) y simulaciones de Realidad Virtual (VR) para evaluaciones de riesgo, ofreciendo una experiencia de aprendizaje más interactiva y efectiva. También se utilizó un sistema de monitoreo y evaluación periódica del cumplimiento del uso de EPP en el trabajo diario, para mejorar la comunicación y la retroalimentación entre los empleados y los supervisores.

Para garantizar la validez y robustez de nuestros hallazgos, se aplicó una estrategia de triangulación metodológica en la investigación. Esta técnica permitió combinar diferentes enfoques para obtener una visión más completa y precisa de los factores que influyen en la selección y uso de Equipos de Protección Personal (EPP). Utilizamos cuestionarios estructurados para recoger datos cuantitativos de una muestra representativa de trabajadores y directivos, lo que nos permitió identificar patrones y tendencias en el uso de EPP.

Complementamos esta información con entrevistas semiestructuradas a responsables de seguridad y directivos, profundizando en sus percepciones y prácticas respecto a la selección y adquisición de EPP. Además, realizamos observaciones directas en los sitios de construcción para evaluar el cumplimiento real del uso de EPP, validando así los datos obtenidos a través de los cuestionarios y entrevistas. La triangulación de estos métodos no solo aumentó la credibilidad de nuestros resultados, sino que también facilitó una comprensión más rica y matizada de los desafíos relacionados con la mejora de la seguridad laboral.

III. RESULTADOS

En la figura 01, se observa el diagrama de Sankey que se realizó con base en los 20 artículos seleccionados. Este diagrama indica una visualización de flujos, es decir, conexiones ponderadas entre las causas primordiales del incumplimiento en la utilización de EPPs y las estrategias aplicadas para abordar este fenómeno. Con ello podemos observar cuáles son las causas más identificadas en los estudios, como también las soluciones más aplicadas. En cuanto a las principales causas del incumplimiento de los EPP incluyen la falta de formación en seguridad, la baja calidad, el ajuste deficiente y la incomodidad de los equipos. Por otro lado, para abordar estos desafíos principalmente se han aplicado estrategias como encuestas, entrevistas y programas de capacitación.

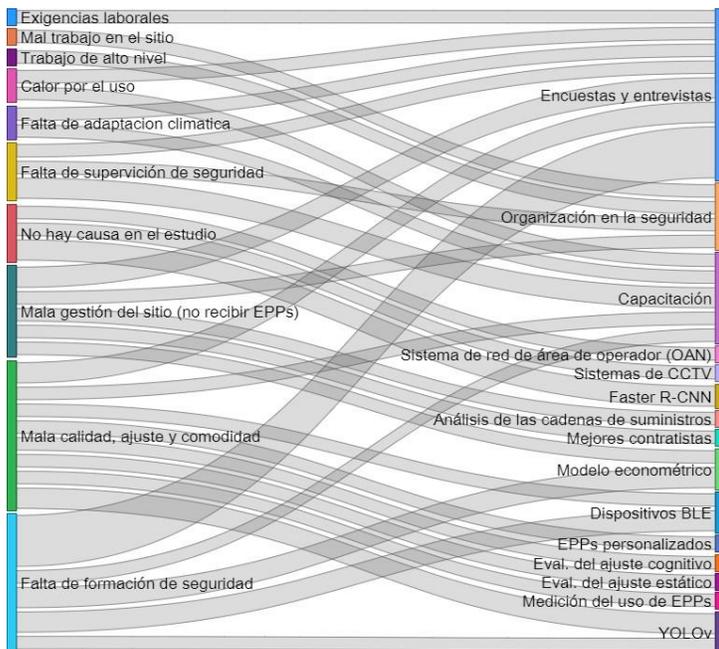


Fig. 1, Diagrama de Sankey por causas y soluciones

El análisis se llevó a cabo en el cuestionario realizado a diferentes trabajadores del sector construcción. Se consideró para su participación un total de 30 trabajadores del sector construcción. En el estudio se incluyeron trabajadores tanto hombres como mujeres con un grupo de edad de 18 a 63 años que se dedican continuamente a actividades de construcción. Primero se analizó la pregunta de opción múltiple para determinar los

factores de no uso de EPP dentro de la empresa. Los factores indicados por ellos para no utilizarlo variaron, ya que la mayoría (66.7%) afirmaron que era que no tenían la conciencia de riesgo a la hora de realizar las tareas, el segundo factor más seleccionado fue que no había una Cultura de seguridad dentro de la empresa con un 54.2%, y por último el que tuvo más porcentaje fue que había falta de Supervisión y cumplimiento (37.5%).

TABLA I
Factores de no uso de Equipo de protección personal

Motivo	Porcentaje (%)
Comodidad del EPP	16.70%
Conciencia de riesgos	66.70%
Disponibilidad del equipo	37.50%
Capacitación recibida	33.50%
Supervisión y cumplimiento	37.50%
Cultura de seguridad	54.20%

También se determinará los problemas experimentados con los EPP al momento de su uso respecto a las actividades que se realizan. Para determinar cuál es la perspectiva de los trabajadores al momento de utilizar los elementos brindados por la empresa. Entre ellos se determinaron problemas comunes como incomodidad, mala calidad del EPP, falta de ajuste adecuado, dificultad para realizar las tareas y la falta de disponibilidad de equipos. Entre el cual podemos observar en la Tabla 04 que la mala calidad y falta de ajustes son los más comunes, con 29.2% en ambos casos y en tercer lugar con un 25% que se presenta incomodidad al momento de usarlo.

TABLA 2
Problemas experimentados con los EPP durante su uso

Motivo	Porcentaje (%)
Incomodidad	25.00%
Mala calidad	29.20%
Falta de ajuste adecuado	29.20%
Dificultad para realizar tareas	20.80%
No disponible	8.30%
Ninguna	8.40%

Como estrategia tradicional, se realizó un programa de capacitación integral en las empresas de sector construcción que abordó directamente las necesidades y desafíos específicos del uso de EPP en el lugar de trabajo. El plan comenzó con una evaluación detallada de las prácticas actuales y las deficiencias identificadas mediante encuestas y análisis de incidentes previos. Esta evaluación proporcionó una base sólida para diseñar materiales educativos personalizados, que incluyen manuales detallados, videos instructivos y sesiones interactivas que destaquen la importancia de los EPP y cómo utilizarlos adecuadamente según el entorno y tipo de trabajo.

La capacitación se vio impartida por personal capacitado en seguridad laboral y se adaptó a diferentes niveles de experiencia y roles dentro de la organización. Se estableció un calendario regular de sesiones de capacitación obligatorias para todos los empleados, tanto nuevos como existentes, asegurando que cada uno esté completamente informado sobre los procedimientos de seguridad y la correcta utilización de los EPP. Estas sesiones también sirvieron para recalcar las normativas vigentes y las consecuencias del incumplimiento.

Para fomentar una cultura de seguridad continua, se implementó un sistema de monitoreo y evaluación periódica del cumplimiento del uso de EPP en el trabajo diario. Esto incluye auditorías regulares, inspecciones sorpresa y revisiones de cumplimiento en los sitios de trabajo. Además, se asignó responsabilidades claras a los supervisores y líderes de equipo que garantizan que los empleados reciban retroalimentación constante sobre su desempeño en términos de seguridad.

Por último, en esta estrategia se establecieron incentivos y reconocimientos para aquellos equipos y empleados que demuestren un compromiso excepcional con el uso adecuado de EPP y la seguridad en general. Esto podría incluir programas de recompensas, certificados de reconocimiento y la integración de la seguridad como un criterio clave en las evaluaciones de desempeño y promoción. La retroalimentación constante de los trabajadores fue fundamental para ajustar y mejorar el programa de capacitación, asegurando que se mantenga relevante y efectivo a medida que evolucionen las condiciones y prácticas laborales.

A través del análisis de las encuestas, se puede observar una gran serie de factores que generan la falta de uso o mal uso de los EPPs en los trabajadores, para poder sintetizar toda esta información se ha decidido realizar una matriz de análisis de Priorización, donde se ha realizado una evaluación de los principales desencadenantes que generan los riesgos dentro de las empresas de construcción y así poder tener una visión más clara de los factores que requieren un cambio más inmediato, para ello también se ha generado la siguiente tabla a modo de leyenda para la lectura de los términos usados en la matriz.

Para la presentación de la tabla 3, se han considerado tres aspectos clave para la matriz, (Medio), para representar las causas poco relevantes, (Alto), para representar las causas de media urgencia y (Crítico), para representar las causas que requieren un cambio de suma urgencia dentro de la empresa, esto debido a que es una causa demasiado frecuente visto en la mayor parte de los artículos.

TABLA 3
Matriz de priorización de las causas del incumplimiento de EPPs

Causas del incumplimiento de EPP	Probabilidad	Impacto	Resultado
Incomodidad del EPP	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Falta de conciencia de los riesgos	ALTO	ALTO	CRITICO
Disponibilidad del Equipo	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Formación recibida del uso de EPP	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Falta de supervisión de cumplimiento	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Poca cultura de seguridad en la empresa	ALTO	ALTO	CRITICO

En la tabla 02, se presentan las seis causas más recurrentes identificadas en el análisis. Se ha seleccionado estas causas en función de su frecuencia, llegando a la conclusión de que hay dos aspectos que requieren una evaluación más detallada para implementar acciones efectivas. El primer aspecto es la conciencia de los riesgos; muchos trabajadores creen que se encuentran en una zona segura, lo que los lleva a confiarse y a no utilizar sus equipos de protección personal EPPs. El segundo aspecto, según la matriz de priorización, es la cultura de seguridad dentro de la empresa. Se observa que las empresas de construcción en Perú ofrecen muy pocas capacitaciones que realmente impacten en la concientización sobre el uso de EPPs. A menudo, el personal es contratado sin recibir una charla de seguridad previa, lo cual, considerando el rubro, debería ser de suma importancia.

Basándonos en las respuestas de nuestras encuestas, se ha podido elaborar un mapa de calor donde podemos apreciar las áreas críticas y frecuentes de riesgos que podemos encontrar en las empresas de construcción, podemos observar según los colores cuáles son las áreas más críticas de la falta de uso de equipos de protección en las empresas de construcción, siendo el rojo el color que tiene mayor impacto o es más frecuente de ver en estas empresas, el color naranja son las que no tienen tanta frecuencia, el color amarillo es el que no se ven muy a menudo, pero es también de alto riesgo y las que vemos de color verde claro y verde oscuro son las variabilidades de estos desencadenantes que influyen en el uso de EPPs.

CONCENTRACION DE PROBLEMAS EN USO DE EPPS	PREGUNTA 1	PREGUNTA 2
Comodidad del equipo	17%	25%
Conciencia de los riesgos	67%	29%
Disponibilidad del equipo	38%	8%
Formacion recibida	33%	21%
Supervision y cumplimiento de uso de EPP	38%	29%
Cultura de seguridad en la empresa	54%	4%

Fig. 2, Mapa de calor para visualización las áreas críticas y frecuentes deriesgo los problemas

Como una de las principales propuestas innovadoras para solucionar la problemática del incumplimiento de EPP propusimos tecnologías para la detección automática y monitoreo de equipos de protección personal mediante algoritmos de visión por computadora y sensores avanzados. Para ello, como observamos en el diagrama de Sankey tenemos 6 artículos que han aplicado estas propuestas o similares. La necesidad de equipos de protección personal es importante, la detección automática y en tiempo real del incumplimiento por parte de los trabajadores en el uso de EPP es una preocupación importante. Los avances en el campo de la visión por computadora y el análisis de datos, especialmente el uso de algoritmos de aprendizaje profundo, tienen el potencial de abordar este desafío en la construcción. Es por ello que las principales propuestas incluyeron diversos enfoques tecnológicos. Primero, El algoritmo Faster R-CNN (Region-based Convolutional Neural Networks) con ResNet-50 (Residual Network de 50 capas) y Few-Shot Object Detection (FsDet, Detección de Objetos con Pocos Ejemplares) se utilizó para una detección robusta de objetos. En segundo lugar, se aplicó el aprendizaje por transferencia a una versión base de YOLOv3 (You Only Look Once versión 3), utilizando redes neuronales convolucionales. Además, otro enfoque se basó en la información RSSI (Received Signal Strength Indicator) transmitida por dispositivos BLE (Bluetooth Low Energy), combinada con un estimador de distancia bayesiano. Otro artículo propuso un nodo de transmisión de datos que contenía sensores de fotoplethismograma (PPG, que mide la variación del volumen sanguíneo) y acelerómetros (Acc, que miden la aceleración), junto con módulos de GPS (Global Positioning System) y LoRa (Long Range). También se utilizaron los algoritmos YOLOv3, YOLOv4 y YOLOv7 para detectar cascos y chalecos de alta visibilidad en tiempo real. Finalmente, un sistema de red de área de operador (OAN, Operator Area Network) ejecutó un modelo de máquina de vectores de soporte (SVM, Support Vector Machine) varias veces por segundo y empleó un algoritmo de postprocesamiento para mejorar su precisión.



Fig. 3, Resultados comparativos de estrategias de detección de objetos

En la primera fila, se presentan las imágenes de prueba sin procesar, mientras que en la segunda y tercera se muestran los resultados de detección de objetos de Faster R-Cnn y FsDet, respectivamente. Cabe señalar que en los resultados de FsDet se pueden ver predicciones tanto correctas como incorrectas.

Como siguiente propuesta innovadora, se sugiere la implementación de gafas de Realidad Aumentada (AR) y simulaciones de Realidad Virtual (VR) para la capacitación y monitoreo del uso de Equipos de Protección Personal (EPP) en el sector de la construcción. Las gafas AR estarán equipadas con sensores y cámaras que proporcionarán instrucciones y alertas en tiempo real a los trabajadores, destacando visualmente áreas peligrosas y registrando datos de cumplimiento de EPP como el uso adecuado de cascos, gafas y guantes. Además, permitirán a los supervisores monitorear el cumplimiento de normas de seguridad desde una ubicación centralizada, facilitando una respuesta rápida ante cualquier infracción detectada.

Por otro lado, las simulaciones VR ofrecerían entrenamientos inmersivos y evaluaciones del desempeño en un entorno virtual seguro y controlado. Los trabajadores podrán practicar el uso correcto de EPP en diferentes escenarios simulados, lo que les permitirá adquirir habilidades prácticas sin exponerse a riesgos reales. Estas simulaciones también podrían incluir situaciones de emergencia, donde los trabajadores deberán reaccionar adecuadamente utilizando los EPP disponibles. Esta metodología no solo mejoraría la formación inicial de los trabajadores, sino que también serviría para realizar capacitaciones periódicas de manera eficiente, asegurando un alto nivel de competencia en el uso de EPP y una cultura de seguridad sólida en toda la organización.

Este enfoque integrado de AR y VR en la capacitación y monitoreo de EPP tiene el potencial de transformar radicalmente la seguridad laboral en la construcción. Al combinar la tecnología avanzada con prácticas efectivas de formación, se espera reducir significativamente la incidencia de accidentes y lesiones relacionadas con la falta de uso adecuado de EPP. Además, esta iniciativa podría resultar en ahorros considerablemente mayores a largo plazo al minimizar los costos asociados con accidentes laborales, tales como gastos médicos, pérdida de productividad y daño a la reputación empresarial.

IV. DISCUSION

En el diagrama de Sankey podemos inferir que las causas del incumplimiento llegan desde lo más básico como mala formación, calidad e incomodidad, y en soluciones tenemos desde lo más tradicional, como hacer encuestas y entrevistas a los trabajadores, hasta capacitaciones. Si bien es cierto son causas y soluciones que deberían ya de aplicar desde un principio debido a su facilidad de aplicación, podemos comprobar que en muchos de estos estudios validan que no se están aplicando. Es por ello que planteamos desde propuestas tradicionales como encuestas y capacitaciones hasta propuestas innovadoras como tecnologías de detección automática.

Tras haber realizado el análisis a la encuesta se pueden identificar factores que están estrechamente relacionados con el uso y desuso de los EPP. En el análisis realizado podemos observar que los resultados indicaron una serie de barreras para el uso de EPP. Estos factores limitantes subrayan la necesidad de mejorar el diseño y la distribución del EPP para garantizar su adopción efectiva. La incomodidad y la accesibilidad son problemas críticos que deben abordarse mediante el desarrollo de equipos más ergonómicos y la implementación de programas de distribución que aseguren el acceso adecuado a todos los trabajadores. Por otro lado, los problemas relacionados con el uso del EPP, como la mala calidad y la falta de ajuste adecuado (29.2% en ambos casos), así como la incomodidad (25%), indican que los equipos proporcionados no cumplen con los estándares necesarios para proteger eficazmente a los trabajadores. Estos problemas no solo comprometen la seguridad, sino que también desincentivan el uso del EPP, perpetuando un ciclo de riesgo. Es imperativo que las empresas inviertan en EPP de alta calidad y adaptado a las necesidades individuales de los trabajadores, garantizando tanto la protección como la comodidad, para fomentar un entorno de trabajo seguro y saludable.

Respecto a la matriz de priorización se puede apreciar que hay evaluaciones que deben de tener con urgencia las empresas del rubro constructor, tales como conciencia de riesgos y cultura de seguridad en la empresa, si esta industria toma en cuenta estos factores, entonces se podrá tomar mejores decisiones y a su vez se podrá reducir en mayor medida los riesgos que puede generar el mal uso de los EPPS.

En relación con el diagrama de calor tenemos que eliminar las áreas críticas y frecuentes en este sector de construcción que son la falta de cultura de seguridad en la empresa (54%), disponibilidad del equipo (38%), Supervisión y cumplimiento de uso de EPP (38%) y conciencia de los riesgos (67%), esto lo debemos eliminar de manera adecuada brindando capacitaciones a nuestro personal con gente especializada en el tema, brindando información de seguridad y salud en el trabajo que conozcan los riesgos que pueden tener en sus áreas de trabajo si no usan sus equipos de protección, mandar un supervisor tanto a nuestros trabajadores con años de experiencia como los nuevos empleados para que conozcan las reglas y condiciones que deben seguir al trabajar en este sector.

Entre las propuestas de detección automática para mejorar el uso de equipos de protección personal (EPP), destacamos uno por su facilidad de aplicación y eficacia: la utilización del algoritmo Faster R-CNN con ResNet-50 y Few-Shot Object Detection (FsDet), como resultados tenemos que como se

ilustra en la Figura 03, resaltan la precisión superior de la detección Faster R-CNN para adaptarse a la naturaleza diversa y dinámica de los escenarios del sitio de construcción. Esta adaptabilidad resultó crucial para superar los desafíos asociados con datos limitados y condiciones ambientales complejas. El enfoque más rápido de detección de objetos de R-CNN demostró su eficacia para identificar objetos con precisión, en los trabajadores y su equipo de seguridad, en condiciones difíciles. Es por ello que esta propuesta se destaca por su robustez y precisión en la detección de objetos, lo que permite identificar de manera efectiva los EPP en diversas condiciones. Además, su integración con Few-Shot Object Detection facilita su adaptación a nuevos entornos con pocos datos de entrenamiento.

La propuesta innovadora de implementar gafas de Realidad Aumentada (AR) y simulaciones de Realidad Virtual (VR) para la capacitación y monitoreo del uso de Equipos de Protección Personal (EPP) en el sector de la construcción plantea varios puntos de discusión que merecen una consideración detallada. Esta iniciativa representa un avance significativo en la forma en que se aborda la seguridad laboral, integrando tecnologías emergentes con prácticas de formación y supervisión efectivas.

En primer lugar, la utilización de gafas AR equipadas con sensores y cámaras para proporcionar instrucciones y alertas en tiempo real puede revolucionar la manera en que los trabajadores interactúan con su entorno de trabajo. La capacidad de destacar visualmente áreas peligrosas y registrar datos de cumplimiento en tiempo real ofrece una ventaja significativa en la prevención de accidentes. Sin embargo, es importante considerar la aceptación y adaptación de los trabajadores a esta nueva tecnología. La implementación exitosa dependerá de la facilidad de uso de las gafas AR y de la eficacia de las instrucciones proporcionadas. Además, la centralización del monitoreo del cumplimiento de normas de seguridad permitirá una supervisión más eficiente, aunque también requerirá una infraestructura tecnológica robusta y la formación adecuada de los supervisores.

Las simulaciones VR, por su parte, proporcionan un entorno seguro y controlado donde los trabajadores pueden practicar el uso correcto de EPP. Esta metodología no solo mejora la formación inicial, sino que también facilita la capacitación continua, asegurando que los trabajadores mantengan un alto nivel de competencia. Un aspecto crítico a considerar es el realismo y la variedad de los escenarios simulados, ya que estos deben reflejar con precisión las condiciones y desafíos del entorno de construcción real. Además, la inclusión de situaciones de emergencia en las simulaciones puede preparar mejor a los trabajadores para responder adecuadamente en casos críticos, potenciando la resiliencia y la seguridad operativa.

Asimismo, la integración de AR y VR en la capacitación y monitoreo de EPP tiene el potencial de transformar la seguridad laboral en la construcción. Al reducir significativamente la incidencia de accidentes y lesiones relacionadas con el uso inadecuado de EPP, esta propuesta no solo mejora la seguridad y el bienestar de los trabajadores, sino que también puede generar ahorros sustanciales para las empresas a largo plazo. La disminución de costos asociados

con accidentes laborales, como gastos médicos, pérdida de productividad y daño a la reputación empresarial, puede justificar la inversión inicial en estas tecnologías. No obstante, es esencial realizar estudios piloto y evaluaciones continuas para medir la efectividad y el retorno de inversión de esta propuesta, garantizando así que los beneficios esperados se materialicen en la práctica.

Por último, para garantizar la validez del trabajo se propone una estrategia de triangulación metodológica que combinará diversas técnicas de recolección y análisis de datos. Inicialmente, se aplicaría cuestionarios estructurados a una muestra representativa de trabajadores y directivos, permitiendo identificar patrones y tendencias en el uso de EPP. Complementariamente, se realizaron entrevistas semiestructuradas con responsables de seguridad y directivos para profundizar en las percepciones y prácticas respecto a la selección y adquisición de EPP. Además, se llevaría a cabo observaciones directas en sitios de construcción durante un período de tres meses para evaluar el cumplimiento real del uso de EPP, validando así los datos obtenidos a través de los cuestionarios y entrevistas. Posteriormente, se integraría y compararía los datos recopilados, identificando discrepancias y corroborando hallazgos para obtener una comprensión más rica y matizada de los desafíos relacionados con el uso de EPP. Esta metodología permitirá identificar áreas críticas para la intervención, facilitando el desarrollo de un plan de acción para mejorar la seguridad laboral mediante la optimización del uso de EPP. Finalmente, se implementaría programas de capacitación, mejoramiento de la calidad y ajuste de los EPP, y se realizaría auditorías regulares, logrando así una reducción significativa de los incidentes relacionados con el incumplimiento de EPP y promoviendo una mejora continua en la seguridad laboral.

CONCLUSION

Las empresas constructoras enfrentan un desafío significativo en cuanto a la seguridad de sus trabajadores, siendo la correcta utilización de los Equipos de Protección Personal (EPP) un factor crucial para reducir lesiones y accidentes laborales. Aunque los ajustes de estos EPP han sido una de las pocas acciones adoptadas, investigaciones recientes como la de (Brisbine et al., 2022) indican que los ajustes adecuados de los EPP pueden mejorar el desempeño ocupacional en un 88% de manera estadísticamente significativa.

El propósito de este estudio fue realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre la utilización de EPP y su impacto en la reducción de accidentes en proyectos de construcción. Se llevó a cabo una búsqueda de artículos en la base de datos Scopus, seleccionando 20 artículos relevantes que abarcan el período de 2019 a 2024. Las palabras claves utilizadas incluyeron "accidentes", "EPP", "proyectos de construcción" y "seguridad laboral".

Se emplearon recursos visuales como esquemas y cuadros para sintetizar nuestro análisis de encuestas, identificando las

principales causas del incumplimiento en la utilización de EPP y los principales problemas que tienen las empresas del sector construcción. Técnicas como el Diagrama de Sankey usado para la sintetización de los 20 artículos revisados, el Mapa de Calor y la Matriz de Análisis de Priorización fueron fundamentales para visualizar las áreas críticas de las empresas constructoras. La investigación destacó diversas causas del mal uso de EPP, incluyendo falta de formación en seguridad, calidad deficiente y ajuste inadecuado. Las soluciones tradicionales, como encuestas, capacitaciones y auditorías, se complementaron con propuestas innovadoras como la detección automática y monitoreo de EPP mediante algoritmos de visión por computadora y sensores avanzados.

Por lo tanto, con base en esta investigación, se recomienda a las empresas constructoras implementar tecnologías de Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (AR) para mejorar la capacitación y el monitoreo del uso de EPP. Estas tecnologías pueden proporcionar una capacitación más interactiva y efectiva, así como una supervisión continua y precisa del uso correcto de los EPP, considerando los ajustes necesarios de los equipos de protección. Esto puede llevar a una reducción significativa en la incidencia de accidentes y lesiones laborales.

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la docente Mg. Rocío del Carmen León Castro de Quispe de la Universidad Privada del Norte (UPN) por su valiosa orientación y apoyo a lo largo de esta investigación. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] Al-Bayati, A. J., Eiris, R., Hernandez, G. O., & Al-Bayati, M. A. (2023). Addressing Social Inequity in Construction Safety Research: Personal Protective Equipment Focus. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(12). <https://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-13864>
- [2] Ammad, S., Alaloul, W. S., Saad, S., & Qureshi, A. H. (2021). Personal Protective Equipment (PPE) usage in Construction Projects: A Systematic Review and Smart PLS Approach. *In Ain Shams Engineering Journal* (Vol. 12, Issue 4, pp. 3495–3507). Ain Shams University. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.001>
- [3] Azizi, R., Koskinopoulou, M., & Petillot, Y. (2024). Comparison of Machine Learning Approaches for Robust and Timely Detection of PPE in Construction Sites. *Robotics*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/robotics13020031>
- [4] Boakye, M. K., Adanu, S. K., Coffie, G. H., Adzivor, E. K., & Ayimah, J. C. (2022). Building Construction Artisans' Level of Access to Personal Protective Equipment (PPE) and the Perceived Barriers and Motivating Factors of Adherence to Its Use. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4870731>
- [5] Boyer, E. J. (2024). Responding to Environmental Uncertainties in Critical Supply Acquisition: An Examination of Contracting for Personal Protective Equipment (PPE) in the Aftermath of COVID-19. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 34(2), 301–315. <https://doi.org/10.1093/jopart/muad015>
- [6] Brisbine, B. R., Radcliffe, C. R., Jones, M. L. H., Stirling, L., & Colman, C. E. (2022). Does the fit of personal protective equipment affect functional performance? A systematic review across occupational domains. *PLoS ONE*, 17(11 November). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278174>

- [7] Debela, M. B., Deyessa, N., Begosew, A. M., & Azage, M. (2023). Occupational health and safety practices and associated factors among workers in Ethiopia's Metehara and Wonji sugar industries: a convergent parallel mixed design. *BMJ Open*, 13(2). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-065382>
- [8] Delhi, V. S. K., Sankarlal, R., & Thomas, A. (2020). Detection of Personal Protective Equipment (PPE) Compliance on Construction Site Using Computer Vision Based Deep Learning Techniques. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00136>
- [9] Gómez-de-Gabriel, J. M., Fernández-Madrigal, J. A., Rey-Merchán, M. del C., & López-Arquillos, A. (2023). A Safety System based on Bluetooth Low Energy (BLE) to prevent the misuse of Personal Protection Equipment (PPE) in construction. *Safety Science*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105995>
- [10] Jalil Al-Bayati, A., Renner, A. T., Listello, M. P., & Mohamed, M. (2023). PPE non-compliance among construction workers: An assessment of contributing factors utilizing fuzzy theory. *Journal of Safety Research*, 85, 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.02.008>
- [11] Kim, J. H., Jo, B. W., Jo, J. H., Lee, Y. S., & Kim, D. K. (2021). Autonomous detection system for non-hard-hat use at construction sites using sensor technology. *Sustainability* (Switzerland), 13(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/su13031102>
- [12] Kozłowski, E., & Mlynski, R. (2019). Selection of earmuffs and other personal protective equipment used in combination. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph16091477>
- [13] Landi, D., Marconi, M., Bocci, E., Gianvincenzi, M., & Spreafico, C. (2023). Reuse of end-of-life personal protective equipment in hot asphalt mixtures: an environmental evaluation. *Procedia CIRP*, 116, 420–425. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.071>
- [14] Lo, J. H., Lin, L. K., & Hung, C. C. (2023). Real-Time Personal Protective Equipment Compliance Detection Based on Deep Learning Algorithm. *Sustainability* (Switzerland), 15(1). <https://doi.org/10.3390/su15010391>
- [15] Marconi, M., Landi, D., Bocci, E., Pietroni, G., & Mosconi, E. M. (2023). Single Use Personal Protective Equipment Reinforced Asphalt. *Procedia CIRP*, 116, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.019>
- [16] Lari, S., Yamagani, P., Pandiyan, A., Vanka, J., Naidu, M., Senthil Kumar, B., Jee, B., & Jonnalagadda, P. R. (2023). The impact of the use of personal-protective-equipment on the minimization of effects of exposure to pesticides among farm-workers in India. *Frontiers in Public Health*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1075448>
- [17] Owusu Ansah, M., & Skevas, T. (2024). Adoption and intensity of use of personal protective equipment by agricultural pesticide handlers: Empirical evidence from Peruvian agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 446. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141433>
- [18] Pisu, A., Elia, N., Pompianu, L., Barchi, F., Acquaviva, A., & Carta, S. (2024). Enhancing workplace safety: A flexible approach for personal protective equipment monitoring. *Expert Systems with Applications*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122285>
- [19] Sehsah, R., El-Gilany, A. H., & Ibrahim, A. M. (2020). Personal protective equipment (Ppe) use and its relation to accidents among construction workers. *Medicina Del Lavoro*, 111(4), 285–295. <https://doi.org/10.23749/mdl.v111i4.9398>
- [20] Yang, H. Y., Chou, H. L., Leow, C. H. W., Kao, C. C., Daniel, D., Jaladara, V., Khoe, L. C., Latha, P. K., Mahendradhata, Y., Nguyen, P. M., Sirijatuphat, R., Soemarko, D. S., Venugopal, V., Zhang, K., & Lee, J. K. W. (2024). Poor personal protective equipment practices were associated with heat-related symptoms among Asian healthcare workers: a large-scale multi-national questionnaire survey. *BMC Nursing*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12912-024-01770-x>