

## Sistema de seguimiento y prevención de accidentes laborales para el sector de la construcción

*System for monitoring and preventing occupational accidents for the  
construction sector*

- <sup>1</sup> Pietro Palomeque Rodas  <https://orcid.org/0000-0002-3834-6344>  
Universidad Católica de Cuenca, Maestría en Construcciones con Mención en Administración de la  
Construcción Sustentable, Unidad Académica de Posgrados, Azuay, Ecuador,  
[pietro.palomeque.33@est.ucacue.edu.ec](mailto:pietro.palomeque.33@est.ucacue.edu.ec)
- <sup>2</sup> Diego Heras Benavides  <https://orcid.org/0000-0002-8729-0981>  
Universidad Católica de Cuenca, Unidad Académica de Industria y Construcción, Azuay, Ecuador,  
[dherasb@ucacue.edu.ec](mailto:dherasb@ucacue.edu.ec)
- <sup>3</sup> Sebastián Quevedo Sacoto  <https://orcid.org/0000-0001-5585-0270>  
Universidad Católica de Cuenca, Laboratorio de investigación XR-LAB, Azuay, Ecuador,  
[asquevedos@ucacue.edu.ec](mailto:asquevedos@ucacue.edu.ec)

---

### Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 06/12/2021

Revisado: 21/12/2021

Aceptado: 17/01/2022

Publicado: 05/04/2022

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.192>

---

**Cítese:** Palomeque Rodas, P., Heras Benavides, D., & Quevedo Sacoto, S. (2022). Sistema de seguimiento y prevención de accidentes laborales para el sector de la construcción. AlfaPublicaciones, 4(2.1), 25–44. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i2.1.192>



**ALFA PUBLICACIONES**, es una Revista Multidisciplinar, **Trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)



Esta revista está protegida bajo una licencia **Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International**. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

---

**Palabras****claves:**

prevención de  
accidente  
laborales,  
equipos de  
protección  
personal, alerta,  
deep learning,  
likert.

**Keywords:**

occupational  
accident  
prevention,  
personal  
protective  
equipment,

**Resumen**

**Introducción.** El presente estudio plantea el diseño de un sistema de prevención de accidentes laborales, el cual está formado por dos elementos: el primero, un componente psicométrico, en el cual se validó una escala para medir la actitud de los trabajadores respecto al uso de los equipos de protección personal (EPP). **Metodología.** Se elaboró un instrumento con 16 ítems en escala de Likert, obteniendo una confiabilidad en el Alpha de Cronbach de  $\alpha=0.806$ , luego de aplicar un análisis factorial exploratorio se obtuvo tres factores, el primer factor retiene una varianza de 26%, el segundo una varianza de 25.9% y el tercero retiene un 14.9% de la varianza total. Los tres factores retienen una varianza total del 66.8%. El segundo componente utiliza *Deep Learning* aplicado a visión computacional para la creación de un detector de uso de los EPP que coadyuvará a la prevención de riesgos y accidentes laborales, el detector trabaja con videos e imágenes adquiridos en construcciones aplicando el algoritmo YOLOv5 que segmenta zonas de interés, este detecta si el obrero utiliza o no EPP, y en este último caso se obtiene adicionalmente un registro de alertas. **Resultados.** El sistema con los componentes descritos se aplica antes y durante la ejecución de una obra; en este sentido, previo a la contratación del personal, se aplica el instrumento de medición psicométrico, con el objetivo de obtener el perfil del obrero respecto al uso de los EPP; también, se efectuará el monitoreo respectivo con la aplicación de visión computacional; con esta información recolectada, se establece una base de datos que dará seguimiento a los obreros de acuerdo al perfil psicométrico y las faltas registradas con la visión artificial, para luego obtener proyecciones estadísticas que permitan tomar decisiones respecto a la motivación o capacitación adicional para los obreros en la utilización de EPP.

**Abstract**

**Introduction.** The present study proposes the design of an occupational accident prevention system, which is made up of two elements: the first, a psychometric component, in which a scale was validated to measure the attitude of workers regarding the use of equipment of personal protection (PPE). **Methodology.** For this, an instrument was developed with 16 items on the Likert scale, obtaining reliability in Cronbach's alpha of  $\alpha = 0.806$ , after applying

alert, deep  
learning, likert.

exploratory factor analysis, three factors were obtained, the first factor retains a 26% variance, the second a 25.9% variance, and the third retains 14.9% of the total variance; The three factors retain a total variance of 66.8%. The second component uses a *Deep Learning* applied to computer vision for the creation of a detector of the use of PPE that will contribute to the prevention of risks and occupational accidents. The detector works with videos and images acquired in constructions applying the YOLO algorithm that segments areas of interest and detects whether the worker is wearing PPE. In the latter case, an alert record is also obtained. **Results.** The system with the components described is applied before and during the execution of work. In this sense, prior to the hiring of personnel, the psychometric measurement instrument is applied to obtain the worker's profile regarding the use of PPE. Also, the respective monitoring will be conducted with the application of computer vision. With this information collected, a database is established that will monitor the workers according to the psychometric profile and the absences registered with the artificial vision to obtain later statistical projections that allow making decisions regarding the motivation or additional training for the workers in the use of PPE.

## Introducción

El sector de la construcción en la actualidad es un apoyo fundamental para la economía de un país, ya que dinamiza el capital y genera fuentes de trabajo; sin embargo, el mismo se ha visto afectado por ciertos factores que han ocasionado riesgos o accidentes laborales, que han perjudicado al desarrollo efectivo en la ejecución de obras. En este sentido, según Hinze & Teizer (2011), “en Estados Unidos se ha demostrado que la industria de la construcción alcanza una de las tasas más altas de mortalidad, siendo las principales causas, el comportamiento humano, las herramientas, los equipos y las zonas de trabajo compactas” (p. 709). Según Fernández et al. (2006):

En España, no existe una verdadera cultura preventiva respecto a los riesgos y accidentes laborales, en virtud que los empleadores y constructores consideran que invertir en mecanismos de prevención son gastos adicionales al objetivo de su obra o empresa, y que disminuyen su rentabilidad. (p. 115)

Ordoñez Torres (2016), manifiesta que “En Ecuador existen subregistros de la estadística general de accidentes laborales, por lo que según la OIT este país se encuentra liderando

la siniestralidad laboral oculta en América Latina, ya que apenas se registran 2 de cada 100 accidentes ocurridos” (p. 18). Lo que demuestra que no existe una verdadera cultura respecto a la importancia de garantizar seguridad laboral a los trabajadores de este sector.

Con respecto a la ausencia o el uso inadecuado de los Equipos de Protección Personal (EPP) Massiris et al. (2018), manifiesta que “la falta a estas normas de protección es una de las principales causas de los accidentes y lesiones que se podrían evitar” (p. 1020). Ante esta problemática, es necesario identificar los factores que ocasionan riesgos y accidentes laborales, y plantear estrategias que permitan fomentar el uso correcto y obligatorio de los EPP, considerando aspectos de vida y socioculturales, con el objetivo de prevenir riesgos y disminuir el porcentaje de accidentes.

En la actualidad, la verificación de la utilización de los EPP, la efectúan generalmente expertos o técnicos a través de observación directa en el lugar que se ejecuta una obra, lo que demanda la contratación de más personal para el cumplimiento de esta actividad, generando un rubro costoso y los resultados obtenidos, son subjetivos, por cuanto la tarea la realizan diferentes personas, que pueden emitir un criterio valorativo de acuerdo con diferentes aspectos como su experiencia o formación.

Es por ello, que en esta investigación se propone el uso de una escala psicométrica, pues “el avance de la investigación en psicometría confirma cada día que las diferencias individuales existen y son medibles” (Cortada de Kohan, 2002, p. 230), razón por la cual se hace uso de esta herramienta para obtener información del perfil de los trabajadores respecto al uso de EPP, con el objetivo de prevenir riesgos y accidentes; adicionalmente se aplica tecnología como la visión computacional que según Massiris et al. (2020), “hoy en día está modificando el estado del arte del monitoreo de los mismos” (p. 69); con el objetivo de dar un seguimiento continuo al uso de EPP por parte de los trabajadores.

Zhao et al. (2019) indica que en “China utiliza *Deep Learning* para la detección de riesgos y seguimientos de trayectorias en los sitios de construcción, su estudio propone un algoritmo de detección basado en aprendizaje profundo utilizando dispositivos portátiles como cascos u chalecos” (p. 30905).

En esta misma línea, Xuehui et al. (2021) determina que “La detección a través de imágenes/videos puede ayudar en el monitoreo de la seguridad, el control de calidad y la gestión de la productividad en los sitios de construcción” (p. 1), en este sentido según Massiris et al. (2020), “la detección de EPP utilizando técnicas de Visión Computacional resulta ser una medida efectiva y comprobada, visualizada en tiempo real de trabajo y óptima para un monitoreo constante no supervisado” (p. 72).

Toda esta doctrina tiene un enfoque de prevención de siniestralidad laboral, utilizando el aprendizaje profundo para la detección de los equipos de protección personal, siendo

necesario anexar a estos estudios una innovación importante como la emisión de una alerta, que permita advertir de forma inmediata el incumplimiento de las normas de seguridad.

Con el objetivo de mejorar los procedimientos de detección de los EPP de manera automatizada, se propone la creación de un sistema con indicadores estadísticos que permiten prevenir la siniestralidad y a su vez garantizar la seguridad laboral; este sistema está compuesto por dos elementos: el primero, que medirá un análisis psicométrico, con una investigación cualitativa, mediante el diseño de una escala que mida la predisposición al uso de EPP ya que “un instrumento de medición nos permite acercarnos a la variabilidad evaluativa de las personas con relación a cualquier objeto” (Sulbarán, 2009, p. 6), es por ello, que este instrumento está dirigido a los trabajadores de la construcción, con el objetivo de obtener la información para dimensionar la percepción de los mismos respecto al uso de los EPP.

La psicometría es una rama de la psicología que, mediante teorías, métodos y técnicas vinculados al desarrollo y la administración de prueba, se ocupa de la medida indirecta de los fenómenos psicológicos con el objetivo de hacer descripciones, clasificaciones, diagnósticos, explicaciones o predicciones que permitan orientar una acción o tomar decisiones sobre el comportamiento de las personas. (Meneses et al., 2013, p. 38)

Se han evidenciado estudios que utilizan instrumentos psicométricos para medir las actitudes de las personas en diferentes ámbitos profesionales como por ejemplo el desarrollado por Yasnó-Varila et al., (2021) “en el cual aplica un instrumento para medir la percepción de la calidad de vida de trabajadores víctimas de accidente laboral” (p. 23). En este sentido, se puede recalcar la importancia de aplicar un análisis psicométrico con una escala que mida la actitud de los obreros frente al uso de los EPP.

Para el segundo componente, se aplica *Deep Learning* (DL), el cual permite mantener un seguimiento mediante la detección de equipos de protección personal; según Fang et al., (2018), con el *Deep Learning* (DL) “los modelos computacionales compuestos por varias capas de procesamiento asimilan representaciones sobre datos con múltiples niveles de abstracción y así descubren representaciones autónomas en grandes volúmenes de datos” (p. 3), es por ello, que hoy en día se plantean estrategias tecnológicas como medida de prevención y concientización del uso de EPP; pues, se ha descubierto que “la tecnología de visualización contribuye a la gestión de seguridad a través de la capacitación, la identificación de áreas de peligro laboral y el monitoreo de seguridad en el sitio” (Guo et al., 2017, p.135).

Entonces, es factible la aplicación de la tecnología, y la presente investigación se centra en la creación de un sistema de seguimiento y prevención de accidentes, mediante la

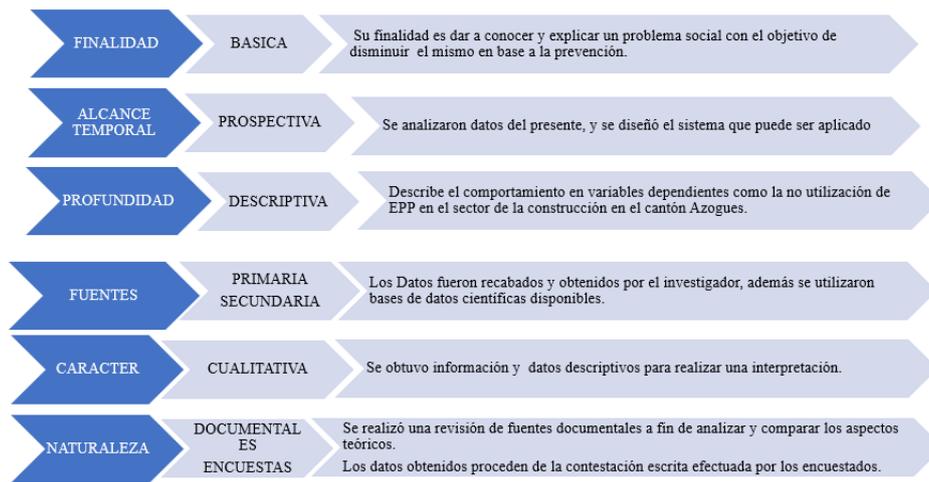
validación de una escala de medición de la predisposición al uso de EPP en los trabajadores, y el uso de visión computacional.

### Metodología

En la figura 1 se puede observar, el tipo y nivel de investigación aplicado en este estudio.

**Figura 1**

*Tipo y nivel de investigación*



### Componente Psicométrico

En esta investigación se efectuó un estudio cualitativo para validar una escala de medición de la predisposición al uso de los EPP, para el efecto, se diseñó una escala considerando el estado del arte del contexto y se validó mediante juicio de expertos; se aplicaron encuestas dirigidas a trabajadores del sector de la construcción del cantón Azogues; tomando como muestra a 100 obreros que se encuentran ejecutando obras de vivienda.

En la elaboración de las encuestas se utilizó una escala de Likert, que consiste en:

Un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios, ante los cuales se pide la reacción de los participantes, es decir, se presenta cada afirmación y se solicita al sujeto que externé su reacción eligiendo uno de los cinco puntos o categorías de la escala. (Hernández Sampiere, 2014, p. 238)

Esta técnica acepta expresamente que las actitudes pueden medirse a través de manifestaciones verbales y asume la posibilidad de estudiar dimensiones de actitud a partir de un conjunto de enunciados que operen como reactivos para los sujetos. Éstos pueden situarse en la variable de actitud desde el polo más favorable al más desfavorable, de tal manera que la variación de las respuestas será debida a diferencias individuales de los sujetos; las escalas de Likert son sumativas y su

objeto es el de especificar la valencia (positiva-negativa) de actitud. (Álvarez Rodríguez et al., 1997, p.24)

El instrumento fue elaborado con 16 ítems y 5 niveles de respuesta para medir las actitudes de los trabajadores respecto al uso de los EPP, la escala a validar mide dimensiones importantes como: Información demográfica en los ítems del 1 al 3, importancia del uso de EPP del ítem 4 al 7, Evaluación de Riesgos del ítem 8 al 10, Capacitación del ítem 11 al 12 y Motivación del ítem 13 al 16.

La validez del contenido, que consiste en “qué tan adecuado es el muestreo que hace una prueba del universo de posibles conductas, de acuerdo con lo que se pretende medir” (Escobar Pérez, 2008, p. 28); se realizó mediante un juicio de expertos, que según la definición de Jazmine Escobar “es una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones” (Escobar Pérez, 2008, p. 29). Por lo que esta técnica es muy utilizada en la actualidad en investigaciones referentes a la medición de actitudes; fueron cinco los jueces que validaron el instrumento aplicado para medir las actitudes de los trabajadores respecto al uso de EPP.

### *Deep Learning*

Para la creación del detector de los EPP, a través del *Deep Learning*, se aplicó el algoritmo *You Only Look Once (YOLO)*, que es una familia de modelos que Joseph Redmon presentó en su artículo en el año 2016 (Redmon et al., 2016); y con el pasar del tiempo ha ido mejorando su algoritmo con la presentación de YOLOv2 (Redmon & Farhadi, 2017) y YOLOv3 (Redmon & Farhadi, 2018). Según Thuan (2021), “YOLO se ha actualizado a cinco versiones y ha sido considerado como uno de los algoritmos de detección de objetos más destacados” (p. 7). En este sentido, esta investigación utiliza YOLOv5 para la detección de los EPP.

YOLO es una sola red convolucional que predice simultáneamente múltiples cuadros delimitadores y probabilidades de clase para esos cuadros. YOLO se entrena con imágenes completas y optimiza directamente el rendimiento de detección y puede procesar en tiempo real con menos de 25 milisegundos de latencia. (Pérez et al., 2019, p.54)

“La red neuronal puede lograr una velocidad de ejecución de 45 fotogramas por segundo (fps) en computadoras de propósito general” (Massiris et al., 2018, p.1023).

Para el entrenamiento del algoritmo se utilizó más de 900 imágenes reales de obras de construcción de vivienda, en las cuales los obreros utilizaban los EPP, se procedió con el etiquetado de las imágenes utilizando la herramienta Make Sense, la cual permite crear cuadros delimitadores de los objetos necesarios para entrenar al algoritmo, en este caso,

persona, casco y chaleco. Durante el entrenamiento, se realiza un aumento de datos en tiempo real para evitar el sobreajuste. En particular, en cada paso de entrenamiento, cada imagen de entrenamiento se escala aleatoriamente hacia arriba / hacia abajo en  $\pm 30\%$ , en el sentido horizontal o vertical en  $\pm 30\%$  y volteada en la dirección horizontal de forma aleatoria. Para el entrenamiento se utilizó el *framework* de aprendizaje automático de código abierto PyTorch, que “es un programa Python regular bajo el control total de su usuario que con la implementación cuidadosa y pragmática de los componentes clave de su tiempo de ejecución les permite trabajar juntos para lograr un rendimiento convincente” (Paszke et al., 2019, p.1).

Este estudio se implementa en base a la plataforma PyTorch, que según Mustamo (2018), “contiene varios paquetes de algoritmos de aprendizaje para conveniencia de los programadores. Se aplicó un modelo previamente entrenado para ahorrar tiempo de entrenamiento” (p.9), y compensar por no disponer naturalmente de un conjunto de datos extenso.

El objetivo del algoritmo propuesto es la detección de los EPP, el cual utiliza los videos como vector de entrada para el procesamiento de datos, el algoritmo recibe Frames que pueden provenir de videos, imágenes; y como resultado el sistema de predicción devuelve un tensor con los cuadros delimitadores de los objetos a detectar (Personas, Cascos y Chalecos). Cuando se obtiene los cuadros delimitadores se implementa en el algoritmo un método que permite determinar el área de intersección que existe entre los cuadros delimitadores de las personas con los objetos de protección personal. Si los cuadros delimitadores de las personas se intersecan en más de un 90% con los cuadros delimitados de los objetos de protección, el algoritmo considera que la persona está utilizando los implementos de protección, sin embargo, si este umbral es menor al 90% el algoritmo considerará una falta y emitirá una alerta de información.

## Resultados y Discusión

### *Componente psicométrico*

Para la construcción de la escala psicométrica, se elaboraron varios ítems, que fueron validados mediante el juicio de expertos usando una cuantificación mediante la técnica de la V de Aiken, obteniendo un valor de 0.92.

Esta técnica sirve para cuantificar de validez de contenido o relevancia del ítem respecto a un dominio de contenido en N jueces, cuya magnitud va desde 0.00 hasta 1.00; el valor 1.00 es la mayor magnitud posible que indica un perfecto acuerdo entre los jueces respecto a la mayor puntuación de validez de los contenidos evaluados, valores superiores a 0.7 son aceptables. (Soto Y Segovia, 2009, p. 169)

En el presente estudio 5 expertos validaron la escala diseñada, el instrumento validado por los expertos consta de 13 ítems en escala de Likert que conforman la escala y 3 ítems de recolección de información demográfica.

Se aplicaron 100 encuestas dirigidas a trabajadores en ejecución de obras de vivienda, los instrumentos fueron contestados por adultos entre los 18 y 65 años, todos de sexo masculino, de los cuales el 52% poseen una instrucción primaria, el 43% poseen una instrucción secundaria, y el 5% provienen de los niveles educativos: SECAP (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional), Tecnológico y Superior.

En el análisis descriptivo de los ítems de la escala se puede apreciar que los valores promedio más bajos se encuentran en los ítems 3 y 12, con valores cercanos a 3 y 2 respectivamente, lo que indica que la mayor parte de encuestados no están de acuerdo ni en desacuerdo en que el uso de EPP disminuye su capacidad de trabajo, por otra parte, el ítem 12 evidencia que la mayor parte de encuestados desconocen sobre el reglamento interno de higiene y seguridad en las empresas. Los ítems restantes de la escala puntúan con su valor de tendencia central entre 4 y 5 en promedio. La prueba de Shapiro-Wilk es significativa ( $p < 0.001$ ) para todos los ítems analizados, lo que significa que los datos no provienen de una distribución normal, el coeficiente de sesgo no es muy pronunciado en todos los ítems a excepción del ítem 13 que en el análisis posterior se descartará, por lo que se puede trabajar con aproximaciones en las técnicas factoriales empleadas más adelante, la tabla 1 muestra el resumen descriptivo.

**Tabla 1**

*Estadísticos descriptivos de la escala sobre la medición de prevención de riesgos y accidentes laborales para el sector de la construcción*

	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis	W	p
DEM3	3.55	4.00	1.234	1	5	-0.8249	- 0.3666	0.827	< .001
ITEM1	3.11	3.00	1.463	1	5	-0.0956	- 1.2772	0.871	< .001
ITEM2	3.27	3.00	1.309	1	5	-0.1581	- 0.9624	0.889	< .001
ITEM3	2.77	3.00	1.196	1	5	0.1685	- 1.0425	0.898	< .001
ITEM4	4.16	4.00	0.972	1	5	-1.9476	4.4301	0.676	< .001
ITEM5	4.06	4.00	1.071	1	5	-0.9259	- 0.0138	0.808	< .001
ITEM6	4.02	4.00	1.092	1	5	-0.9437	0.1366	0.815	< .001

**Tabla 1**

*Estadísticos descriptivos de la escala sobre la medición de prevención de riesgos y accidentes laborales para el sector de la construcción (continuación)*

	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum	Skewness	Kurtosis	W	p
ITEM7	4.07	4.00	1.085	1	5	- 1.0132	0.2909	0.800	< .001
ITEM8	3.34	3.00	1.465	1	5	- 0.3562	-1.2028	0.858	< .001
ITEM9	4.34	4.00	0.768	1	5	- 1.7622	4.7170	0.679	< .001
ITEM10	3.76	4.00	1.074	1	5	- 1.0008	0.4906	0.825	< .001
ITEM11	3.98	4.00	0.943	1	5	- 1.3627	2.0586	0.761	< .001
ITEM12	2.30	2.00	1.159	1	5	0.8181	-0.4229	0.801	< .001
ITEM13	4.83	5.00	0.637	1	5	- 4.1588	18.1693	0.296	< .001

En el análisis de fiabilidad de la escala se obtuvo el coeficiente de alfa de Cronbach con un valor de  $\alpha = 0.806$  para los 9 elementos de la escala. “Este coeficiente se estableció como un índice de factor para evaluar el grado en que los ítems de un instrumento están relacionados”(González y Pazmiño, 2015, p. 64). Todos los valores de alfa en caso de eliminar un ítem resultaron mayores a 0.797, donde cada ítem posee una correlación positiva y estadísticamente significativa ( $p < 0.01$ ). Con respecto al índice de “correlación total corregido” se usó como discriminador de ítems válidos para valores mayores a 0.4, donde al aplicarlo resultó que los ítems 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12 obtuvieron un valor mayor al límite establecido. Esta información y descripción de ítems se puede apreciar en la tabla 2. Con los resultados obtenidos se tienen las condiciones para afirmar que los ítems descritos demuestran que la consistencia interna de la escala de prevención de riesgos y accidentes laborales para el sector de la construcción es adecuada.

**Figura 2**  
*Ítems del instrumento aplicado y alfa de Cronbach*

No. ÍTEM	ÍTEMS	CORRELACION ÍTEMS-TOTAL CORREGIDA	ALFA DE CRONBACH SI SE ELIMINA EL ÍTEMS
ÍTEM 1	¿Al inicio de una obra le dotan de Equipos de Protección Personal?	0.531	0.784
ÍTEM 2	¿Ud. utiliza equipos de protección personal (EPP), en la ejecución de sus actividades laborales?	0.522	0.784
ÍTEM 5	¿Ud. realiza mantenimiento de las herramientas manuales antes de utilizarlas?	0.510	0.786
ÍTEM 6	¿Ud. realiza mantenimiento de las herramientas mecánicas antes de utilizarlas?	0.475	0.790
ÍTEM 7	¿Ud. realiza mantenimiento de las herramientas eléctricas antes de utilizarlas?	0.524	0.785
ÍTEM 8	¿Recibe Ud. capacitación sobre los distintos Equipos de Protección Personal que le entregan de acuerdo a la actividad que se le ha asignado?	0.623	0.786
ÍTEM 10	¿Ud. piensa que se debería amonestar bajo ciertos criterios el incumplimiento del uso correcto del Equipo de Protección Personal?	0.419	0.797
ÍTEM 11	¿Ud. piensa que el uso adecuado de Equipos de Protección Personal, debería constar en su hoja de historial del trabajo, como referencia para contrataciones en futuras obras?	0.486	0.790
ÍTEM 12	¿Ud. conoce sobre las sanciones por no utilizar correctamente los Epp descritas en el Reglamento Interno de Higiene y Seguridad de las empresas?	0.432	0.795

las técnicas más usadas en el desarrollo, validación y adaptación de instrumentos de medida psicológicos” (Lloret et al., 2014, p. 1151), como es el análisis factorial exploratorio (AFE) con el objetivo de conocer el número de factores latentes que podrían ser extraídos, para ello se analizó la prueba de Bartlett, que resulto estadísticamente significativa [ $\chi^2(36, N=100)=441, p<0.001$ ] por lo que se considera adecuado el método de extracción factorial. El método de extracción de factores empleado fue el de mínimos residuales y con el método de rotación Varimax, obteniéndose las saturaciones en cada ítem superiores a 0.4 y positivas.

Adicionalmente para contrastar la adecuación del modelo factorial se aplicó la prueba de KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) en la cual se obtiene un valor general de 0.734, como se muestra en la tabla 3. Los ítems 2, 5, 7, 8, 11 y 12 supera el valor de 0.7 y los ítems 1, 6 y 10 no alcanzan el valor de 0.7, conforme se evidencia en la tabla 2.

**Tabla 2**  
*Medida de adecuación muestral*  
*KMO Measure of Sampling Adequacy*

MSA	
Overall	0.734
ITEM1	0.681
ITEM2	0.721
ITEM5	0.773
ITEM6	0.686

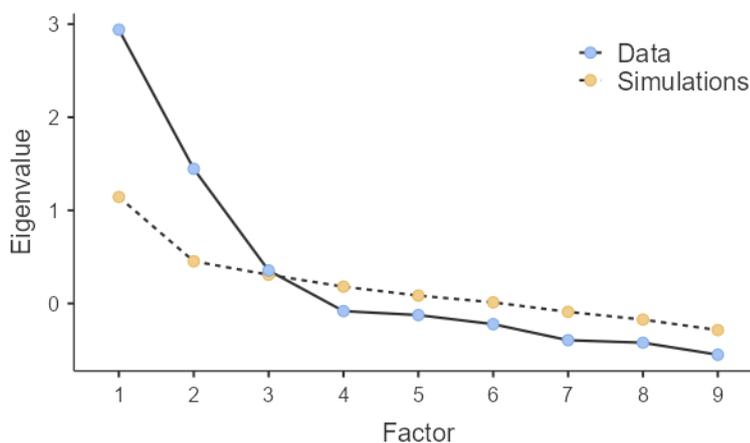
**Tabla 2**  
*Medida de adecuación muestral (continuación)*

	MSA
ITEM7	0.790
ITEM8	0.776
ITEM10	0.650
ITEM11	0.706
ITEM12	0.889

Fuente: Elaboración propia, Software Jamovi

El número de factores a extraer se obtuvo mediante la técnica de Scree Plot, en la figura 1 se puede observar la gráfica con los autovalores observados y simulados en donde de las dos graficas determina que el número de factores a extraer es tres.

**Figura 3**  
*Gráfico de sedimentación*



Fuente: Elaboración propia, Software Jamovi

En la solución factorial detallada en la tabla 3, se pueden apreciar tres factores latentes agrupados según sus cargas factoriales (superiores a 0.4) mostradas. Por ejemplo, se puede ver que el ítem 6 posee una alta correlación con el Factor1 con un valor de 0.932. En virtud de la aplicabilidad de la investigación y la agrupación cognitiva de los ítems en los tres factores hallados, el factor 1 se lo denominó como “Mantenimiento de Herramientas” (conformado por los ítems 5, 6 y 7), el factor 2 se lo denominó como “Seguridad laboral” (formado por los ítems 1, 2, 8 y 12) y finalmente el tercer factor se lo denominó como “Cumplimiento” (formado por los ítems 10 y 11).

**Tabla 3**  
*Solución Factorial*

	Factor Loadings			Uniqueness
	Factor			
	1	2	3	
ITEM6	0.932			0.12346
ITEM7	0.810			0.28415
ITEM5	0.798			0.30949
ITEM1		0.922		0.14829
ITEM2		0.821		0.32293
ITEM8		0.706		0.43493
ITEM12		0.471		0.74470
ITEM10			0.978	0.00319
ITEM11			0.482	0.61332

Note. 'Minimum residual' extraction method was used in combination with a 'varimax' rotation

Fuente: Elaboración propia, Software Jamovi

Se determinó que el porcentaje de varianza total explicada por el modelo es de 66.8%; de este total el factor 1 explica el 26%, el factor 2 el 25.9% y finalmente el factor 3 explica el 14.9% como se puede observar en la tabla 4.

**Tabla 4**  
*Varianza total explicada por el modelo factorial*

Summary			
Factor	SS Loadings	% Of Variance	Cumulative %
1	2.34	26.0	26.0
2	2.33	25.9	51.9
3	1.35	14.9	66.8

Fuente: Elaboración propia, Software Jamovi

A partir de los resultados obtenidos en el AFE, que “es una estrategia sumamente útil en el ámbito de la prueba de hipótesis y la confirmación de teorías” (Arias Martínez, 2008, p. 75), se planteó el análisis factorial confirmatorio (AFC), donde se procedió a la

identificación del modelo donde se estableció la escala fijando a uno la varianza de los factores, se verificó que el modelo este sobre identificado (número positivo de grado de libertad), se fijó a uno los coeficientes de regresión de los términos de error, se fijó a cero las covarianzas entre los términos de error, y bajo estas condiciones se obtuvieron los siguientes resultados: en el análisis de ajuste del modelo se obtuvo una  $\chi^2 = 44.7$ , significativa ( $p < 0.001$ ) que rechaza la hipótesis nula de igualdad entre las matrices de varianzas y covarianzas muestral y estimada, el número de grados de libertad es 24.

Se obtuvieron resultados de otros indicadores de ajuste como: los índices comparativos  $CFI = 0.95$  aceptable con valores entre  $[0.90, 0.95]$ , índice de Tucker-Lewis  $TLI = 0.927$  que indica un buen ajuste del modelo para valores mayores a 0.90, el indicador de ajuste absoluto  $SRMR = 0.0609$  indica un buen ajuste para valores inferiores a 0.08, el indicador corregido por parsimonia que incorpora en su cálculo la penalización por poca parsimonia (*Root Square Error of Approximation*)  $RMSEA = 0.0929$  de ajuste aceptable entre  $[0.05, 0.08]$ , en definitiva, el ajuste del modelo es eficaz en tres de los cuatro indicadores evaluados y descritos, por lo tanto, el modelo se ajusta al modelo factorial propuesto.

El modelo de la estructura factorial de la escala validada, donde al analizar los ítems de cada factor latente y constructos teóricos, se puede recordar que se establecieron tres dimensiones: la primera de “Mantenimiento de Herramientas” conformada por 3 ítems (5, 6 y 7), la segunda de “Seguridad Laboral” conformada por 4 ítems (1, 2, 8 y 12) y la tercera de “Cumplimiento” conformada por 2 ítems (10 y 11).

### *Componente de Detección*

Para la implementación del sistema de visión artificial de detección de uso de los EPP propuesto como segundo componente, se utilizaron videos pregrabados e imágenes de obras de construcción de viviendas, solicitando a los obreros que se presenten a la obra en diferentes condiciones, es decir, con y sin equipos de protección. Para la grabación del video y toma de imágenes, se utilizó una cámara de 12 mega píxeles con una resolución de 1080 píxeles sobre 240 *frames* por segundo, con un soporte manual en sectores estratégicos en donde se realiza la obra. En las siguientes imágenes se pueden observar el funcionamiento del algoritmo de detección de EPP.

**Figura 4**  
*Trabajadores en obra.*



**Figura 5**  
*Detección de EPP*



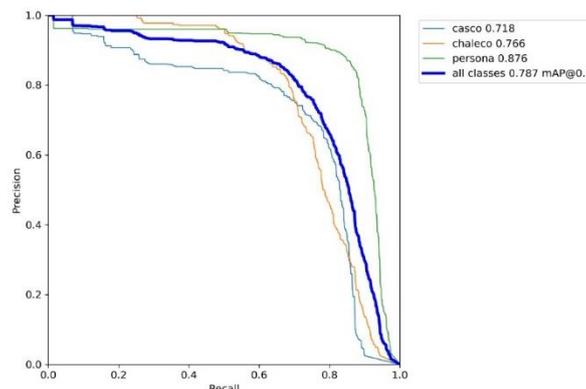
**Figura 6**  
*Alerta sin EPP*



En la figura 6, se observa un trabajador sin EPP, el algoritmo presenta un mensaje de alerta que alimentará a la base de datos de incumplimientos del trabajador.

Con respecto al rendimiento del modelo de visión artificial implementado, se puede apreciar en la figura 7, las curvas ROC de detección de rendimiento diagnóstico realizadas en la identificación, con los siguientes resultados: casco con un valor de 0.718, chaleco con 0.766 y persona con un valor de 0.876. Con respecto a la detección de todas las clases se consiguió un valor de 0.787, donde valores superiores a 0.7 se consideran valores buenos.

**Figura 7**  
*Curva ROC*



Fuente: Elaboración propia, Software Jamovi

Para el sistema propuesto, la escala encontrada para aplicarla en la encuesta es un instrumento que se puede implementar en cualquier plataforma digital de forma autónoma y que puede interactuar con el usuario, para luego de su aplicación obtener una base de datos del grupo de usuarios donde se podrá estimar la predisposición del trabajador al cumplimiento de las medidas de seguridad laboral. De forma complementaria el componente de detección automática basado en visión artificial que detecta las infracciones sobre el mal uso de EPP en tiempo real registra un historial de cada usuario. En definitiva, el presente sistema propuesto llevará un registro del historial del perfil

psicométrico y el número de infracciones que permitirá tomar decisiones a partir de la base de datos en cuanto a la capacitación del personal, y, por tanto, una prevención de accidentes laborales más eficiente.

### Conclusiones

- En esta investigación se ha logrado determinar que es fundamental que los obreros utilicen correctamente los EPP en la ejecución de una obra, así como también los empleadores tienen el deber imperativo de dotar a los trabajadores de los implementos necesarios para el desarrollo de sus actividades, exigiendo a su vez, el cumplimiento efectivo de la utilización.
- Se ha conseguido diseñar un novedoso sistema de seguimiento y prevención de accidentes laborales, conformado por dos componentes: el primero una escala psicométrica validada, que es capaz de cuantificar la predisposición de un obrero al uso correcto de los EPP; y el segundo, un sistema de visión artificial que detecta el número de infracciones cometidas en el mal uso de los EPP.
- Luego de haber revisado el AFE y AFC en la escala diseñada, se determina que la escala puede alcanzar un puntaje máximo en cada aplicación de 45, cuyo valor representa que el encuestado no está propenso a sufrir algún accidente debido a que esta consiente y dispuesto a usar los EPP, por otra parte, la escala podría alcanzar un valor mínimo de 9 cuyo valor representaría que la persona encuestada no está predispuesta a usar correctamente los EPP. Finalmente se tomará como referencia un valor medio de 27 para recomendación de alerta de capacitación al encuestado sobre las dimensiones que describen la escala.
- En el diseño de la escala psicométrica del presente sistema, los ítems validados por los expertos fueron en total 16, de los cuales, tras aplicar las encuestas a 100 obreros, los resultados del análisis de fiabilidad permitieron reducir la escala a 9 ítems debido al índice de discriminación que permitió filtrar los ítems que contribuyen significativamente a la escala.
- Las gráficas ROC del componente de visión artificial se utilizaron en el proceso de comparación de la capacidad predictiva de algunos algoritmos predictivos, dando como mejor resultado los algoritmos implementados por PyTorch.

### Agradecimientos

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología (CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo. Además, agradecer el uso de los

equipos utilizados en el laboratorio de investigación XR-LAB de la Universidad Católica de Cuenca.

### Referencias Bibliográficas

- Álvarez Rodríguez, B., Cuesta, M., & Díaz-Ramila, R. (1997). Análisis de Las Propiedades Psicométricas De Una Escala De Actitud: Comparación De Las Técnicas Likert Y Thurstone. *Revista Electrónica de Metodología Aplicada*, 2, 23–33.
- Arias Martínez, B. (2008). *Desarrollo De Un Ejemplo De Análisis Factorial Confirmatorio Con Lisrel, Amos Y SAS*. 75–120.
- Cortada de Kohan, N. (2002). Importancia de la Investigación Psicométrica. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 34, 229–240.
- Escobar Pérez, J. (2008). *Validez de contenido y juicio de expertos: Una aproximación a su utilización*.
- Fang, Q., Li, H., Luo, X., Ding, L., Luo, H., Rose, T. M., & An, W. (2018). Detecting non-hardhat-use by a deep learning method from far-field surveillance videos. *Automation in Construction*, 85, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.018>
- Fernández, B., Montes Peón, M., & Vázquez Ordás, C. (2006). *La gestión de la seguridad laboral: incidencia sobre los resultados de la organización*. 16, 115–135.
- González, J., & Pazmiño, M. (2015). *Cálculo e interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario, con dos posibles escalas tipo Likert*.
- Guo, H., Yu, Y., & Skitmore, M. (2017). Visualization technology-based construction safety management: A review. *Automation in Construction*, 73, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.004>
- Hernández Sampiere, R. (2014). *Metodología De La Investigación* (Sexta Edic, Vol. 148).
- Hinze, J. W., & Teizer, J. (2011). Visibility-related fatalities related to construction equipment. *Safety Science*, 49(5), 709–718. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.007>
- Lloret segura, S., Ferreres-traver, A., & Tomás-marco, A. H. I. (2014). *El análisis factorial exploratorio de los ítems: una guía práctica, revisada y actualizada Introducción Determinación de la adecuación del Análisis*. 30, 1151–1169.

- Massiris, M., Fernández, J. A., Bajo, J., & Delrieux, C. (2020). Sistema automatizado para monitorear el uso de equipos de protección personal en la industria de la construcción. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 18(1), 68. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.13243>
- Massiris, Manlio, Delrieux, C., & Fernández, A. (2018). *Detección De Equipos De Protección Personal Mediante Red Neuronal Convolutiva YOLO*. 1022–1029.
- Meneses, J., Barrios, M., Bonillo, A., & Lozano, L. M. (2013). *Psicometría* (Issue December 2016).
- Mustamo, P. (2018). *Object detection in sports: TensorFlow Object Detection API case study* (Issue January). <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201802081173.pdf>
- Ordoñez Torres, M. Á. (2016). *Diseño de modelo cuantitativo de riesgos laborales para el sector de la construcción en el Ecuador*.
- Paszke, A., Lerer, A., Killeen, T., Antiga, L., Yang, E., Gross, S., Bradbury, J., Massa, F., & Steiner, B. (2019). *PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library*. *NeurIPS*, 1–12.
- Pérez, R. M., Tecnológico, I., Rica, D. C., Tecnológico, I., Rica, D. C., Tecnológico, I., & Rica, D. C. (2019). *Introducción al Aprendizaje Automático con YOLO*. *Introduction to Machine Learning with YOLO*.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3243394.3243692>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). *Better, Faster, Stronger*. 7263–7271.
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). *YOLOv3: An Incremental Improvement*.
- Soto, C. M., & Segovia, J. L. (2009). *Intervalos de confianza asimétricos para el índice de contenido: Un programa Visual Basic para la V de Aiken*. 25(1985), 169–171. <http://revistas.um.es/analesps>
- Sulbarán, D. (2009). *Medición de Actitudes*. Caracas: Editorial de La Universidad Central de Venezuela, 1–55.
- Thuan, D. (2021). *Evolution of yolo algorithm and yolov5: the state-of-the-art object detection algorithm*.
- Xuehui, A., Li, Z., Zuguang, L., Chengzhi, W., Pengfei, L., & Zhiwei, L. (2021). Dataset and benchmark for detecting moving objects in construction sites. *Automation in*

*Construction*, 122(April 2020), 103482.  
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103482>

Yasnó-Varila, L., Correa-Echeverry, D., Morales-Correa, I., & Veloza-Morales, M. (2021). *trabajadores víctimas de accidente laboral que terminó en amputación*. 7577(1), 23–36. <https://doi.org/10.17151/hpsal.2021.26.1.4>

Zhao, Y. U., Member, S., Chen, Q., & Member, S. (2019). Deep Learning for Risk Detection and Trajectory Tracking at Construction Sites. *IEEE Access*, 7, 30905–30912. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2902658>

### **Conflicto de intereses**

Los autores deben declarar si existe o no conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.



#### Indexaciones

