



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Economía y Administración de empresas**

**Organización de empresas**

# **Protecciones Colectivas en la Construcción: Innovaciones y el Impacto de las Nuevas Tecnologías en la Seguridad Laboral**

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Autor: ANTONIO GUERRERO SOLIS

Tutor: FRANCISCO MIGUEL SALGUERO CAPARROS

MÁLAGA, ENERO de 2025

## RESUMEN

Este Trabajo Fin de Máster analiza el uso de las protecciones colectivas tradicionales en la industria de la construcción, y su importancia para reducir los riesgos laborales, especialmente en trabajos en altura. Protecciones colectivas como las barandillas de seguridad y las redes de seguridad junto con otros elementos que aumentan la seguridad en la construcción como las líneas de vida, se prueban y evalúan para determinar su eficacia en la prevención de accidentes.

El trabajo también examina el impacto de las nuevas tecnologías en el desarrollo de protecciones colectivas más avanzadas. El descubrimiento de nuevos materiales con mejores características, y tecnologías como el Internet de las Cosas, que permiten monitorizar en tiempo real equipos y estructuras para detectar peligros y responder antes a posibles fallos, o el uso de realidad aumentada, que permite capacitar a los empleados en procedimientos de seguridad, conocer sus reacciones y sensaciones cuando se ven expuestos a un peligro sin tener que exponerlos físicamente.

Sin embargo, implementar estas tecnologías en el ámbito de la construcción presenta desafíos, como los elevados costos, la resistencia al cambio y la falta de formación especializada. Además, las soluciones tecnológicas deben ser lo suficientemente flexibles para adaptarse a las condiciones variables y complejas de los entornos de trabajo.

Como conclusión principal, se destaca la importancia crucial de las protecciones colectivas para prevenir accidentes en el sector de la construcción, donde las caídas en altura siguen siendo la principal causa de lesiones graves y mortales.

**Palabras clave:** seguridad, construcción, protecciones colectivas, prevención de riesgos laborales, innovación en seguridad

## **ABSTRACT**

This work analyzes the use of traditional collective protections in the construction industry, and its importance in reducing occupational risks, especially in work at height. Protections such as guardrails, safety nets and lifelines are tested and evaluated to determine their effectiveness in preventing accidents.

The paper also examines the impact of new technologies on the development of more advanced collective protections. The discovery of new materials with better characteristics, and technologies such as the Internet of Things, which allow real-time monitoring of equipment and structures to detect hazards and respond sooner to possible failures, or the use of augmented reality, which allows employees to be trained in safety procedures, to know their reactions and sensations when they are exposed to a hazard without having to physically expose them.

However, implementing these technologies in the construction field presents challenges, such as high costs, resistance to change and lack of specialized training. In addition, technological solutions must be flexible enough to adapt to the variable and complex conditions of work environments.

The main conclusion is that collective protection is of crucial importance in preventing accidents in the construction sector, where falls from height remain the main cause of serious and fatal injuries.

**Keywords:** security, construction, collective protection, occupational risk prevention, innovation in safety

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>11</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
4.1. Normativa y reglamentación .....	21
4.2. Accidentes y análisis de estadísticas .....	24
<b>5. PROTECCIONES COLECTIVAS .....</b>	<b>27</b>
<b>6. PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS.....</b>	<b>29</b>
6.1. Redes.....	29
6.1.1. Sistema v (tipo horca).....	29
6.1.2. Sistema s (horizontal).....	30
6.1.3. Sistema t (“tipo bandeja”).....	31
6.1.4. Sistema u (“tipo tenis”).....	33
6.1.5. Sistema de red de seguridad bajo forjado tipo B.....	34
6.1.6. Sistema de cierre vertical .....	35
6.1.7. Redes para caídas de gran altura .....	36
6.2. Sistemas provisionales de protección de borde.....	37
6.2.1. Clase A.....	38
6.2.2. Clase B.....	39
6.2.3. Clase C.....	39
6.3. Líneas de vida .....	41
<b>7. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS .....</b>	<b>43</b>
7.1. Las nuevas tecnologías y el internet de las cosas.....	43
7.2. Sistema de red de seguridad RESA.....	45
7.3. Red de Protección Flexible de Alta Caída.....	48
7.4. Realidad Virtual .....	50
<b>8. EQUIPOS DE PROTECCCIÓN INDIVIDUAL .....</b>	<b>53</b>
8.1. EPIs - cascos .....	53
8.2. Nuevos tipos de cascos .....	54
8.2.1. Casco de seguridad con monitoreo basado en sensores.....	54
8.2.2. Casco de seguridad con enfriamiento de materiales de cambio de fase .....	54

8.2.3. Casco de seguridad con tecnología combinada de enfriamiento de materiales de cambio de fase y enfriamiento del ventilador .....	55
8.2.4. PCM con nanopartículas y grafito expandido.....	55
8.2.5. Casco con Pack Refrigeración.....	56
<b>9. DIFICULTADES PARA INTRODUCIR NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>57</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>61</b>
10.1. Limitaciones del Estudio .....	61
10.2. Futuras Líneas de Investigación.....	62
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>63</b>
<b>12. ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
12.1. TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS .....	68

## **INDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1:CRITERIOS DE INCLUSION .....</b>	<b>11</b>
<b>TABLA 2 :CRITERIOS DE EXCLUSION.....</b>	<b>12</b>
<b>TABLA 3: RESUMEN DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS .....</b>	<b>13</b>
<b>TABLA 4 :NORMATIVA EN MEDIOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA NORMALIZADOS .....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 5 :NORMATIVA EN MEDIOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA NO NORMALIZADOS.....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 6 ACCIDENTES EN LA CONSTRUCCION .....</b>	<b>25</b>

## **INDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1 : PRISMA .....</b>	<b>12</b>
<b>FIGURA 2 : SISTEMA V .....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA 3 : SISTEMA S : .....</b>	<b>31</b>
<b>FIGURA 4 :TIPO T .....</b>	<b>33</b>
<b>FIGURA 5 :TIPO U .....</b>	<b>34</b>
<b>FIGURA 6 :RED BAJO FORJADO.....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 7 : CIERRE VERTICAL .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA 8 :RED PARA CAIDAS A GRAN ALTURA .....</b>	<b>36</b>
<b>FIGURA 9 :SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE EMBUTIDA EN HORMIGON .....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA 10 :SISTEMAS PROVISIONALES DE PROTECCIÓN DE BORDE .....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 11 :SISTEMA PERIMETRAL RESA (SIPER).....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 12 :SISTEMA INTEGRAL DE CORREAS DE ESCALERAS RESA (SICER) .....</b>	<b>47</b>
<b>FIGURA 13 50:RED DE PROTECCIÓN FLEXIBLE DE ALTA CAÍDA.....</b>	<b>50</b>
<b>FIGURA 14 :TIPOS DE BARANDILLAS QUE VAN A SIMULAR .....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 15 :SIMULACION DE LAS BARANDILLAS .....</b>	<b>51</b>
<b>FIGURA 16 :BARANDILLAS CON MAYOR SENSACION DE SEGURIDAD .....</b>	<b>52</b>



### 1. INTRODUCCIÓN

La construcción es uno de los sectores económicos más importantes, pero también uno de los más peligrosos. La inseguridad inherente a los sitios de construcción se debe a una combinación de entornos de trabajo dinámicos, tareas complejas y la necesidad constante de trabajar en alturas. Estas condiciones generan un alto riesgo para los trabajadores, haciendo que este sector lidere las estadísticas globales de accidentes laborales mortales (Okonkwo et al., 2023). En España la industria de la construcción registra un promedio de 133 accidentes mortales, por desgracia, los datos no indican una mejora en la seguridad en los últimos años (INE, 2023).

Según la estadística, las caídas en altura son la principal causa de muertes en este sector. En un estudio reciente (Baruffi et al., 2021) encontraron que en el 98% de los casos analizados, las caídas se debieron a la ausencia de medidas de protección adecuadas. Esto pone de manifiesto la importancia crucial de las protecciones colectivas como estrategia para reducir accidentes graves.

Las normativas de seguridad en la construcción priorizan el uso de protecciones colectivas frente a las individuales. Estos sistemas no solo protegen de manera efectiva a los trabajadores, sino que también permiten un mayor nivel de movilidad y eficiencia en sus tareas. A diferencia de los sistemas de detención de caídas, que solo entran en acción una vez que el accidente ya ha ocurrido y conllevan un riesgo residual de lesiones, las protecciones colectivas buscan prevenir la caída antes de que ocurra (Sulowski, 2014). Por ello, en este trabajo se analizarán las protecciones colectivas más importantes en la actualidad, como barandillas, redes de seguridad.

El avance de la tecnología y el desarrollo de nuevos materiales han permitido mejorar significativamente los sistemas de protección en la construcción. Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la realidad virtual y el uso de sensores avanzados están transformando la manera en que se gestionan y supervisan las medidas de seguridad en los sitios de trabajo. Estas innovaciones no solo facilitan la prevención de accidentes, sino que también permiten una respuesta más rápida y eficiente ante posibles riesgos (Jin & Goodrum, 2021).

## INTRODUCCIÓN

A pesar de los avances, la adopción de estas tecnologías y nuevos materiales en la práctica diaria de la construcción enfrenta múltiples barreras. Entre ellas destacan la resistencia al cambio, los altos costos iniciales y la falta de formación especializada. En muchos casos, las empresas constructoras, especialmente las más pequeñas, tienen dificultades para integrar estas innovaciones en sus proyectos debido a la complejidad de implementación y la falta de normativas claras que promuevan su uso (Okonkwo et al., 2023).

## 2. METODOLOGÍA

La búsqueda de información para esta revisión se ha centrado en las protecciones colectivas en la construcción más importantes y las nuevas tecnologías en la seguridad en el mismo ámbito.

Para ello se han realizado una revisión sistemática o metaanálisis PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis). Las palabras seleccionadas para la búsqueda en las bases de datos han sido: “GUARDRAILS IN CONSTRUCTION”, “COLLECTIVE PROTECTION SYSTEMS”, “INNOVATIVE GUARDRAIL DESIGNS”, “SAFETY BARRIERS IN CONSTRUCTION”, “CONSTRUCTION SAFETY MEASURES”, “NEW GUARDRAIL TECHNOLOGIES”, “FALL PROTECTION SYSTEMS”, “CONSTRUCTION SITE SAFETY INNOVATIONS”, “SAFETY RAILINGS AND STANDARDS”, “PREVENTIVE MEASURES IN CONSTRUCTION SAFETY”

A partir de esto, se ha realizado una búsqueda sistemática en la base de datos Web of Science. Los criterios de inclusión y de exclusión se recogen en las siguientes tablas, además de una tabla resumen con los artículos seleccionados.

Criterios de inclusión
Que sean artículos
Sin restricción de lenguaje ni fecha de publicación
Que se ajuste al objeto de la revisión

TABLA 1

### CRITERIOS DE INCLUSION

(Elaboración propia)

## METODOLOGÍA

Criterios de exclusión
Artículos duplicados
Estudios que no sean artículos
Título o resumen no relacionado con el tema
Artículos que no estén disponibles completos de forma gratuita
Artículos no relacionados con el objeto de estudio

TABLA 2  
CRITERIOS DE EXCLUSION

(Elaboración propia)

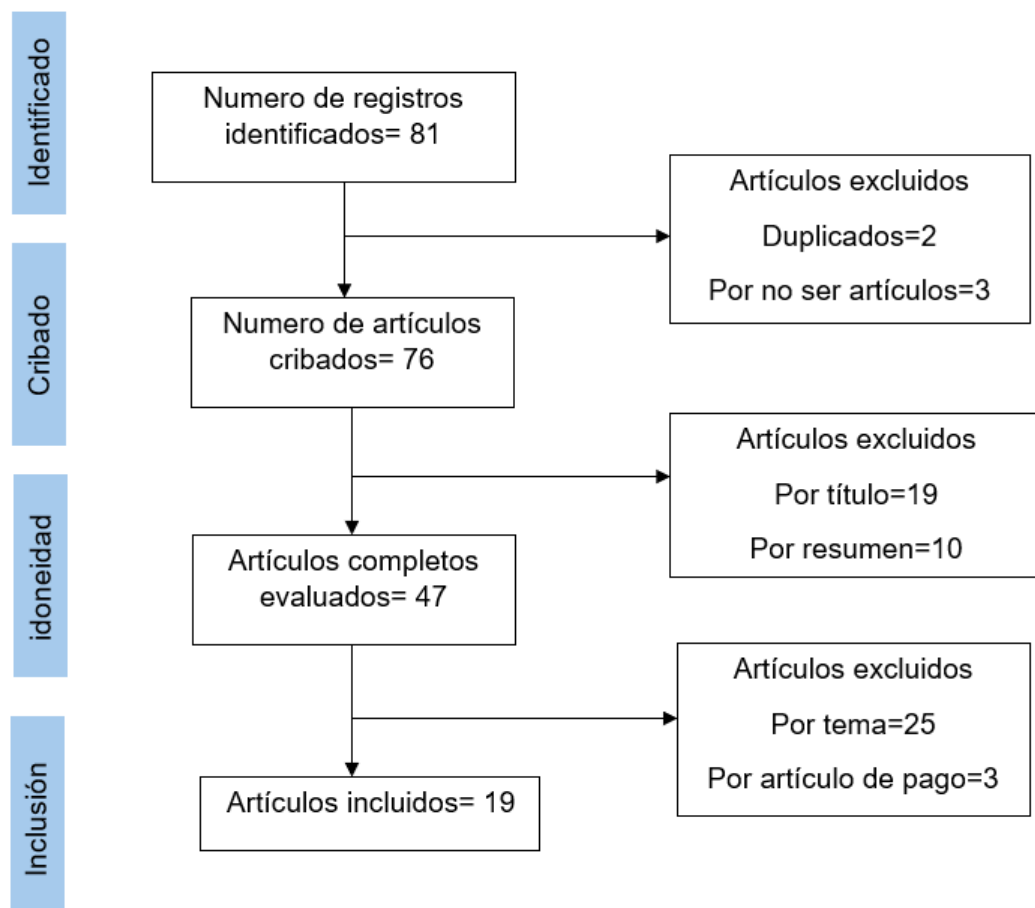


FIGURA 1  
PRISMA  
(elaboración propia)

## METODOLOGÍA

Título	Título en español	Autores	Año de publicación	Revista	Objetivo principal del artículo	Fuente
Effects of ventilated safety helmets in a hot environment	Efectos de los cascos de seguridad ventilados en un ambiente caluroso	Davis G, Edmisten E, Thomas R	2001	International Journal of Industrial Ergonomics	Evaluar el impacto del uso de cascos de seguridad ventilados en la comodidad térmica y el rendimiento en ambientes calurosos.	WOS
Construction industry accidents in Spain	Accidentes en la construcción en España	Camino López M, Ritzel D, Fontaneda I, González Alcantara O	2008	Journal of Safety Research	Analizar los factores que influyen en la gravedad de los accidentes laborales en la construcción en España (1990-2000) para orientar estrategias de prevención y formación específicas.	WOS
Development and Evaluation of the Frozen Gelled Pack for Alleviating Heat Stress of Safety Helmet Wearer in Summer	Desarrollo y evaluación de una compresa de gel congelado para aliviar el estrés térmico de los usuarios de cascos de seguridad en verano	Park, J., JEONG-WHA, C.	2010	The Korean Society of Living Environmental System	Desarrollar y evaluar un paquete de gel congelado para aliviar el estrés térmico de los usuarios de cascos de seguridad en verano.	WOS
Analysis of construction accidents in Spain, 2003-2008	Análisis de la siniestralidad en la construcción en España, 2003-2008	López Arquillos, Antonio, Rubio Romero, Juan Carlos, Gibb, Alistair.	2012	Journal of Safety Research	Analizar las causas de los accidentes en la construcción en España (2003-2008) para identificar acciones preventivas.	WOS

Tabla 3 Resumen de los artículos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

## METODOLOGÍA

Titulo	Título en español	Autores	Año de publicación	Revista	Objetivo principal del artículo	Fuente
Collective fall protection for construction workers.	Protección colectiva contra caídas para trabajadores de la construcción.	Sulowski, A. C.	2014	Informes de la Construccion	Revisar los sistemas colectivos de protección contra caídas utilizados en la construcción, destacando su preferencia sobre los sistemas de detención de caídas cuando es posible prevenirlas.	WOS
The effect of forced convection and PCM on helmets' thermal performance in hot and arid environments	El efecto de la convección forzada y el PCM en el rendimiento térmico de los cascos en ambientes cálidos y áridos	Ghani S, ElBialy E, Bakochristou F	2017	Applied Thermal Engineering	Examinar el uso de convección forzada y materiales de cambio de fase (PCM) para mejorar el confort térmico de los usuarios de cascos en entornos de trabajo extremos mediante simulaciones CFD y análisis experimental.	WOS
Measurement of construction workers' feeling by virtual environment (VE) technology for guardrail design in high-rise building construction projects	Medición de las sensaciones de los trabajadores de la construcción mediante tecnología de entorno virtual (VE) para el diseño de barandillas en proyectos de construcción de edificios de gran altura	Jokkaw N, Suteecharuwat P, Weerawetwat P	2017	Engineering Journal	Proponer herramientas para medir las percepciones de los trabajadores en el diseño de barandillas, destacando la efectividad de modelos VR para mejorar seguridad y productividad.	WOS
Enhancement of heat transfer in paraffin wax PCM using nano graphene composite for industrial helmets	Mejora de la transferencia de calor en PCM de cera de parafina mediante un compuesto de nanografeno para cascos industriales	Ali M, Fayaz, Viegas R, Shyam Kumar M, Kannapiran R, Feroskhan M	2019	Journal of Energy Storage	Desarrollar un sistema de enfriamiento para cascos de seguridad industriales utilizando un material de cambio de fase (PCM).	WOS

Tabla 3 Resumen de los artículos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

## METODOLOGÍA

Titulo	Título en español	Autores	Año de publicación	Revista	Objetivo principal del artículo	Fuente
Experimental Analysis of Guardrail Structures for Occupational Safety in Construction	Análisis experimental de estructuras de barandillas para la seguridad laboral en la construcción	Baruffi D, Costella M, Chamberlain Pravia Z	2021	The Open Construction and Building Technology Journal	Evaluar el comportamiento de modelos experimentales de barandillas de madera y acero ante cargas estáticas e impactos.	WOS
The role of Industry 4.0 enabling technologies for safety management: A systematic literature review	El papel de las tecnologías facilitadoras de la Industria 4.0 para la gestión de la seguridad: una revisión sistemática de la literatura	Forcina A, Falcone D	2021	Procedia Computer Science	Investigar las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 con mayor impacto en la gestión de la seguridad, identificando sus características.	WOS
Composite design and thermal comfort evaluation of safety helmet with phase change materials cooling	Diseño compuesto y evaluación del confort térmico de un casco de seguridad con refrigeración por materiales de cambio de fase	Hu W, Liu Z, Yuan M, Peng Y, Meng X, Hou C	2021	Thermal Science	Evaluar y comparar modelos de cascos con materiales de cambio de fase, tecnología de enfriamiento por absorción de calor y ventiladores para optimizar el confort térmico en ambientes cálidos	WOS
Optimal fall protection system selection using a fuzzy multi-criteria decision-making approach for construction sites	Selección óptima del sistema de protección contra caídas mediante un enfoque de toma de decisiones multicriterio difuso para sitios de construcción	Jin H, Goodrum P	2021	Applied Sciences (Switzerland)	Desarrollar un modelo para evaluar y seleccionar planes óptimos de protección contra caídas en construcción, minimizando riesgos y costos.	WOS

Tabla 3 Resumen de los artículos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

## METODOLOGÍA

Titulo	Título en español	Autores	Año de publicación	Revista	Objetivo principal del artículo	Fuente
Guide to collective protections	Guía de protección colectiva	AECOM	2021		Explicación de las principales protecciones colectivas en la construcción	WOS
Analyzing occupational heat stress using sensor-based monitoring: a wearable approach with environmental ergonomics perspective	Análisis del estrés térmico ocupacional mediante la monitorización basada en sensores: un enfoque portátil con perspectiva de ergonomía ambiental	Sharma, M., Suri, N. M., & Kant, S.	2022	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY	Analizar el estrés térmico ocupacional mediante monitoreo basado en sensores, adoptando un enfoque ergonómico ambiental.	WOS
Design Method and Impact Response of Energy-Consuming High-Fall Flexible Protection System for Construction	Método de diseño y respuesta al impacto de un sistema flexible de protección contra caídas de gran consumo energético para la construcción	Liao L, Yu Z, Liu D, Luo L, Guo L, Tian X	2023	Buildings	Proponer un sistema flexible de protección contra caídas desde gran altura, mejorando la seguridad mediante disipación de energía.	WOS
Overcoming barriers to smart safety management system implementation in the construction industry	Superar las barreras para la implementación de sistemas de gestión de seguridad inteligentes en la industria de la construcción	Okonkwo C, Okpala I, Awolusi I, Nnaji C	2023	Results in Engineering	Analizar los desafíos y factores que afectan la implementación de tecnologías inteligentes en la gestión de seguridad en construcción, identificando barreras y estrategias para superar estos obstáculos.	WOS

Tabla 3 Resumen de los artículos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

## METODOLOGÍA

Titulo	Título en español	Autores	Año de publicación	Revista	Objetivo principal del artículo	Fuente
Visor Fall Arrest Nets	Redes anticaídas para viseras	Nets, V. F.	2023		Analizar el uso de redes de detención de caídas	WOS
A multiple buffering high-fall protection structure and its impact response	Una estructura de protección contra caídas altas con amortiguación múltiple y su respuesta al impacto	Liao L, Yu Z, Liu D, Zhang L, Jin Y, Tian X	2024	Structures	Proponer una estructura flexible de protección contra caídas de gran altura, utilizando redes de acero y dispositivos de disipación de energía para mejorar la seguridad en la construcción.	WOS
The Safety of Construction of Roofing Materials with Greening Systems Using Modern Safety Systems for Works at Height	La seguridad en la construcción de cubiertas con materiales de cubierta con sistemas de ecologización mediante modernos sistemas de seguridad para trabajos en altura	Shushunova, N. S., & Kudinova, Y. A.	2024	Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti	Analizar las medidas de protección para trabajos en altura en construcción, enfocándose en sistemas de anclaje adaptados a diferentes tipos de techos para reducir el riesgo de caídas.	WOS

Tabla 3 Resumen de los artículos seleccionados. Fuente: Elaboración propia

## METODOLOGÍA

Junto con estos artículos, se ha utilizado información procedente de documentos técnicos, normativas y páginas web relevantes en el ámbito de la construcción y la seguridad laboral. Esto ha permitido complementar el análisis teórico con datos prácticos y actualizados, favoreciendo una visión más completa de las protecciones colectivas y los avances tecnológicos en el sector de la construcción.

### 3. OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar un análisis de las protecciones colectivas más relevantes en la actualidad, explorando también el impacto de las nuevas tecnologías y los materiales en la mejora de la seguridad. Finalmente, se examinarán los desafíos que enfrenta la industria para implementar estas innovaciones en la práctica diaria, con el fin de ofrecer una visión integral sobre el futuro de la seguridad en la construcción.



### 4. MARCO TEÓRICO

#### 4.1. Normativa y reglamentación

Aunque es crucial el diseño, la producción y las condiciones de uso de los medios de protección colectiva frente al peligro de caída a diferentes niveles, en la actualidad no hay ninguna directiva europea particular que defina las normas básicas en cuanto a la comercialización de estos productos.

Sin embargo, esto no libera a estos sistemas de acatar obligatoriamente una serie de requisitos técnicos relacionados con las condiciones de montaje, uso y desmontaje, además de la creación y entrega de documentación que demuestre y asegure su idoneidad y el cumplimiento de determinadas demandas en términos de su resistencia, en función de la magnitud del riesgo que se busca controlar.

Cuando los sistemas de protección colectiva se fabrican según una norma técnica de referencia (EN, UNE, ISO), se denominan sistemas normalizados, por ejemplo, los sistemas de protección provisional de borde clase A, B y C, los sistemas de redes de seguridad tipo V, S, T y U y los sistemas de red bajo forjado.

No obstante, considerando la variedad de circunstancias que surgen en una obra, no siempre se puede emplear sistemas normalizados. Frecuentemente, se necesita un diseño personalizado para solucionar las condiciones de seguridad para ciertos procesos de construcción, optando por soluciones como los sistemas de redes de cierre vertical, redes horizontales (menores a 35m<sup>2</sup>) y sistemas combinados. Estos sistemas carecen de reglamentación técnica de uso y se conocen como sistemas no normalizados. Un sistema de protección normalizado, instalado de acuerdo con el manual de instrucciones que debe seguirle, puede ser catalogado como un producto seguro. Por el contrario, un sistema no normalizado, debe ser sometido a un proceso de evaluación experimental mediante ensayos dinámicos que simulen las situaciones en las que se van a utilizar, de forma que se garantice que cumplen con las condiciones requeridas para la funcionalidad y aplicación previstas.

## MARCO TEÓRICO

Se recomienda la utilización de sistemas normalizados frente a los sistemas no normalizados, puesto que los primeros cumplen una serie de requisitos técnicos y reglamentarios y han sido sometidos a pruebas de cálculo y ensayos que garantizan que cumplen con las condiciones requeridas para la funcionalidad y aplicación previstas (AECOM, 2021).

En la siguiente tabla se resumen los requisitos técnicos, normativos y documentales, así como los métodos de evaluación de la conformidad, aplicables a los sistemas de protección colectiva para evitar el riesgo de caída en altura.

SISTEMAS NORMALIZADOS	NORMATIVA TÉCNICA DE APLICACIÓN	REQUISITOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	ORGANISMO EVALUADOR	DOCUMENTACIÓN
Sistemas provisionales de protección de borde (SPPB) Clase A Clase B Clase C	UNE-EN 13374:2013+A1:2019	Requisitos dimensionales  Clase y naturaleza de los materiales Durabilidad	ANÁLITICO (cálculo)  EXPERIMENTAL (ensayos)	Oficina técnica/ Ingeniería/ Profesional con capacidad habilitante  Laboratorio con acreditación ENAC	Manual de instrucciones  Declaración de conformidad (organismo externo evaluador)  Informe de cálculo (oficina técnica/ingeniería/ profesional habilitante)  Informe de ensayos (laboratorio)
Sistemas de redes de seguridad  Sistema V Sistema S Sistema T Sistema U	UNE-EN 1263-1:2018 UNE-EN 1263-2:2016	Resistencia estática/dinámica (componentes y sistema conjunto)  Métodos de evaluación	EXPERIMENTAL (ensayos)	Laboratorio con competencia técnica UNE-EN ISO 17025	Manual de instrucciones  Declaración de conformidad (fabricante)  Informe de ensayos (laboratorio)
Sistemas de redes de seguridad bajo forjado  Sistema A Sistema B	UNE 81652:2013	Requisitos documentales  Marcado	EXPERIMENTAL (ensayos)	Laboratorio con competencia técnica UNE-EN ISO 17025	Manual de instrucciones  Declaración de conformidad (fabricante)  Informe de ensayos (laboratorio)

TABLA 4

### NORMATIVA EN MEDIOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA NORMALIZADOS

(Fuente: AECOM, 2021)

## MARCO TEÓRICO

SISTEMAS NO NORMALIZADOS	NORMATIVA TÉCNICA DE APLICACIÓN	REQUISITOS	MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	ORGANISMO EVALUADOR	DOCUMENTACIÓN
Sistemas de red de seguridad de cierre vertical	Actualmente no existe normativa técnica de aplicación	Requisitos dimensionales	ANÁLÍTICO (cálculo)	Laboratorio con competencia técnica UNE-EN ISO 17025	Manual de instrucciones
Sistemas de red de seguridad horizontal de pequeñas dimensiones		Clase y naturaleza de los materiales	EXPERIMENTAL (Ensayos)		Informe técnico (laboratorio, dirección facultativa, SPP, SPA, ...)
Sistemas mixtos		Durabilidad	ANÁLÍTICO (cálculo)	Laboratorio con competencia técnica UNE EN ISO 17025	Manual de instrucciones
		Resistencia estática y dinámica (componentes y sistema conjunto)	EXPERIMENTAL (ensayos)		Informe técnico (laboratorio, dirección facultativa, SPP, SPA, ...)
		Métodos de evaluación	ANÁLÍTICO (cálculo)	Oficina técnica/ Ingeniería/ Profesional con capacidad habilitante Laboratorio/obra	Manual de instrucciones
		Requisitos documentales	EXPERIMENTAL (ensayos)		Informe técnico (laboratorio, dirección facultativa, SPP, SPA, ...)
		Marcado			

TABLA 5

### NORMATIVA EN MEDIOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA NO NORMALIZADOS

(Fuente: AECOM, 2021)

Los requisitos reglamentarios y disposiciones de obligado cumplimiento que, con carácter general, aplican a todos los sistemas de protección colectiva en España son:

-Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

- RD 1801/2003, de 26 de diciembre, sobre seguridad general de los productos.

-RD 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

- VI Convenio General del Sector de la Construcción.

Las Notas Técnicas de Prevención (NTP), elaboradas por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), son guías prácticas que ofrecen recomendaciones para mejorar la seguridad y salud en el trabajo. Aunque no son normativas, sirven como referencia técnica basada en la legislación vigente y buenas prácticas, siendo de gran utilidad para complementar el análisis de las protecciones colectivas en la construcción.

-NTP 123: Barandillas

-NTP 803: Encofrado horizontal: protecciones colectivas (I)

-NTP 804: Encofrado horizontal: protecciones colectivas (II)

### **4.2. Accidentes y análisis de estadísticas**

Se han utilizado datos de tres estudios (Camino López et al., 2008; Liao et al., 2024; López Arquillos et al., 2012) para determinar cuáles son los accidentes más graves y recurrentes, con la finalidad de encontrar las protecciones colectivas más importantes para evitarlos.

La construcción es uno de los sectores con mayores tasas de accidentes laborales en el mundo, y dentro de estos, las caídas en altura son las más peligrosas ya que no solo representan un alto porcentaje de accidentes graves y mortales, sino que también tienen un impacto significativo en los costos y la seguridad general en la construcción (Liao et al., 2024)

El estudio (López Arquillos et al., 2012), establece que en la construcción de edificios se concentran casi el 80% de los accidentes mortales y el 81.58% de los graves, en actividades como la colocación de encofrados y andamios.

Si separamos por rango de edad, las personas de 30 a 39 años representan el mayor porcentaje de accidentes graves y mortales. En este grupo, las caídas desde altura suelen ocurrir durante trabajos críticos como la instalación de elementos estructurales (Camino López et al., 2008; López Arquillos et al., 2012)

## MARCO TEÓRICO

Si analizamos los motivos accidentes y su gravedad tenemos:

Tipo de accidente	Total %	Graves y mortales %	Solo mortales %	Dias promedio de baja
Sobre esfuerzos	20.9%	2.5%	1.0%	20.9 días
Golpes por objetos/herramientas	20.5%	8.6%	2.2%	21.7 días
Caidas de distinto nivel	10.7%	41.8%	33.8%	37.8 días
Caidas al mismo nivel	12.3%	5.7%	2.1%	25,3 días
Electrocuciones	1.4%	5.2%	4.9%	28.7 días
Accidentes con vehículos	4.5%	19.3%	10.4%	29.7 días
Máquinas y gruas	1.4%	5.5%	2.8%	26,2 días
Contacto con sustancias químicas	3.3%	2.1%	1.1%	16.8 días

TABLA 6

### ACCIDENTES EN LA CONSTRUCCION

(Fuente: Camino López et al., 2008; López Arquillos et al., 2012)

Los datos presentados anteriormente muestran que las caídas desde distinto nivel son los accidentes más peligrosos en la construcción. Representan el mayor porcentaje de accidentes graves y mortales, con una media de 37.8 días de baja por accidente y un impacto significativo tanto humano como económico.

Una vez analizados los datos vemos la necesidad de priorizar medidas de protección que reduzca el riesgo de los trabajos en altura, como son las barandillas, redes y elementos que complementas a las protecciones colectivas como las líneas de vida.



### 5. PROTECCIONES COLECTIVAS

Las protecciones colectivas forman parte de la seguridad laboral y su objetivo primordial es proteger simultáneamente a varios empleados que se encuentran en riesgo.

El riesgo de caída en altura puede ser controlado a través de la implementación de protecciones colectivas apropiadas y, por ende, salvaguardar las zonas laborales asegurando la protección de todos los empleados que se mantienen al mismo tiempo en el área de riesgo (huecos verticales y horizontales, cubiertas, etc.).

Los sistemas de protección de borde provisional (SPPB) son frecuentemente empleados en las obras de edificación y simplifican el trabajo en altura bajo condiciones de seguridad. Los sistemas de redes de seguridad, debido a su sencillez para ajustarse a diversas circunstancias, consiguen en ciertos casos eliminar el riesgo, evitando la caída, y en otros, reducir las repercusiones de una caída si ocurre.

La protección tradicional contra caídas en trabajos en altura abarca la utilización de, sistemas de vallas, sistemas de redes de seguridad y sistemas personales para frenar las caídas. Los sistemas de líneas de vida también son útiles en ciertas circunstancias. Si el uso de estos sistemas no es viable, se puede implementar un plan específico de protección contra caídas que describa medidas alternativas para la protección contra caídas.

Estos sistemas están dirigidos a separar el peligro de los trabajadores mediante barreras físicas o modificar la tasa de liberación del peligro.

Las medidas de protección contra caídas en la construcción no previenen que ocurra un incidente, pero reduce la gravedad de las lesiones una vez iniciado el incidente. Sin embargo, cuando las condiciones de trabajo permiten su aplicación sin crear riesgos adicionales, los sistemas convencionales de protección contra caídas se consideran los principales enfoques disponibles para reducir las muertes por caídas (Liao et al., 2024).

## PROTECCIONES COLECTIVAS

De acuerdo con el artículo 15 de la Ley de prevención de riesgos laborales, el empresario tiene la obligación de asegurar la seguridad y salud de sus empleados, priorizando la protección grupal por encima de la protección personal. Estas últimas deberán ser utilizadas por el empleado cuando el riesgo no haya sido eliminado totalmente o restringido a través de las medidas de organización laboral o a través del uso de protecciones colectivas.

Es importante destacar que las medidas de seguridad se deben integrar desde la etapa de diseño hasta la operación posterior de los edificios, reduciendo de manera significativa los riesgos asociados con las caídas y mejorando la seguridad de los trabajadores en este sector (shushunova & kudinova, 2024).

### 6. PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

Como se ha demostrado anteriormente los trabajos en altura son una de las actividades más peligrosas en el sector de la construcción, con una alta tasa de accidentes, especialmente debido a caídas desde alturas superiores a 1,8 metros. Para garantizar la seguridad en la construcción en trabajos en altura, es necesario un sistema integral de seguridad con protecciones colectivas como barandillas y redes de seguridad junto con elementos como las líneas de vida, además, estos sistemas deben adaptarse a las condiciones específicas de cada lugar de trabajo (shushunova & kudinova, 2024).

#### 6.1. Redes

Los sistemas de redes de seguridad son dispositivos de protección colectiva utilizados en obras de construcción para prevenir o minimizar la caída de personas y materiales desde alturas hacia niveles inferiores. Gracias a su capacidad de deformación ante el impacto, estos sistemas ofrecen una retención eficiente, proporcionando niveles óptimos de amortiguación. La efectividad de su protección depende, en gran medida, de una instalación adecuada (Huck, 2020)

##### 6.1.1. Sistema v (tipo horca)

Generalmente se utiliza para obras de edificación. Este tipo de redes permite cubrir el riesgo de caída por el perímetro exterior de las estructuras de hormigón, cuando se están realizando tareas de encofrado y hormigonado de los forjados superiores.

Este sistema no evita el riesgo de caída de personas, por lo que debe ir completada con barandillas de protección, pero limita las consecuencias de la caída y, junto con la enorme capacidad de la red para soportar grandes deformaciones plásticas, provoca la disipación de la energía cinética, garantizando la amortiguación y minimizando los efectos de la caída al trabajador (NTP 804, 2018).

## PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

Esta red de seguridad está compuesta por una cuerda perimetral sujeta a un soporte vertical metálico con forma de L invertida, tipo pértiga u horca. Las horcas, a su vez, se encuentran fijadas a los elementos estructurales definitivos, otorgando resistencia al sistema (Construcción F. L., Línea Prevención, 2019).



FIGURA 2

SISTEMA V

(Fuente: elaboración propia)

### 6.1.2. Sistema s (horizontal)

Red de seguridad con cuerda perimetral cuya instalación se realiza en posición horizontal, uniéndose directamente a elementos estructurales definitivos a través de cuerdas u otro tipo de elementos de sujeción resistentes, que garanticen la estabilidad del sistema.

La configuración de este sistema permite cubrir el riesgo de caída a distinto nivel en superficies de trabajo horizontales iguales o mayores de 35 m<sup>2</sup> cuyo lado menor sea superior a 5 m.

Su uso más habitual está relacionado con la protección de caídas en trabajos de montaje de estructuras metálicas en naves industriales, en trabajos en cubiertas, en huecos de patios interiores, así como en trabajos de obra civil para protección de puentes o viaductos.

## PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

Su función no es impedir el riesgo de caída, sino disminuir la distancia de caída, recogiendo al trabajador en la red, disipando la energía cinética y evitando el golpe contra el suelo o contra estructuras que se encuentren por debajo del área de trabajo (Nets, 2023)



FIGURA 3

SISTEMA S

(Fuente: AECOM, 2021)

### 6.1.3. Sistema t (“tipo bandeja”)

Es un sistema compuesto por un conjunto de redes horizontales solapadas entre sí y apoyadas sobre unos largueros. Estos se acoplan a unos soportes metálicos tipo mordaza que a su vez se anclan a la estructura del edificio. permite la retención de una caída en altura. También se conoce como red “tipo bandeja” (NTP 804, 2018).

Se utiliza para cubrir el riesgo de caída de trabajadores, materiales y objetos por el perímetro exterior de estructuras de hormigón, generalmente en obras de edificación, pero también en otro tipo de estructuras como puentes, viaductos, etc.

Debe montarse lo más cerca posible del nivel de la superficie de trabajo. En cualquier caso, los brazos con la red deben mantener un desnivel del 10 % respecto a la prolongación del forjado.

## PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

Su diseño permite la colocación tanto en horizontal, como en vertical. La posición vertical evita el riesgo de caída, sin embargo, la colocación en posición horizontal no evita el riesgo, sino que limita la distancia de caída.

La amplia superficie de recepción y la deformación de los soportes metálicos otorgan una gran flexibilidad y elasticidad al sistema, provocando un efecto bolsa de recogida en torno a la persona o al objeto caído dentro, a la vez que se produce una amortiguación de la energía cinética impidiendo que salga despedido, así como el choque con elementos metálicos del sistema o de la estructura de la obra (Nets, 2023).

Dado que su función es recoger al trabajador en caso de caída, es imprescindible que el posible recorrido de caída y la red se encuentren libres de obstáculos. También deberá encontrarse libre de obstáculos la zona debajo de la red que se prevé sea invadida por la deformación que provocará la caída.

El sistema de red de protección tipo T sirve también para evitar la caída de elementos desde las plantas superiores a niveles inferiores. En el caso de caída de materiales a la red, estos deberán ser retirados de forma inmediata para mantener la red despejada de obstáculos con los que se pudiese golpear un trabajador que sufriese una caída.

También se deberá proceder al revisado de la misma por una persona competente, comprobando que no se han producido desperfectos que provoquen una pérdida de las condiciones de protección del sistema.

Este sistema no es aplicable para proteger el primer forjado debido a que para la fijación del soporte al mismo es necesario que este fraguado (Construcción F. L., Línea Prevención, 2019).



FIGURA 4

TIPO T

(Fuente: AECOM, 2021)

#### **6.1.4. Sistema u (“tipo tenis”)**

Red de seguridad sujeta a una estructura soporte para su uso en posición vertical, denominada “tipo tenis”, conforma un sistema que permite cubrir el riesgo de caída por el perímetro de las estructuras.

La red se encuentra sujeta a unos elementos tubulares horizontales y estos, a su vez, están unidos a elementos verticales resistentes, rígidos y estables que se encuentran fijados a elementos estructurales definitivos.

A diferencia de otros sistemas (V, S y T), que no evitan el riesgo de caída, el sistema U sí elimina el riesgo, impidiendo la caída en la zona de trabajo donde se encuentra instalado. Este tipo puede ser utilizado como sistema provisional de protección de borde permitiendo el uso de redes como elemento de protección intermedia (Nets, 2023).



FIGURA 5

TIPO U

(Fuente: Construcción F. L., Línea Prevención, 2019)

### 6.1.5. Sistema de red de seguridad bajo forjado tipo B

El sistema de red de seguridad bajo forjado, sistema B, también conocido como reutilizable, es un medio de protección colectiva que consiste en una red de seguridad con cuerda perimetral, sujeta a la estructura del mecano horizontal de encofrado. Se instala durante la ejecución de forjados continuos unidireccionales o bidireccionales, macizos o aligerados.

Para su sujeción, se emplean anclajes y elementos resistentes diseñados específicamente para este propósito, que se fijan a los puntales que sostienen el encofrado en la zona superior de los puntales telescópicos regulables, o a otros componentes del sistema, ya sean longitudinales, transversales o a los propios cabezales de asiento (Nets, 2023).

Su función principal es proteger a los trabajadores en caso de caídas a distinto nivel durante la ejecución de los forjados en obras de construcción. Por esta razón, la instalación debe colocarse lo más cerca posible de la superficie donde se colocarán los tableros o paneles de encofrado.

## PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

Al no existir norma técnica específica para este tipo de redes deberán cumplir con la normativa que le sea de aplicación en cada momento. En este sentido cada fabricante deberá realizar ensayos adecuados y obtener las certificaciones que correspondan con el fin de garantizar su resistencia (Construcción F. L., Línea Prevención, 2019).

La reutilización de la red está supeditada a que no haya sufrido una caída ni presente desperfectos. En caso contrario, deberá ser descartada para futuros usos.



FIGURA 6

RED BAJO FORJADO

(Fuente: AECOM, 2021)

### 6.1.6. Sistema de cierre vertical

Es un sistema de protección compuesto por una red de seguridad, puntos de anclaje, cuerdas y elementos resistentes que se pueden instalar fijándose directamente a los elementos estructura les definitivos de la construcción, o a estructuras soporte temporales y éstas, a su vez, a los elementos estructurales definitivos.

La colocación en posición vertical, cubriendo amplios huecos interiores y, sobre todo, cubriendo fachadas completas, permite cubrir el riesgo de caída, impidiendo que esta se produzca (Nets, 2023).



FIGURA 7

CIERRE VERTICAL

(Fuente: elaboración propia)

### 6.1.7. Redes para caídas de gran altura

Se trata de un sistema de protección flexible utiliza generalmente una red de nailon, que se forma cruzando cuerdas de nailon de alta resistencia y puede conectarse al edificio a través de cuerdas de soporte y cubrirse en los orificios de la estructura del edificio para proporcionar protección, como se muestra en la Figura 7. Una investigación realizada por (Liao et al., 2023) ha demostrado que casi toda la energía de impacto de dichos sistemas de protección se disipa por la gran deformación de la malla protectora cuando se somete a un impacto. Debido a su estructura simple y la escasa capacidad de consumo de energía de las redes de cuerda de nailon, la capacidad protectora del sistema de protección no puede exceder los 30 kJ. Sin embargo, durante la construcción, la energía de impacto colectiva del sistema de encofrado y los materiales de construcción puede alcanzar cientos de kilojulios, lo que hace que el sistema existente no pueda proporcionar una protección completamente eficaz.

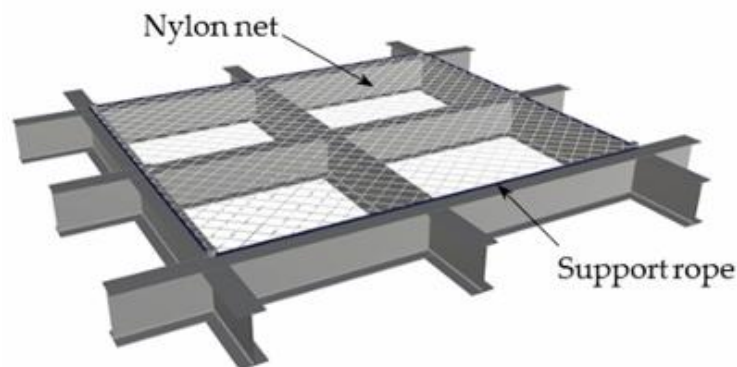


FIGURA 8

RED PARA CAIDAS A GRAN ALTURA

(Fuente: elaboración propia)

Este sistema de protección flexible generalmente se compone de cuatro partes: la estructura de soporte, la red interceptora, un dispositivo de consumo de energía y la estructura de anclaje; Cuando funciona, la cuerda de soporte se desliza a lo largo del extremo de la columna de soporte para impulsar los disipadores de

energía conectados a ella para que sufran grandes deformaciones para realizar el consumo de energía y transmitir la fuerza al anclaje. Mientras tanto, la columna de acero tiene una ligera deflexión y transmite la fuerza al anclaje de la base de la columna. Necesita una gran cantidad de anclajes y espacio de anclaje.

### **6.2. Sistemas provisionales de protección de borde**

Los Sistemas de Protección de Borde Perimetral son dispositivos de protección colectiva empleados en obras de construcción para evitar la caída de personas y materiales desde bordes, huecos, escaleras, tejados y otras superficies de trabajo, tanto horizontales como inclinadas. Su uso es obligatorio cuando existe un riesgo de caída desde alturas superiores a 2 metros.

Sin embargo, cuando la inclinación de la superficie supera los 60°, o se encuentra entre 45° y 60° con una altura de caída mayor a 5 metros no son adecuados como sistema de protección.

#### Requisitos generales

Los requisitos generales que deben cumplir son:

- Disponer, como mínimo, de una barandilla principal y una barandilla intermedia, así como permitir la instalación del rodapié.
- La parte superior de la barandilla principal estará, al menos, a 1m de la superficie de trabajo.
- El borde superior del rodapié estará a 15cm de la superficie de trabajo y no existirá hueco entre el rodapié y la superficie de trabajo. En caso de existir, no debe pasar, a través del mismo, una esfera de 2cm de diámetro.
- La estructura a la que se fije o sujete (hormigón, madera, metálica, etc.) será resistente para soportar las fuerzas que transmite el propio sistema.
- Todos sus componentes deben disponer de un marcado permanente y visible durante toda la vida de servicio del producto, facilitando información del fabricante, fecha de fabricación, clase, referencia a la norma, etc (AECOM, 2021).

### Clasificación

La norma de la Unión Europea DIN EN 13374 define tres clases de barandillas (A, B y C) según la carga y el uso previsto

La clase A proporciona resistencia solo a cargas estáticas y protege las plataformas de trabajo con o sin inclinación. La clase B también resiste cargas dinámicas y estáticas en el caso de un trabajador que está corriendo y cae sobre una superficie inclinada. La clase C está diseñada para proporcionar resistencia a altas fuerzas dinámicas basadas en los requisitos de seguridad para evitar que los trabajadores caigan de superficies inclinadas pronunciadas (Baruffi et al., 2021).



FIGURA 9

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE  
EMBUTIDA EN HORMIGON

(Fuente: elaboración propia)

#### **6.2.1. Clase A**

Este tipo de barandillas proporciona resistencia para cargas estáticas en superficies horizontales cuya inclinación es inferior a  $10^\circ$  y solo es útil para cargas estáticas (apoyar la mano mientras se camina o detener a una persona que cae mientras camina). La inclinación del sistema de protección no debe desviarse de la perpendicular a la superficie de trabajo más de  $15^\circ$  hacia afuera o hacia dentro. Si dispone de barandilla intermedia cualquier hueco debe dimensionarse de manera

que una esfera de 470mm de diámetro no pase a través de la protección. Si no hay barandilla intermedia o si esta no es continua, el sistema de protección de borde debe dimensionarse de manera que una esfera con diámetro 250mm no pase a través del mismo (Asociación de la Construcción de Navarra, s.f.).

### **6.2.2. Clase B**

Sólo para cargas estáticas (apoyar la mano mientras se camina o detener a una persona que cae mientras camina) o dinámicas débiles (detener la caída de una persona que se desliza por una superficie inclinada). La inclinación del sistema de protección no debe desviarse de la perpendicular a la superficie de trabajo más de 15° hacia afuera o hacia dentro. Cualquier hueco debe dimensionarse de manera que una esfera de 250mm de diámetro no pase a través de la protección. El sistema debe ser capaz de absorber una energía cinética de 1100 J en cualquier parte a una altura de 200mm por encima de la superficie de trabajo y de 500J en sus partes más altas (Asociación de la Construcción de Navarra, s.f.).

Interrumpe la caída de una persona que se desliza por una superficie con una inclinación de hasta 30°, sin limitación de altura de caída.

Detiene la caída de una persona si la inclinación es de 60° y la altura de caída es inferior a 2m (AECOM, 2021).

### **6.2.3. Clase C**

Proporciona resistencia para fuerzas dinámicas elevadas para detener la caída de una persona que resbala o cae por una superficie de fuerte pendiente. Los huecos deben dimensionarse de manera que una esfera con un diámetro de 100mm no pase a través de la protección. El sistema debe ser capaz de absorber una energía cinética de 2200J en cualquier parte a una altura de 200mm por encima de la superficie de trabajo y de 500J en sus partes más altas (Asociación de la Construcción de Navarra, s.f.).

- Cada 2 m si se utiliza un sistema clase B.
- Cada 5 m si se utiliza un sistema clase C.

## PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

Si el ángulo es mayor de  $60^\circ$ , o mayor de  $45^\circ$  y la caída es mayor de 5,00m, los sistemas de protección de borde no son apropiados como medios de protección.

Para alturas de caída mayores se recomienda colocar el sistema en un lugar más alto sobre la superficie en pendiente, de esta forma no se superarían las alturas de caída máximas (AECOM, 2021).

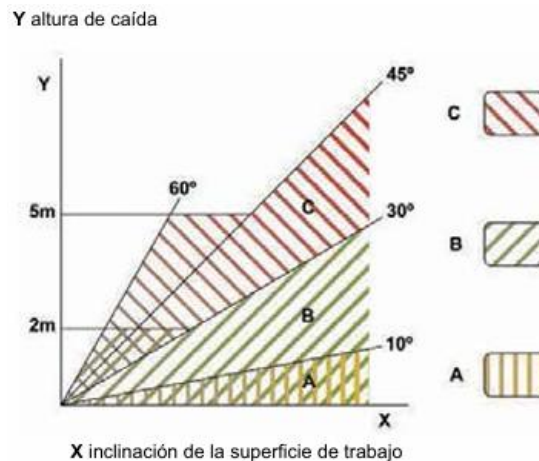


FIGURA 10

### SISTEMAS PROVISIONALES DE PROTECCIÓN DE BORDE

(Fuente: AECOM, 2021)

Para la instalación y fijación existen 3 tipos principales (Baruffini et al., 2021).

-Sistemas empotrados o embutidos

En este tipo de sistema el poste se encaja en un cartucho, generalmente de material plástico, que previamente se ha dejado embebido en el hormigón. La colocación de este tipo de sistemas obliga a la realización previa de un replanteo preciso, puesto que las distancias de instalación de los cartuchos en los que se empotrará el poste van a estar condicionadas por las dimensiones de las barandillas.

-Sistemas tipo mordaza (“tipo sargento”)

Este sistema, basa su modo de fijación en el apriete del poste vertical contra la estructura portante. Puede emplearse en estructuras de hormigón, metálicas, de

madera, etc. En el momento de la elección y posterior instalación de este tipo de sistemas, deben tenerse en cuenta las especificaciones del manual de instrucciones del fabricante en aspectos tales como el tipo de estructura a la que pueden ser fijados, los cantos máximos y mínimos en los que pueden ser empleados, distancias máximas entre postes, etc

-Sistemas con anclaje mediante fijación mecánica

En este caso los postes verticales se fijan a través de bases metálicas que, a su vez, son fijadas mediante tornillería, clavos, etc. Las bases que se emplean en este tipo de sistemas pueden ser de geometría y características muy diversas (metálicas cuadradas, redondas, acodadas, etc.)

### **6.3. Líneas de vida**

Una línea de vida a pesar de no ser una protección colectiva como tal, tiene la capacidad de proteger a varios trabajadores a la vez mediante diferentes sistemas de amarre y anclaje. El trabajador puede desplazarse horizontal o verticalmente de modo que sus movimientos, tanto de desplazamiento y de posicionamiento como de trabajo, son acompañados por el dispositivo anticaídas.

El objetivo final es conseguir que, en caso de caída, la distancia vertical recorrida por el cuerpo sea la mínima posible, que el frenado de la caída se produzca en las condiciones menos perjudiciales para el trabajador y que, finalmente, se garantice que el usuario se mantiene suspendido y sin daño hasta la llegada del auxilio o el inicio del auto rescate (Instituto Andaluz de Prevención de Riesgos Laborales, 2020).

Se diferencian 2 tipos principales las verticales y las horizontales, en ambos casos pueden ser flexibles, hechas de cable, cinta o cuerda textil, o rígidas, que generalmente son de riel o carril.

Las líneas de vida están formadas por diferentes componentes:

-Dispositivo de anclaje, que pueden ser permanentes o desmontables.

-La propia línea de vida.

## PROTECCIONES COLECTIVAS MAS EFECTIVAS

- Un punto de anclaje móvil el cual permite que el trabajador se desplace con seguridad, manteniendo siempre la conexión con el sistema.

-Dispositivos anticaídas que pueden ser retráctiles o deslizantes.

-Dispositivos de presión del cuerpo, generalmente un arnés anticaída, diseñado para detener el cuerpo y mantener una posición segura tras una caída.

### 7. LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

#### 7.1. Las nuevas tecnologías y el internet de las cosas

Las nuevas tecnologías y el internet de las cosas han revolucionado la gestión de la seguridad en la industria de la construcción, transformando profundamente la manera en que se supervisan las obras, se previenen los riesgos y se capacita a los trabajadores. La adopción de tecnologías de la Industria 4.0, como la inteligencia artificial, los sensores inteligentes, la realidad virtual y aumentada, y la conectividad a través de redes inteligentes, han mejorado la seguridad en la construcción y permiten un enfoque mucho más proactivo y basado en datos.

En el ámbito de la gestión de la seguridad, la implementación de redes de cámaras inteligentes, junto con aplicaciones móviles y herramientas de conferencia en línea como Zoom o Google Teams, ha facilitado la supervisión remota de las obras y la toma de decisiones más informadas. Estas herramientas no solo mejoran la comunicación entre los equipos de trabajo, sino que también permiten la recopilación y el análisis en tiempo real de datos relevantes sobre las condiciones del entorno.

La inteligencia artificial y el aprendizaje automático desempeñan un papel crucial al procesar grandes volúmenes de información para identificar patrones que podrían indicar situaciones de riesgo (Forcina & Falcone, 2021).

La combinación de estas tecnologías con el modelado de información de construcción (BIM) proporciona una visión más detallada de los proyectos, facilitando la planificación y la prevención de accidentes antes de que ocurran. Además, el uso de señales digitales inteligentes y aplicaciones de realidad aumentada ofrece una capa adicional de seguridad, al permitir a los supervisores identificar posibles peligros con mayor precisión (Okonkwo et al., 2023).

La participación de los trabajadores en la gestión de la seguridad también ha sido potenciada por estas innovaciones tecnológicas. Las aplicaciones móviles han democratizado el acceso a la información, permitiendo que los trabajadores

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

informen sobre riesgos o incidentes en tiempo real. Las redes de cámaras inteligentes permiten un monitoreo constante del entorno laboral, asegurando que se cumplan los protocolos de seguridad. La incorporación de tecnologías como la realidad virtual y el aprendizaje en la nube no solo facilita la formación de los trabajadores, sino que también mejora su capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo (Forcina & Falcone, 2021).

En cuanto a la identificación y evaluación de riesgos, la tecnología ha introducido herramientas innovadoras que permiten una detección más precisa y temprana de peligros potenciales. Los sensores portátiles, como los dispositivos RFID, las tecnologías de radar y los sistemas Bluetooth, son capaces de recopilar datos sobre las condiciones del entorno, desde la calidad del aire, detectando la presencia de sustancias peligrosas como gases tóxicos o inflamables, hasta la estabilidad de las estructuras, detectando vibraciones, lo que ayuda a prevenir derrumbes y colapsos estructurales. La implementación de drones y vehículos terrestres no tripulados ha facilitado la inspección de áreas de difícil acceso, estos dispositivos pueden proporcionar imágenes aéreas detalladas y generar mapas en 3D de alta precisión. Esto ayuda a identificar posibles peligros y evaluar las condiciones del terreno antes de que los trabajadores ingresen al sitio, permitiendo una planificación más precisa de las protecciones colectivas necesarias proporcionando una visión más completa de las condiciones de seguridad en la obra (Hardin, 2023).

La inteligencia artificial y la analítica avanzada permiten procesar estos datos para predecir posibles incidentes, ofreciendo a los supervisores información crucial para tomar decisiones preventivas (Forcina & Falcone, 2021). Además, el uso de aplicaciones móviles especializadas, como Smartvid, facilita la gestión de riesgos al proporcionar informes detallados y alertas en tiempo real (Okonkwo et al., 2023).

La prevención y el control de riesgos han sido significativamente mejorados mediante la incorporación de tecnologías de monitoreo de la fatiga, que utilizan sensores para medir variables como el ritmo cardíaco, la temperatura corporal y los niveles de estrés de los trabajadores. Estas herramientas permiten identificar signos de agotamiento antes de que se conviertan en un riesgo para la seguridad. Tecnologías como LIDAR (Light Detection and Ranging) y RFID (Radio Frequency

Identification), junto con la conectividad Bluetooth, ofrecen un monitoreo continuo del entorno, detectando cambios en las condiciones que podrían poner en peligro a los trabajadores (Forcina & Falcone, 2021).

Las redes de cámaras inteligentes proporcionan una vigilancia constante, permitiendo a los supervisores intervenir de manera oportuna ante cualquier anomalía. La inteligencia artificial contribuye al análisis predictivo, identificando patrones de comportamiento o condiciones que podrían derivar en accidentes, lo que permite una intervención temprana y más eficaz (Okonkwo et al., 2023).

Finalmente, la educación y el entrenamiento de los trabajadores han sido transformados por la introducción de herramientas como la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR). Estas tecnologías permiten crear entornos simulados donde los trabajadores pueden enfrentarse a situaciones de riesgo sin exponerse a peligros reales, lo que facilita una formación más efectiva y segura (Forcina & Falcone, 2021).

Estos avances tecnológicos han tenido un impacto significativo en la mejora de las protecciones colectivas en la construcción, al proporcionar herramientas más seguras, eficientes y precisas para proteger a los trabajadores y minimizar los riesgos en el lugar de trabajo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la implementación adecuada de estas tecnologías y la formación adecuada de los trabajadores son fundamentales para garantizar su efectividad.

### **7.2. Sistema de red de seguridad RESA**

Los sistemas de seguridad de obra RESA nacen de la necesidad de incrementar de manera significativa la protección de los trabajos de edificación.

Este sistema sienta las bases de un nuevo estándar de seguridad en la fase de construcción de los forjados, adelantándose la instalación de la seguridad a la ejecución de los trabajos. Están formados actualmente por el Sistema Perimetral RESA [SIPER] y el Sistema Integral de Correas de Escaleras RESA [SICER]. Ambos sistemas eliminan la posibilidad de caída y crean un espacio de trabajo tan seguro como si se trabajase a nivel del suelo.

### Sistema Perimetral RESA (SIPER)

El sistema SIPER se ajusta al contorno de la obra, proporcionando a los operarios un entorno limitado en tres dimensiones, que aporta la máxima seguridad sin interferir en la ejecución de los trabajos.

Las características de este sistema son:

- Evita la caída tanto de personas como de materiales.
- Se adelanta en su colocación a los trabajos del encofrador, habitualmente desprotegido en el inicio de su labor.
- Es de fácil instalación puesto que no hay necesidad de grúa. • Reúne en un solo sistema la protección integral de bordes.
- No entorpece los trabajos de la obra ni la retirada de materiales durante toda su instalación.
- Integra en su diseño la seguridad del instalador, reduciendo considerablemente el uso de E.P.I.s.
- Se adapta a la obra protegiendo correctamente zonas conflictivas como las esquinas.
- Posee piezas auxiliares que permiten su instalación en zonas imposibles para el resto de los sistemas.
- Permite delimitar los accesos a la zona de trabajo.

### Sistema Integral de Correas de Escaleras RESA (SICER)

El sistema de protección de correas de escalera que aporta apoyo y protección desde el comienzo de la obra hasta la colocación de la barandilla definitiva, sin necesidad de ser desmontado durante todo el proceso constructivo.

Las características de este sistema son:

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

- Aporta una mayor protección y seguridad.
- Sirve de apoyo al operario a la hora de subir y bajar las escaleras.
- No interfiere en los trabajos a realizar en la escalera al no estar montado sobre la propia correa de escalera, evitando múltiples montajes y desmontajes.
- Reúne en un solo sistema la protección integral de bordes.
- No entorpece los trabajos de la obra ni la retirada de materiales durante toda su instalación.
- Permite la realización de trabajos en el suelo gracias a su base desplazable.

El sistema perimetral RESA ofrece diversas ventajas que lo convierten en una solución eficaz y segura para la protección en obras de construcción. En primer lugar, su diseño adaptable permite ajustarse al contorno de la estructura, garantizando así la máxima seguridad durante todo el proceso constructivo. Una de sus características más destacadas es que no requiere la utilización de una grúa para su instalación, lo que simplifica significativamente el montaje y reduce los costes operativos.



FIGURA 11

SISTEMA PERIMETRAL RESA (SIPER)

(Fuente: Seguridad RESA, 2024)



FIGURA 12

SISTEMA INTEGRAL DE CORREAS DE ESCALERAS RESA (SICER)

(Fuente: Seguridad RESA, 2024)

Este sistema proporciona una protección integral en todo tipo de fachadas, desde la etapa de encofrado hasta el cierre final de la estructura. Además, contribuye a mejorar la productividad de los trabajadores, ya que la sensación de seguridad que ofrece les permite desempeñar sus labores con mayor confianza y eficiencia.

Por último, el sistema RESA ayuda a reducir los costes de mano de obra, al integrar en una única solución la protección de bordes y redes, eliminando así la necesidad de instalar estos elementos por separado. Esto optimiza los recursos y simplifica la gestión de la seguridad en la obra (Seguridad RESA, 2024).

### **7.3. Red de Protección Flexible de Alta Caída**

Tradicionalmente se han utilizado redes de protección de nailon, pero estas no son efectivas cuando se trata de absorber impactos de gran energía, como la caída de encofrados o equipos pesados. Ante esta limitación, ha surgido una nueva solución: la red de protección flexible de alta caída con un innovador sistema de amortiguación (Liao et al., 2024).

Este sistema combina redes de acero de alta resistencia con disipadores de energía y soportes amortiguadores, formando una estructura capaz de interceptar y absorber impactos de gran magnitud. La clave de su funcionamiento radica en la forma en que distribuye y disipa la fuerza del impacto, evitando que se concentre en un solo punto. A diferencia de las redes tradicionales, que simplemente detienen la caída, esta red flexible se deforma y contrae, absorbiendo la energía y reduciendo el impacto que llega a otros componentes (Liao et al., 2023)

El sistema se basa en una configuración auto anclada. Esto significa que la cuerda de soporte forma un circuito cerrado que distribuye las fuerzas a lo largo de toda la estructura, sin necesidad de puntos de anclaje adicionales. Cuando un objeto impacta la red, esta se deforma hacia el centro y la cuerda de soporte se desliza, activando los disipadores de energía. Estos dispositivos, que funcionan como amortiguadores, absorben gran parte de la fuerza del impacto, protegiendo tanto la red como la estructura a la que está conectada.

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

Una de las innovaciones más importantes de este sistema es su capacidad para disipar la energía en varias etapas. Primero, la red de acero intercepta el objeto en caída, soportando la mayor parte del impacto. Luego, los disipadores de energía primarios y secundarios se activan, absorbiendo y distribuyendo la fuerza de manera progresiva. Esta estructura de amortiguación múltiple no solo protege la red en sí, sino que también reduce significativamente la carga sobre otros componentes, como las columnas de soporte o las cuerdas suspendidas (Liao et al., 2023).

En comparación con las redes de nailon tradicionales, este sistema tiene una capacidad de absorción mucho mayor. Las redes de nailon suelen fallar cuando se enfrentan a impactos de alta energía, como la caída de grandes piezas de encofrado. En cambio, las redes de acero, combinadas con disipadores de energía, pueden soportar estos impactos sin romperse ni deformarse permanentemente. Esto no solo mejora la seguridad de los trabajadores, sino que también protege la estructura del edificio en construcción (Liao et al., 2024).

Otra ventaja clave es que el sistema distribuye la energía de manera eficiente, evitando que se concentre en un solo punto. En una caída, la fuerza del impacto se transmite a lo largo de toda la red y hacia los disipadores, que la absorben gradualmente. Esto reduce la tensión sobre la red y minimiza el riesgo de fallos estructurales. Además, la red se puede reutilizar, ya que su diseño flexible permite que vuelva a su forma original después de absorber un impacto (Liao et al., 2023).

A pesar de sus ventajas, este sistema tiene algunos desafíos. Su coste es más elevado que el de las redes tradicionales, lo que puede limitar su uso en ciertos proyectos. Sin embargo, su alto rendimiento y capacidad de proteger contra impactos de gran magnitud justifican la inversión en situaciones críticas, como en la construcción de edificios de gran altura. Además, se puede combinar con sistemas tradicionales para optimizar los costes, utilizando la red flexible solo en las zonas más expuestas a impactos.

Otro aspecto a considerar es que, aunque las simulaciones han demostrado su eficacia, aún se necesitan pruebas a gran escala en condiciones reales de

construcción. Las simulaciones han mostrado que este sistema puede reducir significativamente las fuerzas internas en los componentes clave, lo que indica que podría mejorar considerablemente la seguridad en obra (Liao et al., 2024).

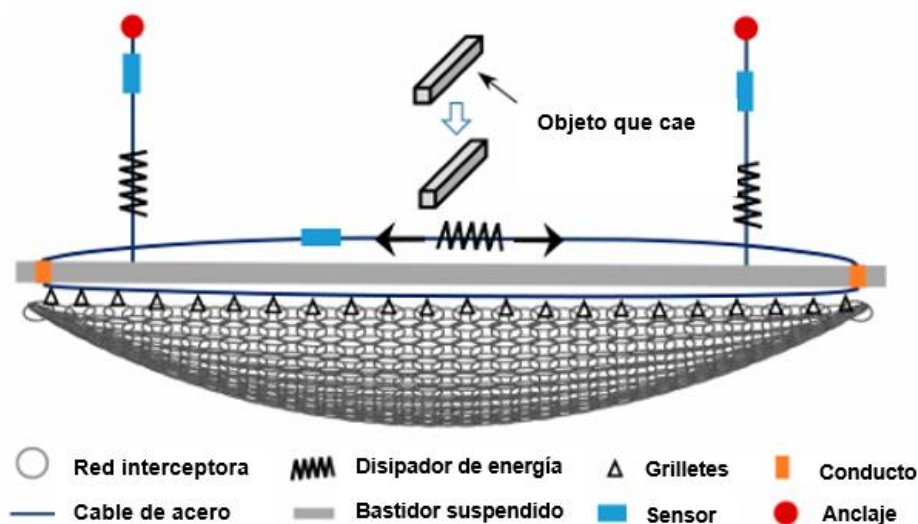


FIGURA 13

RED DE PROTECCIÓN FLEXIBLE DE ALTA CAÍDA

(Fuente: Liao et al., 2024)

#### 7.4. Realidad Virtual

La realidad virtual y aumentada permiten comparar la realidad de la obra con la información de planificación contenida en el proyecto gracias a que permite la visualización de modelos 3D antes y durante el proceso de construcción. De este modo, facilita la planificación, evita errores y reduce los costes de construcción. Estas tecnologías permiten simular situaciones de riesgo en entornos controlados, lo que permite a los trabajadores practicar y familiarizarse con las medidas de seguridad antes de enfrentarse a situaciones reales. También se utilizan para realizar inspecciones virtuales de los sitios de construcción y detectar posibles problemas antes de que se inicien los trabajos (Ventures, 2019).

En los últimos años la realidad virtual ha demostrado ser una útil herramienta para mejorar la seguridad de los trabajadores en la construcción. Un estudio

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

reciente (Jokkaw et al., 2017) utilizó esta tecnología para evaluar cuál diseño de barandilla genera mayor sensación de seguridad en los trabajadores.

Mediante un entorno virtual inmersivo, se recrearon distintos tipos de barandillas en un espacio simulado de construcción. Los trabajadores usaron gafas VR y herramientas de control para moverse por este entorno virtual realista, interactuando con las barandillas como si estuvieran en una obra real.

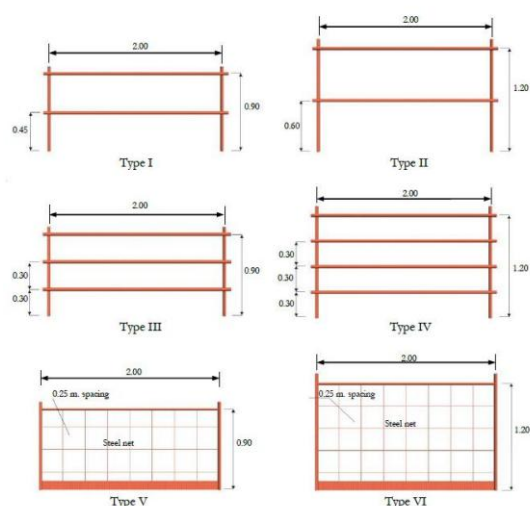


FIGURA 14

TIPOS DE BARANDILLAS QUE VAN A SIMULAR

(Fuente: Jokkaw et al., 2017)

Para medir su percepción, se diseñaron cuestionarios en los que los participantes calificaban sus sensaciones de seguridad y comodidad en una escala del 1 al 5. Se evaluaron seis tipos diferentes de barandillas, 3 de ellas de 90 cm de altura y otras 3 de 1.2m de altura, y los resultados reflejaron cuáles transmitían mayor seguridad. Este enfoque permite identificar y mejorar los diseños antes de implementarlos en proyectos reales, optimizando así las medidas de protección colectiva.

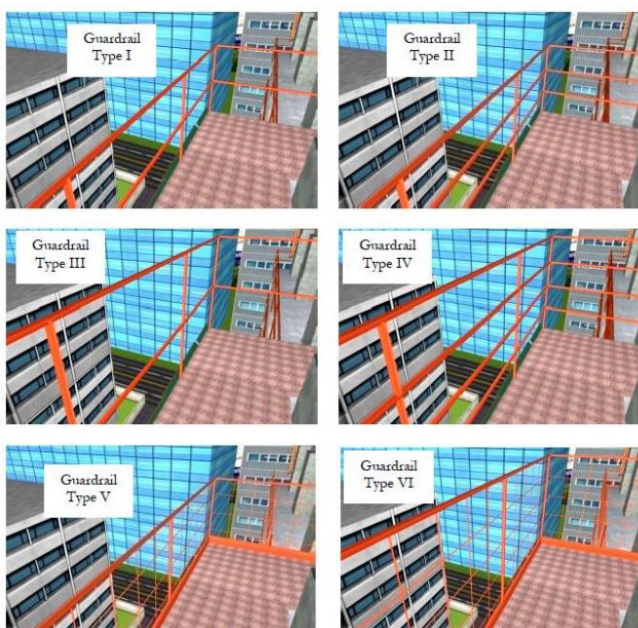


FIGURA 15

SIMULACION DE LAS BARANDILLAS

(Fuente: Jokkaw et al., 2017)

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

La barandilla Tipo V y Tipo VI son las que consiguieron una mejor puntuación en los cuestionarios por lo que aportan una sensación de seguridad mayor a los trabajadores.

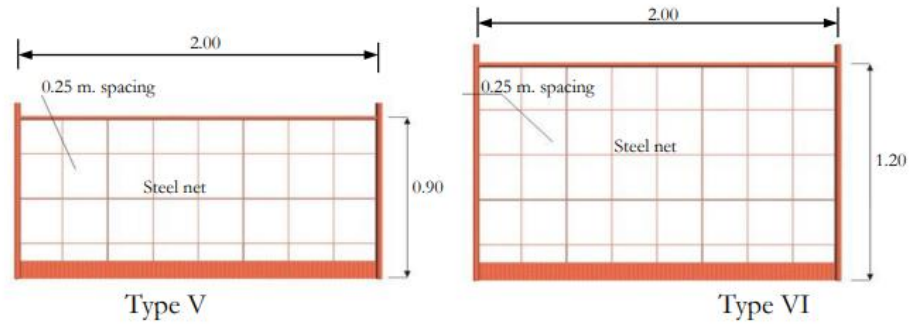


FIGURA 16

BARANDILLAS CON MAYOR SENSACION DE SEGURIDAD

(Fuente: Jokkaw et al., 2017)

### 8. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

En el sector de la construcción, la protección individual es fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores. Entre los Equipos de Protección Individual (EPI), el casco es uno de los elementos más importantes, diseñado para proteger contra impactos, caídas de objetos y otros riesgos comunes en las obras.

Sin embargo, los cascos tradicionales han evolucionado mucho en los últimos años, y hoy en día, los avances tecnológicos han dado lugar a nuevos tipos de cascos que ofrecen mejoras notables en cuanto a seguridad, comodidad y funcionalidad. Estos nuevos cascos incorporan materiales más ligeros pero resistentes, tecnologías de absorción de impactos más eficientes, y características adicionales como sensores integrados o sistemas de ventilación optimizados

En este apartado, se analizarán en detalle estos nuevos modelos, destacando cómo contribuyen a reducir los riesgos y a mejorar las condiciones de trabajo en la construcción.

#### 8.1. EPIs - cascos

El uso de cascos se erige como un imperativo de seguridad crítico tanto en el ámbito de la industria como en el de la construcción. Más allá de protegerse contra las lesiones en la cabeza, los trabajadores se encuentran expuestos a los rayos directos del sol, lo que exige salvaguardias adicionales contra el calor invasor (Ali et al., 2019). Si bien el propósito principal de usar un casco de seguridad es brindar protección contra los riesgos laborales, el acto de usarlo en un ambiente caluroso introduce una mayor incomodidad y tensión fisiológica, lo que lleva a la aversión del trabajador (Park y JEONG-WHA, 2010). Sin embargo, cuando se enfrentan a temperaturas y humedad elevadas, el confort térmico de los usuarios sufre un impacto perjudicial. Este malestar influye significativamente en el bienestar mental, la seguridad personal y la eficiencia laboral (Hu et al., 2021). Los desafíos que plantea el calor a los trabajadores tienen diversos orígenes: factores fisiológicos, en los que el cuerpo se enfrenta a un estrés térmico excesivo inducido por el uso del casco; factores psicofísicos, donde el malestar es

predominantemente mental; y condiciones ambientales caracterizadas por temperaturas y humedad elevadas dentro del casco, lo que impide gravemente el trabajo continuo. En consecuencia, los trabajadores pueden optar por desechar el casco (Davis et al., 2001).

### **8.2. Nuevos tipos de cascos**

#### **8.2.1. Casco de seguridad con monitoreo basado en sensores**

El estudio propone un prototipo de casco de seguridad equipado con sensores para monitorear:

- Variables ambientales: Temperatura de bulbo seco, Temperatura de bulbo húmedo, Humedad relativa.
- Índices de Estrés Térmico: Índice de malestar, Índice de estrés térmico, Índice de calor.
- Variables fisiológicas: Temperatura timpánica, Temperatura de la piel, Frecuencia cardíaca.

Los resultados indican que los parámetros de estrés térmico varían según el entorno de trabajo. En particular, se observó una correlación entre los índices fisiológicos medidos y los índices de estrés térmico. Si bien este casco no reduce el estrés térmico de los trabajadores, sirve como herramienta de monitoreo para evaluar las condiciones de diversos entornos de trabajo a los que están expuestos los trabajadores, funcionando como un mecanismo de detección temprana (Sharma et al., 2022).

#### **8.2.2. Casco de seguridad con enfriamiento de materiales de cambio de fase**

Varios artículos exploran los cascos de seguridad que incorporan materiales de cambio de fase (PCM) (Hu et al., 2021), (Ali et al., 2019), (Ghani et al., 2017). El PCM es reconocido por su capacidad de almacenar energía al fundirse y solidificarse en función de las fluctuaciones de temperatura. Esta propiedad les permite absorber el calor de manera efectiva (Ali et al., 2019), (Ghani et al., 2017).

Los estudios revelan que los cascos que utilizan PCM exhiben un notable efecto de enfriamiento. Sin embargo, una ventilación insuficiente provoca la retención de sudor en el cuero cabelludo y el cabello, lo que se traduce en una experiencia de usuario desfavorable (Hu et al., 2021). Este problema surge debido al alto calor latente y la baja conductividad térmica del PCM (Ali et al., 2019). Al emplear estos cascos, es posible mantener una temperatura de la cabeza constante durante poco más de 1 hora (Hu et al., 2021), (Ghani et al., 2017).

### **8.2.3. Casco de seguridad con tecnología combinada de enfriamiento de materiales de cambio de fase y enfriamiento del ventilador**

Este casco de seguridad integra materiales de cambio de fase (PCM) con un ventilador. La tecnología de enfriamiento que absorbe el calor a través de PCM se combina con la tecnología de enfriamiento por ventilador. Por un lado, el ventilador aborda los problemas de ventilación asociados con los cascos de seguridad que usan PCM. Por otro lado, PCM compensa los desafíos de enfriamiento de los ventiladores. De esta manera, se abordan las deficiencias inherentes a cada tecnología por sí sola. Los resultados demostraron que este tipo de casco de seguridad mantuvo el confort térmico de los trabajadores durante aproximadamente 2 horas en ambientes de alta temperatura (Hu et al., 2021).

### **8.2.4. PCM con nanopartículas y grafito expandido**

Un desafío asociado con los materiales de cambio de fase (PCM) es su baja conductividad térmica. Esto afecta a la transferencia de calor (Hu et al., 2021), (Ali et al., 2019). Al incorporar nanopartículas y grafito expandido a la composición, se puede mejorar la conductividad térmica, mejorando en consecuencia la tasa de transferencia de calor. El estudio examinado de este tipo de casco de seguridad concluye que el PCM compuesto con una concentración del 3% podría proporcionar confort térmico al usuario del casco durante una duración máxima de aproximadamente 4 horas a una temperatura ambiente de 35 °C. Sin embargo, presenta limitaciones, como la reducción del rendimiento a temperaturas superiores a las estudiadas y la necesidad de un enfriamiento inmediato tras la fusión completa del PCM compuesto (Hu et al., 2021).

### **8.2.5. Casco con Pack Refrigeración**

Un paquete de enfriamiento utilizado en los cascos de construcción tiene como objetivo aliviar y reducir el alto estrés experimentado por los trabajadores durante la temporada de verano. Este pack está compuesto por polímeros y agua, formando un hidrogel capaz de moderar la temperatura corporal y, en consecuencia, aliviar el estrés inducido por el calor. Después de varias pruebas e investigaciones, el estudio reveló que la temperatura de la capa externa del casco de seguridad era de aproximadamente 30,9 ° C, y la duración del producto fue de un total de 4 horas, excluyendo sus 50 minutos iniciales (Park y JEONG-WHA, 2010).

## 9. DIFICULTADES PARA INTRODUCIR NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

A pesar de los numerosos beneficios de estas tecnologías, la implementación de sistemas de seguridad inteligentes en la construcción no está exenta de desafíos. La resistencia al cambio, los elevados costos y la falta de habilidades técnicas son algunos de los obstáculos más comunes. Estos desafíos han sido discutidos en un estudio reciente (Okonkwo et al., 2023), que sugiere soluciones como la formación tecnológica, la creación de marcos regulatorios que favorezcan implementar estas tecnologías y la colaboración con universidades para fomentar la innovación. La clave para una implementación exitosa radica en la integración de estas tecnologías en la cultura organizacional, asegurando que todos los involucrados comprendan su importancia y sepan cómo utilizarlas de manera efectiva.

### Barreras organizativas

- Nivel de competencia: Se requiere un alto nivel de competencia técnica en los departamentos que introducen las mejoras en las empresas. La falta de experiencia puede llevar a una implementación ineficaz.
- Resistencia al cambio: Las empresas enfrentan desafíos significativos en la gestión del cambio, especialmente en adaptar procesos operativos tradicionales a un sistema basado en el internet de las cosas.
- Comunicación interdepartamental: La implementación exitosa requiere una cooperación fluida entre departamentos, lo cual no siempre se da.
- Gestión del cambio: Es necesario que la alta dirección lidere y facilite el cambio para que la implementación sea exitosa.

### Barreras de infraestructura

- Ciberseguridad: Proteger los sistemas inteligentes de ataques cibernéticos es complejo, y las vulnerabilidades pueden generar resistencia en la adopción.

## DIFICULTADES PARA INTRODUCIR NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

- Apoyo de proveedores: La falta de soporte técnico adecuado por parte de proveedores complica la resolución de problemas durante la implementación.
- Seguridad de los datos: La preocupación por la seguridad de la información recopilada puede generar desconfianza entre los trabajadores.
- Protección de dispositivos físicos: Los dispositivos utilizados deben ser duraderos y seguros para resistir el entorno de obra.

### Barreras de costo

- Costos operativos: Mantener un sistema inteligente requiere altos costos operativos que pueden ser difíciles de justificar, especialmente para pequeñas empresas.
- Costos de capital: El costo inicial de adquisición e instalación de tecnologías es significativo, lo que representa una barrera económica importante.

### Barreras de integración del sistema

- Cooperación entre departamentos: Es fundamental asegurar que todos los departamentos colaboren y compartan datos de manera eficiente.
- Recursos para la integración tecnológica: La falta de herramientas y recursos para integrar tecnologías de manera eficiente afecta el éxito de la implementación.

Estrategias para abordar las barreras en la implementación de sistemas inteligentes de seguridad en la construcción (Okonkwo et al., 2023).

### **Estrategias viables y con un alto impacto**

Estas estrategias se consideran de fácil implementación y con un alto impacto en la superación de barreras críticas:

- Aumentar la responsabilidad de la dirección

Fomentar una mayor implicación de la alta dirección en la gestión de la seguridad asegura recursos y compromiso necesarios para implementar cambios

## DIFICULTADES PARA INTRODUCIR NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

tecnológicos. Esto ayuda a vencer la resistencia al cambio organizativo y garantiza la alineación estratégica.

- Incluir requisitos tecnológicos en los contratos

Al especificar la necesidad de tecnologías de seguridad desde la fase de contratación, se asegura su disponibilidad y uso desde el inicio del proyecto, reduciendo los desafíos de costo y suministro.

- Incentivos para trabajadores que usan nuevas tecnologías

Reconocer y recompensar a los empleados que utilizan tecnologías inteligentes promueve una cultura de seguridad y facilita la aceptación de nuevas herramientas, abordando la resistencia al cambio.

- Implementar una plataforma de ciberseguridad unificada

Crear una estrategia centralizada de protección de datos mejora la confianza de los trabajadores y reduce las barreras relacionadas con la seguridad de la información.

- Garantizar soporte técnico adecuado de los proveedores

Asegurar que los proveedores ofrezcan soporte continuo facilita la resolución de problemas técnicos y mejora la confianza en el sistema, reduciendo las barreras de infraestructura.

### **Estrategias de alto impacto pero menor viabilidad**

Estas estrategias son efectivas, pero requieren más esfuerzo o inversión para implementarse:

- Inversión inicial en tecnologías de seguridad

Aunque requiere un compromiso financiero significativo, una inversión temprana facilita la implementación efectiva y reduce los costos operativos a largo plazo.

- Contratar personal altamente cualificado

## DIFICULTADES PARA INTRODUCIR NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

Incorporar trabajadores con experiencia en tecnologías inteligentes puede aumentar la competencia técnica interna, aunque esto puede ser costoso.

- Facilitar la formación de los trabajadores

La capacitación continua asegura que los empleados comprendan y utilicen correctamente las tecnologías, mitigando problemas de competencia y resistencia al cambio.

### **Estrategias adicionales (impacto moderado o bajo)**

Aunque estas estrategias tienen un impacto más limitado, pueden complementar las principales:

- Incluir a las partes interesadas en la toma de decisiones

Aumenta la aceptación de los sistemas y asegura que se consideren diferentes perspectivas durante la implementación.

- Estudios de caso detallados para cada tecnología

Proporcionar ejemplos prácticos y educativos sobre el uso de tecnologías puede facilitar la adopción y reducir las barreras de integración.

### 10. CONCLUSIONES

Esta revisión bibliográfica evidencia la importancia de las protecciones colectivas en la construcción ya que no es solo una medida preventiva, sino como un elemento fundamental para la reducción de accidentes graves y mortales en el sector. Por lo tanto, las conclusiones son:

**1.Efectividad de las protecciones colectivas tradicionales:** Redes de seguridad y barandillas continúan siendo herramientas esenciales en obras de construcción. Su uso adecuado mitiga significativamente riesgos de caídas en altura.

**2.Impacto de las nuevas tecnologías:** Soluciones innovadoras como el Internet de las Cosas, sensores inteligentes y la realidad virtual han mejorado la capacidad para prever y responder a riesgos, demostrando ser complementos cruciales para las protecciones tradicionales.

**3.Barreras para la implementación tecnológica:** A pesar de su potencial, factores como costos, resistencia cultural al cambio y falta de formación especializada limitan la adopción de estas tecnologías en el sector.

#### 10.1. Limitaciones del Estudio

A lo largo del desarrollo del TFM, se han identificado varias limitaciones que han condicionado su desarrollo:

- Restricciones de acceso a fuentes: Algunos artículos relevantes eran de pago, lo que dificultó profundizar en ciertos aspectos del análisis.

- Escasez de investigaciones previas: Existen muy pocos estudios dedicados al desarrollo de nuevas y mejoradas protecciones colectivas en la construcción.

- Cuantificación de impactos: Es muy difícil determinar el porcentaje exacto de accidentes que evitan las protecciones colectivas, ya que los accidentes no ocurridos no pueden ser cuantificados.

### 10.2. Futuras Líneas de Investigación

El estudio abre diversas oportunidades para futuros trabajos que profundicen en aspectos específicos:

- Validación a pie de obra: Realizar estudios de campo para evaluar el impacto real de las tecnologías emergentes en proyectos específicos.
- Realizar más investigaciones sobre nuevos materiales para mejorar las protecciones colectivas
- Desarrollo normativo: Investigar la creación de estándares que regulen e impulsen la implementación de nuevas tecnologías en la construcción.
- Optimización de costos: Explorar estrategias económicas y modelos financieros para facilitar la adopción de innovaciones tecnológicas en empresas pequeñas y medianas del sector.

### 11. BIBLIOGRAFÍA

- AECOM. (2021). *Guía de protecciones colectivas 2021*.  
[https://www.aecom.es/wpcontent/uploads/PublicacionesPRL/Gu%C3%A9a-Protecciones-Colectivas-2021-DEF\\_A\\_IMPRENTA.pdf](https://www.aecom.es/wpcontent/uploads/PublicacionesPRL/Gu%C3%A9a-Protecciones-Colectivas-2021-DEF_A_IMPRENTA.pdf)
- Ali, M. A., Fayaz, Viegas, R. F., Kumar, M. B. S., Kannapiran, R. K., & Feroskhan, M. (2019). Enhancement of heat transfer in paraffin wax PCM using nano graphene composite for industrial helmets. *JOURNAL OF ENERGY STORAGE*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100982>
- Asociación de la Construcción de Navarra. (s.f.). *Guía de prevención de riesgos laborales en trabajos de construcción*. Recuperado de <https://www.acpnavarra.com/administracion/Archivos/Boletines/259/GUIA.pdf>
- Baruffi, D., Costella, M. F., & Chamberlain Pravia, Z. M. (2021). Experimental Analysis of Guardrail Structures for Occupational Safety in Construction. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 15(1), 141–151. <https://doi.org/10.2174/1874836802115010141>
- Camino López, M. A., Ritzel, D. O., Fontaneda, I., & González Alcantara, O. J. (2008). Construction industry accidents in Spain. *Journal of Safety Research*, 39(5), 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.07.006>
- Construcción, F. L. (2019). Línea Prevención. Obtenido de Línea Prevención: <https://proteccionescolectivas.lineaprevencion.com/consideraciones-generales>
- Davis, G. A., Edmisten, E. D., Thomas, R. E., Rummer, R. B., & Pascoe, D. D. (2001). Effects of ventilated safety helmets in a hot environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(5), 321–329. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(00\)00059-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(00)00059-7)

## BIBLIOGRAFÍA

- Forcina, A., & Falcone, D. (2021). The role of Industry 4.0 enabling technologies for safety management: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 180, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.260>
- Ghani, S., ElBialy, E. M. A. A., Bakochristou, F., Gamaledin, S. M. A., & Rashwan, M. M. (2017). The effect of forced convection and PCM on helmets' thermal performance in hot and arid environments. *Applied Thermal Engineering*, 111, 624–637. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.142>
- Hardin, A. (2023). 10 innovaciones tecnológicas que revolucionan la industria de la construcción en 2021. Obtenido de 10 innovaciones tecnológicas que revolucionan la industria de la construcción en 2021: <https://www.alpha-hardin.com/innovacion-tecnologica-en-la-industria-de-la-construccion/>
- Hu, W., Liu, Z., Yuan, M., Peng, Y., Meng, X., & Hou, C. (2021). Composite design and thermal comfort evaluation of safety helmet with phase change materials cooling. *Thermal Science*, 25(2 Part A), 891–900. <https://doi.org/10.2298/TSCI200521250H>
- Huck. (2020). *Construction safety nets* [PDF]. [https://huck-spain.net/wp-content/uploads/Huck\\_Bauschutz\\_ENG-ohne-preise\\_web.pdf](https://huck-spain.net/wp-content/uploads/Huck_Bauschutz_ENG-ohne-preise_web.pdf)
- Instituto Andaluz de Prevención de Riesgos Laborales. (2020). Documento de recomendaciones para el uso de líneas de vida provisionales de obra certificadas. Junta de Andalucía, Consejería de Empleo, Formación y Trabajo Autónomo.
- Instituto Nacional de Estadística. (2023). *Estadísticas sobre accidentes laborales en España*. Instituto Nacional de Estadística. [https://www.ine.es/estadisticas\\_accidentes](https://www.ine.es/estadisticas_accidentes)
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2008). *NTP 804: Encofrado horizontal: protecciones colectivas II*. Ministerio de Trabajo e Inmigración. Recuperado de <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/ntp-804>

## BIBLIOGRAFÍA

- Jin, H., & Goodrum, P. M. (2021). Optimal fall protection system selection using a fuzzy multi-criteria decision-making approach for construction sites. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115296>
- Jokkaw, N., Sutecharuwat, P., & Weerawetwat, P. (2017). Measurement of construction workers' feeling by virtual environment (VE) technology for guardrail design in high-rise building construction projects. *Engineering Journal*, 21(5), 161–177. <https://doi.org/10.4186/ej.2017.21.5.161>
- Liao, L., Yu, Z., Liu, D., Luo, L., Guo, L., & Tian, X. (2023). Design Method and Impact Response of Energy-Consuming High-Fall Flexible Protection System for Construction. *Buildings*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/buildings13061376>
- Liao, L., Yu, Z., Liu, D., Zhang, L., Jin, Y. T., & Tian, X. (2024). A multiple buffering high-fall protection structure and its impact response. *Structures*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106435>
- López Arquillos, A., Rubio Romero, J. C., & Gibb, A. (2012). Analysis of construction accidents in Spain, 2003-2008. *Journal of Safety Research*, 43(5–6), 381–388. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2012.07.005>
- Nets, V. F. (2023). Visor Fall Arrest Nets. Obtenido de <https://www.redesdeseguridad.com/protecciones-colectivas-en-obra-las-pruebas-y-ensayos-de-eficacia/>
- Okonkwo, C., Okpala, I., Awolusi, I., & Nnaji, C. (2023). Overcoming barriers to smart safety management system implementation in the construction industry. *Results in Engineering*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101503>
- Park, J., & JEONG-WHA, C. (2010). Development and Evaluation of the Frozen Gelled Pack for Alleviating Heat Stress of Safety Helmet Wearer in Summer. *The Korean Society of Living Environmental System*, 17(2), 223–234

## BIBLIOGRAFÍA

- Sharma, M., Suri, N. M., & Kant, S. (2022). Analyzing occupational heat stress using sensor-based monitoring: a wearable approach with environmental ergonomics perspective. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 19(11), 11421–11434. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03862-6>
- Shushunova, N. S., & Kudinova, Y. A. (2024). The Safety of Construction of Roofing Materials with Greening Systems Using Modern Safety Systems for Works at Height. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2024(3), 21–25. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-3-21-25>
- Seguridad RESA. (2024). *Sistema perimetral RSA*. Recuperado de <http://www.seguridadresa.es/>
- Sulowski, A. C. (2014). Collective fall protection for construction workers. *Informes de La Construccion*, 65(533). <https://doi.org/10.3989/ic.12.035>
- Ventures, C. (2019). CEMEX Ventures. Obtenido de <https://www.cemexventures.com/es/como-la-realidad-aumentada-y-virtual-pueden-cambiar-la-industria-de-la-construccion/>



### 12. ANEXOS

#### 12.1. TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS

##### Terminología

**Protecciones Colectivas:** Medidas diseñadas para salvaguardar simultáneamente a varios trabajadores de los riesgos asociados al entorno laboral, como las caídas de altura, mediante sistemas como barandillas, redes de seguridad, entre otros (Fuente: AECOM, 2021).

**Internet de las Cosas (IoT):** Tecnología que permite la conexión de dispositivos mediante sensores y redes inteligentes para recopilar y analizar datos en tiempo real, mejorando la gestión de la seguridad en construcción (Fuente: Forcina & Falcone, 2021).

**Realidad Virtual (VR):** Simulación de un entorno tridimensional generado por ordenador que permite entrenar y evaluar medidas de seguridad sin exponer físicamente a los trabajadores al riesgo (Fuente: Jokkaw et al., 2017).

**Smartvid:** Plataforma basada en inteligencia artificial que analiza imágenes y videos para detectar riesgos de seguridad en obras, generando informes y alertas en tiempo real (Fuente: Okonkwo et al., 2023).

##### Abreviaturas

**EPI:** Equipos de Protección Individual.

**IoT:** Internet of Things (Internet de las Cosas).

**VR:** Virtual Reality (Realidad Virtual).

**RESA:** Sistemas de Seguridad de Obra RESA, como SIPER y SICER, que representan nuevas soluciones perimetrales y de escaleras para la protección en construcción (Fuente: Seguridad RESA, 2024).

## TERMINOLOGÍA Y ABREVIATURAS

**NTP:** Notas Técnicas de Prevención publicadas por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST).

**LIDAR:** Light Detection and Ranging, una tecnología de detección remota que mide distancias mediante luz láser (Fuente: Forcina & Falcone, 2021).

**RFID:** Radio Frequency Identification, tecnología que utiliza ondas de radio para identificar y rastrear objetos o personas de forma automática (Fuente: Forcina & Falcone, 2021).