

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESCALERA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL MANUAL DE PELDAÑOS PLANOS PARA REDUCIR LA FATIGA FÍSICA EN LA FUNDACIÓN ECOSUR - ECUADOR

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MANUAL INDUSTRIAL SAFETY LADDER WITH FLAT STEPS TO REDUCE PHYSICAL FATIGUE AT FUNDACIÓN ECOSUR - ECUADOR

Bryan Hernán Pilaluisa Pabón<sup>1</sup>, Marlon Danilo Basantes Valverde<sup>2</sup>

{bryan.pilaluisa@unach.edu.ec<sup>1</sup>, mbasantes@unach.edu.ec<sup>2</sup>}

Fecha de recepción: 09/07/2026 / Fecha de aceptación: 06/08/2026 / Fecha de publicación: 25/08/2026

**RESUMEN:** El presente trabajo describe el diseño y construcción de una escalera de seguridad industrial manual de peldaños planos, desarrollada para el Departamento de Reconstrucción de Vivienda de la Fundación EcoSur - Ecuador, con sede en Riobamba, en el marco del "Proyecto de Mejoramiento de la Calidad de Vida de los Sectores más Vulnerables". El diseño tomó como referencia el modelo KENDO TOOLS, bajo los requisitos de la norma europea EN 131, integrando principios ergonómicos orientados a minimizar el estrés físico en piernas y espalda. Se priorizó el uso de materiales de larga vida útil y bajo peso, optimizando la movilidad, transporte y versatilidad en entornos de construcción, respetando los más altos estándares de calidad conforme al Control Estadístico 6 Sigma. La investigación se orientó a determinar cómo afecta el diseño y construcción de esta escalera en la reducción de la fatiga física y la mejora de la seguridad laboral dentro del sector de la construcción. Se establecieron tres objetivos específicos: diseñar la escalera mediante software CAD para determinar los parámetros geométricos más adecuados; construir el prototipo con base en el diseño CAD y una simulación tensodeformacional; y validar el producto mediante un análisis estadístico multivariado y un control de calidad 6 Sigma, con la elaboración de un manual técnico de uso y mantenimiento. La implementación de la escalera en los sitios de intervención de la Fundación EcoSur arrojó resultados altamente favorables, evidenciando mejoras en el bienestar general del trabajador, reducción del ausentismo por fatiga, incremento de la productividad y disminución de accidentes e incidentes laborales, tanto en Riobamba como en las demás localidades donde se desarrollan los proyectos en ejecución.

**Palabras clave:** *ergonomía, seguridad industrial, peldaños planos, construcción, bienestar.*

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) Dirección de Posgrado, Programa de Maestría en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos Laborales, <https://orcid.org/0009-0007-2364-0421>.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) Facultad de Ciencias, Escuela de Telecomunicaciones, Grupo de Investigación GI(CT)2I, <https://orcid.org/0000-0001-6011-1659>.

**ABSTRACT:** This paper describes the design and construction of a manual flat-rung industrial safety ladder, developed for the Housing Reconstruction Department of the EcoSur - Ecuador Foundation, headquartered in Riobamba, within the framework of the "Project for Improving the Quality of Life of the Most Vulnerable Sectors." The design was based on the KENDO TOOLS model, following the requirements of European standard EN 131, and incorporated ergonomic principles aimed at minimizing physical stress on the legs and back. Priority was given to the use of long-lasting, lightweight materials, optimizing mobility, transportation, and versatility in construction environments, while meeting the highest quality standards in accordance with 6 Sigma Statistical Process Control. The research sought to determine how the design and construction of this ladder affects the reduction of physical fatigue and the improvement of occupational safety within the construction sector. The alternative hypothesis proposed that the use of the ladder significantly reduces physical fatigue among workers compared to a conventional ladder. To verify this, three specific objectives were established: to design the ladder using CAD software in order to determine the most suitable geometric parameters; to build the prototype based on the CAD design and a stress-strain simulation; and to validate the product through a multivariate statistical analysis and 6 Sigma quality control, along with the development of a technical manual for use and maintenance. The implementation of the ladder at EcoSur Foundation intervention sites yielded highly favorable results, evidencing improvements in workers' overall well-being, reduced absenteeism due to fatigue, increased productivity, and a decrease in occupational accidents and incidents, both in Riobamba and in the other localities where ongoing projects are being carried out.

**Keywords:** *ergonomics, industrial safety, flat rungs, construction, well-being*

## INTRODUCCIÓN

La seguridad industrial constituye una disciplina técnica orientada a identificar, evaluar y controlar los riesgos laborales con el propósito de prevenir accidentes y enfermedades profesionales. Su evolución histórica ha transitado desde enfoques correctivos hacia modelos de prevención sistemática, respaldados por organismos internacionales de referencia como la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y la Organización Internacional de Normalización (ISO). A pesar de estos avances, cada año se documentan cientos de miles de muertes por accidentes laborales a escala mundial, cifra que pone de manifiesto la persistente necesidad de disponer de sistemas sólidos de gestión en seguridad y salud en el trabajo, particularmente en sectores de alto riesgo como la construcción y la reconstrucción de vivienda.

En el contexto ecuatoriano, la seguridad y salud en el trabajo se encuentra regulada por el Decreto Ejecutivo N.º 255 del 2 de mayo de 2024, el cual fortalece el marco normativo vigente junto con el Código del Trabajo, la Decisión 584 del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, y las resoluciones del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). Este marco normativo clasifica los riesgos laborales en seis categorías: físicos, químicos, biológicos, de seguridad,

ergonómicos y psicosociales. Para su gestión, la norma ISO 45001 propone una jerarquía de controles de cinco niveles que comprende la eliminación, la sustitución, los controles de ingeniería, los controles administrativos y el uso de equipos de protección personal. Sin embargo, la aplicación efectiva de estos principios en entidades de pequeña escala dedicadas a la reconstrucción social sigue siendo limitada.

La Fundación EcoSur - Ecuador, con sede en la ciudad de Riobamba, desarrolla desde el año 2007 proyectos orientados al mejoramiento de la calidad de vivienda en sectores vulnerables. La institución cuenta con un departamento especializado en la reconstrucción de vivienda, conformado por diez trabajadores, cuya labor se enfoca en la rehabilitación estructural y funcional de viviendas para elevar las condiciones de habitabilidad y bienestar social. No obstante, se evidencia una limitada implementación de normas de prevención de riesgos laborales en dicho departamento, así como el uso de equipos de trabajo rudimentarios e improvisados. Uno de los principales problemas identificados es el desconocimiento técnico en materia de seguridad industrial y la construcción y utilización de equipos como escaleras y andamios, lo que genera la urgencia de implementar soluciones innovadoras que prioricen la seguridad y el bienestar del trabajador.

En la industria de la reconstrucción, un inconveniente recurrente es la fatiga física de los trabajadores, originada por las exigencias físicas intensivas y el uso prolongado de equipos inadecuados. El uso de escaleras con peldaños tradicionales de tubo circular genera un impacto negativo en la productividad, la seguridad y el bienestar de los operarios, dado que estos peldaños no ofrecen una superficie estable ni ergonómica. Este hecho incrementa el esfuerzo necesario para mantener el equilibrio y, en consecuencia, eleva la presión sobre puntos específicos del cuerpo, aumentando el riesgo de accidentes laborales. A largo plazo, el uso de estos equipos puede derivar en enfermedades ocupacionales como los trastornos musculoesqueléticos en extremidades inferiores.

Frente a esta problemática, el principio fundamental de la ergonomía establece que se debe adaptar el trabajo al trabajador y no el trabajador al trabajo. En este sentido, la intervención técnica del presente proyecto se orienta hacia el rediseño del equipo de trabajo —la escalera— y no hacia acciones que involucren directamente a los trabajadores de la reconstrucción. La literatura especializada en ergonomía aplicada a equipos de acceso vertical señala que el diseño de peldaños planos, superficies antideslizantes y dimensiones geométricas ajustadas a parámetros antropométricos permite distribuir uniformemente la presión sobre el pie del trabajador, reduciendo significativamente la fatiga física y el riesgo de caídas. Estudios como los de Chaffin et al. y Karwowski han documentado que la geometría del peldaño es una de las variables de mayor incidencia en la carga biomecánica del miembro inferior durante el ascenso y descenso en altura. En este marco, la norma europea EN 131 establece los criterios técnicos de referencia para el diseño de escaleras manuales seguras, siendo aplicable al presente estudio como base normativa de diseño.

En términos metodológicos, estudios previos en el ámbito de la seguridad industrial y el diseño de equipos de trabajo han demostrado la utilidad de combinar el modelado asistido por

computadora (CAD), el análisis por elementos finitos (FEA) y las metodologías de control de calidad como Seis Sigma para validar el desempeño de prototipos antes de su implementación. Asimismo, el método REBA (Rapid Entire Body Assessment) ha sido ampliamente utilizado para evaluar la carga postural en tareas que implican el uso de equipos de acceso en altura, constituyendo un instrumento válido para comparar el desempeño ergonómico entre equipos convencionales y propuestos. En función de la frecuencia de uso en los proyectos de reconstrucción, se ha seleccionado la escalera como objeto prioritario de intervención técnica por encima de otros equipos de acceso como los andamios, cuya instalación implica mayor complejidad logística y estructural.

En este contexto, la presente investigación plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo afecta el diseño y construcción de una escalera de seguridad industrial manual de peldaños planos en la reducción de la fatiga física y la mejora de la seguridad laboral en el sector de la construcción dentro de la Fundación EcoSur - Ecuador? Como respuesta tentativa, se formula la hipótesis alternativa de que el uso de la escalera propuesta reduce significativamente la fatiga física de los trabajadores del Departamento de Reconstrucción de Vivienda en comparación con una escalera convencional. Para verificar esta hipótesis, se definen los siguientes objetivos específicos: (i) diseñar la escalera mediante software CAD para la determinación de los parámetros geométricos más adecuados; (ii) construir el prototipo con base en el diseño CAD y en una simulación tensodeformacional; y (iii) validar la escalera mediante un análisis estadístico multivariado y un control de calidad 6 Sigma, con la posterior elaboración de un manual técnico de uso y mantenimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

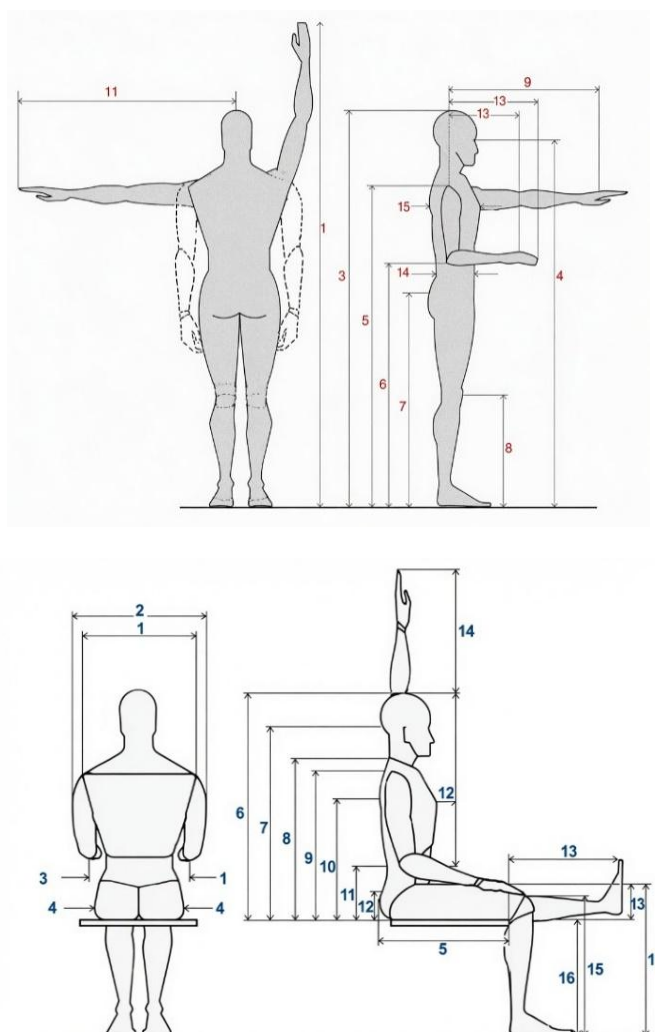
El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo de tipo experimental, con diseño controlado y aleatorizado, orientado a evaluar el efecto de una escalera de seguridad industrial manual de peldaños planos en la reducción de fatiga física (1). Se trató de un ensayo prospectivo con grupo control (escalera convencional de peldaños circulares) y grupo experimental (escalera propuesta), siguiendo un esquema de medidas repetidas en el mismo sujeto (2). El nivel de investigación fue explicativo, con modalidad deductiva (3).

La población estuvo constituida por los 10 trabajadores del Departamento de Reconstrucción de Vivienda de la Fundación EcoSur - Ecuador, sede Riobamba (edad media 40.6 años, masa media 66.6 kg) (4). Se utilizó muestreo censal (N=10), con asignación aleatoria del orden de uso de las escaleras. El estudio se desarrolló en el contexto real de obra en la parroquia El Altar y zonas aledañas, provincia de Chimborazo, Ecuador, en condiciones socioeconómicas de sectores vulnerables y altitudes aproximadas de 2488 msnm (5).

Las intervenciones consistieron en el uso estandarizado de ambas escaleras durante 15 minutos por sesión, replicando actividades reales de reconstrucción (4). La escalera propuesta se diseñó en AutoCAD versión demo 2026 con peldaños planos de 0.150 m de ancho × 0.400 m de largo (aluminio 6063-T5), separación de 0.280 m y ángulo de inclinación de 75.5°. Su construcción siguió

la norma EN 131 y ANSI A14.2 (6,7). Se realizó análisis de elementos finitos en Autodesk Inventor versión demo 2026 para validar esfuerzos Von Mises, desplazamiento y factor de seguridad.

Se midieron variables antropométricas (Figura 1) (8) y pruebas fisiológicas: salto vertical, ritmo cardíaco, presión sistólica y sentadilla estática.



**Figura 1. Medidas antropométricas.**

**Fuente: (8).**

Cada prueba se realizó durante 60 días en un lapso de 6 meses. Se aplicó metodología REBA para evaluación ergonómica (8) y Control Estadístico de Calidad 6 Sigma (9) cuyo punto de partida se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Criterios de calidad de la escalera propuesta.**

| Ítem | Criterio de calidad            | Calificación |
|------|--------------------------------|--------------|
| 1    | Material de Construcción       | 9.3          |
| 2    | Distancia entre Peldaños       | 9.1          |
| 3    | Forma y superficie del peldaño | 9.2          |
| 4    | Capacidad de carga             | 9.2          |
| 5    | Ángulo de inclinación          | 9.3          |
| 6    | Largueros                      | 9.3          |
| 7    | Confort ergonómico             | 9.4          |
| 8    | Anclaje                        | 9.5          |
| 9    | Estado                         | 9.5          |
| 10   | Certificación                  | 9.6          |

El análisis estadístico se efectuó en Wolfram Mathematica versión 14.3 (10). Se verificó normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Para datos normales se utilizó prueba T de Student; para no normales, Wilcoxon. El análisis 6 Sigma incluyó Cp, Cpk, DPMO y nivel sigma según las Ecuaciones 1-7 (11, 12). Todos los procedimientos siguieron principios normativos establecidos en el Decreto Ejecutivo 255 y la ISO 45001 (13,14).

$$Cp = \frac{ES - EI}{6\sigma} \quad (1)$$

$$Cpi = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \quad (2)$$

$$Cps = \frac{ES - \mu}{3\sigma} \quad (3)$$

$$Cpk = \text{Mínimo} \left[ \frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right] \quad (4)$$

$$PPM = \exp \left[ \frac{29.37 - (Z - 0.8406)^2}{2.221} \right] \quad (5)$$

$$\text{sigmalevel} = 3(C_{pk}) + 1.5 \quad (6)$$

$$Z = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \times \ln(PPM)} \quad (7)$$

Donde  $C_p$  es la capacidad del proceso,  $C_{pi}$  la capacidad inferior,  $C_{ps}$  la capacidad superior,  $C_{pk}$  la capacidad real,  $ES$  la especificación superior,  $EI$  la especificación inferior,  $\mu$  la media del proceso,  $\sigma$  la desviación estándar,  $PPM$  las partes por millón fuera de especificación y  $Z$ ,  $\text{sigmalevel}$  son el nivel de sigma.

## RESULTADOS

En la población estudiada, conformada por 10 trabajadores, con una edad media de 40.6 años y masa corporal media de 66.6 kg, la escalera propuesta mostró mejoras consistentes y estadísticamente significativas en todos los indicadores de fatiga física respecto a la escalera convencional de peldaños circulares.

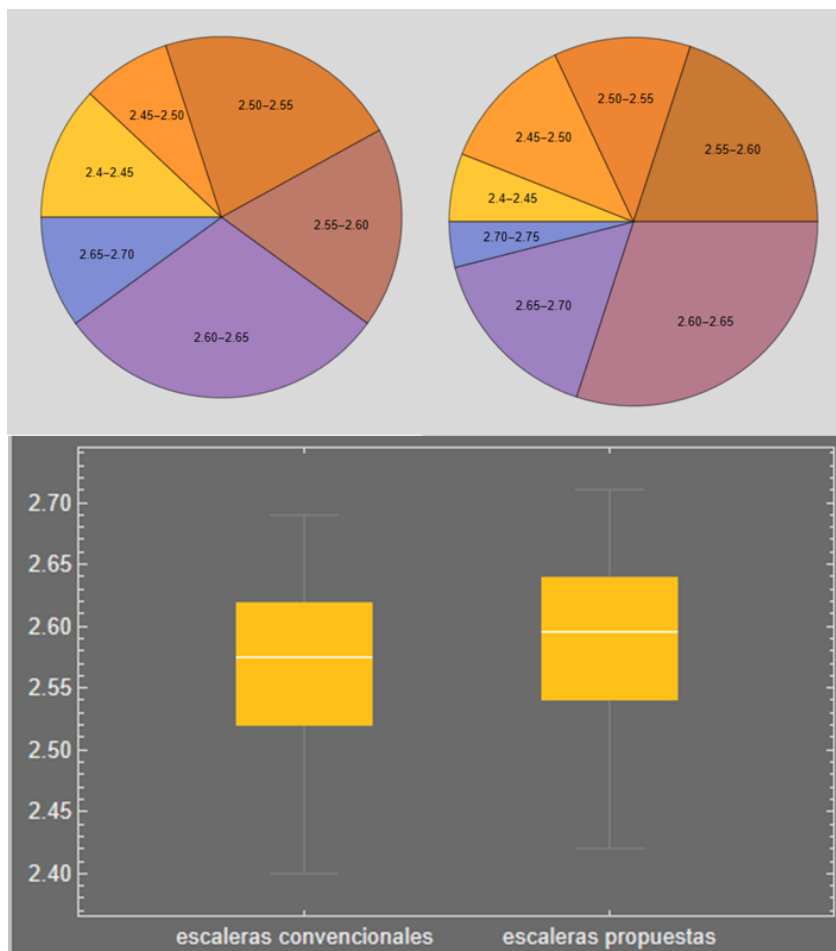
En el ensayo de salto vertical (Tabla 2, 3, Figura 2), la mediana del alcance aumentó de 2.575 m con la escalera convencional a 2.595 m con la escalera propuesta, representando una diferencia de 0.020 m. Esta mejora indica una mayor preservación de la potencia muscular en las extremidades inferiores. La prueba T de Student rechazó la hipótesis nula ( $p=0.0338$ ), confirmando que la diferencia observada no se debe al azar.

**Tabla 2. Conteo valores salto vertical escalera convencional.**

| Rango     | Conteo |
|-----------|--------|
| 2.40-2.45 | 12     |
| 2.45-2.50 | 8      |
| 2.50-2.55 | 22     |
| 2.55-2.60 | 18     |
| 2.60-2.65 | 30     |
| 2.65-2.70 | 10     |

**Tabla 3. Conteo valores salto vertical escalera propuesta.**

| Rango     | Conteo |
|-----------|--------|
| 2.40-2.45 | 6      |
| 2.45-2.50 | 12     |
| 2.50-2.55 | 12     |
| 2.55-2.60 | 20     |
| 2.60-2.65 | 30     |
| 2.65-2.70 | 16     |
| 2.70-2.75 | 4      |



**Figura 2. Diagramas del ensayo salto vertical.**

**Nota:** Los paneles superiores presentan diagramas de pastel para la escalera convencional (izquierda) y la propuesta (derecha). El panel inferior muestra la comparativa mediante diagramas de caja para ambas condiciones.

Respecto al ritmo cardíaco (Tabla 4, 5, Figura 3), la mediana disminuyó de 83 a 80 lpm (diferencia de 3.4 lpm). Este resultado refleja una menor demanda cardiovascular durante el uso de la escalera de peldaños planos. La prueba Wilcoxon arrojó un p-valor de  $4.31 \times 10^{-20}$ , altamente significativo.

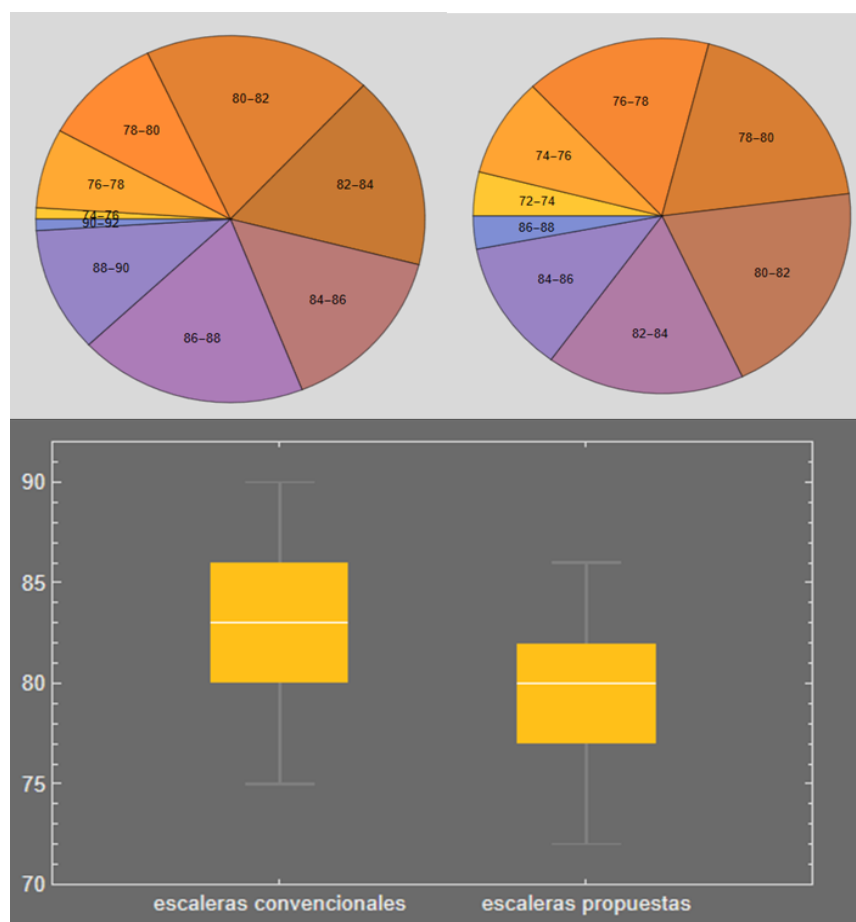
**Tabla 4. Conteo valores ritmo cardíaco escalera convencional.**

| Rango | Conteo |
|-------|--------|
| 74-76 | 1      |
| 76-78 | 7      |
| 78-80 | 10     |
| 80-82 | 19     |
| 82-84 | 17     |
| 84-86 | 15     |

|       |    |
|-------|----|
| 86-88 | 19 |
| 88-90 | 11 |
| 90-92 | 1  |

**Tabla 5. Conteo valores ritmo cardíaco escalera propuesta.**

| Rango | Conteo |
|-------|--------|
| 72-74 | 4      |
| 74-76 | 9      |
| 76-78 | 16     |
| 78-80 | 19     |
| 80-82 | 20     |
| 82-84 | 17     |
| 84-86 | 12     |
| 86-88 | 3      |



**Figura 3. Diagramas del ensayo ritmo cardíaco.**

**Nota:** Los paneles superiores presentan diagramas de pastel para la escalera convencional (izquierda) y la propuesta (derecha). El panel inferior muestra la comparativa mediante diagramas de caja para ambas condiciones.

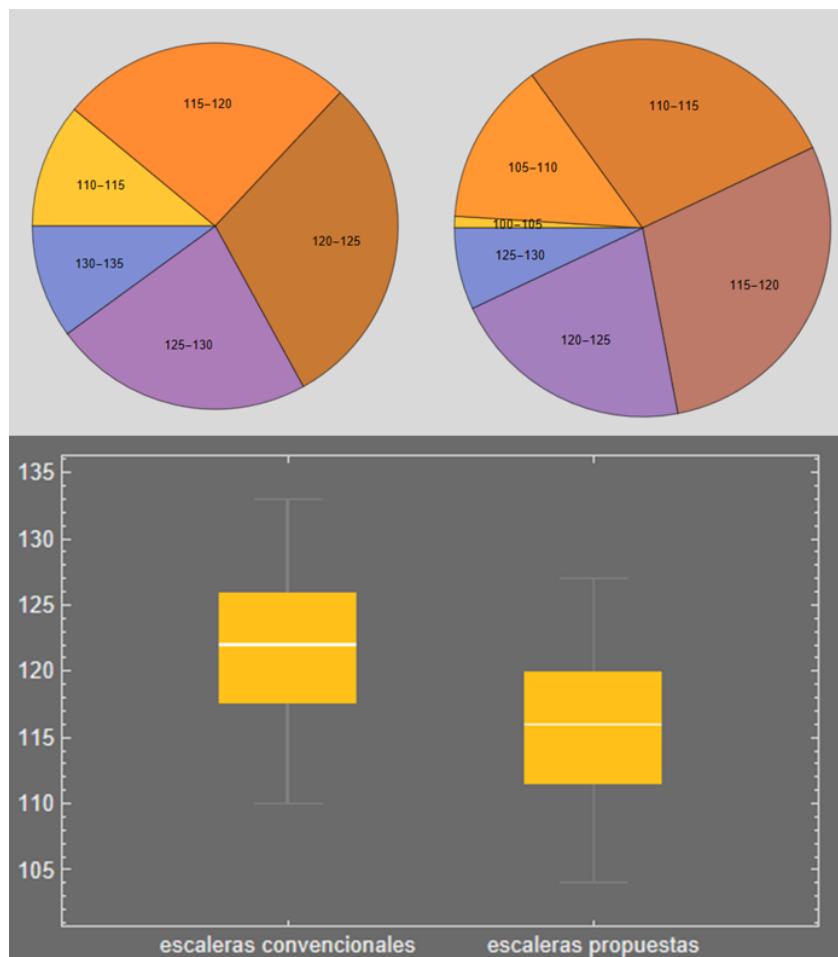
En el ensayo de presión sistólica (Tabla 6, 7, Figura 4), la mediana bajó de 122 a 116 mmHg (diferencia de 6.02 mmHg). Esta reducción sugiere una menor sobrecarga hemodinámica asociada al esfuerzo físico. La prueba T de Student mostró un p-valor de  $6.45 \times 10^{-13}$ , confirmando la diferencia estadísticamente significativa.

**Tabla 6. Conteo valores presión escalera convencional.**

| Rango   | Conteo |
|---------|--------|
| 110-115 | 11     |
| 115-120 | 26     |
| 120-125 | 30     |
| 125-130 | 23     |
| 130-135 | 10     |

**Tabla 7. Conteo valores presión escalera propuesta.**

| Rango   | Conteo |
|---------|--------|
| 100-105 | 1      |
| 105-110 | 14     |
| 110-115 | 28     |
| 115-120 | 29     |
| 120-125 | 21     |
| 125-130 | 7      |



**Figura 4. Diagramas del ensayo presión sistólica.**

**Nota:** Los paneles superiores presentan diagramas de pastel para la escalera convencional (izquierda) y la propuesta (derecha). El panel inferior muestra la comparativa mediante diagramas de caja para ambas condiciones.

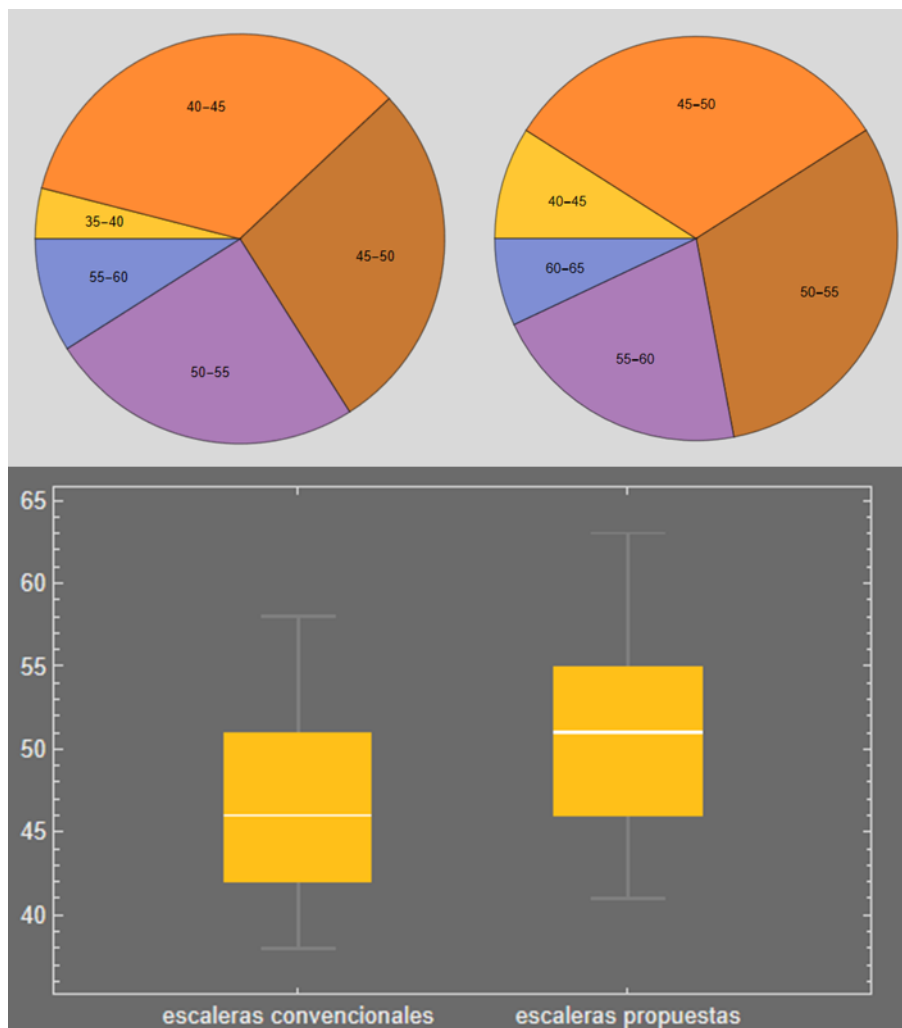
En la prueba de sentadilla estática (Tabla 8, 9, Figura 5), la mediana del tiempo de resistencia aumentó de 46 a 51 segundos (diferencia de 4.01 s). Este hallazgo evidencia una mejor preservación de la fuerza y resistencia muscular del tren inferior tras el uso de la escalera propuesta. La prueba Wilcoxon presentó un p-valor de 0.0 rechazando claramente la hipótesis nula.

**Tabla 8. Conteo valores sentadilla escalera convencional.**

| Rango | Conteo |
|-------|--------|
| 35-40 | 4      |
| 40-45 | 34     |
| 45-50 | 28     |
| 50-55 | 25     |
| 55-60 | 9      |

**Tabla 9. Conteo valores sentadilla escalera propuesta.**

| Rango | Conteo |
|-------|--------|
| 40-45 | 9      |
| 45-50 | 32     |
| 50-55 | 31     |
| 55-60 | 21     |
| 60-65 | 7      |



**Figura 5. Diagramas del ensayo sentadilla estática.**

**Nota:** Los paneles superiores presentan diagramas de pastel para la escalera convencional (izquierda) y la propuesta (derecha). El panel inferior muestra la comparativa mediante diagramas de caja para ambas condiciones.

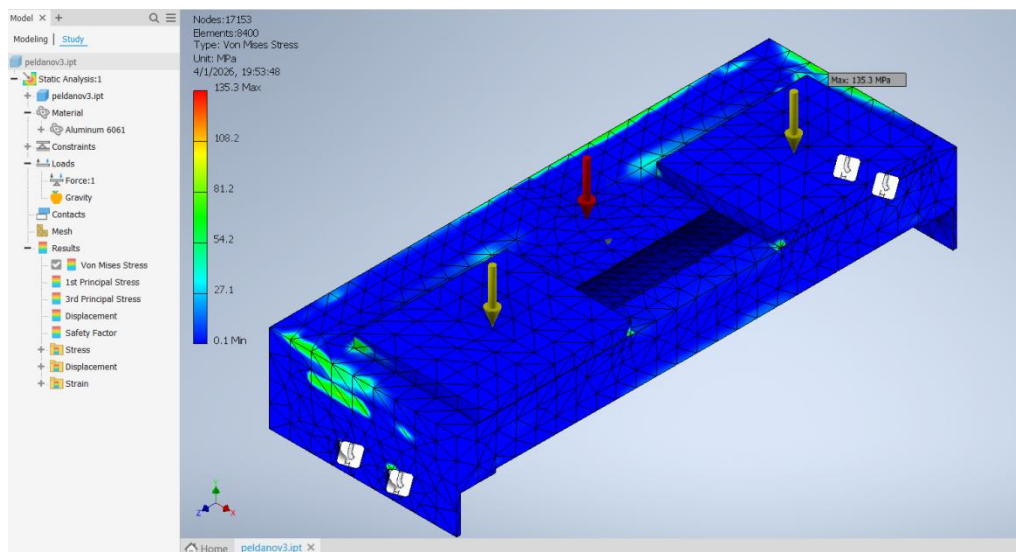
El análisis 6 Sigma realizado sobre diez criterios de calidad de la escalera propuesta (Tabla 1) arrojó una media de 9.34, con un índice de capacidad real (Cpk) de 1.39, defectos por millón de oportunidades (DPMO) de 14.3 y un nivel sigma de 5.68 (Tabla 10). Estos valores indican un excelente nivel de calidad y reproducibilidad del diseño. El análisis mostró una variación del 5.27% con respecto a la calidad 6 sigma.

**Tabla 10 . Estadística base del análisis 6 sigma.**

| Estadístico    | Significado              | Valor  |
|----------------|--------------------------|--------|
| n              | número de datos          | 10.0   |
| LSL            | límite inferior          | 7.00   |
| USL            | límite superior          | 10.0   |
| T (nominal)    | valor ideal              | 8.50   |
| x              | media                    | 9.34   |
| s <sup>2</sup> | varianza                 | 0.0249 |
| s              | desviación estándar      | 0.15   |
| cv             | coeficiente de variación | 1.69%  |
| Cp             | capacidad potencial      | 3.17   |
| Cpu            | capacidad superior       | 1.39   |
| Cpl            | capacidad inferior       | 4.94   |
| Cpk            | capacidad real           | 1.39   |
| Cpm            | índice Taguchi           | 0.585  |
| DPMO           | defectos por millón      | 14.3   |
| Z              | Nivel de sigma           | 5.68   |

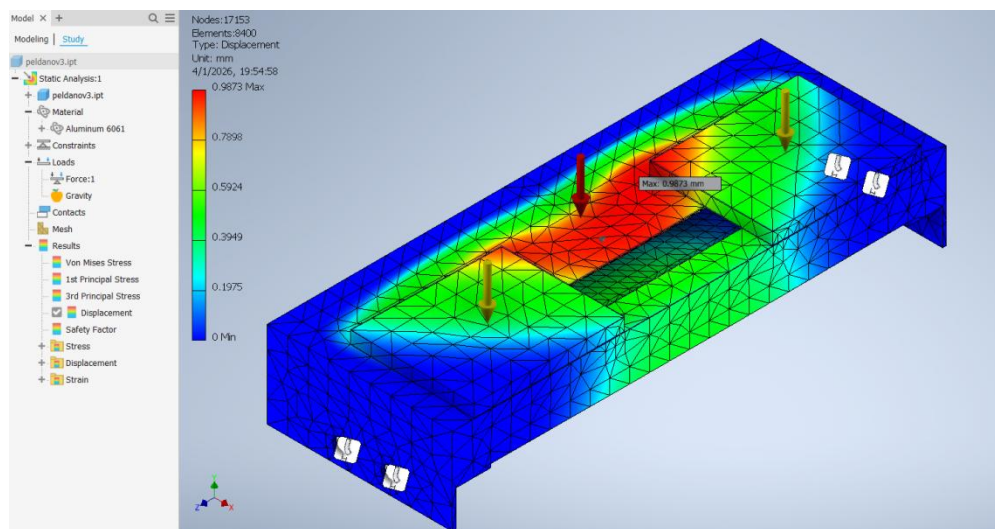
**Fuente: (10).**

El análisis de elementos finitos validó la seguridad estructural del prototipo. Para el peldaño individual se obtuvo un esfuerzo Von Mises máximo de 135.3 MPa, un desplazamiento máximo de 0.98 mm y un factor de seguridad de 2.03 (Figuras 6, 7, 8) (15). En el ensamble completo de la escalera, los valores fueron: esfuerzo Von Mises máximo de 35.98 MPa, desplazamiento máximo de 0.621 mm y factor de seguridad mínimo de 7.64 (Figuras 9, 10, 11) (15). Ambos superan ampliamente los requisitos normativos.



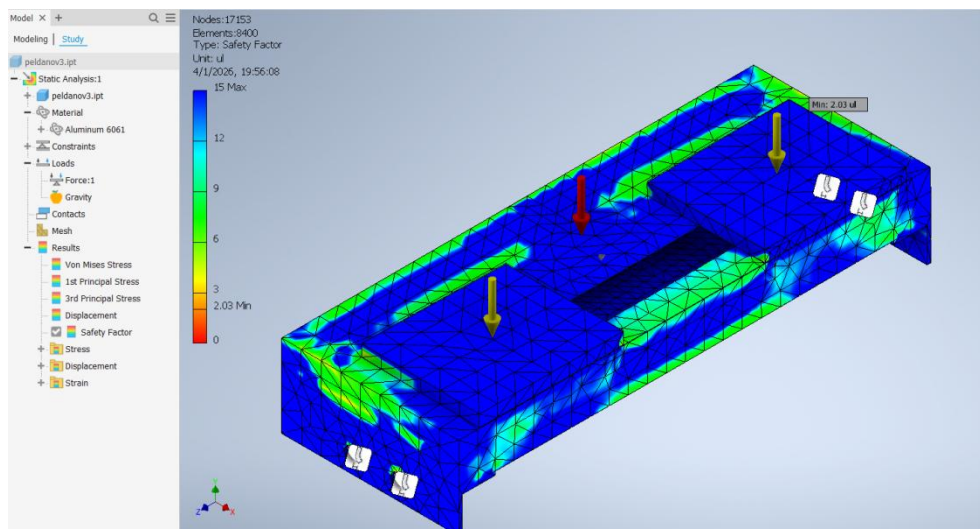
**Figura 6. Resultado esfuerzo Von Mises en peldaño (máximo: 135.3 MPa).**

**Fuente: (15).**



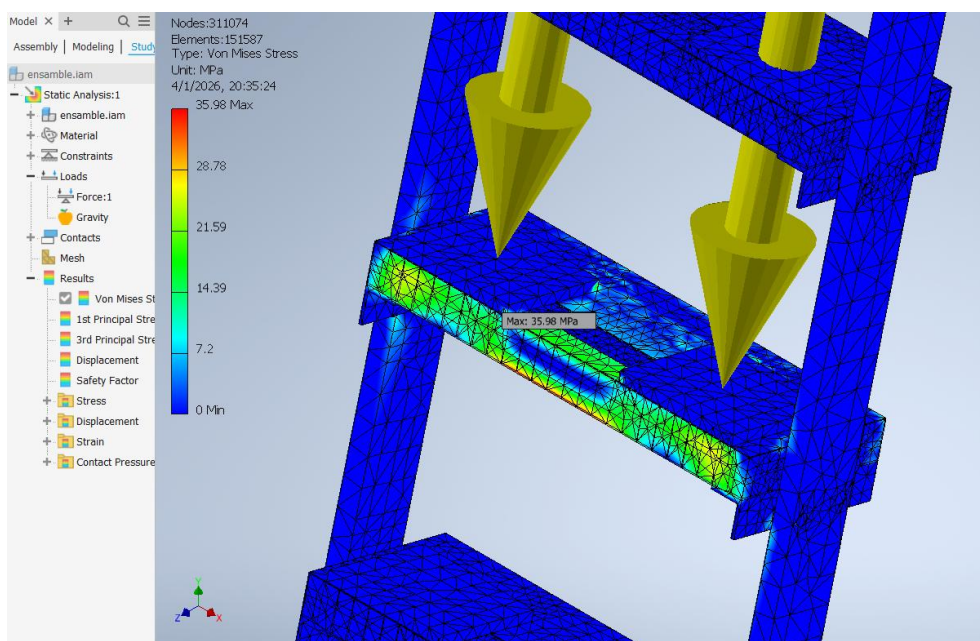
**Figura 7. Resultado desplazamiento en peldaño (máximo: 0.98 mm).**

**Fuente: (15).**



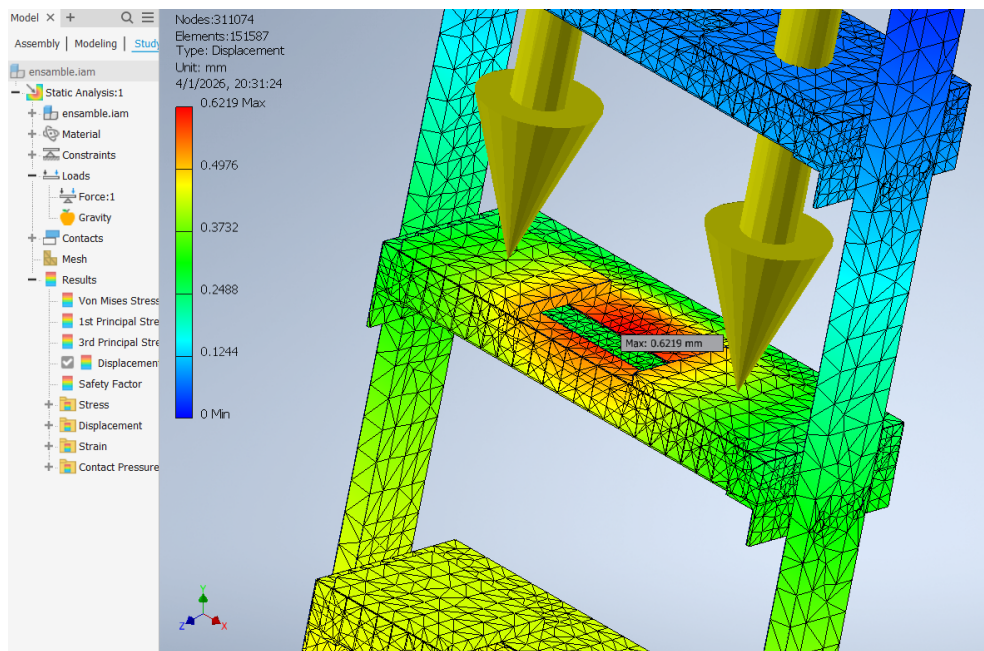
**Figura 8. Resultado factor de seguridad en peldaño (2.03).**

**Fuente: (15).**



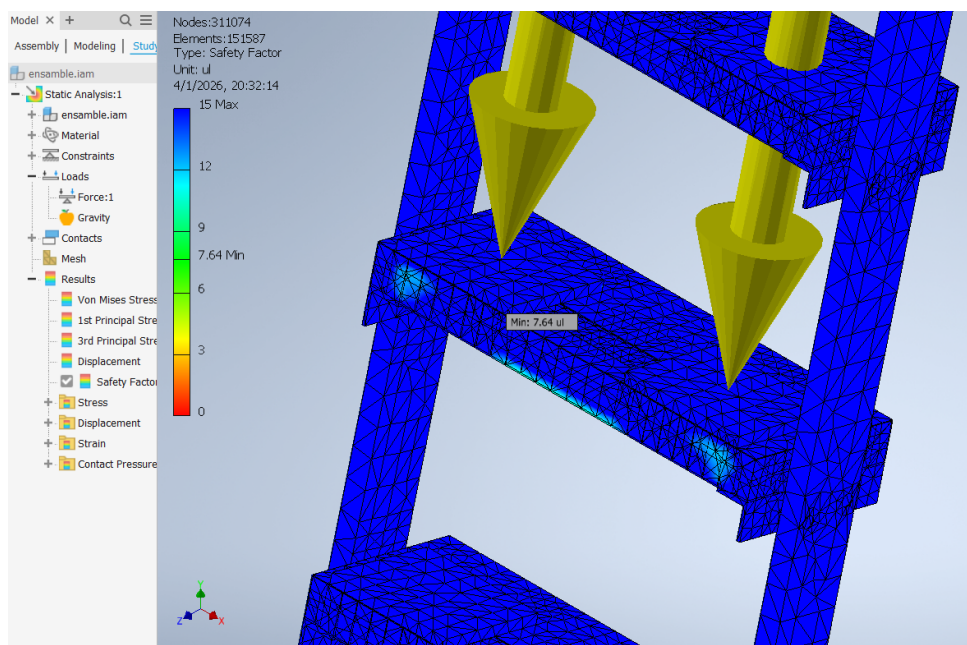
**Figura 9. Resultado esfuerzo Von Mises en escalera – acercamiento al peldaño (máximo: 35.98 MPa).**

**Fuente: (15).**



**Figura 10. Resultado desplazamiento en escalera (máximo: 0.621 mm).**

**Fuente: (15).**



**Figura 11. Resultado factor de seguridad en escalera (mínimo: 7.64)**

**Fuente: (15).**

La geometría detallada de la escalera propuesta se presenta en las Tablas 11 y 12, con peldaños de 0.150 m de ancho y longitud de 0.400 m.

**Tabla 11 . Geometría de la escalera propuesta en base a una altura máxima de estructura (y) de 2.93 m.**

| Elemento Geométrico                                                            | Valor  |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Distancia al soporte superior (x)                                              | 3.02 m |
| Espacio de separación con respecto a la estructura (x/4)                       | 0.76 m |
| Ángulo de inclinación de la escalera con respecto a la horizontal ( $\alpha$ ) | 75.50° |
| Longitud total de escalera (considerando un excedente de 3 pies o 0.91 m)      | 3.94 m |

**Tabla 12 . Geometría de la escalera propuesta.**

| Elemento Geométrico                          | Peldaño Normal | Peldaño Pequeño |
|----------------------------------------------|----------------|-----------------|
|                                              | Valor          | Valor           |
| Ancho de peldaño                             | 0.150 m        | 0.0750 m        |
| Largo de peldaño (distancia entre largueros) | 0.400 m        |                 |
| Ancho de solapa                              | 0.0380 m       |                 |
| Espacio entre peldaños                       | 0.2800 m       |                 |
| Ancho de larguero                            | 0.0600 m       |                 |

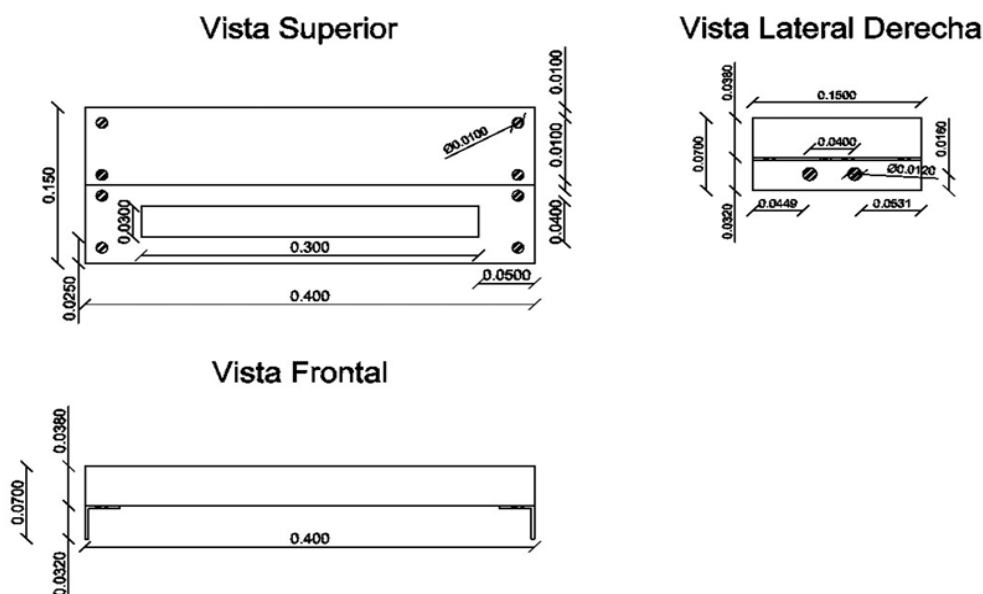
La literatura especializada respalda los parámetros de diseño adoptados en la escalera propuesta. La adopción de separación entre peldaños, respecto a los estándares ANSI de 35 cm y EN 131 de 28 cm, disminuye significativamente la frecuencia cardíaca media durante el ascenso y mejora la estancia del trabajador, siendo el espaciado de 28 cm adoptado en la escalera propuesta consistente con estas recomendaciones (16). El aluminio 6063-T5 presenta propiedades mecánicas predecibles y una rigidez adecuada para estructuras de carga moderada, lo que valida su selección para la construcción de peldaños y largueros de escaleras industriales (17). Los factores de seguridad obtenidos mediante análisis de elementos finitos son representativos del comportamiento real de secciones huecas de aluminio 6063-T5 bajo carga estática, aspecto directamente aplicable a la validación estructural del peldaño propuesto (18). El método REBA fue diseñado para evaluar el riesgo musculo esquelético en tareas con posturas impredecibles como las actividades en altura sobre escaleras, estableciendo que puntuaciones inferiores a 4 indican riesgo bajo sin necesidad de intervención inmediata (19). Un valor de Cpk superior a 1.33 garantiza un nivel aceptable de procesos, umbral que la escalera propuesta supera con un Cpk de 1.39, confirmando la seguridad de su uso (20). El cálculo de DPMO y del nivel sigma constituye una metodología estándar internacionalmente reconocida para la evaluación de la calidad en el

diseño de prototipos de ingeniería, siendo el nivel sigma 5.68 obtenido indicativo de un desempeño superior al de la mayoría de procesos industriales convencionales (21).

Finalmente, se entregó el prototipo de escalera a la Fundación EcoSur - Ecuador, el manual técnico de uso y el plano del peldaño de la escalera (Figura 12,13).



**Figura 12. Entrega de la escalera propuesta y socialización del manual de uso.**



**Figura 13. Plano de peldaño de la escalera propuesta.**

**Fuente: (22).**

## DISCUSIÓN

Los resultados del salto vertical indican menor fatiga muscular en extremidades inferiores con la escalera de peldaños planos. La diferencia de 0.020 m es clínicamente relevante para tareas repetitivas en construcción.

La reducción del ritmo cardíaco (3.4 lpm) sugiere menor demanda cardiovascular en controles de seguridad en escaleras. Este hallazgo fortalece la hipótesis ergonómica del diseño plano.

La disminución de 6.02 mmHg en presión sistólica en las escaleras propuestas reduce riesgo hemodinámico en trabajadores de edad avanzada.

El aumento de 4.01 s en sentadilla estática confirma mejor preservación de fuerza muscular. La novedad radica en la implementación de peldaños planos, análisis 6 Sigma y elementos finitos. Mediante el estudio se incrementa la seguridad y la protección de riesgos laborales de los trabajadores de la Fundación EcoSur - Ecuador.

El nivel sigma 5.68 se encuentra dentro de los estándares de calidad industrial y valida la reproducibilidad del diseño. Los factores de seguridad (2.03 y 7.64) exceden los requisitos de la normativa EN 131.

En síntesis, todos los resultados obtenidos apoyan el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alternativa en los cuatro ensayos fisiológicos realizados, demostrando la superioridad ergonómica y funcional de la escalera de peldaños planos.

## CONCLUSIONES

La escalera de seguridad industrial manual de peldaños planos diseñada y construida redujo significativamente la fatiga física de los trabajadores del Departamento de Reconstrucción de Vivienda de la Fundación EcoSur - Ecuador, evidenciado por mejoras estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) en salto vertical (+0.020 m), ritmo cardíaco (-3.4 lpm), presión sistólica (-6.02 mmHg) y sentadilla estática (+4.01 s), cumpliendo el objetivo general.

El diseño geométrico (AutoCAD versión demo 2026), validación estructural (Inventor versión demo 2026) y control de calidad 6 Sigma (Wolfram Mathematica versión 14.3) produjeron un prototipo seguro (factor de seguridad  $> 2$ ) y ergonómico, superior a escaleras convencionales, cumpliendo normas EN 131, ANSI y OSHA (4, 6, 7).

La implementación del prototipo y manual técnico representa una contribución práctica a la prevención de riesgos laborales en construcción social en Ecuador, mejorando bienestar, productividad y seguridad.

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a la Fundación EcoSur - Ecuador, institución que respaldó de manera integral el desarrollo de esta investigación. Su contribución abarcó tanto el acompañamiento continuo durante el proceso de elaboración de la tesis como el financiamiento total de los costos derivados del mismo. Este apoyo, económico y humano a la vez, fue determinante para la culminación exitosa del presente trabajo y constituye un testimonio del compromiso de la Fundación con el desarrollo profesional y el bienestar de quienes forman parte de ella.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Batista E. Escaleras portátiles dieléctricas extensibles, requisitos de diseño y seguridad durante su uso. 2022.
2. Ramos-Galarza C. Diseños de investigación experimental. CienciAmérica [Internet]. 2021 [citado 2025]; 10(1):1-7. ISSN: 1390-9592. Disponible en: <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/356>. DOI: 10.33210/ca.v10i1.356
3. Cejas Martínez MF, Liccioni EJ, Aldaz Hernández SM, Murillo Naranjo M, Venegas Álvarez G. Enfoque cuantitativo y cualitativo: Una mirada de los métodos mixtos. Barinas: Fundación Editorial de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (FEDUEZ); 2023.
4. Mondelo PR, Gregori E, Barrau P. Ergonomía 1: Fundamentos. 3a ed. Barcelona: Edicions UPC; 1999. ISBN: 84-8301-315-0
5. GADM del Cantón Penipe. Información General del Cantón Penipe [Internet]. Penipe; 2026 [citado 2026]. Disponible en: <https://www.penipe.gob.ec>
6. Comité Europeo de Normalización (CEN). EN 131-1: Escaleras – Parte 1: Terminología, tipos y dimensiones funcionales. Bruselas: CEN; 2015.
7. American National Standards Institute (ANSI). ANSI A14.2: American National Standard for Ladders - Portable Metal - Safety Requirements. Nueva York: ANSI; 2017.
8. Hignett S, McAtamney L. Rapid Entire Body Assessment (REBA). Appl Ergon. 2000; 31(2):201-5. ISSN: 0003-6870. DOI: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3
9. Allen TT. Introduction to engineering statistics and six sigma. Londres: Springer; 2006. ISBN: 978-1-85233-955-5. DOI: 10.1007/1-84628-200-4
10. Wolfram Research, Inc. Mathematica, Version 14.3 [software]. Champaign, IL: Wolfram Research; 2025.
11. Gutiérrez Pulido H, de la Vara Salazar R. Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. 3a ed. México: McGraw-Hill Interamericana; 2013. ISBN: 978-607-15-0929-1
12. Park SH. Six Sigma for quality and productivity promotion. Tokio: Asian Productivity Organization; 2003. ISBN: 92-833-1722-X
13. Noboa D. Decreto Ejecutivo N.º 255: Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo del Ecuador. Quito: Presidencia de la República del Ecuador; 2024.

14. Organización Internacional de Normalización (ISO). ISO 45001:2018: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo – Requisitos con orientación para su uso. Ginebra: ISO; 2018.
15. Autodesk, Inc. Autodesk Inventor, Version 2026 [software]. San Francisco, CA: Autodesk; 2025.
16. Duraj V, Fathallah F. Ergonomic Evaluation of Orchard Ladders with Shorter Rung Spacing. Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet. 2020; 64(1):1077-81. ISSN: 1071-1813. DOI: 10.1177/1071181320641218
17. Ho M, Lee P, Ye C, Lin C, Huang C. Experiment and finite element analysis study on the deflection of aluminum extruded 6063-T5 hollow structural beam. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2020; 711(1):012075. ISSN: 1757-899X. DOI: 10.1088/1757-899X/711/1/012075
18. Gardner L, Ashraf M. Structural design for non-linear metallic materials. Eng Struct. 2006; 28(6):926-34. ISSN: 0141-0296. DOI: 10.1016/j.engstruct.2005.11.001
19. Hignett S, McAtamney L. Rapid Entire Body Assessment (REBA). Appl Ergon. 2000; 31(2):201-5. ISSN: 0003-6870. DOI: 10.1016/S0003-6870(99)00039-3
20. Bhargava M, Gaur S. Process improvement using Six-Sigma (DMAIC process) in bearing manufacturing industry: A case study. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2021; 1017(1):012034. ISSN: 1757-899X. DOI: 10.1088/1757-899X/1017/1/012034
21. Allen TT. Introduction to engineering statistics and six sigma. Londres: Springer; 2006. ISBN: 978-1-85233-955-5. DOI: 10.1007/1-84628-200-4
22. Autodesk, Inc. AutoCAD, Version 2026 [software]. San Francisco, CA: Autodesk; 2025.