



Estudio de puntos ciegos en cabinas bajo la norma ISO - 5006 - 2017 para máquinas excavadoras

Study of blind spots in cabins under the ISO - 5006 - 2017 standard for excavator machines

Estudo de pontos cegos em cabinas sob a norma ISO - 5006 - 2017 para máquinas escavadeiras

Juan Carlos Rubio-Terán ^I

jrubio@uide.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5815-0154>

Kevin Stalin Pérez-Solís ^{II}

keperezso@uide.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-2577-3857>

Ángel Enrique Yuquilema-Ávila ^{III}

anyuquilema@uide.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-0377-8904>

Correspondencia: jrubio@uide.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 19 de enero de 2024 * **Aceptado:** 20 de febrero de 2024 * **Publicado:** 27 de marzo de 2024

- I. Ingeniero Automotriz, Docente Investigador, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- II. Estudiante, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
- III. Estudiante, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

Resumen

El objetivo principal de este estudio fue llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre la visibilidad en excavadoras, centrándose particularmente en la evaluación de los puntos ciegos definidos por la norma ISO 5006:2017. El mejorar el entendimiento y la capacitación recurrente a todos los operarios acerca de esta normativa ayudará de una manera significativa a fortalecer la seguridad operativa y la eficiencia en la operación de excavadoras en el Ecuador. La investigación abordó la medición de puntos ciegos en excavadoras A, B y C, aplicando los lineamientos establecidos por la norma ISO 5006:2017. Se utilizó instrumentación específica que incluía una fuente de luz ajustable para simular la posición de los ojos del operador. La metodología incluyó la ubicación estándar de las excavadoras en condiciones de trabajo representativas. Los resultados revelaron variaciones significativas en los puntos ciegos entre las excavadoras y los sectores designados. Las áreas críticas se concentraron especialmente en los sectores B y C, lo que indica desafíos en la visibilidad lateral y trasera. La evaluación de puntos ciegos sugiere la necesidad de soluciones de diseño para mejorar la visibilidad en áreas identificadas como puntos ciegos. En la interpretación de los resultados se reconoció la variabilidad del terreno y las condiciones de iluminación.

Palabras clave: Excavadoras; Puntos ciegos; Visibilidad; Capacitación; Seguridad; Operarios.

Abstract

The main objective of this study was to carry out a comprehensive investigation on visibility in excavators, focusing particularly on the evaluation of blind spots defined by ISO 5006:2017. Improving the understanding and recurrent training of all operators about these regulations will significantly help strengthen operational safety and efficiency in the operation of excavators in Ecuador. The research addressed the measurement of blind spots in excavators A, B and C, applying the guidelines established by the ISO 5006:2017 standard. Specific instrumentation including an adjustable light source was used to simulate the operator's eye position. The methodology included the standard location of excavators in representative working conditions. The results revealed significant variations in blind spots between excavators and designated sectors. Critical areas were especially concentrated in sectors B and C, indicating challenges in side and rear visibility. Blind spot assessment suggests the need for design solutions to improve

visibility in areas identified as blind spots. In the interpretation of the results, the variability of the terrain and lighting conditions was recognized.

Keywords: Excavators; Blind spots; Visibility; Training; Security; Operators.

Resumo

O principal objetivo deste estudo foi realizar uma investigação abrangente sobre visibilidade em escavadeiras, focando particularmente na avaliação dos pontos cegos definidos pela ISO 5006:2017. Melhorar a compreensão e o treinamento recorrente de todos os operadores sobre essas regulamentações ajudará significativamente a fortalecer a segurança operacional e a eficiência na operação de escavadeiras no Equador. A pesquisa abordou a medição de pontos cegos nas escavadeiras A, B e C, aplicando as diretrizes estabelecidas pela norma ISO 5006:2017. Instrumentação específica, incluindo uma fonte de luz ajustável, foi usada para simular a posição dos olhos do operador. A metodologia incluiu a localização padrão das escavadeiras em condições de trabalho representativas. Os resultados revelaram variações significativas nos pontos cegos entre escavadeiras e setores designados. As áreas críticas concentraram-se especialmente nos setores B e C, indicando desafios na visibilidade lateral e traseira. A avaliação dos pontos cegos sugere a necessidade de soluções de design para melhorar a visibilidade em áreas identificadas como pontos cegos. Na interpretação dos resultados foi reconhecida a variabilidade das condições de terreno e iluminação.

Palavras-chave: Escavadeiras; Pontos cegos; Visibilidade; Treinamento; Segurança; Operadores.

Introducción

Al referirnos a la operación de maquinaria pesada, la seguridad del operador y de quienes lo rodean es de máxima prioridad. Las excavadoras, siendo herramientas muy importantes en la construcción y proyectos de ingeniería, requieren atención en varios temas tales como mantenimientos, repuestos, seguridad, etc. Ahora bien, en este estudio se enfocó en la visibilidad desde la cabina, por lo que tomó como referencia la norma ISO 5006:2017 la misma que establece los lineamientos y las métricas para evaluar la visibilidad del operador, centrándose particularmente en los puntos ciegos alrededor de la máquina, la misma también contribuye a la mejora continua de la seguridad en la operación de maquinaria pesada. La visibilidad efectiva desde la cabina no solo es esencial para la seguridad, sino que también incide directamente en la eficiencia operativa ya que de esto

depende incluso ahorrar tiempo y dinero al momento de estar realizando un trabajo. Los puntos ciegos o también conocidos como áreas fuera del campo visual directo del operador, presentan desafíos significativos y pueden comprometer la seguridad tanto de la operación de excavadoras como de las personas que se encuentran alrededor de la máquina.

Este artículo se propone explorar y analizar en detalle la aplicación práctica de la norma ya mencionada anteriormente. La investigación se centrará en la correlación entre la visibilidad del operador y factores críticos como la masa de la excavadora, la altura de la cabina, la experiencia del operador y la posible integración de dispositivos de asistencia. El objetivo primordial es proporcionar una comprensión integral de cómo la norma puede ser implementada para mejorar la seguridad operativa y la eficiencia en la operación de excavadoras. Al seguir el protocolo de medición establecido por la norma ISO 5006:2017, buscamos cuantificar objetivamente estos puntos ciegos en las excavadoras A, B y C. Este enfoque nos permitirá evaluar de manera sistemática la visibilidad en condiciones específicas y garantizar que se cumplan los criterios de rendimiento definidos por la norma. La medición proporcionará datos concretos sobre las áreas que podrían representar un riesgo para la seguridad.

Marco teórico

La visibilidad al conducir es un factor crucial para la seguridad, esta depende de varios factores, como son: las condiciones de iluminación, las propiedades geométricas y fotométricas de los obstáculos, las condiciones de observación y el rendimiento visual del conductor (Zalesinska, 2015). El STRMTG ha desarrollado directrices para los diseñadores de tranvías para garantizar una visibilidad adecuada para los conductores, incluidas especificaciones para los campos de visión exterior e interior, controles y ventanas (Guesset, Labonnefon, & Marine B, 2015). La visibilidad atmosférica se puede estimar utilizando cámaras de carretera convencionales en función de la magnitud del gradiente y las condiciones de iluminación, lo que proporciona estimaciones precisas de la visibilidad para los conductores (Babari, Hautiere, Dumont, Papparoditis, & James, 2010). La iluminación vial está diseñada para mejorar la visibilidad de los conductores y otros usuarios de la vía, teniendo en cuenta factores como la luminancia objetivo, la luminancia de fondo y la luminancia de velo (Zalesińska, 2011). Se ha propuesto un método basado en cámaras para estimar la visibilidad de las señales de tráfico, considerando características tanto locales como globales en el campo de visión del conductor (Keisuke, 2014).

La visualización dentro del vehículo es importante por varias razones. Puede proporcionar información esencial tanto para conductores manuales como para vehículos automatizados, (Müller, 2022). las visualizaciones realistas pueden contribuir a la seguridad en la conducción al facilitar el reconocimiento del mundo exterior (Müller, 2022). La importancia de la visualización dentro del vehículo no solo radica en su papel informativo, sino también en su contribución fundamental a la seguridad vial y la percepción efectiva del entorno circundante por parte del conductor. En general, la visualización dentro del vehículo mejora la confianza y la comprensión de la información disponible, mejora la seguridad en la conducción, entre otros. Sin embargo, esta optimización de la visualización se ve desafiada por la existencia de puntos ciegos, áreas alrededor de la máquina que se escapan de la vista directa del operador desde la cabina. Estos puntos ciegos, se dan debido a la estructura y diseño de la excavadora, por lo que se generan zonas donde el operador no puede ver completamente y así se genera un riesgo significativo, ya que las áreas no visibles pueden albergar peligros potenciales e incluso devastadores.

Impacto de puntos ciegos en la seguridad

Es importante mencionar que la gestión de la seguridad implica la administración organizada de los riesgos para la salud y la seguridad mediante la implementación de: políticas, prácticas, procesos y tecnologías que se desarrollan específicamente para erradicar, prevenir o regular de manera eficiente los peligros en el lugar de trabajo. (Bayramova, 2023) entonces los accidentes laborales se clasifican como cualquier lesión que los empleados experimenten debido a su trabajo. A partir de 2003, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, que depende del Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social, ha empleado formularios basados en la web para recopilar datos sobre todos los incidentes que provocan la ausencia de uno o más días hábiles. (Baraza, 2023) Los puntos ciegos en maquinaria representan una seria amenaza, siendo una causa importante de lesiones graves y fatalidades en entornos de operación. Para abordar este desafío, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos ha recopilado esquemas que detallan las áreas no visibles de más de veinte vehículos comúnmente utilizados en sitios de construcción.

En términos estadísticos relacionados con los puntos ciegos, diversos organismos de seguridad y salud ocupacional en Estados Unidos han revelado cifras impactantes: entre 2015 y 2017, se registraron 772 fallecimientos en zonas de construcción y mantenimiento (INEC, s.f.). La

construcción de carreteras, en particular, experimentó 1844 muertes, con un promedio de 13 decesos por año. El sector de la construcción emplea aproximadamente al 7% de la fuerza laboral mundial y proporciona aproximadamente el 6% a la economía mundial. Sin embargo, los datos estadísticos han demostrado que, a pesar de los numerosos intentos de intervención, la industria de la construcción sigue contribuyendo de manera sustancial a las muertes y lesiones en el lugar de trabajo. (Akinloluwa Babalola, 2023).

En el Ecuador el sector de la construcción lamentablemente se destaca por su alta tasa de accidentes, reflejando la complejidad y diversidad de las labores realizadas y de los operarios involucrados. Este ámbito, esencial pero muy vulnerable, demanda una revisión cuidadosa en las empresas constructoras para garantizar su eficiencia y seguridad (S. García, 2015). En el contexto ecuatoriano, las cifras del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social y del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos revelan una falta de informes específicos sobre la seguridad en micro y pequeñas empresas del sector de la construcción. Ante esta carencia, se propone una metodología de evaluación que permita a estas empresas tomar decisiones informadas (S. García, 2015).

Las estadísticas muestran que es especialmente propenso a accidentes graves y mortales, el trabajo en altura, que destaca como la actividad más peligrosa durante la construcción según datos del Boletín Estadístico del IESS (Andrade, 2010). En el análisis de los accidentes de trabajo, se destaca la atribución de culpa al acto inseguro en un 64.2%, según el IESS. Sin embargo, se subraya la necesidad de no culpar exclusivamente al trabajador, ya que varios estudios demuestran que existen múltiples causas para los accidentes (Andrade, 2010). La distribución de lesiones muestra que los miembros superiores (46.5%) y los miembros inferiores (27.6%) son las áreas más afectadas. Se menciona también que el caso de un geólogo fallecido durante la construcción del Metro de Quito ilustra la persistencia de riesgos y la importancia de cumplir rigurosamente con protocolos de seguridad (Diario “Metro Ecuador”, 2017).

En el contexto de nuestro estudio sobre puntos ciegos en cabinas de maquinaria bajo la norma ISO - 5006 - 2017 para excavadoras, se observa una correlación evidente entre la alta incidencia de accidentes en la construcción y la necesidad de abordar de manera integral la seguridad en equipos y operarios, considerando aspectos como la visibilidad del operador desde la cabina.

Tecnologías de detección y prevención

Además de emplear señalizadores humanos que se ponen en peligro al avisar a los operarios que dan marcha atrás con el equipo, existen varias tecnologías para evitar que los trabajadores a pie se acerquen demasiado al equipo en funcionamiento (Teizer, 2015). En función de consideraciones clave, se seleccionó la tecnología central del prototipo del sistema de guía de máquinas basado en visión como la tecnología AVM (Monitor de Visión Alrededor, por sus siglas en inglés) para las excavadoras. Esto incluye la tecnología de visualización de información de trabajo de excavadoras y la tecnología de corrección de imágenes basada en la inclinación de la excavadora.

Tecnología de visualización de información de trabajo de excavadoras

Esta tecnología propuesta para la visualización de información de trabajo de excavadoras también representa una mejora con respecto al sistema existente, que consistía en hardware costoso y mostraba el estado de trabajo en un entorno virtual. En lugar de mostrar la información en un entorno virtual, se presentó una versión de realidad aumentada (AR) de la información de trabajo en una imagen en tiempo real obtenida de la tecnología AVM para excavadoras en el sistema propuesto. Los resultados de entrevistas con los conductores de excavadoras se utilizaron para mostrar la información esencial para la operación de la excavadora, clasificada en tres categorías según su origen: la tecnología de visualización basada en AVM para el brazo, el brazo y el cubo; la tecnología de visualización basada en AVM para la separación de distancia del cubo al suelo; y la tecnología de visualización basada en AVM para el radio de rotación del cubo.

Tecnología de corrección de imágenes basada en la inclinación de la excavadora

La utilización de la tecnología de robótica y automatización (R&A) es imprescindible para el éxito de la empresa de construcción y presenta oportunidades para que la empresa constructora adquiera una ventaja competitiva. (Naskoudakisa, 2016).

El suelo de un sitio de construcción donde opera una excavadora, a diferencia de un pavimento, es altamente desigual. Por lo tanto, la excavadora no puede mantener una inclinación horizontal respecto al suelo. Dado que el AVM convierte la imagen adquirida a través de una cámara instalada en cuatro lados de la excavadora en una perspectiva desde arriba, la imagen AVM está altamente distorsionada. La tecnología de corrección de imágenes propuesta en este estudio aborda estas deficiencias corrigiendo la distorsión de la imagen AVM causada por la inclinación real de la

excavadora mediante la utilización de la información de inclinación de la excavadora. Esta tecnología propuesta ayuda a los conductores a reconocer con precisión el entorno de trabajo alrededor de la excavadora, mejorando así la seguridad y eficiencia de la excavación en general.

Cámaras CCTV

Las cámaras CCTV de las excavadoras se pueden utilizar para evitar puntos ciegos y aumentar la eficiencia operativa (Yeom, 2022). Estas cámaras proporcionan un alcance visual de 7m y tienen una frecuencia de actualización de imagen de 15fps (Pepe, 2018). Pueden ayudar a prevenir accidentes de seguridad al proporcionar información en tiempo real sobre los alrededores de la excavadora (Häne, 2017). Adicionalmente, se puede considerar el uso de cámaras de acción, que están diseñadas para trabajar en condiciones extremas, para documentar el estado de los sitios de excavación arqueológica (Le, 2019). Estas cámaras tienen lentes pequeñas y gran angular, lo que las hace adecuadas para capturar acciones deportivas y trabajar en entornos desafiantes (Klitzke, 2015). Además, los sistemas multicámara, como los sistemas multicámara envolvente con cámaras ojo de pez, se pueden utilizar para eliminar los puntos ciegos y proporcionar un campo de visión completo de 360 grados alrededor de la excavadora. Estos sistemas requieren una calibración precisa y tuberías de procesamiento para aprovechar múltiples cámaras y manejar la extracción de mapas de profundidad en tiempo real. (Zujovi, 2021).

Diseño ergonómico de la cabina

En la actualidad los diseños de cabinas para las excavadoras han desarrollado un mecanismo destinado a mejorar la visibilidad de las mismas, permitiendo a los operadores utilizarlas de manera más eficiente mediante cambios en la posición de la cabina, tanto vertical como horizontalmente. Este mecanismo emplea un polipasto de palanca y está compuesto por una base de soporte, dos mecanismos de tijera paralelos, una plataforma elevadora que sostiene la cabina modular y cilindros, siendo controlado por un panel remoto montado en la cabina. En el estudio de VG Khusainov menciona que utilizó un enfoque basado en el modelado tridimensional de objetos en sistemas de ingeniería asistidos por computadora, este enfoque, además de reducir tiempo y costos, mejoró la calidad de los resultados al llevar a cabo un modelado del sistema "entorno hombre

excavadora", implementando soluciones estructurales y tecnológicas según el criterio de visibilidad.

La visibilidad al operar una excavadora es esencial para la toma de decisiones informadas por parte del conductor. En condiciones operativas normales, la visualización adecuada no solo mejora la confianza y la comprensión de la información disponible, sino que también contribuye significativamente a la seguridad en la conducción. Un campo de visión claro y sin obstrucciones permite al operador analizar de manera eficiente datos importantes, lo que es crucial para la prevención de accidentes y la gestión segura de la maquinaria. Sin embargo, los puntos ciegos son áreas alrededor de la excavadora que no son visibles desde la cabina del operador debido a la estructura y diseño de la máquina. Estas áreas representan un riesgo ya que pueden albergar obstáculos no detectados, lo que aumenta el riesgo de colisiones y situaciones peligrosas durante la operación.

Materiales y métodos

Para la investigación se tomó tres tipos de excavadora de marcas distintas, las cuales la reconoceremos por marca A, B y C.

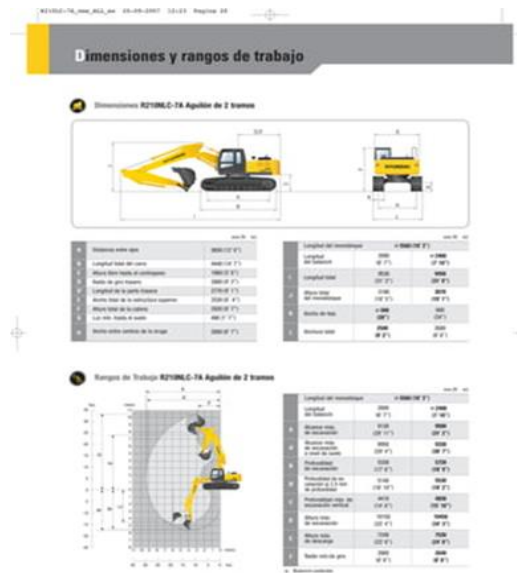
Marca A

Figura 1: Excavadora Hyundai 210



Fuente: lectura-specs

Figura 2: Ficha técnica de la excavadora Hyundai 210



Fuente: (Roman, 2016)

La excavadora de orugas de marca HYUNDAI Robex 210-LC-7 está equipada con motor modelo Cummins B5.9-C, motor diésel, cuatro tiempos, 6 cilindros en línea, refrigerado por agua, inyección directa, con turbocompresor, pos-enfriamiento, bajos problemas. Su potencia nominal es DIN 6271, con una potencia neta de 107 kW a 2.100 rpm. Su cilindrada es de 5.880 cc.

En cuanto a dimensiones, la distancia entre ejes es de 3.650 mm, la longitud total de la cabina es de 4.440 mm y la altura libre de contrapeso es de 1.060 mm. El radio de giro trasero es de 2.830 mm. La altura total de la cabina es de 2.920 mm. El ancho entre ejes de vía es de 2.390 mm.

Marca B

Figura 3: Excavadora Caterpillar 320



Fuente: (transmaquina.internacional, s.f.)

Figura 4: Ficha técnica de excavadora Caterpillar 320

Especificaciones de la Excavadora Hidráulica 320D2/D2 L	
Motor	
Motor de motor	C7.1 Cat
Potencia del motor ISO 14396	112.2 kW 151 hp
Potencia neta SAE J1349	106.4 kW 142 hp
Peso de la máquina	
Operación	1.700 kg
Equipamiento	1.800 kg
Cilindros	103 mm 4.05"
Cilindros	135 mm 5.31"
Cilindros	7.81 mm 0.308"
* La 320D2/D2 L cumple con los requisitos de emisiones equivalentes a Tier 2 y Stage II. * La potencia bruta especificada es la potencia disponible al volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, cilindros y alternador. * La capacidad de almacenamiento de combustible de la 320D2/D2 L es de hasta 4.000 gal (15.137) con reducción de potencia (motor) sobre el nivel del mar. * Capacidad de potencia a 1.800 rpm.	
Peso	
Peso en orden de trabajo estándar	
Peso en orden de trabajo estándar*	21.500 kg 46.900 lb
Peso en orden de trabajo estándar**	21.700 kg 47.800 lb
Peso en orden de trabajo largo	
Peso en orden de trabajo estándar*	21.700 kg 47.800 lb
Peso en orden de trabajo estándar**	22.300 kg 49.100 lb
*Pesa de acero HD 30 7 m (10' 0"), brazo de acero HD 30 32 7 m (10' 7"), cucharón HD de 1.00 m ³ (12.967) y agujero con gusete de 600 mm (24"). **Pesa de acero HD 30 7 m (10' 0"), brazo de acero HD 30 32 7 m (10' 7"), cucharón HD de 1.00 m ³ (12.967) y agujero con gusete de 700 mm (27.5").	
Cadena	
Peso en orden de trabajo estándar	
Cantidad de eslabones por lado	47 piezas
Cantidad de rodillos inferiores por lado	7 piezas
Cantidad de rodillos superiores por lado	2 piezas
Peso en orden de trabajo largo	
Cantidad de eslabones por lado	47 piezas
Cantidad de rodillos inferiores por lado	8 piezas
Cantidad de rodillos superiores por lado	2 piezas
Mecanismo de giro	
Velocidad de giro	10.9 rpm
Peso de rotación máxima	72.600 kg 160.300 lb
Trazacción	
Promedio máximo en pendiente	33.000 %
Velocidad máxima de desplazamiento a la 3.ª marcha	3.9 mph 6.3 km/h
Tiempo máximo en la línea de tala	201.5 s 44.000 h
Sistema hidráulico	
Sistema principal (flujos máximos totales)	405 L/min 106.7 gal EE.UU./min
Potencia máxima esgrima	35 kW 47.0 hp
Potencia máxima desplazamiento	35 kW 47.0 hp
Potencia máxima giro	35 kW 47.0 hp
Sistema piloto (flujos máximos totales)	32.4 L/min 8.5 gal EE.UU./min
Sistema piloto potencia máxima	3.000 kW 406 hp
Cilindros de la pátula - cilindros	120 mm 4.7"
Cilindros de la pátula - cilindros	120 mm 4.7"
Cilindros de la línea - cilindros	140 mm 5.5"
Cilindros de la línea - cilindros	170 mm 6.7"
Cilindros de la línea - cilindros	120 mm 4.7"
Cilindros de la línea - cilindros	120 mm 4.7"
Capacidades de llenado de servicio	
Capacidad del tanque de combustible	410 L 108.3 gal EE.UU.
Sistema de enfriamiento	23 L 6.0 gal EE.UU.
Acumulador de energía	22 L 5.8 gal EE.UU.
Módulo de la estación	8 L 2.1 gal EE.UU.
Módulo final	8 L 2.1 gal EE.UU.
Sistema hidráulico (no incluido el tanque)	200 L 52.7 gal EE.UU.
Reserva hidráulica	130 L 34.2 gal EE.UU.
Rendimiento acústico	
ISO 4393 (operator)	102 dB(A)
ISO 4393 (dentro de la cabina)	72 dB(A)
* Cuando la máquina y los procedimientos de mantenimiento se han efectuado correctamente, la cabina silenciosa por Computación integrada con los puertos y los sistemas controlados de acuerdo con la norma ANSI/SAE J1194 OCT94, cumple con los requisitos de los límites de exposición al ruido para el operador, según se describe en la ficha de datos. * Es posible que se alcance potencia sin ruido cuando se trabaja durante mucho tiempo en una zona sin ruido y en una cabina silenciosa (a esta hora cuenta con el aislamiento adecuado a través de los puertos y sistemas de escape), del mismo modo que si se trabaja en un entorno silencioso.	
Normas	
Peso	ISO 10261 2005
Cadena PGO	SAE J1174 MAR2013 ISO 10262 1995

Fuente: Especificaciones de la excavadora

Excavadora de oruga de marca Caterpillar 320 tiene un motor de marca Caterpillar, motor diesel, cuatro tiempos, 6 cilindros en línea, refrigerado por agua, inyección directa, con turbocompresor. El rendimiento del motor es de 121 kW. En cuanto a las dimensiones, su ancho es de 3.170 mm y la altura es de 2.960 mm.

Marca C

Figura 5: Excavadora Komatsu PC390LC-11



Fuente: (Diteca, s.f.)

Figura 6: Ficha técnica de excavadora Komatsu PC390LC-11

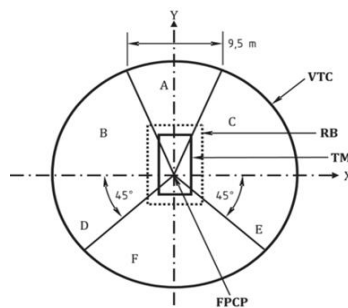
Peso	41.02 t	Longitud de transporte	11.17 m
Anchura transporte	3.64 m	Altura de transporte	3.42 m
Capacidad cuchara	2.22 m ³	Mecanismo de dirección	LC
Anchura orugas	700 mm	Pluma	MB
Max. Alcance lateral	11.1 m	Profundidad de excavación	7.26 m
Fuerza de rotura	228 kN	Ancho cuchara	1.52 m
Model Series	PC	Fabr. del motor	Komatsu
Modelo de motor	SAA6D114E-6	Rendimiento de motor	202 kW
Cilindrada	8.85 l	Revoluciones	1950 rpm
N° de cilindros	6	cilindro Diámetro x carrera	114x144,5 mm
Nivel de emisión	Tier 4f	Consumo medio de combustible	###
Rango de consumo de combustible (min - max)	###	Capacidad de la pala min.	###
Capacidad de la pala max.	###	Medidas lcanxa	###
Par máximo	###		

Fuente: (Lectura, s.f.)

Excavadora de oruga de marca tiene un motor modelo Komatsu, motor Diésel, cuatro tiempos, 6 cilindros en línea, refrigerado por agua, inyección directa, con turbocompresor. Su rendimiento de motor es de 202 kW. En cuanto a las dimensiones, su ancho es de 3.640 mm y la altura es de 3420 mm. El radio de guro es de 2.700 mm. La altura total de la cabina es de 2.970 mm.

La elección de estos tipos de excavadora se debe a la demanda que tienen en el mercado ya que son las marcas más vendidas en el Ecuador. El presente estudio se llevará a cabo utilizando un enfoque metodológico integral que abarcará diversos métodos de investigación. Para evaluar los puntos ciegos en la cabina de una excavadora, se emplearán técnicas de observación directa en situaciones de trabajo en la industria de la construcción. Donde se utilizará una instrumentación para evaluar incluye una unidad de fuente de luz ajustable, se recopilarán datos sobre el desempeño de operadores de excavadoras en cuanto a su capacidad para visualizar áreas críticas alrededor de la maquinaria con el diagrama que recomienda usar la normativa para las respectivas pruebas de puntos ciegos.

Figura 7: Círculo de prueba de visibilidad



Fuente: Normas ISO 5006

Además, se aplicarán encuestas personalizadas basadas en la metodología del estudio de Hallazgos de una Encuesta de Visibilidad en la Industria de la Construcción (Leduc, 2019), con el objetivo de obtener percepciones detalladas de los trabajadores sobre la visibilidad y los desafíos asociados. Estas encuestas se administrarán a operadores y otros trabajadores que interactúan con excavadoras en diversos contextos de trabajo.

Resultados y discusión

La investigación se llevó a cabo en un lugar de trabajo en el que se utiliza habitualmente las excavadoras A, B y C. Se empleó un equipo de medición que cumplía las especificaciones de la norma ISO 5006:2017 para evaluar la visibilidad alrededor de la excavadora.

Figura 8: Prueba de puntos ciegos en excavadora



Fuente: Autores, 2023

La instrumentación utilizada para la evaluación incluía una unidad de fuente de luz ajustable que simulaba la posición del ojo del operador, siguiendo las directrices establecidas por la normativa. Cada excavadora se coloca en una posición estándar sobre una superficie de prueba sólida, que representa las condiciones operativas reales.

Figura 9: Prueba de visión en excavadora



Fuente: Autores, 2023

Se Ajusta la fuente de luz a una posición correspondiente al nivel de los ojos del operador como se especifica en ISO 5006:2017. La fuente de luz se giró 360° para simular diferentes ángulos de visión. Las medidas se toman en las zonas A, B y C según las divisiones definidas por la norma. Para cada sector, se registró el área fuera del campo de visión directo del operador.

Figura 9: Toma de longitudes de la excavadora



Fuente: Autores

Los puntos ciegos fueron registrados en términos de áreas que no eran fácilmente visibles por el operador. Se aplicaron las dimensiones de masking especificadas en la normativa. Donde los datos numéricos se presentan en metros cuadrados para cada sector.

Figura 10: Análisis de varianza

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
A	3	17.5	5.833333333	1.823333333
B	3	17.4	5.8	1.93
C	3	15.2	5.066666667	1.743333333
1				

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1.126666667	2	0.563333333	0.30745907	0.746243103	5.14325285
Dentro de los grupos	10.99333333	6	1.832222222			
Total	12.12	8				

Fuente: Autores

Valor p menor que 0.05: Hay diferencias significativas entre las marcas o sectores.

Valor p mayor que 0.05: No hay diferencias significativas.

Es importante señalar que el análisis de varianza no nos dirá exactamente en qué áreas hay diferencias, pero nos indicará si hay diferencias significativas en general.

Cabe destacar que, aunque la norma ISO 5006:2017 proporciona directrices detalladas, las condiciones reales pueden variar. Las limitaciones específicas, como la variabilidad del terreno y las condiciones de iluminación, se tuvieron en cuenta al interpretar los resultados.

Los datos recopilados se analizaron con referencia a los criterios de rendimiento definidos en ISO 5006:2017. Se evaluó la magnitud y ubicación de los puntos ciegos en cada sector, permitiendo una comprensión detallada de las áreas que podrían representar riesgos para la seguridad operativa.

Excavadora A

Figura 11: Excavadora Hyundai



Fuente: Autores

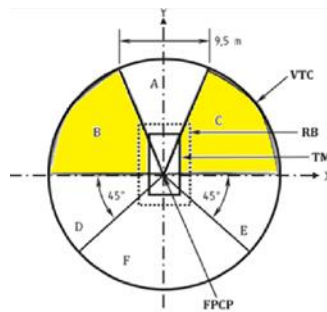
Tabla 1: Puntos ciegos en la excavadora Hyundai

<i>Excavadora</i>	<i>Sector</i>	<i>Área de Puntos ciegos (m²)</i>
A	A	4.5
A	B	7.2
A	C	5.8

Fuente: Autores, 2023

En la excavadora A, se observa que los puntos ciegos son más prominentes en los sectores B y C. Esto indica que la visibilidad lateral y trasera es un desafío para los operadores. La mayor área de punto ciego en el sector B sugiere que las zonas laterales requieren una atención especial en términos de diseño o implementación de tecnologías de asistencia.

Figura 12: *Círculo de prueba de visión de excavadora*



Excavadora B

Figura 13: *Excavadora Caterpillar*



Fuente: Autores, 2023

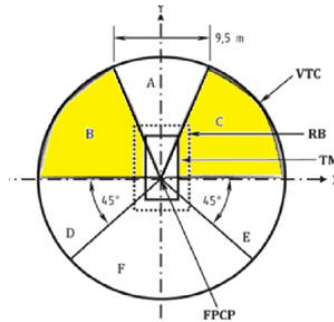
Tabla 2: *Puntos ciegos excavadora Caterpillar*

<i>Excavadora</i>	<i>Sector</i>	<i>Área de Puntos ciegos (m²)</i>
<i>B</i>	<i>A</i>	4.2
<i>B</i>	<i>B</i>	6.5
<i>B</i>	<i>C</i>	6.7

Fuente: Autores, 2023

En la excavadora B, los puntos ciegos son más pronunciados en el sector B y C. Esto concuerda con los hallazgos de las otras excavadoras y subraya la importancia de abordar la visibilidad lateral y trasera. La magnitud de los puntos ciegos en el sector C indica que las áreas traseras necesitan una atención particular para garantizar la seguridad del operador y de quienes se encuentran alrededor de la máquina.

Figura 14: *Círculo de prueba de visión de excavadora*



Excavadora C

Figura 15: *Excavadora Kamatsy*



Fuente: Autores, 2023

Tabla 3: *Puntos ciegos excavadora Kamatsu*

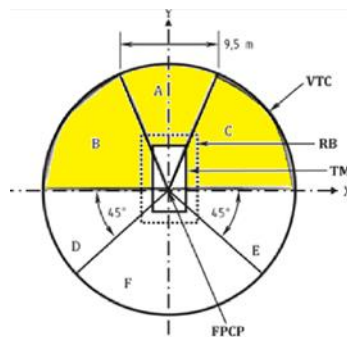
<i>Excavadora</i>	<i>Sector</i>	<i>Área de Puntos ciegos (m²)</i>
<i>C</i>	<i>A</i>	<i>3.9</i>
<i>C</i>	<i>B</i>	<i>4.8</i>

C	C	6.5
---	---	-----

Fuente: Autores, 2023

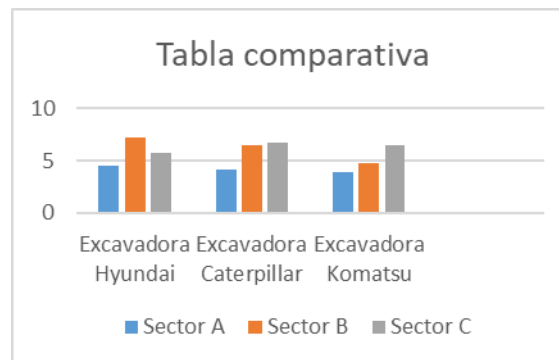
La excavadora C presenta una distribución de puntos ciegos en los sectores A, B y C. Sin embargo, se destaca que el sector C tiene la mayor área de punto ciego. Este resultado sugiere que la visibilidad trasera es un aspecto crítico que podría beneficiarse de mejoras en el diseño de la cabina o la adopción de tecnologías de alerta.

Figura 16: *Círculo de prueba de visión de excavadora*



Comparación general

Tabla 4: *Comparación de puntos ciegos de excavadoras*



Fuente: Autores, 2023

Para realiza la comparación general de puntos ciegos de las distintas excavadoras nos basamos en la norma ISO 5006 donde nos indica que existen 3 sectores de la excavadora a comparar. Los

puntos ciegos se midieron en m² donde 0 nos indica que no existe puntos ciegos en la excavadora y 10 nos indica que los puntos ciegos son muchos.

sector A: La grafica indico que la excavadora Hyundai tiene un promedio de 4.5 m² de puntos ciegos, la excavadora Caterpillar tiene 4.2 m² y la excavadora Komatsu 3.9 m² eso nos indicó que la excavadora Hyundai tiene más putos ciegos con respecto a las otras.

sector B: Se demuestra que la excavadora Hyundai tiene 7.2 m² de puntos ciegos, la excavadora Caterpillar 6.5 m² y la excavadora Komatsu 4.8 m², donde la excavadora con más puntos ciegos es la excavadora Hyundai.

Sector C: La excavadora Hyundai tiene 5.8 m² de puntos ciegos, La excavadora Caterpillar 6.7 m² y la excavadora Komatsu 6.5 m² eso nos demostró que la excavadora Caterpillar tiene más puntos ciegos que las otras excavadoras.

Comparando las tres excavadoras, se evidencia que los puntos ciegos son consistentemente más significativos en los sectores B y C. Este patrón refuerza la necesidad de estrategias de diseño y tecnologías de asistencia que aborden específicamente la visibilidad lateral y trasera en las excavadoras.

Entrevistas a operadores

Existen operarios como: Ángel Ruiz operador experimentado, recuerda que no se percató de la presencia de un trabajador que estaba en su punto ciego trasero, afortunadamente, no hubo lesiones graves, pero esta experiencia le marcó. Nelson, operador de excavadora en construcción mientras giraba para cargar material, golpeó un vehículo de servicio que estaba en su punto ciego. Pedro, operador con años de experiencia, se encontró en una situación desafiante durante un proyecto de excavación en terrenos irregulares. La visibilidad ya era un desafío debido al terreno, pero la falta de iluminación natural empeoró la situación. Al intentar retroceder se encontraba otro trabajador que estaba inspeccionando el progreso de la excavación. A pesar de las señales auditivas, Pedro no percibió la presencia del trabajador en el área. El trabajador tuvo que alertar rápidamente a Pedro para evitar una colisión.

Esta y muchas historias más se dan a diario debido a los puntos ciegos de las excavadoras por lo que todos han hecho la recomendación para que los fabricantes de maquinaria pesada hagan estudios e instalen más componentes tecnológicos para que los operarios tengan una visión más

avanzada para así evitar todos los inconvenientes posibles ya que estos pueden resultar fatales e irreversibles.

Conclusiones

La evaluación detallada de puntos ciegos en las cabinas de excavadoras en diversos escenarios operativos ha revelado patrones específicos. Se identificaron áreas críticas en las que la visibilidad del operador se ve comprometida, especialmente al retroceder y maniobrar en entornos complejos. Estos hallazgos respaldan la necesidad de enfoques personalizados para abordar puntos ciegos según las condiciones operativas específicas.

La aplicación rigurosa de la norma ISO 5006:2017 ha permitido una identificación precisa de los puntos ciegos alrededor de las cabinas de las excavadoras. Este enfoque estandarizado garantiza una evaluación objetiva y detallada de las áreas que quedan fuera del campo visual directo del operador.

Se ha reforzado la importancia crítica de la visualización efectiva en la operación de excavadoras. La relación directa entre una buena visibilidad y la seguridad del operador destaca la necesidad de estrategias y tecnologías que mejoren la visión desde la cabina.

Los datos obtenidos no solo consolidan la eficacia del estudio, sino que también subrayan la importancia continua de revisar y mejorar las normativas existentes. La adaptación constante a las innovaciones tecnológicas y a las condiciones operativas cambiantes sigue siendo esencial.

Referencias

1. Akinloluwa Babalola. (2023). ELSEVIER. Obtenido de <http://www.elsevier.com/locate/jsr>
2. Babari, R., Hautiere, N., Dumont, E., Paparoditis, N., & James, M. (2010). Université Gustave Eiffel. Obtenido de <http://perso.lcpc.fr/hautiere.nicolas/pdf/2011/hautiere-trb11.pdf>
3. Baraza, X. (2023). ELSEVIER. Obtenido de: www.elsevier.com/locate/jsr
4. Bayramova, A. (2023). SCIENCEDIRECT. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/journal/safety-science>
5. Guesset, A., Labonnefon, V., & Marine B. (2015). ScienceDirect. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516303039>

6. Häne, C. (2017). corell University. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1708.09839>
7. INEC. (s.f.). Evolucion historica del registro estadístico de defunciones generales. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Defunciones_Generales_2022/Historia_EDG_2022.pdf
8. Keisuke, D. (2014). Obtenido de <https://www.murase.m.is.nagoya-u.ac.jp/~murase/pdf/1124-pdf.pdf>
9. Klitzke, L. (2015). ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/306194039_Robust_Object_Detection_for_Video_Surveillance_Using_Stereo_Vision_and_Gaussian_Mixture_Model
10. Le, T. T. (2019). MDPI. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/4/760>
11. Müller, T. (18 de Sep de 2022). ACM DL DIGITAL LIBRARY. Obtenido de <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3546712>
12. Naskoudakisa, I. (2016). ELSEVIER. Obtenido de www.sciencedirect.com
13. Pepe, M. (2018). isprs. Obtenido de <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2/861/2018/>
14. Teizer, J. (2015). The International Association for Automation and Robotics in Construction. Obtenido de https://www.iaarc.org/publications/2015_proceedings_of_the_32st_isarc_oulu_finland/safety_360-surround_view_sensing_to_comply_with_changes_to_the_iso_5006_earth_moving_machinery_operators_field_of_view_test_method_and_performance_criteria.html
15. Yeom, D. J. (2022). Cornell University. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/2205.11224>
16. Zalesińska, M. (2011). Université Gustave Eiffel. Obtenido de <http://perso.lcpc.fr/hautiere.nicolas/pdf/2011/hautiere-trb11.pdf>
17. Zalesinska, M. (2015). witpress. Obtenido de <https://www.witpress.com/Secure/ejournals/papers/DNE100105f.pdf>
18. Zujovi, L. (2021). ELSEVIER. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-mining-science-and-technology>