

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



THREE SIMULATION CASES OF AUTOMATED WAREHOUSE PICKING SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Gina Adela Choque Encinas

Código 20173216

Juan Diego Gómez Butrón

Código 20172177

Asesor

Marcos Fernando Ruiz Ruiz

Lima – Perú

Setiembre de 2023

Propuesta Carrera Ingeniería Industrial
Título THREE SIMULATION CASES OF AUTOMATED WAREHOUSE PICKING SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS
Autor(es) 20173216@aloe.ulima.edu.pe 20173216@aloe.ulima.edu.pe Universidad de Lima
<p>Resumen: Los sistemas de Picking vienen siendo un gran aliado para las grandes compañías que deben manejar una amplia gama de unidades de mantenimiento de existencias (SKU) y/o volumen de órdenes de pedido (OC). Estos sistemas permiten optimizar los recursos más valorados dentro de una empresa: el tiempo y la mano de obra, permitiendo que estas ganen mayor competitividad dentro de su industria. Este estudio se especializa en el análisis comparativo de casos de simulaciones de tres sistemas de preparación de pedidos: Put to light, Put to wall y Routing system; con la finalidad de mostrar la efectividad que resulta el aplicar estos sistemas automatizados dentro de los almacenes y, con la distinción de las convergencias y divergencias que hay entre los tres casos analizados, ser objeto de apoyo para las gerencias o jefaturas de las distintas empresas durante el proceso de selección y decisión de mejoras en su centro de distribución. La estructura de este estudio comprende la conceptualización de los principales sistemas automatizados de picking y muestra otros estudios semejantes encontrados, pero que presentan una metodología basada en opiniones o revisiones bibliográficas, mas no en la simulación y/o aplicación real de los mismos. La metodología empleada expone las categorías y subcategorías en función a cada pregunta de investigación planteada para estandarizar el análisis comparativo de las simulaciones que se desarrollan en los capítulos de resultados y discusión. Finalmente, se concluye con recomendaciones sobre qué aspectos considerar si se desea aplicar alguno de los tres sistemas automatizados de picking.</p> <p>Palabras Clave: picking, warehouses system, put to light, put to wall, routing system, travel sequence, optimization, makespan.</p> <p>Abstract: Picking systems are great allies for companies that must manage a wide range of stock keeping units (SKU) and/or purchase order (PO) volume. The available systems allow optimization of the most valued resources within a company: time and labor; allowing organizations to gain greater competitiveness within their industry. Based on a descriptive and comparative scope design, this study focuses on the analysis of three automated simulation cases for order preparation systems to analyze its effectiveness within the warehouses: put-to-light, put-to-wall, and routing system. Likewise, it was sought to analyze the particularities of the three case studies in order to constitute a support framework for the management of the companies during their distribution center improvement process. The findings show that the first two simulation cases of the three chosen focus their study on solving makespan problems in picking, while the last case specializes in systemic preparations prior to the order preparation process; furthermore, these three selected cases have used the Gurobi Optimizer software to carry out the simulation.</p> <p>Keywords: picking, warehouses system, put to light, put to wall, routing system, travel sequence, optimization, makespan.</p>
Línea de investigación IDIC – ULIMA
<p>Área y Sub-áreas de Investigación: Área: L08. Supply Chain Management Sub-área: L12.2. Innovación tecnológica de proceso</p>
Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) ODS 9. INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las compras en línea, también conocidas como e-commerce, han ganado gran popularidad debido al rápido desarrollo del internet, más aún con la propagación del COVID-19, donde el distanciamiento social implantado por los gobiernos de distintos países generó cambios radicales en la vida cotidiana de las personas, de manera que este crecimiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) fueron clave para sustituir actividades como el trabajo presencial por trabajo remoto, la educación por e-learning, las compras por e-shopping, entre otros (Mouratidis & Papagiannakis, 2021).

Asimismo, haciendo referencia a las compras en línea, Xuan (2022) considera que, con el progresivo avance de las TIC, los consumidores se han vuelto más exigentes respecto a sus requisitos de productos y/o servicios que solicitan, debido a que buscan que tengan mayor personalización, causando que las empresas busquen competir entre sí empleando diversas estrategias que requieren de alta inversión para garantizar un nivel de servicio superior a sus pares, pues centrarse solo en la calidad y precio de los productos ya no es suficiente para obtener mayores ventas. No obstante, estos esfuerzos por fortalecer los servicios deben ir equilibrados con la reducción de los costos logísticos totales, en el cual la preparación de pedidos (picking) representa un rol importante.

En la actualidad, existen múltiples almacenes en todo el mundo que indagan constantemente la posibilidad de volver más eficientes sus operaciones de picking y, a razón de ello, la industria de manipulación de materiales ha desarrollado herramientas tecnológicas, tales como pick to light (PtL), picking by voice (PbV), picking terminal (RF), entre otros. Estas son capaces de ayudar a las empresas a obtener mejoras sustanciales, simplificando la actividad de recolección a los operarios e incrementando la productividad (de Vries et al., 2015).

OBJETIVOS

Con el presente estudio, se pretendió dar respuesta a la pregunta de investigación ¿Cómo se caracterizan y comparan los tres casos de simulación de sistemas automatizados de picking en almacenes?, a fin de demostrar la eficacia de implementar sistemas automatizados en la operación de preparación de pedidos (picking) en almacenes, de esa manera ser objeto de apoyo para las gerencias o jefaturas, de distintas empresas, que convergen en medio de un proceso de decisión y selección de uno de estos para su centro de distribución.

JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la seguridad y facilidad para realizar compras en línea que diversos consumidores vienen experimentando, gracias al uso de sus dispositivos inteligentes con gran velocidad de conexión, ha ocasionado resultados gratificantes en el comercio minorista electrónico (e-commerce), debido a la gran cantidad de transacciones que ejecutan a diario (Couri Boueri et al., 2021). Este contexto se refuerza con el estudio realizado por Palomino Pita et al. (2020); quienes aseguran que, a diferencias de años anteriores, donde las compras en tiendas físicas mantenían el dominio del mercado, con una participación del 90.42%; hoy en día, las estadísticas reflejan el cambio radical que se experimentó tras la aparición del COVID-19, puesto que ahora las compras por tiendas online se han incrementado en un 51.77%, representando el 61.35% de la totalidad del mercado. Entonces, de acuerdo a Marchet et al., (2015), al generarse una alta demanda en crecimiento, las empresas perciben múltiples dificultades en las operaciones de preparación de pedidos (picking) en el almacén, más aún por la disyuntiva entre mantener costos logísticos bajos y ofrecer un alto nivel de servicio a sus consumidores.

Según Babak Rasmi et al. (2022), la preparación de pedidos (“picking”) es una de las actividades de almacén que demanda mayor cantidad de tiempo y dinero, por lo que las empresas buscan reducir los tiempos de entrega de pedidos al cliente y los costos logísticos totales, considerando como estrategia básica buscar optimizar la planificación de la preparación de órdenes de pedido. Para ello, Kovac y Djurdjevic (2020) hacen hincapié en la importancia de dar atención primordial a la operación de picking en el proceso de diseño de un almacén. Esto se debe a que esta operación de preparación de órdenes de pedido puede llegar a cubrir el 55% del costo total de almacenamiento (Dujmesic et al., 2018). No obstante, de Koster et al. (2007) destacan las innovaciones que ha desarrollado la industria, con el propósito de incrementar el rendimiento del centro de distribución mediante la productividad del picking, la cual podría lograr hasta 1000 pedidos por hora, convirtiendo a dicha operación más rentable.



DISEÑO METODOLÓGICO

El presente estudio de análisis de simulaciones se llevó a cabo empleando el método comparativo, el cual, según Pérez Liñán (2008), es una estrategia analítica que tiene por finalidad describir y explicar procedimientos que buscan dar respuesta a las preguntas e intenciones generales de investigación. Asimismo, de acuerdo con Makón (2004) para aplicar correctamente el método comparativo se debe elegir casos de estudio que sean comparables, es decir similares con relación a los problemas y preguntas de investigación, teniendo a su vez material disponible y de carácter relevante para su comparación o generalización. Adicionalmente, la mencionada comparación puede ser de carácter cualitativo o cuantitativo.

Por su lado, Bartolini (1994) menciona que las comparaciones con mayor significancia son aquellas que toman en cuentas los cambios del problema a lo largo del tiempo; por eso recomienda realizar diversos análisis, mediciones y observaciones, y comparar las transformaciones. De esta manera, la recopilación de información permitió delimitar, valorar y sintetizar los conocimientos y experiencias de investigadores académicos o prácticos, tal como lo expresan Booth et al. (2012) y Randolph (2009) (como se cita en Díaz-Bazo, 2017) en relación a tres estudios de simulación en el picking de almacenes.

La revisión y selección de la producción académica publicada de las tres simulaciones de implementación de sistemas automatizados del picking en diferentes almacenes del mundo se centró entre los años 2016 y 2022. Posteriormente, se realizó un exhaustivo análisis empleando el método comparativo, el cual tuvo como base las siguientes preguntas de investigación: ¿qué características presentan las tres simulaciones de picking automatizado?, ¿qué tecnologías de picking automatizado se han puesto a prueba en la simulación?, ¿qué tipos de industrias la desarrollan?, ¿cuáles son los objetivos de la simulación?, ¿qué tipo de metodología se implementó para la simulación del sistema de picking automatizado? y ¿cuáles son los resultados que se evidencian al simular los sistemas automatizados de picking?

Los criterios para la selección de los tres casos estudiados fueron los siguientes:

- Investigaciones empíricas que muestren uno o varios tipos de sistemas automatizados de picking en el título, resumen o palabras claves.
- Investigaciones realizadas en almacenes de diferentes países y/o contextos con industrias identificadas.
- Casos publicados entre 2016 y 2022.

La búsqueda de los casos de simulaciones de implementación de sistemas automatizados de picking en almacenes, se limitó a las bases de datos de Scopus y Web of Science. Asimismo, se emplearon los siguientes descriptores para su identificación: warehouse management systems, put to light, put to wall, routing y travel sequence.

A partir de lo anteriormente expuesto, se identificaron tres casos de simulaciones reportados. Posteriormente, se realizó una lectura detallada de los mismos y se utilizaron tablas dinámicas para organizar la información en función a las categorías de análisis derivadas de las preguntas de investigación. En la tabla 1 las categorías y subcategorías derivadas de las preguntas de investigación.

Tabla 1*Categorías y subcategorías de la investigación*

Pregunta	Categoría	Subcategoría
¿Qué características presentan las tres simulaciones de <i>picking</i> automatizado?	Procedencia y contextualización de los casos de simulación	Autor(es) y año de publicación. País de procedencia. Tecnología aplicada.
¿Qué tecnologías de <i>picking</i> automatizado se han puesto a prueba en la simulación?	Tecnología aplicada para el <i>picking</i> .	Tipo de transporte de la mercadería. Tipo de mercadería a recolectar. Tipo de industria.
¿Qué tipos de industrias la desarrollan?	Características de la industria y empresa.	Características del almacén. Problemática inicial del estudio de simulación.
¿Cuál es el escenario inicial de la simulación analizada?	Características del escenario inicial.	Hipótesis para la resolución de la problemática. Objetivo de la simulación.
¿Qué tipo de metodología se implementó para la simulación del sistema de <i>picking</i> automatizado?	Metodología empleada en la simulación.	Metodología aplicada. Características de la metodología aplicada.
¿Cuáles es el escenario final de la simulación sistemas automatizados de <i>picking</i> analizada?	Escenario final de la simulación del sistema de <i>picking</i> automatizado.	Resultados obtenidos de la simulación. Conclusiones.

NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

En primer lugar, agradecemos a Dios, quién ha sido nuestra guía y fortaleza a lo largo de nuestra infancia y juventud; asimismo, por bendecirnos con nuestros adorados padres, quienes siempre nos han brindado su apoyo incondicional para alcanzar cada uno de nuestros sueños.

En segundo lugar, agradecemos a nuestro profesor Marcos Ruíz Ruíz por asumir el rol de tutor desde el día 1 en que se empezó a realizar la tesis, también, por la sinceridad al momento de darnos la retroalimentación, pues es determinante tener las ideas claras y concretas para el logro de los objetivos que inicialmente nos planteamos.

Finalmente, estamos muy agradecidos con nuestra casa de estudios. En estos cinco años de carrera no solo nos ha formado académicamente, sino también a nivel personal, lo que hoy en día nos hace los profesionales competentes que somos, capaces de desarrollarnos en el mundo laboral, que cada vez es más exigente.

REFERENCIAS

- Andriolo, A., Battini, D., Calzavara, M., Gamberi, M., Peretti, U., Persona, A., Pilati, F. & Sgarbossa, F. (2016). New RFID pick-to-light system: Operating characteristics and future potential. *International Journal of RF Technologies*, 7(1), 43–63. <https://doi.org/10.3233/RFT-150071>
- Ardjmand, E., Youssef, E., Moyer, A., Young, W., Weckman, G., Shakeri, H. (2020). A multi-objective model for minimising makespan and total travel time in put wall-based picking systems. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 36(1), 138–176. doi:10.1504/IJLSM.2020.107230
- Babak Rasmi, S. A., Wang, Y. & Charkhgard, H. (2022). Wave order picking under the mixed-shelves storage strategy: A solution method and advantages. *Computers & Operations Research*, 137(). <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105556>
- Bartolini, S. (1994), *Tiempo e investigación comparativa*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://spcunr.files.wordpress.com/2012/09/u1-bartolini.pdf>
- Bermúdez, H. (2020). El voice picking: una organización del trabajo que atenta contra la subjetividad del trabajador. El caso de una cadena de comercio de la alimentación al detal. *Innovar*, 30(76), 37–50. <https://doi.org/10.15446/innovar.v30n76.85193>
- Boysen, N., Fülller, D. & Stphan, K. (2020). See the light: Optimization of put-to-light order picking systems. *Naval Research Logistics* 67(1), 3-20. <https://doi.org/10.1002/nav.21883>
- Caridade, R., Pereira, T., Pinto Ferreira, L. & Silva, F. J. G. (2017). Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 13(), 1096-1103. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.170>
- Couri Boueri, L. E., Branes Ferreira, J. & Falcão de Queiroz, R. P. (2021). Efeitos da satisfação, confiança e seus antecedentes na intenção de recompra online. *Revista Eletrônica de Administração*, 27(1), 232-264. <https://doi.org/10.1590/1413-2311.315.104396>
- de Koster, R., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- de Vries, J., de Koster, R. & Stam, D. (2015). Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. *International Journal of Production Research*, 54(8), 1-15. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1064184>

- Díaz-Bazo, Carmen del Pilar (2017). La investigación-acción en la educación básica en Iberoamérica. Una revisión de la literatura. *magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 10 (20), 159-182.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.m10-20.iaeb>
- Dujmesic, N., Bajor, I. & Rozic, T. (2018). Warehouse Processes Improvement by Pick by Voice Technology. *TEHNICKI VJESNIK-TECHNICAL GAZETTE* 25(4), 1227-1233.
<https://doi.org/10.17559/TV-20160829152732>
- Füßler, D. & Boysen, N. (2017). Efficient order processing in an inverse order picking system. *Computers & Operations Research* 88(), 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.07.005>
- Grosse, E. H., Glock, C. H., & Neumann, W. P. (2017). Human factors in order picking: A content analysis of the literature. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1260-1276.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1186296>
- Isler, C. A., Righetto, G. M., & Morabito, R. (2016). Optimizing the order picking of a scholar and office supplies warehouse. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 87(5-8), 2327-2336. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8625-1>
- Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Morana, S. (2021). Towards a conceptualisation of order picking 4.0. *Computers and Industrial Engineering*, 159, 1-21. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107511>
- Xuan, L. (2022). Computer aided optimization of picking system in logistics distribution center. *Computer-Aided Design and Applications*, 19(S4), 46-55.
<https://doi.org/10.14733/cadaps.2022.S4.46-5>
- Yu, V. F., Susanto, H., Yeh, Y., Lin, S., & Huang, Y. (2022). The vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and parcel lockers. *Mathematics*, 10(6),
<https://doi.org/10.3390/math10060920>

ANEXO. Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** “Three Simulation Cases of Automated Warehouse Picking Systems: A Comparative Analysis”
- **Autores:** Gina Adela Choque Encinas y Juan Diego Gómez Butrón
- **Co autor(es):** Marcos Fernando Ruiz Ruiz

Presentación en congreso

- **Nombre del congreso:** 1st Australian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Sydney, Australia
- **Organizador:** IEOM Society International
- **Sede:** Australia
- **Año:** 2022
- **Pp:**
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://index.ieomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/12077>

Gomez y Choque

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Technological Institute of the Philippines

Trabajo del estudiante

5%

2

www.onlinelibrary.wiley.com

Fuente de Internet

1%

3

business.ohio.edu

Fuente de Internet

1%

4

www.ieomsociety.org

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

1%

6

betas.uft.edu.br

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo