



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA DEL URUGUAY
FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño de un sistema de preparación de pedidos Goods to Man

Proyecto de Grado de Ingeniería de Producción

Bautista Callander

Federico Allo

Mateo Long

Noviembre 2020 Montevideo, Uruguay

Tutor: Adrián Ferrari

Resumen

El presente proyecto de grado estudia el diseño de un sistema de preparación de pedidos de producto terminado en el centro de distribución (CD) de una empresa de productos farmacéuticos.

Se realizó una investigación exhaustiva acerca de los diferentes sistemas automáticos existentes en el mercado. Para ello, se acudió a diferentes tesis de grado y posgrado, artículos, libros, entrevistas con expertos en el área, entre otros.

El objetivo principal del trabajo es diseñar un sistema automático para la preparación de pedidos (en adelante picking). Para ello, se modeló el comportamiento del sistema con la finalidad de definir la óptima localización de cada uno de los productos según su demanda y volumen de ocupación. En otras palabras, se trata de un problema de asignación en clases ABC.

De todas las alternativas disponibles para preparación automática de pedidos, se decidió trabajar con sistemas tipo Automatic Storage/Retrieval Systems (ASRS) miniload.

Dado que dentro del sistema seleccionado existe un gran número de configuraciones, se trabajó sobre diferentes escenarios. Cada uno de ellos se definió en función de varios factores que participan del diseño. Estos son: la profundidad de las estanterías, el tipo de comando (simple, doble, cuádruple), cantidad de pasillos y la política de almacenamiento (aleatorio y por clases). Para cada escenario, se hizo un análisis riguroso de los tiempos de las distintas operaciones, utilizando para algunas de ellas funciones de distribución de probabilidad.

Se destacan el modelado matemático del sistema, la utilización de formulaciones disponibles en trabajos anteriores, y la simulación de tiempos en el lenguaje de programación R. En función de esto se eligió uno de los escenarios estudiados, con el cual se avanzó con el estudio de factibilidad económico-financiera a través de un flujo de fondos.

Palabras clave – Centros de Distribución, Picking, Intralogistics, Miniload, Programación Matemática, Política de Almacenamiento, Goods To Person, Goods To Man

Índice general

AGRADECIMIENTOS	I
Resumen	II
1. Introducción	1
1.1. Alcance del trabajo	2
2. Marco Teórico	4
2.1. Tecnologías de GTM	4
2.1.1. Basados en transelevador	5
2.1.2. Sistemas shuttle	8
2.1.3. Carruseles y dispensadores	11
2.1.4. Tecnologías emergentes	12
2.2. Tiempos de traslado para AS/RS	13
2.2.1. Comando simple y profundidad simple	15
2.2.2. Comando doble y profundidad simple	18
2.2.3. Comando cuádruple y profundidad doble	19
2.2.3.1. Aspectos a considerar	20
2.2.3.2. Variantes del ciclo	22
2.2.4. Estaciones de trabajo	25
2.3. Diseño del automatismo	28
3. Caso Base	31
3.1. Selección del sistema	31
3.2. Capacidad estática del sistema	32
3.2.1. Picking	33
3.2.2. Almacenamiento	35
3.2.3. Resultantes	36
3.3. Capacidad dinámica	37
3.3.1. Operaciones y flujos	37
3.3.1.1. Turno de almacenamiento y recepción	39
3.3.1.2. Turno de preparación de pedidos	40
3.3.2. Selección del día pico	41
3.3.3. Variantes para la medición del desempeño	42
3.4. Otros factores	42

3.4.1.	Profundidad	43
3.4.2.	Políticas de almacenamiento	43
3.4.3.	Comandos	44
4.	Herramientas para la determinación del diseño	46
4.1.	Modelo asignación de clases	46
4.1.1.	Extensión tiempos esperados	47
4.1.1.1.	Supuestos	53
4.1.2.	Modelado matemático	54
4.1.2.1.	Conjuntos	54
4.1.2.2.	Parámetros	54
4.1.2.3.	Variables	54
4.1.2.4.	Modelo matemático	56
4.1.3.	Validación del modelo	59
4.1.4.	Resultados modelo completo	61
4.1.4.1.	Relevamiento de datos	62
4.1.4.2.	Resultado	62
4.2.	Simulación de tiempos en R	64
4.2.1.	Procedimiento	64
4.2.2.	Validación simulación en R	65
5.	Diseño de las combinaciones	66
5.1.	Profundidad simple	67
5.1.1.	Almacenamiento aleatorio	68
5.1.1.1.	Diseño estático	69
5.1.1.2.	Diseño dinámico	70
5.1.2.	Almacenamiento en clases ABC	72
5.1.2.1.	Diseño estático	73
5.1.2.2.	Diseño dinámico	74
5.2.	Profundidad doble	76
5.2.1.	Diseño estático	76
5.3.	Análisis de resultados	78
5.3.1.	Cantidad de pasillos y tiempo de preparación de pedidos	78
5.3.2.	Tiempo de manipulación	79
5.3.3.	Productividad según política de almacenamiento	79
5.3.4.	Profundidad doble y tiempos promedio	80
6.	Diseño de Estaciones de trabajo	83
6.1.	Descripción del problema	83
6.2.	Supuestos	85
6.3.	Modelado matemático	86
6.3.1.	Conjuntos	86
6.3.2.	Parámetros	86
6.3.3.	Variables	87
6.3.4.	Modelo matemático	88
6.3.4.1.	Relevamiento de datos	88

6.3.4.2. Resultados	90
7. Análisis de Costos	92
7.1. Inversión y costos	92
7.1.1. Inversión en equipamientos	92
7.1.1.1. Estanterías, transelevador y repuestos	92
7.1.1.2. Estaciones de trabajo	93
7.1.1.3. Cinta transportadora	94
7.1.2. Costos operativos	94
7.1.2.1. Mano de obra	94
7.1.2.2. Mantenimiento	95
7.1.2.3. Repuestos	95
7.1.2.4. Energía eléctrica	95
7.2. Beneficios esperados	97
7.2.1. Disminución personal de picking	97
7.2.2. Disminución personal de reposición	97
7.2.3. Reducción de mermas	98
7.2.4. Maquinaria	98
7.3. Flujo de fondos	98
8. Conclusiones y trabajos futuros	102
8.1. Conclusiones	102
8.2. Trabajos futuros	105
Referencias	107
Apéndices	110
A. ANEXO	110
A1. TB de Bozer and White (1984)	110
A1.1. Introducción	110
A1.2. Deducción de los tiempos y aplicación	110
A2. Simulación y Código de TB en R	115
A3. QC en Dörr (2018)	117
A3.1. Tiempo de rearreglo	117
A3.1.1. Probabilidad de Rearreglo	118
A3.1.2. Tiempo de rearreglo	122
A3.2. Tiempo medio de manipulación de cajones	124
A3.3. Tiempo de extracción final	125

Bibliografía

- Andriansyah, R. (2011). *Order-picking workstations for automated warehouses*. PhD thesis, Department of Mechanical Engineering. Proefschrift.
- AutoStore (2020). *Beneficios de AutoStore*. <https://autostoresystem.com/benefits/>.
- Azadeh, K., de Koster, R., and Roy, D. (2017). *Robotized Warehouse Systems: Developments and Research Opportunities*. Number ERS-2017-009-LIS.
- Azadeh, K., Roy, D., and de Koster, R. (2016). *Vertical or Horizontal Transport? - Comparison of robotic storage and retrieval systems*. Number ERS-2016-009-LIS.
- Barceló, M. (2019). Entrevista con Marcel Barceló. Director en CLC.
- Bartholdi, J. and Hackman, S. (2016). Warehouse & distribution science.” v. 0.97. *Georgia Institute of Technology*.
- Bolla, S. (2019). Entrevista con Sebastián Bolla. Gerente de operaciones en Indutop.
- Bozer, Y. A. and White, J. A. (1984). Travel-time models for automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*.
- Burinskiene, A. (2010). Order picking process at warehouses. *International Journal of Logistics Systems and Management - Int J Logist Syst Manag*, 6.
- De Koster, R., Le Duc, T., and Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, pages 481–501.
- Dörr, K. (2018). *Travel Time Models and Throughput Analysis of Dual Load Handling Automated Storage and Retrieval Systems in Double Deep Storage*. Wissenschaftliche Berichte des Instituts fuer Foerdertechnik und Logistiksysteme des Karlsruher Instituts fuer Technologie. KIT Scientific Publishing.
- Fourer, B. (2013). *The Big M*. <http://bob4er.blogspot.com/2013/02/the-big-m.html>. President of AMPL.
- Fourer, R. (2020). Intercambio de mails con Robert Fourer. Presidente de AMPL.
- Gebhardt (2020). *Warehouse technology*. <https://www.gebhardt->

- foerdertechnik.de/en/products/warehouse-technology/storage-and-retrieval-machine/automatic-small-parts-warehouse/.
- Illanes, G. (2019). Entrevista con Gabriel Illanes. Profesor de estadística de la Facultad de Ciencias.
- Karasawa, Y., Nakayama, H., and Dohi, S. (1980). Trade-off analysis for optimal design of automated warehouses. *International Journal of Systems Science*, 11(5):567–576.
- Kartnig, G., Grösel, B., and Zrnic, N. (2012). Past, state-of-the-art and future of intralogistics in relation to megatrends. 40:193–200.
- Lerher, T., Edl, M., and Rosi, B. (2014). Energy efficiency model for the mini-load automated storage and retrieval systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70.
- Li, S., Yan, J., and Li, L. (2018). Automated guided vehicle: the direction of intelligent logistics. In *2018 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, pages 250–255.
- Litvak, N. and Vlasious, M. (2010). A survey on performance analysis of warehouse carousel systems. *Statistica Neerlandica*, 64(4):401–447.
- Manganelli, D. (2019). Entrevista con Diego Manganelli. Gerente general en D4.
- Martinez, L. (2020). Entrevista con Laura Martinez. Gerente de operaciones del Centro de Distribución de Farmashop.
- Mecalux (2020). *Cajas Eurobox*. <https://www.mecalux.es/manual-almacen/contenedores/eurobox>.
- MHI (2020a). *Carrousel horizontal*. <https://www.mhi.org/solutions-community/solutions-guide/horizontal-carousels>.
- MHI (2020b). *Módulos de elevación vertical*. <https://www.mhi.org/solutions-community/solutions-guide/vertical-lift>.
- MHI (2020c). *Sistemas put-to-light*. <https://www.mhi.org/solutions-community/solutions-guide/put-to-light>.
- Napoli, A. (2020). Entrevista con Alessandra Napoli. Responsable Oficina Técnica en Mecalux Uruguay-Paraguay.
- Potrč, I., Lerher, T., Kramberger, J., and Šraml, M. (2004). The design of automated storage and retrieval systems using a simulation modeling approach. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 50(11):504–529.
- UTE (2020). *Plieque Tarifario*. <https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/docs/Pliego>
- Vasili, M. R., Tang, S. H., and Vasili, M. (2012). *Automated Storage and Retrieval Systems: A Review on Travel Time Models and Control Policies*. Springer London, London.

- Vigo, I. (2020). Entrevista con Iker Vigo. Responsable comercial en Ulma Handling Systems.
- Wurman, P. R., D’Andrea, R., and Mountz, M. (2008). Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses. *AI Magazine*, 29(1):9.
- Zonalogistica (2020). *Sistema de almacenamiento de doble profundidad o “Double Deep”*. <https://zonalogistica.com/sistema-de-almacenamiento-de-doble-profundidad-o-double-deep/>.