

Implementación de un Sistema de Vehículos Auto-guiados en un Centro de Operaciones

Ingeniería de Producción
Facultad de Ingeniería - UdelaR

Juan Pedro Inthamoussu

Sofía Schroeder

Guillermo Vignolo

Tutor: Adrián Ferrari

1 AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro tutor Adrián Ferrari, que nos guió a lo largo de todo este proyecto ayudándonos a vencer dificultades que fueron surgiendo en el camino e impulsándonos a realizar un trabajo ambicioso y bien realizado. A pesar de las limitaciones impuestas por la pandemia del Covid-19 su comunicación constante fue determinante para poder realizar el trabajo.

Queremos agradecer especialmente al Ing. Roy Gonzalez, Gte. de Ingeniería, la Ing. Carolina Bresque, al Gte. de Logística Juan Pablo Simonett de Ta-Ta Supermercados por habernos permitido colaborar con este proyecto, que busca contribuir con el desarrollo de la Industria 4.0 en nuestro país, y dejándonos a disposición toda la ayuda que nos fuese necesaria. Además, agradecer a los operarios del Centro de Operaciones que nos ayudaron a entender el funcionamiento de los procesos con su paciencia y dedicación, clave para poder construir un modelo adecuado a la realidad. También colaboradores de la compañía en otras áreas que nos brindaron su tiempo y dedicación para recabar la información necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros familiares y amigos que nos acompañaron a lo largo de todo este trabajo brindándonos su apoyo indispensable.

2 RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo que se presenta contiene el desarrollo de un proceso de transformación industrial en un caso real de operaciones. Los cambios tecnológicos que encierran esta evolución, más específicamente de la robótica industrial y colaborativa, son especialmente útiles en todos los niveles productivos y se encuentran cada vez más presentes en la ingeniería de operaciones, fundamentalmente en el área de la logística.

Actualmente existe un enfoque muy importante en las cadenas de suministro que busca permanentemente optimizar mediante la mejora de la productividad y la eficiencia. El trabajo se lleva a cabo en el Centro de Operaciones (CDO) de una empresa desde donde se debe abastecer de forma continua la mayoría de la mercadería para 87 locales ubicados en distintas partes de Uruguay. El trabajo consiste en desarrollar un proyecto para poder implementar vehículos auto-guiados en las operaciones principales que se realizan en el CDO. Este tipo de vehículos, también denominados AGVs por sus siglas en inglés, pueden ser vehículos de transporte de mercancías o de personas que se trasladan de forma autónoma utilizando distintos tipos de tecnología. Cada vez es más común encontrar AGVs en procesos productivos por la cantidad de beneficios que aportan, y en este caso se trata de lograr un sistema eficiente para el traslado de pallets con distintos tipos de productos necesarios para abastecer los supermercados de la empresa.

En primer lugar, se presenta un análisis de la tecnología a abordar y del problema actual para entenderlo en su totalidad. Para determinar la cantidad de AGVs que son necesarios para poder sustituir los vehículos operados de forma manual actualmente en el CDO, se presenta un modelado matemático de programación lineal, utilizando recursos informáticos especializados. El trabajo se centró en el desarrollo de este modelo el cual permitió obtener resultados con su respectiva distribución de operaciones, distribución de los tiempos de trabajo, de carga y de inactividad para cada día y turno. Todos estos datos permitieron profundizar en el estudio de su posible implementación y para esta parte se utilizó GLPK que es un software libre destinado a este propósito.

Los vehículos autónomos que se proponen son tres: carretillas, transpaletas y equipos recogedores de pedidos (en adelante se llamarán “*order pickers*”), donde cada uno cumple distintas funciones aunque hay operaciones que pueden ser realizadas por más de uno. Estos equipos utilizan tecnología láser para poder ubicarse, desplazarse y operar, son controlados por un sistema de gestión informático, que integrado al sistema de gestión del almacén va distribuyendo la carga de trabajo. Estos equipos cuentan con sistemas de seguridad muy sofisticados lo que los hace muy confiables a la hora de trabajar en un centro de distribución, incluso operando en simultaneidad con personas. Un aspecto importante son los sistemas de carga de batería que utilizan los vehículos al que se le dedicó una parte importante del análisis.

Los resultados alcanzados permiten observar la gran cantidad de beneficios que aporta este desarrollo tecnológico, no obstante, es necesario aclarar que se trata de inversiones que pueden resultar elevadas. Además, se presentan varios análisis de sensibilidad y alternativas que permiten explorar situaciones que se podrían llegar a dar en el futuro o simplemente conocer los límites del sistema que ayudan a mejorar el enfoque. Se realiza finalmente un análisis económico y financiero para evaluar la rentabilidad de la inversión propuesta.

Palabras clave: Vehículos Auto-guiados, AGV, LGV, Modelado Matemático, Optimización, Centros de Distribución, Cadena de Suministros, Intralogística, Manipulación y Tráfico de Pallets, Robótica Colaborativa (Cobots).

3 TABLA DE CONTENIDO

1	Agradecimientos	1
2	Resumen Ejecutivo	2
3	Tabla de contenido.....	3
3.1	Índice de Figuras.....	6
3.2	Índice de Planos	7
3.3	Índice de Tablas.....	7
3.4	Índice de Gráficos.....	8
4	Introducción	11
5	Marco Teórico	13
5.1	Definiciones	13
5.1.1	Definición de AGV	13
5.1.2	Sistemas de AGV.....	13
5.1.3	Diseño de un sistema de AGVs.....	13
5.1.4	Objetivos de un sistema de AGVs	13
5.1.5	Categorías de AGV.....	14
5.2	Aspectos tecnológicos.....	18
5.2.1	Componentes	18
5.2.2	Sistemas de guía	18
5.2.3	Sistema de Control Guiado del AGV.....	19
5.2.4	Obstáculos.....	20
5.2.5	Sistema de Seguridad	20
5.2.6	Baterías.....	21
5.2.7	Sistemas de Carga	22
5.3	Ventajas.....	24
5.3.1	Flexibilidad	24
5.3.2	Confiabilidad	24
5.3.3	Ahorro de inversión.....	24
5.3.4	Aplicaciones.....	24
6	Estado del Arte	25
6.1	Historia	25
6.2	Otras aplicaciones en la industria	26
6.2.1	Industria Automotriz	26
6.2.2	Industria del Papel.....	27
6.2.3	Industria de alimentos y bebidas	27
6.2.4	Plantas de producción.....	28
6.2.5	Hospitales.....	28
6.3	Otras Tendencias del sector	29

6.3.1	AS/RS	29
6.3.2	Multishuttle.....	29
7	Caso de Estudio	30
7.1	Metodología de trabajo	30
7.2	Definición	30
7.3	Situación actual del Centro de distribución	31
7.3.1	Sobre la empresa.....	31
7.3.2	Layout actual	33
7.3.3	Operaciones	34
7.3.4	Tipos de ubicación.....	43
7.3.5	Equipos actuales.....	48
7.3.6	Mercadería	50
7.3.7	Lógica/ Funcionamiento del Sistema SGA, WMS	51
7.4	Alcance del Caso de estudio.....	55
7.5	Tratamiento de datos.....	55
7.6	Caso Base.....	57
7.6.1	Definición del Caso Base	57
7.6.2	Modelado	61
7.6.3	Resultados	72
7.6.4	Comparación con actualidad.....	79
7.6.5	Evaluación Económica y Financiera.....	87
7.6.6	Conclusiones del Caso Base.....	92
7.7	Evaluación de Alternativas y Análisis de sensibilidad	93
7.7.1	Modelo Actual Optimizado	93
7.7.2	Modelado sin compartir equipos	98
7.7.3	Aumento de la demanda en un 20% anual	101
7.7.4	Comparación entre demanda máxima y promedio	104
7.7.5	Instalar AGV con recambio de baterías.....	107
7.7.6	Aprovechamiento del tiempo inactivo.....	111
7.7.7	Ciclos combinados.....	114
7.7.8	Límites teóricos del sistema	118
7.7.9	Comparación de alternativas	119
8	Conclusiones y Recomendaciones	122
8.1	Introducción	122
8.2	Conclusiones.....	122
8.3	Recomendaciones	124
9	Bibliografía	125
10	Glosario	127

11	Anexos	128
	ANEXO I. Modelo BASE para el cálculo de carretillas Fase I	128
	ANEXO II - Modelo BASE para el cálculo de ORDER PICKERS Fase I.....	130
	ANEXO III. Modelo BASE para el cálculo de Transpaletas Fase II.....	132
	ANEXO IV. Datos utilizados en el caso base	134
	ANEXO V. Cálculos para el Análisis de Sensibilidad de Ciclos Combinados	140
	ANEXO VI. Inversión del Caso Base	141
	ANEXO VII. Costos operativos del Caso Base	142
	ANEXO VIII. Inversión de la situación actual	143
	ANEXO IX. Costos operativos de la situación actual	143
	ANEXO X. Inversión de la situación actual optimizada	144
	ANEXO XI. Costos operativos de la situación actual optimizada	144
	ANEXO XII. Inversión del Sistema con recambio de baterías.....	145
	ANEXO XIII. Costos operativos del Sistema con recambio de baterías.....	146
	ANEXO XIV. Cálculo de consumo eléctrico AGV.....	147
	ANEXO XV. Cálculo de consumo eléctrico de los equipos manuales.....	148

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización mundial del Comercio. (2021) Desplome del comercio ante la pandemia de COVID-19, que está perturbando la economía mundial. https://www.wto.org/spanish/news_s/pres19_s/pr840_s.htm
- [2] Camilla Feledy & Mark Schiller Luttenberger. A State of the Art Map of the AGVS Technology and a Guideline for How and Where to Use It. (2017)
- [3] Günter Ullrich. *Automated Guided Vehicle Systems. A Primer with Practical Applications* (2015)
- [4] Jing Long, Chun Liang Zhang. (2012, November) *The Summary of AGV Guidance Technology*.
- [5] Marina Raineri, Simone Perri, Corrado Guarino Lo Bianco. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. (2019)
- [6] Dematic. Dematic Multishuttle. (2021) <https://www.dematic.com/es-pe/productos/informacion-general-de-productos/sistemas-de-almacenamiento/dematic-multishuttle/>
- [7] ECA Group. *Innovative Solutions For Your Safety*. <https://www.ecagroup.com/en/solutions/automated-guided-vehicle-agv>
- [8] Puneeth Valmiki, Abhinav Simha Reddy, Gowtham Panchakarla, Kranthi Kumar, Rajesh Purohit, Amit Suhane. *A Study on Simulation Methods for AGV Fleet Size Estimation in a Flexible Manufacturing System* (2018)
- [9] Yan Xing, Yunpeng Yang, Qi Zu, Jinjiang Yu. *Application of AGV technology and design and calculation of driving system*. (2019)
- [10] DTA. *The smart move*. <https://www.dta.es/productos/agv/>
- [11] Camilla Feledy & Mark Schiller Luttenberger. A State of the Art Map of the AGVS Technology and a Guideline for How and Where to Use It. (2017)
- [12] Hee-Woon Cheonga, Hwally Leeb. *Concept Design of AGV*. (2018)
- [13] S. Rajotia, K. Shanker & J.L. Batra (1998) *Determination of optimal AGV fleet size for an FMS*, *International Journal of Production Research*. (Publicado: 2018). Link del artículo: <http://dx.doi.org/10.1080/002075498193273>
- [14] Kelen C. Teixeira Vivaldini, Jorge P. M. Galdames, Marcelo Becker, Glauco A. P. Caurin, *Automatic Routing of Forklift Robots in Warehouse Applications*. (2019)
- [15] Chen Wang, Jian Mao. *Summary of AGV Path Planning* (2020)
- [16] Nenad Smolic-Rocak, Stjepan Bogdan. *Time Windows Based Dynamic Routing in Multi-AGV Systems* (2010)
- [17] Andrea Ferrara, Elisa Gebennini, Andrea Grassi. *Fleet sizing of laser guided vehicles and pallet shuttles in automated warehouses* (2014)
- [18] Goran Vasiljević, Damjan Miklić, Ivica Draganjac, Zdenko Kovačić, Paolo Lista. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. High-accuracy vehicle localization for autonomous warehousing*. (2016)
- [19] AGV network. *Automated Guided Vehicle Return on Investment (ROI) Calculator. AGV Battery Charging Systems Comparison*. <https://www.agvnetwork.com/agv-roi-calculator>
- [20] Kollmorgen. <https://www.kollmorgen.com/>
- [21] Jungheinrich. *Proveedor líder de soluciones intralógicas*. <https://www.jungheinrich.es/>
- [22] D. SINRIECH & J. M. A. TANCHOCO (1992) *An economic model for determining AGV fleet size*, *International Journal of Production Research*. (Publicado: 2018). Link del artículo: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207549208942955>
- [23] Matías González Russo, Fernando Islas De Maio. *Formulación y resolución de problema de planificación de la producción*. (Febrero de 2014)

- [24] Germán Mailing. *Algoritmos heurísticos y el problema de job shop scheduling*. (Enero 2013). Link de artículo:
- [25] Logistics Inside. *Test jungheinrich*. <https://logisticsinside.eu/test-jungheinrich-ece-225-with-easypilot-tapping-instead-pushing/>
- [26] Jing L. (2012). *The summary of AGV Guidance Technology*
- [27] Mecalux. *Soluciones inteligentes de almacenaje*. <https://www.mecalux.es/>
- [28] González Russo y Islas De Maio. *Formulación y resolución de problema de planificación de la producción*. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/3026/1/tg-islas.pdf>
- [29] Logistics inside. Información técnica Jungheinrich ECE 225 <https://logisticsinside.eu/test-jungheinrich-ece-225-with-easypilot-tapping-instead-pushing/>
- [30] Jungheinrich. *Cargadores estacionarios, Información Técnica*. <https://www.jungheinrich.es/productos/baterias-y-tecnologia-de-carga/tecnologia-de-carga/cargadores-estacionarios-482220>
- [31] Querol Jorba. *Implantación de AGVs en ruta de vacíos de un almacén logístico*. (2018) <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/123225/implantaci-n-agvs-en-ruta-de-contenedores-vac-os-definitivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [32] Madrigal Moreno, David Muñoz Ceballos. *VEHÍCULOS DE GUIADO AUTÓNOMO (AGV) EN APLICACIONES INDUSTRIALES: UNA REVISIÓN*. (2019) <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1478/1208>
- [33] Jungheinrich. *Carretilla de gran altura automatizada*. <https://www.jungheinrich.es/sistemas-log%C3%ADsticos-soluciones-a-medida-para-su-negocio/veh%C3%ADculos-autoguiados/vehiculos-de-guiado-automatico/etx-515a-482692>
- [34] <https://www.jhernando.es/blog/tipos-de-sorters-para-automatizar-su-planta>
- [35] www.beetrack.com Definición de Slotting.