



Universidad de la República
Facultad de Ingeniería

Proyecto de Grado
Diseño de Sistemas de Preparación de Pedidos
Man to Goods (MTG)
Ingeniería de Producción

Junio 2020

Tutor: Ing. Adrián Ferrari

Gastón Muiño	4.745.973-5
Manuela Oholeguy	4.885.696-4
Nicola Pratto	5.474.657-1

Índice

1. Resumen Ejecutivo	5
2. Glosario	6
3. Marco Teórico	7
a. Logística	7
b. Problema de slotting	8
c. Análisis contextual del slotting	9
d. Layouts	15
e. Infraestructura	21
i. Maquinaria	22
f. Zafraalidad/Estacionalidad	27
g. Análisis de operaciones	29
h. Estudios efectuados relacionados a la temática del slotting.....	30
i. Estudio de los tiempos insumidos a la hora de realizar el picking	30
ii. Estudio del problema de slotting en tiempo real mediante combinación de simulación y optimización	34
4. Motivación.....	35
5. Objetivos del Proyecto	36
6. Metodología	37
7. Caso de estudio	39
a. Introducción	39
i. Presentación de la empresa	39
ii. Logística y Distribución	39
b. Situación Actual	39
i. Análisis del flujo de producto en el CD.....	39
ii. Análisis del flujo de personas del CD	45
iii. Análisis de la infraestructura del CD	46
iv. Análisis del layout del CD	48

v. Análisis de la zafralidad	49
vi. Análisis de las operaciones del CD	51
8. Desarrollo	53
a. Interpretación del problema	53
b. Formulación matemática del problema	57
i. Primera versión – No lineal	57
ii. Segunda versión – Lineal	60
c. Implementación y búsqueda de soluciones	66
i. Obtención de datos para asignar a parámetros	66
ii. Implementación	70
d. Análisis de sensibilidad	77
i. Variación de la velocidad de recorrido (AS01 a AS04)	77
ii. Disminución del tiempo de búsqueda (AS05)	85
iii. Impacto de zafralidad/estacionalidad (AS6 a AS7)	88
iv. Variación de ventas (AS8 a AS14)	92
v. Variación del espacio físico disponible (AS15 a AS18)	102
e. Análisis de costos e inversiones	108
i. Incorporación de vehículos de transporte	108
ii. Incorporación de sistema Pick to Light	113
9. Conclusiones del proyecto	118
10. Bibliografía	121
11. Anexos	123
a. Marco Teórico	123
i. Modelo matemático primer acercamiento	123
ii. Modelo matemático segundo acercamiento	125
b. Documentos de gestión del proyecto	130
i. Documentos utilizados para la elaboración y gestión del Proyecto:	130

ii. Actas de reuniones	134
iii. Presentaciones PPT realizadas para cada tutoría	134
iv. Anexos complementarios a criterio del grupo de trabajo	134
c. Cálculo de parámetros y archivos de comparación de resultados	134
i. Cálculos para la obtención función tiempo de búsqueda	134
ii. Tablas de obtención de parámetros	134
iii. Tablas de análisis comparativos de resultados del modelo	134
d. Códigos y salidas de las corridas	135
i. Código del modelo linealizado	135
ii. Código ejecutable que indica el solver elegido	138
iii. Artículo de referencia a la hora de linealizar el modelo	138
iv. Archivos de datos, salidas y análisis de cada corrida	138
e. Archivo Power BI para visualización	140
i. Base de datos que consolida resultados utilizada por Power BI.....	140
ii. Archivo Power BI con todos los resultados obtenidos y gráficos correspondientes	140
iii. Layout actual del CD Farmashop	140
iv. Layout actual de sector pañales calle 1PC utilizado para el Power BI	140
f. Análisis de inversión	140
i. Archivo con cuantificación de costos, ahorros e inversión, y cálculo del flujo de fondos	140
ii. Cálculos para justificación de extrapolación de ahorros.....	140
iii. Fichas Técnicas	140
g. Visita a Tata	141

1. Resumen Ejecutivo

En la actualidad las empresas de mediano y gran porte enfrentan desafíos constantes en cuanto a la logística de la preparación y distribución de sus productos. Debido a la globalidad de los mercados, los clientes se encuentran dispersos alrededor del mundo y llegar a ellos en tiempo, forma y con un precio razonable es una ventaja competitiva que cualquiera quiere alcanzar. De la mano con esto, en el contexto global se ve a las empresas líderes migrando hacia el concepto de Industria 4.0 que pretende la mayor automatización de las operaciones mediante introducción de tecnologías digitales, apuntando a la reducción máxima de los tiempos. El presente proyecto de grado se centra en el diseño de un sistema de preparación de pedidos “man to goods” (MTG) enmarcado en el centro de distribución de la empresa uruguaya Farmashop, y desarrolla una metodología que sirve de apoyo para la toma de decisiones de cualquier empresa multi-producto con este tipo de operaciones.

El “slotting” de un centro de distribución, es decir la determinación de la ubicación de los productos en la zona de preparación de pedidos, es una decisión que impacta en la globalidad de los tiempos de la operación. Lograr ubicar los productos de manera óptima en un centro de distribución es una tarea sumamente compleja en la cual influyen variables contrapuestas y para la cual se cuenta en la actualidad con pocas herramientas que colaboren con decisiones objetivas y óptimas. Teniendo esto en cuenta, el presente proyecto pretende lograr un abordaje innovador del tema, buscando resoluciones a través de la programación matemática en un sector que en general no está familiarizado con este enfoque. En este sentido se busca modelar los problemas de la realidad maximizando o minimizando una determinada función.

En este trabajo se plantea una investigación de campo para entender cómo se lleva a cabo la toma de decisiones sobre el slotting en la actualidad. Luego se desarrolla un modelo matemático representativo de las operaciones del caso de estudio base, y que permite a partir de datos reales (como ser ventas esperadas de cada uno de los productos, y capacidad física disponible) asistir a la toma de decisiones, con el objetivo de minimizar los costos asociados a la operación y cumpliendo determinadas restricciones que garanticen el servicio.

El modelo matemático considera el costo de búsqueda, el costo de recorrido y el costo de reposición para, en función de ellos, encontrar un óptimo que minimice los costos para toda la operación. El caso desarrollado numéricamente se centra en una porción del centro de distribución, concretamente el sector de pañales, contemplando una cantidad de 101 artículos de venta, lo que implicó el trabajo con 11.525 variables de decisión, 1.110.790 variables auxiliares y 3.476.666 restricciones para el modelo. Las variables de decisión permiten conocer cuál sería la posición óptima para cada SKU y el stock máximo a colocar en la zona de picking en las condiciones actuales. La gran cantidad de variables y restricciones permiten dimensionar el problema desarrollado y la complejidad de tomar una decisión de esta naturaleza para todo el centro de distribución.

Una vez implementado y resuelto el caso base, se realizan diversos análisis de sensibilidad para evaluar el impacto del cambio de ciertos parámetros, contemplando la incertidumbre en los mismos. Adicionalmente se pretende también evaluar la viabilidad de la introducción de nuevas tecnologías que permitan, la evolución hacia la industria 4.0 y una reducción de tiempos.

Es a destacar que más allá de estar el proyecto enmarcado en un caso de estudio particular, su desarrollo puede auxiliar en la toma de decisiones de cualquier operación MTG que deba resolver el problema de slotting en multi-productos.