

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**Departamento de Organización de Empresas**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO  
ESTRATÉGICO DE ALMACENES DE RESERVA  
BASADA EN LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS  
Y POLÍTICAS DE GESTION**

**TESIS DOCTORAL**

**PRESENTADA POR:**

**D. SERGIO DEVIS GALLEGO**

**DIRIGIDA POR:**

**DR. D. MANUEL CARDÓS CARBONERAS**

**VALENCIA, ENERO 2016**

---

## Propósito

Una parte fundamental de la cadena de suministro son los almacenes, cuyo coste, diseño y gestión incide directamente sobre el resultado de una buena práctica logística.

Sin embargo, los grandes esfuerzos realizados en la mejora de los procesos operativos se han realizado en las áreas productivas, siendo pocos los autores que han dedicado su tiempo y esfuerzo en estudiar este campo tan importante. Aunque, algunos autores, expertos en este campo, han realizado importantes esfuerzos por contribuir a la creación de una metodología de diseño de sistemas de almacenamiento, en la realidad la solución final adoptada se basa en la creatividad y experiencia de los diseñadores. No se han podido encontrar en la literatura relacionada con este campo, evidencias de la existencia de una metodología que pueda guiar en sus pasos al diseñador y le oriente en la toma de decisiones. Es por ello que el presente trabajo de investigación se ha centrado en los siguientes objetivos:

O1. Ejemplo de aplicación a un caso real de diseño de una de las aportaciones más completas encontradas en la literatura referente en este campo de trabajo, la metodología de *Baker y Canessa (2007)* con el objetivo de comprobar que la utilización de la misma no permite la resolución de un problema real de diseño, faltando las herramientas necesarias de ayuda a la toma de decisiones, lo que demuestra la necesidad de una metodología práctica de diseño de sistemas de almacenamiento.

O2. Propuesta de una metodología de diseño de almacenes que utilizan como unidad mínima de agregación el palet.

O3. Propuesta de una herramienta de ayuda enfocada hacia la toma de decisiones relacionadas con la selección de las tecnologías de almacenamiento y los medios de manutención. Basada en la minimización de los costes operativos y de la inversión a realizar para la implantación del sistema de almacenamiento.

---

## ÍNDICE:

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1 Justificación .....	12
1.2 Complejidad de los sistemas de almacenamiento.....	14
1.3 Complejidad del diseño estratégico.....	16
1.4 Objetivos de la tesis .....	19
1.5 Esquema general de la tesis .....	20
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO ESTRATÉGICO DE ALMACENES .....	23
2.1 Introducción .....	23
2.2 Aproximaciones a metodologías de diseño de almacenes .....	23
2.2.1 Heskett et al. (1973) .....	23
2.2.2 Apple (1977).....	24
2.2.3 Ashayeri y Gelders (1985).....	24
2.2.4 Firth et al. (1988) .....	25
2.2.5 Hatton (1990).....	25
2.2.6 Choe y Sharp (1991) .....	25
2.2.7 Cormier y Gunn (1992).....	26
2.2.8 Gelders (1992).....	27
2.2.9 Johnson y Lofgren (1994).....	27
2.2.10 Mulcahy (1994).....	27
2.2.11 Oxley (1994).....	28
2.2.12 Yoon y Sharp (1995) .....	28
2.2.13 Van den Berg y Zijm (1999).....	28
2.2.14 Govindaraj et al. (2000) .....	29
2.2.15 Rouwenhorst et al. (2000) .....	29
2.2.16 Rowley (2000) .....	34
2.2.17 Bodner et al. (2002).....	34
2.2.18 Goetschalckx et al. (2002).....	34
2.2.19 Hassan (2002) y Waters (2003).....	35
2.2.20 McGinnis (2003) .....	36
2.2.21 Rushton et alt. (2006).....	36
2.2.22 Baker y Canessa (2007).....	36
2.2.23 De Koster et al. (2007) .....	38
2.2.24 Gu et al. (2007).....	39
2.2.25 Cakmak, Gunay, Aybakan y Tanyas (2012) .....	41
2.2.26 Accorsi, Manzini y Maranesi (2013).....	41
2.2.27 Kostrzewski (2014).....	42
2.2.28 Comparativa metodologías propuestas por autores .....	43
2.3 Minimización de costes en el diseño de un almacén .....	47
2.3.1 Rosenblatt et al. (1984) .....	47
2.3.2 Ashayeri y Gelders (1985).....	49
2.3.3 Gray, Karmarkar y Seidmann (1992).....	49
2.3.4 Goetschalckx et al. (2001).....	49
2.3.5 Hwang y Cho (2006).....	50
2.3.6 Manzini et al. (2007) .....	51
2.3.7 Comparativa minimización costes propuestos por autores .....	52
2.4 Conclusiones .....	54

---

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA PROPUESTA .....	59
3.1 Introducción .....	59
3.2 Ejemplo de aplicación de la metodología de <i>Baker y Canessa (2007)</i> .....	59
3.2.1 Aplicación pasos diseño (Baker y Canessa, 2007).....	60
3.3 Metodología planteada .....	66
3.4 Acciones a desarrollar en la aplicación de la metodología de diseño: .....	68
3.4.1 Definición de objetivos y restricciones.....	68
3.4.2 Definición de escenarios .....	70
3.4.3 Análisis y organización de información.....	72
3.4.4 Decisiones estratégicas de diseño .....	73
3.4.5 Diseño detallado.....	74
3.4.6 Evaluación.....	83
3.4.7 Plan de implantación.....	84
3.5. Conclusiones .....	85
CAPÍTULO 4. HERRAMIENTAS PARA DECISIONES ESTRATÉGICAS DE DISEÑO.....	88
4.1 Introducción .....	88
4.2 Diseño de la experimentación.....	90
4.3 Diseño cuantitativo del modelo de experimentación .....	96
4.3.1 Función objetivo .....	96
4.3.2 Restricciones.....	97
4.3.3 Metodología a seguir con el modelo de experimentación.....	98
4.3.4. Algoritmo de trabajo .....	98
4.3.5. Medición de la Inversión .....	99
4.4 Utilización de las gráficas .....	101
4.5 Análisis descriptivo.....	103
4.5.1Análisis tiempo/nº palets.....	103
4.5.2Análisis coste/nº palets.....	108
4.5.3 Análisis tiempo/inversión .....	113
4.6. Descripción y uso de las guías para la selección de tecnologías .....	147
4.7 Conclusiones .....	156
4.8 Validación metodológica.....	159
CAPÍTULO 5.RESUMEN,CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS	169
5.1 Introducción .....	169
5.2 Conclusiones respecto a la metodología propuesta: .....	170
5.3 Conclusiones respecto a las herramientas ayuda a la toma de decisiones: .	172
5.4 Líneas futuras de investigación .....	175
5.5 Resumen .....	176
Bibliografía.....	180
ANEXO I. Evaluación de alternativas tecnológicas .....	A1.2
1. Primer escenario de experimentación .....	A1.5
2. Segundo escenario de experimentación .....	A1.8
3. Tercer escenario de experimentación .....	A1.11
4. Cuarto escenario de experimentación.....	A1.14
5. Quinto escenario de experimentación.....	A1.17
6. Sexto escenario de experimentación.....	A1.20
7. Séptimo escenario de experimentación.....	A1.23
8. Octavo escenario de experimentación.....	A1.26
9. Noveno escenario de experimentación.....	A1.29

---

---

10. Décimo escenario de experimentación.....	A1.32
11. Undécimo escenario de experimentación.....	A1.35
12. Duodécimo escenario de experimentación.....	A1.38
13. Decimotercer escenario de experimentación.....	A1.41
14. Decimocuarto escenario de experimentación.....	A1.44
15. Decimoquinto escenario de experimentación.....	A1.47
16. Decimosexto escenario de experimentación.....	A1.50
17. Decimoséptimo escenario de experimentación.....	A1.53
18. Decimoctavo escenario de experimentación.....	A1.56
19. Decimonoveno escenario de experimentación.....	A1.59
20. Vigésimo escenario de experimentación.....	A1.62
21. Vigésimoprimer escenario de experimentación.....	A1.65
22. Vigésimosegundo escenario de experimentación.....	A1.68
23. Vigésimotercer escenario de experimentación.....	A1.71
24. Vigésimocuarto escenario de experimentación.....	A1.74
25. Vigésimoquinto escenario de experimentación.....	A1.77
26. Vigésimosexto escenario de experimentación.....	A1.80
27. Vigésimoséptimo escenario de experimentación.....	A1.83
28. Vigésimoctavo escenario de experimentación.....	A1.86
29. Vigésimonoveno escenario de experimentación.....	A1.89
30. Trigésimo escenario de experimentación.....	A1.92
31. Trigésimo primer escenario de experimentación.....	A1.95
32. Trigésimo segundo escenario de experimentación.....	A1.98
ANEXO II. Datos reales analizados .....	A2.2
Análisis ABC y Stocks máximos y mínimos .....	A2.2
ANEXO III. Resultados Cálculo experimentación caso práctico.....	A3.1

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Funciones y flujos estándar almacén (De Koster et al. 2007).....	12
Figura 2. Pasos a seguir en el diseño de un almacén (Govindaraj et al. 2000) ....	29
Figura 3. Decisiones a niveles estratégico, táctico y operativo. (Rouwenhort et al. Adaptada 2000) .....	33
Figura 4. Metodología implementable (Kostrzewski 2014) .....	42
Figura 5. Diseño en planta básico de un almacén (Manzini et al. 2007).....	51
Figura 6. Diseño en planta básico de un almacén (Manzini et al. 2007).....	52
Figura 7. Parcela acotada para emplazamiento almacén .....	60
Figura 8. Metodología de diseño .....	67
Figura 9. Bloques apilados .....	74
Figura 10. Estanterías convenc. pasillo ancho .....	74
Figura 11. Estanterías convenc. pasillo estrecho .....	75
Figura 12. Estanterías compactas .....	75
Figura 13. Estanterías dinámicas .....	75
Figura 14. Apiladores autopropulsados .....	76
Figura 15. Carretilla contrapesada.....	76
Figura 16. Carretilla retráctil.....	76
Figura 17. Carretilla doble acceso .....	77
Figura 18. Carretilla bilateral.....	77
Figura 19. Carretilla trilateral.....	77
Figura 20. Transelevadores .....	78
Figura 21. Contexto de experimentación .....	88

---

Figura 22. Envoltente coste/Inversión.....	88
Figura 23. Tiempo/ nº palets Bloques apilados.....	103
Figura 24. Tiempo/ nº palets Estantería Convenc.....	104
Figura 25. Tiempo/ nº palets Estantería dinámica.....	105
Figura 26. Tiempo/ nº palets Estantería compacta.....	106
Figura 27. Tiempo/ nº palets Estantería convenc. pasillo estrecho.....	107
Figura 28. Coste/ nº palets Bloques Apilados.....	108
Figura 29. Coste/ nº palets Estantería convenc.....	109
Figura 30. Coste/ nº palets Estantería dinámica.....	110
Figura 31. Coste/ nº palets Estantería compacta.....	111
Figura 32. Coste/ nº palets Estantería convenc. pasillo estrecho.....	112
Figura 33. Tiempo/Inversión Bloques Apilados.....	113
Figura 34. Tiempo/Inversión Estantería convenc.....	114
Figura 35. Tiempo/Inversión Estantería dinámica.....	115
Figura 36. Tiempo/Inversión Estantería compacta.....	116
Figura 37. Tiempo/Inversión Estantería convenc. pasillo estrecho.....	117
Figura 38. Coste/Inversión (100 nº palets).....	133
Figura 39. Envoltente Coste/Inversión (100 nº palets).....	134
Figura 40. Coste/Inversión (200 nº palets).....	135
Figura 41. Envoltente Coste/Inversión (200 nº palets).....	136
Figura 42. Coste/Inversión (500 nº palets).....	137
Figura 43. Envoltente Coste/Inversión (500 nº palets).....	138
Figura 44. Coste/Inversión (1.000 nº palets).....	139
Figura 45. Envoltente Coste/Inversión (1.000 nº palets).....	140
Figura 46. Coste/Inversión (2.000 nº palets).....	141
Figura 47. Envoltente Coste/Inversión (2.000 nº palets).....	142
Figura 48. Coste/Inversión (10.000 nº palets).....	143
Figura 49. Envoltente Coste/Inversión (10.000 nº palets).....	144
Figura 50. Coste/Inversión (100.000 nº palets).....	145
Figura 51. Envoltente Coste/Inversión (100.000 nº palets).....	146
Figura 52. Coste/Inversión (100.000 nº palets).....	164
Figura Anexo 1.1 Tiempo/Inversión Escenario 1.....	A1.7
Figura Anexo 1.2 Tiempo/Inversión Escenario 2.....	A1.10
Figura Anexo 1.3 Tiempo/Inversión Escenario 3.....	A1.13
Figura Anexo 1.4 Tiempo/Inversión Escenario 4.....	A1.16
Figura Anexo 1.5 Tiempo/Inversión Escenario 5.....	A1.19
Figura Anexo 1.6 Tiempo/Inversión Escenario 6.....	A1.22
Figura Anexo 1.7 Tiempo/Inversión Escenario 7.....	A1.25
Figura Anexo 1.8 Tiempo/Inversión Escenario 8.....	A1.28
Figura Anexo 1.9 Tiempo/Inversión Escenario 9.....	A1.31
Figura Anexo 1.10 Tiempo/Inversión Escenario 10.....	A1.34
Figura Anexo 1.11 Tiempo/Inversión Escenario 11.....	A1.37
Figura Anexo 1.12 Tiempo/Inversión Escenario 12.....	A1.40
Figura Anexo 1.13 Tiempo/Inversión Escenario 13.....	A1.43
Figura Anexo 1.14 Tiempo/Inversión Escenario 14.....	A1.48
Figura Anexo 1.15 Tiempo/Inversión Escenario 15.....	A1.49
Figura Anexo 1.16 Tiempo/Inversión Escenario 16.....	A1.52
Figura Anexo 1.17 Tiempo/Inversión Escenario 17.....	A1.55
Figura Anexo 1.18 Tiempo/Inversión Escenario 18.....	A1.58

---

---

Figura Anexo 1.19 Tiempo/Inversión Escenario 19.....	A1.61
Figura Anexo 1.20 Tiempo/Inversión Escenario 20.....	A1.64
Figura Anexo 1.21 Tiempo/Inversión Escenario 21.....	A1.67
Figura Anexo 1.22 Tiempo/Inversión Escenario 22.....	A1.70
Figura Anexo 1.23 Tiempo/Inversión Escenario 23.....	A1.73
Figura Anexo 1.24 Tiempo/Inversión Escenario 24.....	A1.76
Figura Anexo 1.25 Tiempo/Inversión Escenario 25.....	A1.79
Figura Anexo 1.26 Tiempo/Inversión Escenario 26.....	A1.82
Figura Anexo 1.27 Tiempo/Inversión Escenario 27.....	A1.85
Figura Anexo 1.28 Tiempo/Inversión Escenario 28.....	A1.88
Figura Anexo 1.29 Tiempo/Inversión Escenario 29.....	A1.91
Figura Anexo 1.30 Tiempo/Inversión Escenario 30.....	A1.94
Figura Anexo 1.31 Tiempo/Inversión Escenario 31.....	A1.97
Figura Anexo 1.32 Tiempo/Inversión Escenario 32.....	A1.100

### ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Aportaciones/Limitaciones metodologías autores.....	46
Tabla 2. Aportaciones/Limitaciones reducción costes autores.....	53
Tabla 3. Resumen limitaciones metodologías autores.....	56
Tabla 4. Datos referencia.....	61
Tabla 5. Tamaño unidades almacenamiento (SKU).....	62
Tabla 6. Cajas por palet.....	62
Tabla 7. Combinaciones posibles de objetivos.....	70
Tabla 8. Combinaciones con bloques apilados .....	79
Tabla 9. Combinaciones con estanterías convenc. pasillo ancho .....	79
Tabla 10. Combinaciones con estanterías convenc. pasillo estrecho.....	80
Tabla 11. Combinaciones con estanterías compactas.....	80
Tabla 12. Combinaciones con estanterías dinámicas.....	81
Tabla 13. Combinaciones posibles tecnologías.....	81
Tabla 14. Combinaciones finales posibles Tecnologías.....	83
Tabla 15. Ejemplo de lista de comprobación para la evaluación.....	83
Tabla 16. Comparativa metodología propuesta .....	86
Tabla 17. Comparativas tecnologías menor tiempo 100 palets.....	118
Tabla 18. Comparativas tecnologías menor tiempo 200 palets.....	119
Tabla 19. Comparativas tecnologías menor tiempo 500 palets.....	120
Tabla 20. Comparativas tecnologías menor tiempo 1.000 palets.....	121
Tabla 21. Comparativas tecnologías menor tiempo 2.000 palets.....	122
Tabla 22. Comparativas tecnologías menor tiempo 10.000 palets.....	123
Tabla 23. Comparativas tecnologías menor tiempo 100.000 palets.....	124
Tabla 24. Comparativas tecnologías menor inversión 100 palets.....	126
Tabla 25. Comparativas tecnologías menor inversión 200 palets.....	127
Tabla 26. Comparativas tecnologías menor inversión 500 palets.....	128
Tabla 27. Comparativas tecnologías menor inversión 1.000 palets.....	129
Tabla 28. Comparativas tecnologías menor inversión 2.000 palets.....	130
Tabla 29. Comparativas tecnologías menor inversión 10.000 palets.....	131
Tabla 30. Comparativas tecnologías menor inversión 100.000 palets...	132
Tabla 31. Comparativas tecnologías coste unitario 100 palets.....	149
Tabla 32. Comparativas tecnologías coste unitario 200 palets.....	150
Tabla 33. Comparativas tecnologías coste unitario 500 palets.....	151
Tabla 34. Comparativas tecnologías coste unitario 1.000 palets.....	152

---

Tabla 35. Comparativas tecnologías coste unitario 2.000 palets.....	153
Tabla 36. Comparativas tecnologías coste unitario 10.000 palets.....	154
Tabla 37. Comparativas tecnologías coste unitario 100.000 palets.....	155
Tabla 4. Datos referencia.....	161
Tabla 5. Tamaño unidades almacenamiento (SKU).....	163
Tabla 6. Cajas por palet.....	163
Tabla 38. Lista de comprobación.....	166
Tabla Anexo 1.1 Restricciones Escenario 1.....	A1.6
Tabla Anexo 1.2 Tabla Resumen Escenario 1.....	A1.6
Tabla Anexo 1.3 Restricciones Escenario 2.....	A1.9
Tabla Anexo 1.4 Tabla Resumen Escenario 2.....	A1.9
Tabla Anexo 1.5 Restricciones Escenario 3.....	A1.12
Tabla Anexo 1.6 Tabla Resumen Escenario 3.....	A1.12
Tabla Anexo 1.7 Restricciones Escenario 4.....	A1.15
Tabla Anexo 1.8 Tabla Resumen Escenario 4.....	A1.15
Tabla Anexo 1.9 Restricciones Escenario 5.....	A1.18
Tabla Anexo 1.10 Tabla Resumen Escenario 5.....	A1.18
Tabla Anexo 1.11 Restricciones Escenario 6.....	A1.21
Tabla Anexo 1.12 Tabla Resumen Escenario 6.....	A1.21
Tabla Anexo 1.13 Restricciones Escenario 7.....	A1.24
Tabla Anexo 1.14 Tabla Resumen Escenario 7.....	A1.24
Tabla Anexo 1.15 Restricciones Escenario 8.....	A1.27
Tabla Anexo 1.16 Tabla Resumen Escenario 8.....	A1.27
Tabla Anexo 1.17 Restricciones Escenario 9.....	A1.30
Tabla Anexo 1.18 Tabla Resumen Escenario 9.....	A1.30
Tabla Anexo 1.19 Restricciones Escenario 10.....	A1.33
Tabla Anexo 1.20 Tabla Resumen Escenario 10.....	A1.33
Tabla Anexo 1.21 Restricciones Escenario 11.....	A1.36
Tabla Anexo 1.22 Tabla Resumen Escenario 11.....	A1.36
Tabla Anexo 1.23 Restricciones Escenario 12.....	A1.39
Tabla Anexo 1.24 Tabla Resumen Escenario 12.....	A1.39
Tabla Anexo 1.25 Restricciones Escenario 13.....	A1.42
Tabla Anexo 1.26 Tabla Resumen Escenario 13.....	A1.42
Tabla Anexo 1.27 Restricciones Escenario 14.....	A1.45
Tabla Anexo 1.28 Tabla Resumen Escenario 14.....	A1.45
Tabla Anexo 1.29 Restricciones Escenario 15.....	A1.48
Tabla Anexo 1.30 Tabla Resumen Escenario 15.....	A1.48
Tabla Anexo 1.31 Restricciones Escenario 16.....	A1.51
Tabla Anexo 1.32 Tabla Resumen Escenario 16.....	A1.51
Tabla Anexo 1.33 Restricciones Escenario 17.....	A1.54
Tabla Anexo 1.34 Tabla Resumen Escenario 17.....	A1.54
Tabla Anexo 1.35 Restricciones Escenario 18.....	A1.57
Tabla Anexo 1.36 Tabla Resumen Escenario 18.....	A1.57
Tabla Anexo 1.37 Restricciones Escenario 19.....	A1.60
Tabla Anexo 1.38 Tabla Resumen Escenario 19.....	A1.60
Tabla Anexo 1.39 Restricciones Escenario 20.....	A1.63
Tabla Anexo 1.40 Tabla Resumen Escenario 20.....	A1.63
Tabla Anexo 1.41 Restricciones Escenario 21.....	A1.66
Tabla Anexo 1.42 Tabla Resumen Escenario 21.....	A1.66

---



---

Tabla Anexo 1.43 Restricciones Escenario 22.....	A1.69
Tabla Anexo 1.44 Tabla Resumen Escenario 22.....	A1.69
Tabla Anexo 1.45 Restricciones Escenario 23.....	A1.72
Tabla Anexo 1.46 Tabla Resumen Escenario 23.....	A1.72
Tabla Anexo 1.47 Restricciones Escenario 24.....	A1.75
Tabla Anexo 1.48 Tabla Resumen Escenario 24.....	A1.75
Tabla Anexo 1.49 Restricciones Escenario 25.....	A1.78
Tabla Anexo 1.50 Tabla Resumen Escenario 25.....	A1.78
Tabla Anexo 1.51 Restricciones Escenario 26.....	A1.81
Tabla Anexo 1.52 Tabla Resumen Escenario 26.....	A1.81
Tabla Anexo 1.53 Restricciones Escenario 27.....	A1.84
Tabla Anexo 1.54 Tabla Resumen Escenario 27.....	A1.84
Tabla Anexo 1.55 Restricciones Escenario 28.....	A1.87
Tabla Anexo 1.56 Tabla Resumen Escenario 28.....	A1.87
Tabla Anexo 1.57 Restricciones Escenario 29.....	A1.90
Tabla Anexo 1.58 Tabla Resumen Escenario 29.....	A1.90
Tabla Anexo 1.59 Restricciones Escenario 30.....	A1.93
Tabla Anexo 1.60 Tabla Resumen Escenario 30.....	A1.93
Tabla Anexo 1.61 Tabla Resumen Escenario 31.....	A1.96
Tabla Anexo 1.62 Tabla Resumen Escenario 31.....	A1.96
Tabla Anexo 1.63 Tabla Resumen Escenario 32.....	A1.99
Tabla Anexo 1.64 Tabla Resumen Escenario 32.....	A1.99
Tabla Anexo 3.1 Restricciones Escenario real.....	A3.2

---

## CAPÍTULO 1. Introducción

---

En este capítulo, en primer lugar, se detalla la función de los almacenes en la cadena de suministro. Para poder resaltar la enorme dificultad que supone establecer una metodología de diseño de sistemas de almacenamiento, se ha visto necesaria la inclusión de un apartado específico en este primer capítulo en el que se detalla la complejidad de los sistemas de almacenamiento y de las decisiones en el diseño estratégico. El apartado de mayor relevancia es aquel en el que se presentan los objetivos de la presente tesis doctoral que son tres bien diferenciados como se ha comentado en el Resumen Inicial de esta tesis. Finalmente se detalla la estructura general de la presente tesis.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Justificación

La asociación APICS manifiesta la importancia del almacenaje como una parte fundamental de la logística de cualquier empresa (*APICS Dictionary*, <http://www.apics.org/>). El almacenaje no es una simple operación física consistente en una serie de movimientos de entrada y salida con la correspondiente colocación y ubicación de los productos en un área determinada, como se puede observar en la figura 1:

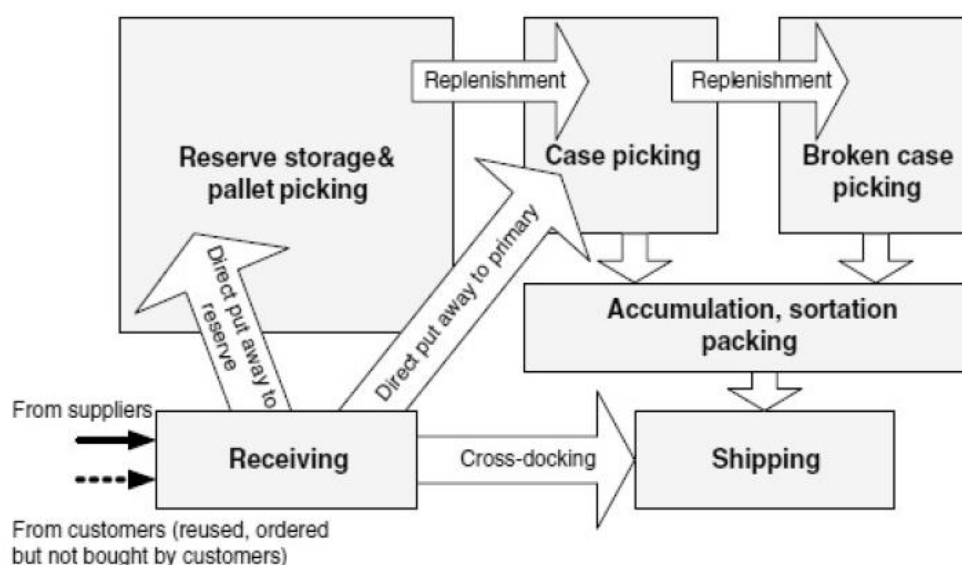


Figura 1. Funciones y flujos estándar almacén (De Koster et al. 2007)

Gestionar y diseñar adecuadamente el espacio de almacenamiento y las operaciones que deben realizarse, repercute directamente en los costes logísticos y en la efectividad del servicio al cliente. El coste del almacén puede rondar el 25% del total de los costes logísticos (ELA/AT Kearny, 2004) por lo que minimizar su coste es importante.

El concepto de almacenamiento ha evolucionado con la aparición de nuevas tecnologías y la apertura y expansión de las rutas de distribución en todo el planeta.

Los sistemas de almacenamiento han evolucionado hacia dos vertientes diferenciadas, cuya diferencia radica en la rotación de los productos almacenados. Si la rotación de los mismos es muy alta hablamos de centros de distribución, donde los bienes ocupan posiciones determinadas que facilitan la preparación de los pedidos en tiempos muy reducidos (estos centros se llenan y vacían diariamente). Las tecnologías de manutención utilizadas son las más avanzadas del mercado.

Si por el contrario la rotación de los productos es más baja, hablamos de centros de almacenamiento, donde los bienes se ubican en posiciones pensadas para minimizar el espacio de ocupación. Las tecnologías de almacenamiento utilizadas son aquellas que optimizan el espacio ocupado, incluso se penalizan los tiempos de manipulación en la extracción de productos.

Los manuales que se encuentran sobre el diseño de estos centros, siguen diferentes pautas en el procedimiento de diseño, se minimizan en algunos de ellos los costes de extracción y en otros los costes de almacenamiento.

*Errasti (2011)* **define al almacén como una fábrica de pedidos**, a través de operaciones y movimientos de cargas que generan un valor determinado, que son capaces y flexibles, asegurando la disponibilidad de medios y personas para su ejecución. Por ello lo que interesa es que el almacén opere con el menor coste posible y con el mayor rendimiento, y esto se consigue en el proceso de diseño en el que se determinan el diseño de los procesos de flujos de material y de las funciones logísticas.

El flujo de materiales es todo movimiento o manutención de materiales, maquinaria o mano de obra. Todas estas operaciones son improductivas por lo que reducirlas significa un abaratamiento de los costes logísticos.

**No se han encontrado pautas claras, ni metodologías que permitan asegurar un buen diseño de los centros, ajustados a las necesidades reales planteadas.**

Algunos autores en este campo como es el caso de *Rouwenhorst et al. (2000)* desarrollan un modelo de referencia para el diseño de almacenes. En su artículo plantean que gran parte de la literatura publicada en esta área de trabajo se centra en parcelas de diseño acotadas y aisladas unas de otras con enfoques inminentemente analíticos. Además durante la fase de diseño, ni siquiera los problemas están bien definidos por lo que no pueden reducirse a problemas aislados.

Muchas tendencias de empresas importantes a nivel mundial en las que la logística de almacenamiento supone un factor clave de éxito, como Inditex, están apostando por externalizar estos servicios, cediendo las instalaciones y la gestión de las mismas a otras empresas. Esto les ha possibilitado el transformar un coste fijo que procede de la logística de almacenamiento, en un coste variable, que dependerá del número de productos que se manipulen.

Sin embargo las empresas subcontratadas heredan el funcionamiento de estos centros, con las instalaciones y la operativa de funcionamiento, manteniendo la estructura y procedimiento anterior. No asumen nuevos retos de mejora, al no ser pioneros en el mercado. Pero tampoco pueden aventurarse a decidir qué cambios mejoran el proceso logístico que manejan, cómo deben ser los centros futuros que

deban construir (ya que los harán semejantes a los actuales), ya que no se encuentran metodologías que permitan asegurar que el diseño planteado es la mejor de las opciones posibles dentro de unos límites establecidos (espacio y presupuesto disponibles). *Baker y Canessa (2007)* concluyen en su revisión bibliográfica que el diseño de almacenes es altamente complejo, siendo necesario abordar este trabajo paso a paso. Sin embargo todos estos pasos, concluyen, que están relacionados y con un alto grado de realimentación no siendo posible en la mayoría de los casos alcanzar la solución óptima debido al gran número de opciones que se plantean en cada nivel de diseño.

El diseño de sistemas de almacenamiento implica desde la elección de los medios de almacenamiento (tipos de estanterías) y sus dimensiones y composiciones varias junto con la elección de los medios de manipulación para la manipulación de las referencias, hasta la elección del tipo de gestión a realizar (tipo de ubicación o ciclos de extracción).

Una vez seleccionada la combinación de medio de almacenamiento, medio de manipulación y tipo de gestión, este diseño podrá tener unas dimensiones y configuraciones variadas:

- Diferentes números de pasillos y longitudes de los mismos.
- Estanterías con niveles de altura diferentes.
- Profundidades de hueco diferentes según el tipo de referencia a almacenar.

Sin embargo todas estas combinaciones tendrán un factor común, la capacidad del sistema de almacenamiento.

Aquí aparece el problema en el diseño de almacenes, ¿cuál será la configuración óptima para un determinado planteamiento inicial?

*Goetschalckx et al. (2003)* intentan dar respuesta a esta pregunta y plantean el diseño de almacenes como una actividad compleja y con gran variedad de opciones de diseño, con la inexistencia de modelos manejables.

### **1.2 Complejidad de los sistemas de almacenamiento**

Los sistemas de almacenamiento albergan una gran complejidad a la hora de determinar su diseño y operativa de funcionamiento, no solo por las exigencias de los clientes sino también por el gran número de alternativas posibles. Estas alternativas vienen dadas por el gran número de factores a considerar y la alta interacción que tienen entre ellos. *Baker y Canessa (2007)* hacen especial énfasis en la dificultad de identificar la mejor solución posible de forma analítica. Analizar todas las posibles configuraciones al mismo tiempo convierte el problema de diseño en un problema no

solucionable por lo que algunos autores como *Bodner et al. (2002)* y *Goetschalckx et al. (2002)* analizan sólo algunas áreas de diseño de forma aislada.

Los profesionales que llevan tiempo dedicados a la difícil tarea del diseño de estos sistemas, aplican sus experiencias personales, basadas en anteriores diseños a los nuevos retos que se plantean. Las soluciones de esta forma adquiridas ofrecen modos de funcionamiento adecuados a las necesidades planteadas y sin embargo no aseguran que estas sean las mejores opciones de todas las posibilidades contempladas. Grandes autores en este campo como *Yoon y Sharp (1995)*, *Rouwenhorst et al. (2000)*, *Goetschalckx (2002)* o *Baker y Canessa (2007)*, no han logrado encontrar y definir una pauta clara que posibilite un diseño guiado y a la vez que logre alcanzar el mejor de los modelos planteados. El objetivo de esta tesis doctoral, se basa precisamente en lograr obtener la mejor solución de diseño basándose en algunas de las pautas y métodos establecidos anteriormente por prestigiosos autores en este campo. Es pretensión de la misma, aportar una metodología de diseño para almacenes de reserva, que bajo unas restricciones determinadas, necesarias para la aplicación de la misma, pueda ofrecer a los especialistas en este campo un planteamiento metodológico que permita alcanzar la mejor solución de todas aquellas posibles.

La metodología seguida por los profesionales en este campo, conlleva una serie de iteraciones basadas en planteamientos de diseños con combinaciones de tecnologías, sobre las que se van realizando modificaciones y se va comprobando la idoneidad de las mismas. Es un método basado en “prueba y error”, en ir variando las opciones planteadas e ir comprobando su efectividad. Si con un cambio no se mejora, se vuelve atrás y se elige otro camino, otra combinación diferente.

Esta forma de trabajo, empleada por los profesionales del campo del diseño de almacenes, lleva utilizándose de forma continuada por todos los expertos del campo desde el inicio de la construcción de sistemas de almacenamiento. Este conocimiento se traspasa de expertos a nuevos ingenieros que comienzan en este nuevo mundo de los sistemas de almacenamiento. Se transmiten las experiencias, las formas de iterar sobre los diseños planteados, las variables a cambiar, todo basado en la propia experiencia personal en la fase de diseño como destacan los autores *Johnson y Lofgren (1994)*.

Existen en la literatura aproximaciones a metodologías, como se verá en el capítulo siguiente, que no han conseguido solucionar las demandas de la mayoría de los diseñadores en este campo, con las que no hay seguridad completa de que las decisiones adquiridas son las mejores para resolver el planteamiento inicial, son buenas

decisiones porque la experiencia ha mostrado que en casos parecidos han solucionado el problema, pero nadie puede asegurarles que es la mejor de todas las posibilidades de diseño planteadas. Con la presente tesis, se pretende, bajo unas condiciones definidas y en unos escenarios determinados, ofrecer la posibilidad de asegurar que la elección de diseño realizada es la mejor de todas las posibles soluciones.

Las variables que se presentan a la hora de tomar estas decisiones son muy complejas, las propias decisiones sobre algunas de ellas determinan la elección de otras, ninguna de estas variables puede ser aislada sin afectar al resto de las planteadas, Todas tienen relación entre ellas y por tanto han de estudiarse y considerarse a la vez porque definen la solución final a adoptar.

Resumiendo lo anteriormente expuesto, los principales problemas en el diseño de los sistemas de almacenamiento se recogen en los siguientes puntos:

1. Las diferentes alternativas en el momento de diseñar son muy numerosas y no hay metodologías que nos ayuden a elegir las mejores soluciones para cada caso.
2. La metodología que siguen los expertos, se basa en su propia experiencia.
3. Las decisiones a tomar sobre las variables de diseño se deben tomar todas a la vez, porque unas interactúan sobre otras, lo que complica aún más el proceso de diseño.

Como se ha visto, la principal dificultad reside en la toma de decisiones en el nivel estratégico, primer nivel de diseño, es por lo que a continuación se analiza la gran complejidad que reside en este primer nivel, lo que condiciona todas las decisiones posteriores.

### 1.3 Complejidad del diseño estratégico

Para poder comprender la pretensión de la presente tesis, se hace necesario exponer la gran complejidad que supone el diseño de almacenes en su primer nivel, el estratégico, como se ha comentado en el punto anterior. Para ello, se va a explicar brevemente, cuales son las fases necesarias en el procedimiento de diseño de sistemas de almacenamiento.

El diseño de sistemas de almacenamiento alcanza tres niveles diferenciados (estratégico, táctico y operativo) como define *Rouwenhorst et al. (2000)*. Las soluciones elegidas para el nivel más alto proporcionan restricciones para los niveles inferiores.

**En el nivel estratégico, el primer problema es la capacidad técnica** definida ésta como la unidad de almacenamiento, los sistemas de almacenamiento y el equipamiento

y las políticas de gestión que aunque pueden considerarse, estas últimas, como decisiones tácticas, su determinación afecta también al nivel estratégico.

Estos han de ser los adecuados para los productos y los pedidos sin entrar en conflicto unos con otros. Se parte de las características de los productos y los pedidos como datos de entrada y se obtiene como salida las combinaciones de sistemas de almacenamiento que satisfacen los requisitos de tiempos de respuesta y capacidad de almacenamiento entre otros. La unidad de almacenamiento (SKU, stock keeping unit), debe definirse antes de iniciar el procedimiento de diseño de un almacén, *McGinnis (2003)*.

Un gran inconveniente, es el número elevado de artículos que se manejan, que obliga a agruparlos en categorías afines para poder ser gestionados con las mismas tecnologías de almacenamiento y manutención. Para ello deben considerarse entre otras:

- Las características físicas de los artículos
- Las condiciones de conservación
- Los perfiles de inventario
- Los perfiles de pedido

Sin embargo, decisiones al respecto de las variables planteadas con anterioridad determinarán otras opciones como:

- El formato logístico (palet, caja, unidad)
- El criterio de ordenación (proveedor, artículo, pedido, cliente)
- El nivel de agregación (individual, parcial, completa)

**Cada decisión tomada en cada una de las variables anteriores no generará un número reducido de alternativas sino un listado de posibles combinaciones de sistemas en las que cada una de éstas supone una opción de diseño diferente de la anterior y de la posterior.** Cada opción planteada es totalmente diferente del resto y dentro de ésta las configuraciones de detalle posteriores que se realizarán en el nivel táctico y operativo llevarán a una solución diferenciada del resto. **Es en este punto cuando las decisiones adoptadas por el diseñador de sistemas de almacenamiento determinan de forma clara la solución final adoptada.** Las decisiones en este punto tomadas en base a la experiencia previa o a la intuición de los diseñadores, condicionan el diseño final. Sin embargo, estas decisiones no han sido tomadas sin la seguridad de que conducirán a la mejor de las soluciones.

Algunos autores, llegado este punto descomponen el modelado en partes independientes que desarrollan en paralelo como es el caso de *Johnson & Lofgren*,



(1994) que explican su experiencia durante el diseño del centro de distribución de Hewlett-Packard en Norteamérica.

Tras el primer problema planteado (el de la capacidad técnica, nombrado con anterioridad) el siguiente contratiempo consiste en el diseño del flujo de proceso y selección de los sistemas de almacenamiento. De las combinaciones seleccionadas en la fase anterior, se debe buscar aquella que minimice la inversión y los costes operativos.

Sin embargo, las decisiones que se tomen en esta fase están interrelacionadas unas con otras. Lo ideal es agrupar subproblemas relacionados del mismo nivel y obtener una solución optimizando de forma simultánea cada subproblema para obtener un óptimo global. Es inabordable analizarlas todas de forma conjunta, sin detallar condiciones de diseño detallado. Para ello, se fijan algunas variables y se exploran los resultados obtenidos bajo un supuesto práctico definido.

Hay decisiones que afectan a la inversión, determinada por el tipo y número de recursos. Otras afectan a la capacidad de almacenamiento fijada por las dimensiones del sistema seleccionado. El menor tiempo de extracción o la mejor productividad vendrá determinada por el tipo y dimensionado de los recursos tecnológicos y humanos, además de las decisiones respecto a separar la reserva, políticas de almacenamiento, políticas de lotificación, políticas de rutas y políticas de asignación de personas y equipos.

Todas las decisiones tomadas en este nivel estratégico de diseño han de efectuarse de forma simultánea, *Cardós et al (2009)*, no aislando cada una de ellas del resto, debido a la gran interrelación de factores que tiene lugar en el proceso de diseño. Además cada una de ellas realimenta el resto de factores determinados, lo que obliga de nuevo a una revisión constante cada vez que se altera cualquier decisión por pequeña que ésta sea.

Si se pretende reducir el tiempo de extracción, aumentar los recursos disponibles logrará este objetivo, pero esta decisión aumentará la inversión a realizar. Igualmente decisiones respecto a las políticas de almacenamiento o políticas de lotificación afectarán a los recursos y también por tanto a la inversión.

Es un proceso de toma de decisiones sumamente importante que puede alejar al diseñador de sistemas de almacenamiento de las mejores soluciones buscadas, si no se acierta en la elección. Este primer nivel de diseño es el más importante del proceso de diseño de sistemas de almacenamiento.

En el nivel táctico la relación entre los problemas planteados (dimensionado de zonas, determinación del número de equipos, dimensionado del personal, entre otras) no siempre afecta al resto de problemas de igual manera.

Finalmente en el nivel operativo ya pueden incluso considerarse como independientes las decisiones referidas a los principales problemas planteados en esta fase.

Por tanto, la gran complejidad del diseño estratégico reside en:

1. Las **decisiones** tomadas en este nivel **afectan a las posibles soluciones que se estudiarán en los siguientes niveles**, pudiendo descartar posibles buenas soluciones si no se acierta con las mismas.
2. La gran cantidad de **variables** que existen se encuentra **interrelacionadas**, por lo que se deben tomar las decisiones sobre ellas, de forma simultánea. Si se decide minimizar el tiempo de extracción, esto fijará las tecnologías de manutención que a su vez determinarán las tecnologías de almacenamiento.

### 1.4 Objetivos de la tesis

Vistos los problemas que se encuentran en este campo de diseño, tratados en los anteriores apartados, se ha buscado en la literatura aportaciones de autores que puedan ayudar a lograr avances en este sentido. Sin embargo, como se podrá observar en el siguiente capítulo de revisión bibliográfica las conclusiones que se han alcanzado en este campo han sido coincidentes en los siguientes puntos:

- 1 *Rouwenhorst et al. (2000)* resaltan la ausencia de una base teórica sobre la que desarrollar una metodología de diseño de almacenes.
- 2 *Goetschalckx et al. (2001)* indican que no hay metodología de fácil aplicación.
- 3 *Rowley (2000)* indica que no hay procedimiento que permita alcanzar los requisitos planteados con la mejor combinación posible de tecnologías.

Es por ello que el diseño de sistemas de almacenamiento es un trabajo muy complejo si se le quiere otorgar el rigor adecuado. Es por todo esto que se ha planteado la presente tesis para poder ofrecer una metodología y una herramienta de ayuda a la toma de decisiones que asegure la mejor elección posible de entre todas las planteadas en el momento del diseño de sistemas de almacenamiento. De esta manera se intenta aportar un método de diseño y una herramienta que permita una utilización más cercana a la práctica habitual.

Es por ello, que tras lo anteriormente expuesto, con la realización de la presente tesis, se han perseguido tres objetivos diferenciados, con el único propósito de poder aportar

la ayuda tan demandada por los autores en este campo. Se pretende dar respuesta a las necesidades surgidas anteriormente con el planteamiento de los siguientes objetivos:

O1. Ejemplo de aplicación a un caso real de diseño de una de las aportaciones más completas encontradas en la literatura referente en este campo de trabajo, la metodología de *Baker y Canessa (2007)*.

O2. Propuesta de una metodología de diseño de almacenes que utilizan como unidad mínima de agregación el palet, para dar respuesta al planteamiento de *Goetschalckx et al. (2001)*:

- 1 Definición de objetivos y restricciones
- 2 Definición de escenarios
- 3 Análisis y organización de la información
- 4 Decisiones estratégicas de diseño
- 5 Diseño detallado
- 6 Evaluación
- 7 Plan de Implantación

O3. Propuesta de una herramienta de ayuda enfocada hacia la toma de decisiones relacionadas con la selección de las tecnologías de almacenamiento y medios de mantenimiento. Basada en la minimización de los costes operativos de extracción de paletas del almacén y de la inversión a realizar en la implementación del sistema de almacenamiento. Este objetivo cubriría el hueco planteado por *Rowley (2000)*.

### 1.5 Esquema general de la tesis

Para poder cumplir con los objetivos planteados en el anterior apartado, se ha estructurado la presente tesis en los siguientes capítulos:

- El primero y presente capítulo, de carácter introductorio, establece la justificación y el objetivo de la tesis y presenta el esquema general de la misma. Asimismo, se explica la gran complejidad que presenta el diseño de sistemas de almacenamiento y dentro de este proceso el primer nivel de diseño del mismo, el diseño estratégico.
- En el capítulo 2 se revisa la literatura sobre el diseño de almacenes. En él se revisan las aportaciones realizadas por los diferentes autores en torno a las

metodologías de diseño de almacenes, se revisan los algoritmos planteados en los problemas de minimización de costes en el diseño y las pautas en el diseño estratégico y táctico que se pueden seguir como guía de orientación metodológica.

- **Es en este capítulo 3 donde se construye la propuesta de la presente tesis.** Para ello, se parte de la revisión bibliográfica realizada en el capítulo anterior, seleccionando de todas las aportaciones realizadas por los diferentes autores, aquella que recogiendo las propuestas planteadas hasta la fecha, las ordena ofreciendo una metodología de diseño. Es por ello, que antes de proseguir con la propuesta de la presente tesis, se analizará con un ejemplo práctico el resultado de aplicación de esta metodología aportada por prestigiosos autores en su campo (*Baker y Canessa, 2007*). Tras analizar las conclusiones de la aplicación de la metodología aportada en la literatura, se plantea el propósito de la presente tesis, que es el de ofrecer una metodología de diseño de sistemas de almacenamiento junto con herramientas desarrolladas para la ayuda a la toma de decisiones en cuanto a las alternativas de diseño obtenidas en base a las combinaciones de tecnologías posibles.
- En el capítulo 4 se lleva a cabo el análisis descriptivo de los resultados experimentales, donde se analiza el comportamiento del algoritmo que se plantea en la presente tesis que permitirá obtener las dimensiones del hueco y la organización de las estanterías en función de las variables cuantitativas y cualitativas definidas para un escenario determinado. Igualmente en este capítulo, se realiza el análisis exploratorio de los resultados experimentales obtenidos con anterioridad. El objetivo es encontrar patrones semejantes de comportamiento en cada uno de los escenarios posibles y buscar modelos que puedan dar cabida a un mayor número de variables. Igualmente, se establece la regla para poder obtener la mejor aproximación posible a las soluciones planteadas utilizando la herramienta desarrollada con anterioridad y se valida la metodología propuesta.
- Por último, en el capítulo 5 se exponen las conclusiones alcanzadas y se perfilan las principales líneas de investigación futura.

---

## CAPÍTULO 2. Revisión de la literatura sobre metodologías para el diseño de almacenes

---

La revisión de literatura se ha centrado en dos aspectos fundamentales en el campo de diseño de los sistemas de almacenamiento. En primer lugar se han recogido las principales aportaciones por los diferentes autores en torno a las propuestas de metodologías de diseño. Para ello se han ido recopilando todas las aportaciones realizadas para recoger las conclusiones más relevantes por orden cronológico. Estas conclusiones sirven de base para la propuesta de metodología que se hace en la presente tesis y que será objeto del siguiente capítulo. En segundo lugar se revisan las aportaciones que minimizan los costes de los sistemas de almacenamiento que se han utilizado para poder desarrollar la herramienta de experimentación. Esta herramienta permite la selección de combinaciones posibles entre todas las alternativas de diseño planteadas. Del análisis realizado en los dos aspectos planteados surge el hueco que la presente tesis pretende cubrir. La búsqueda de autores y contribuciones se ha realizado con la herramienta que la Universidad Politécnica de Valencia brinda a la comunidad universitaria (*Polibuscador*) que permite realizar diferentes búsquedas bibliográficas en diferentes bibliotecas y revistas científicas como *ScienceDirect* o *Emerald Journals* entre otras. Las palabras clave utilizadas han sido “warehouse” “design” y “methodology”. De los resultados obtenidos se han seleccionado aquellas publicaciones que estuvieran más referenciadas por los autores en este campo.

Aún así, el número de publicaciones encontradas con relación al tema de la la presente tesis no es muy alto.

## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO ESTRATÉGICO DE ALMACENES**

### **2.1 Introducción**

En este capítulo se revisa la literatura relacionada con el diseño de sistemas de almacenamiento. En primer lugar, en el apartado 2.2 se recoge una selección de aquellos autores que han realizado una revisión de artículos que tienen alguna mención sobre aproximaciones a metodologías de diseño de los sistemas de almacenamiento, a continuación en el apartado 2.3 se revisarán los artículos que plantean diferentes algoritmos de cálculo con el objeto de minimizar los costes de almacenamiento.

En cada uno de los apartados de revisión bibliográfica siguientes, se expondrán los diferentes artículos con sus correspondientes autores, por orden cronológico, para de esta manera poder observar la evolución en el tiempo en el campo del diseño de sistemas de almacenamiento. Asimismo dentro de estos apartados se separarán por autores para poder exponer de forma clara la revisión bibliográfica realizada.

### **2.2 Aproximaciones a metodologías de diseño de almacenes**

Aunque en este campo, las aportaciones más relevantes han sido las propuestas por los cuatro autores siguientes: *Rouwenhorst et al. (2000)*, *Goetschalckx et al. (2001)*, *Baker y Canessa (2007)* y *Gu et al. (2007)*, ya que sus artículos son muy referenciados en el resto de las aportaciones encontradas, al no haber un número demasiado elevado de aportaciones en este campo se detallará cada una de estas en la presente revisión de literatura. En el análisis de cada una de ellas se hará especial énfasis en sus aportaciones a la metodología de diseño. Posteriormente se recogerá en una tabla aquellas aportaciones relevantes y sus limitaciones. En los anteriormente citados autores el análisis será realizado con mayor detalle dado la relevancia de sus aportaciones en este campo de estudio.

#### **2.2.1 Heskett et al. (1973)**

La primera aportación relacionada con las metodologías de diseño de almacenes se remonta a este año en el que el autor propone que el diseño se debe basar en tres factores clave:

1. Determinación de los requerimientos del diseño planteado.
2. Diseño propio de los sistemas de almacenamiento.
3. Detalle y desarrollo de la planta del almacén.

Aunque es un primer avance en el diseño de metodologías, las aportaciones realizadas sólo incluyen una serie de pasos a seguir, como una guía de diseño de forma general, sin ningún tipo de especificaciones.

### **2.2.2 Apple (1977)**

Apple observa que los diseñadores tienen importantes problemas para la toma de decisiones en el proceso de diseño e intenta ofrecer un procedimiento con indicaciones en el diseño que finalmente puede ser resumido en los once pasos siguientes:

1. Obtención de datos
2. Análisis de los datos obtenidos
3. Diseño de procesos
4. Planificación del flujo de materiales
5. Cálculo de los requerimientos de equipamiento del almacén
6. Planificación de cada una de las áreas de trabajo en el almacén
7. Selección de los medios de manutención
8. Determinación de necesidades de almacenaje
9. Planificar funciones auxiliares
10. Distribuir actividades en superficie total
11. Construir la planta del almacén

Con Apple ya surgen una serie de pasos a seguir en el diseño de almacenes, una serie de acciones encaminadas a guiar al diseñador en este complejo proceso, sin detallar el procedimiento en cada una de las fases, pero resaltando la importancia de cada una de estas. Sin embargo, sigue sin detallarse el proceso de toma de decisiones en cada uno de los pasos definidos.

### **2.2.3 Ashayeri y Gelders (1985)**

El artículo de *Ashayeri y Gelders (1985)*, se basa en un modelo propuesto para calcular las dimensiones de un almacén automático de paletas con el objetivo de optimizar los costes de la inversión en la vida útil del mismo, respecto a la metodología de diseño de almacenes. Concluyen que ni un enfoque analítico puro, ni un enfoque que sólo utilice experimentación, conducen a un método práctico y general. Sin embargo, sugieren que una combinación de ambos enfoques puede conducir a un buen método de diseño. Ésta es la primera referencia que se encuentra relacionada con metodologías de diseño de almacenes de paletas, como diseño específico, aunque las

aportaciones en este artículo son conclusiones sobre el análisis del procedimiento de diseño que realizan los propios autores.

#### **2.2.4 Firth et al. (1988)**

Firth et al. plantean también una serie de acciones a tener en cuenta en el momento del diseño de los sistemas de almacenamiento consistentes en:

1. Identificar las funciones del almacén
2. Recopilar datos y hacer proyecciones
3. Desarrollar métodos alternativos
4. Combinar alternativas funcionales
5. Selección del sistema general.

Al igual que *Apple (1977)*, Firth et al. plantean también acciones generales sin detallar el procedimiento de toma de decisiones en cada una de estas.

#### **2.2.5 Hatton (1990)**

Igual que Firth (1988) plantea también una serie de acciones encaminadas al diseño de sistemas de almacenamiento:

1. Determinación de la función principal del almacén, identificando el propósito para el que fue diseñado.
2. Análisis de la cantidad de productos, aunque no indica actuaciones diferenciadas según este valor.
3. Análisis de los movimientos de los productos para determinar las acciones necesarias a tener en cuenta.
4. Desarrollo de conceptos alternativos a los sistemas tradicionales planteados. Esta es una característica que implica un alto grado de creatividad en el diseño de sistemas de almacenamiento.
5. Desarrollo del sistema de gestión planteado según los puntos anteriormente descritos.

#### **2.2.6 Choe y Sharp (1991)**

*Choe y Sharp (1991)* realizan una revisión de la operación y diseño de un almacén de picking. Aunque no es el propósito de la tesis, al ser este análisis sobre un almacén de picking y no de paletas de reserva, este artículo incluye interesantes consideraciones respecto al diseño de estos almacenes, selección de equipos y gestión operativa, pero siempre desde una perspectiva de la toma de decisiones en base a criterios subjetivos y de experiencias en el campo de diseño. Siguen sin abordar la problemática del diseño de sistemas de



almacenamiento desde una perspectiva externa basada en decisiones metodológicas. Únicamente aportan la experiencia y una serie de pasos iterativos en el proceso de diseño, lo que deja constancia de la evidencia de la falta de un método de trabajo procedimental y objetivo en este campo. Sólo analizan los almacenes de picking, dejando los sistemas de almacenamiento para reserva sin mención, siendo estos últimos los que implican una mayor inversión en cuanto al almacenamiento.

### **2.2.7 Cormier y Gunn (1992)**

Estos dos autores realizan una revisión sobre artículos que versan sobre temas como:

- Modelos de productividad. Analizando desde las políticas de picking, notificación, asignación de inventario, así como el control dinámico de almacenes y los modelos de evaluación del desempeño.
- Modelos de capacidad de almacenamiento, para demanda estacionaria y no estacionaria.
- Modelos de diseño de almacenes.

Los autores analizan las decisiones que tienen lugar en los almacenes, dividiéndolas en:

- Estratégicas (capacidad de almacenamiento y diseño del almacén). Aquí justifican la utilización de modelos matemáticos complejos y modelos de experimentación, al tener estas decisiones un impacto significativo en la rentabilidad a largo plazo.
- Tácticas (asignación de productos a ubicaciones). Éstas, establecen que han de ser revisadas siempre que se alteren las decisiones operativas, estableciendo un claro vínculo entre ambos niveles de decisión.
- Operativas (Políticas de picking y notificación). Sobre estas, concluyen que al resolverse estos problemas de forma repetida, las heurísticas han de ser rápidas para poder ofrecer así buenas soluciones a los problemas planteados.

### **2.2.8 Gelders (1992)**

*Gelders (1992)*, en su artículo, concluye que la distribución no ha recibido el mismo trato científico que la producción, por lo que esta gestión logística de distribución se ha convertido en una especie de arte, aunque las técnicas y metodologías de producción bien podrían utilizarse para resolver los problemas de almacenamiento y distribución. Su planteamiento es que no es muy útil hacer que las factorías sean muy flexibles si luego a lo largo de la cadena de valor esta flexibilidad no se mantiene.

### **2.2.9 Johnson y Lofgren (1994)**

*Johnson y Lofgren (1994)* aportan su experiencia personal en la fase de diseño de un gran almacén. Analizan su modo de actuación, descomponiendo el diseño en partes independientes que se puedan desarrollar en paralelo. Para ello desarrollan modelos de experimentación de cuatro facetas diferentes del centro de distribución: clasificación, preparación de pedidos, empaquetado y envío de paletas. En cada una de estas facetas se centran en cómo abordar de forma independiente cada uno de los problemas planteados sin mencionar ningún tipo de relación entre ellas. De hecho, las van desarrollando de forma independiente y en paralelo, dejando constancia de que pueden ir evolucionando a la vez sin interferirse entre ellas. Dejan constancia de esta manera de otro planteamiento que aborda el diseño como etapas diferenciadas con variables independientes y no relacionadas. Sin embargo también puntualizan que la descomposición del modelo global puede dar lugar a soluciones subóptimas.

### **2.2.10 Mulcahy (1994)**

Este autor, al igual que *Firth et al (1988)* y *Hatton (1990)* enfatiza una serie de pasos a tener en cuenta en el diseño de almacenes. Hace especial énfasis en las fases de obtención, análisis de datos y establecimiento de los parámetros de diseño anuales. Sin embargo aporta un importante punto de vista que le diferencia de los anteriores autores y es la consideración de alternativas de diseño de planta y de equipos de manutención según las diferentes áreas del almacén.

### **2.2.11 Oxley (1994)**

Oxley realiza una recopilación de las acciones clave planteadas por los anteriores autores y establece una lista muy detallada a seguir en el proceso de diseño de almacenes. Empieza estableciendo los requerimientos generales de la cadena de suministro, incluyendo niveles de servicio y restricciones de tiempos de proceso. Asimismo incluye una nueva fase de determinación de las unidades de carga (SKUs, Stock Keeping Units). Por último establece que el diseño de almacenes debe estar centrado en los requerimientos de espacio de almacenamiento y equipos de mantenimiento y que el detalle del edificio debe estar sujeto a estas características.

### **2.2.12 Yoon y Sharp (1995)**

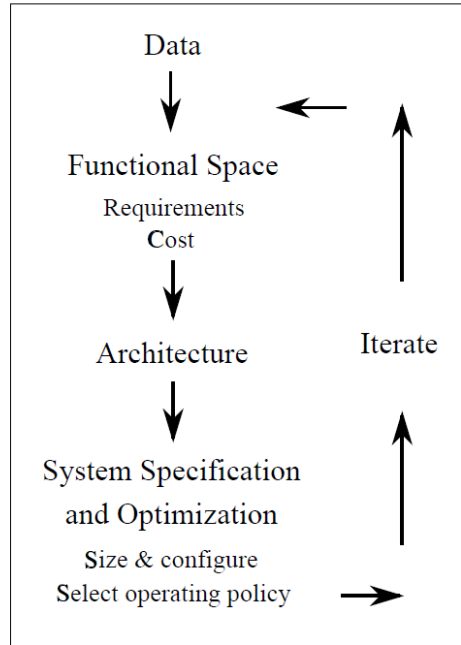
Estos autores presentan un ejemplo de cálculo completo y detallado de un almacén de picking utilizando el modelo de referencia y la metodología mencionada por *Choe y Sharp (1991)*. Aunque, al igual que los mencionados autores, se basan en el análisis de un almacén de picking, hay una interesante aportación al área del diseño de almacenes de paletas y es que tras su análisis realizado proponen un procedimiento de diseño basado en entrevistas a diseñadores y en su propia experiencia. Aquí se evidencia, una vez más que es en esta área de trabajo donde la metodología de diseño viene condicionada por la propia experiencia de los diseñadores.

### **2.2.13 Van den Berg y Zijm (1999)**

*Van den Berg y Zijm (1999)* presentan algunos modelos para la gestión táctica de almacenes basados en reducción de los niveles de inventario, separación del stock entre picking y reserva y asignación de ubicaciones. Estos modelos planteados desde un punto de vista únicamente táctico, plantean tres problemas patentes en la gestión de los sistemas de almacenamiento y que posteriormente justifican las decisiones operativas que se toman en consideración las variables analizadas en cada uno de estos niveles. Una importante aportación de este artículo es el tratamiento aislado de los problemas de diseño, sin ningún tipo de relación con lo visto anteriormente ya que presenta un punto de vista totalmente opuesto a la corriente planteada por autores como *Cormier y Gunn (1992)* o *Johnson y Lofgren (1994)* que plantean totalmente lo contrario como se ha visto con anterioridad.

### 2.2.14 Govindaraj et al. (2000)

Este autor establece básicamente una serie de pasos en su artículo como se observa en la figura 2:



**Figura 2. Pasos a seguir en el diseño de un almacén (Govindaraj et al. 2000)**

1. Estructurar y analizar datos
2. Determinar los requerimientos funcionales necesarios para el diseño
3. Tomar decisiones de alto nivel
4. Definir especificaciones del sistema y su optimización
5. Reiterar los pasos anteriores

### 2.2.15 Rouwenhorst et al. (2000)

*Rouwenhorst et al. (2000)*, desarrollan un modelo de referencia para el diseño de almacenes y realizan una revisión de la literatura relacionada con estos procedimientos. En su modelo no consideran la justificación económica de los almacenes, el problema de su localización, la logística externa, la gestión de recursos humanos o de la calidad. En su revisión inciden en que los artículos publicados se centran en problemas aislados bien definidos y con un enfoque analítico. Sin embargo los problemas encontrados durante el diseño de almacenes no están bien definidos y tampoco pueden aislarse del resto, por lo que se requiere una mezcla de capacidades analíticas y creatividad.

Su publicación se divide en 5 partes (**caracterización de almacenes, diseño, problemas con el diseño, revisión de modelos de almacenes e investigación orientada al diseño**):

**1. Caracterizan un almacén desde tres ángulos:**

1. Procesos: Recepción, almacenamiento, preparación de pedidos y expedición.
2. Recursos: Unidades de almacenamiento, sistemas de almacenamiento, equipos de manutención, equipos auxiliares (escáneres), sistema informático, equipos auxiliares para expedición (sistemas de clasificación, paletizadores, cargadores de camiones), personal.
3. Organización:
  - i. Separación entre picking y reserva (decisión más importante)
  - ii. Recepción: Asignación de camiones a muelles de descarga
  - iii. Almacenamiento: Políticas de almacenamiento, políticas de picking/reserva y reaprovisionamiento.
  - iv. Preparación de pedidos: Política de zonificación, política de lotificación, políticas de clasificación, política de confección de rutas, política de punto de espera.
  - v. Clasificación y consolidación: Política de asignación de canales de clasificación.
  - vi. Expedición: Política de asignación de pedidos y camiones a muelles.
  - vii. Política de asignación de asignación de tareas al personal y equipos.

**2. El diseño de almacenes:**

Supone un elevado número de decisiones interrelacionadas, por lo que proponen estructurarlas jerárquicamente y analizan diferentes métodos para evaluar alternativas de diseño. Por ello proponen los siguientes pasos para diseñar un almacén:

1. Conceptualización
2. Adquisición de datos
3. Definición funcional

4. Especificación técnica
5. Selección de medios y equipos
6. Definición de layout
7. Selección de políticas

El método ideal de diseño, agrupa subproblemas relacionados del mismo nivel y proporciona una solución mediante su optimización simultánea con el objetivo de alcanzar un óptimo global. Es importante reconocer las relaciones entre subproblemas para evitar soluciones subóptimas.

Se adoptan decisiones en niveles estratégicos, tácticos y operativos frecuentemente interrelacionadas, pero el marco jerárquico anterior refleja el horizonte de las decisiones (corto, medio o largo plazo) de forma que las soluciones elegidas para el nivel mayor proporcionan restricciones para los niveles inferiores.

Los criterios de evaluación pueden tratarse como objetivos de diseño o como restricciones. Adicionalmente aparecerán restricciones físicas o técnicas.

### **3. Problemas de diseño de almacenes:**

**Los problemas de diseño** se presentan en tres niveles (estratégico, táctico y operativo). En el **estratégico** el primer problema es el diseño de la capacidad, es decir, de la unidad de almacenamiento, del sistema de almacenamiento y de los equipos. Los datos de este problema son las características de los productos y los pedidos; los resultados especifican qué combinaciones de sistemas son técnicamente capaces de manejar los productos y cumplir las restricciones de desempeño. Los resultados no especifican un sistema, ni siquiera un número reducido de alternativas, sino un número limitado de posibles combinaciones de sistemas de almacenamiento que satisfacen los requisitos técnicos y de rendimiento (especialmente producción, tiempos de respuesta y capacidad de almacenamiento). El segundo problema de diseño consiste en el diseño del flujo de proceso y la selección de los sistemas de almacenamiento según consideraciones económicas. El resultado es optimizar las posibles combinaciones de sistemas seleccionadas en la fase anterior, buscando con ello la inversión y costes operativos mínimos.

En el nivel **táctico** aparecen problemas que deberían ser tratados simultáneamente:

- Problemas organizativos (dimensionado de las zonas de picking y ABC, política de reposición de picking, tamaño de los lotes, política de almacenamiento).
- Dimensionado de los sistemas de almacenamiento, incluyendo las áreas de picking y reserva.
- Dimensionado de las áreas de los muelles.
- Número de los equipos de mantenimiento.
- Distribución global del sistema.
- Dimensionado del personal.

En el nivel **operativo** las decisiones de diseño pueden considerarse a menudo como independientes. Las decisiones principales se refieren a los problemas de asignación y control de personas y equipos. Las decisiones de almacenamiento son:

- Asignación de tareas de reposición al personal.
- Ubicación de productos entrantes en ubicaciones libres, de acuerdo con la política de almacenamiento.

#### **4. Revisión de modelos:**

También presentan una revisión de trabajos sobre los problemas de diseño en el nivel estratégico organizada en los dos grupos de problemas expuestos anteriormente: primero la selección de sistemas y equipos basados en capacidades técnicas y en segundo lugar el diseño del flujo del proceso y la selección de los sistemas de almacenamiento según consideraciones económicas. No encuentran publicaciones dirigidas al primer grupo de problemas, pero sí un número limitado de publicaciones para el segundo grupo.

#### **5. Investigación orientada:**

La falta de documentos orientados al diseño contrasta con la necesidad de modelos y técnicas integradas. Comparan la investigación orientada al análisis con la investigación orientada al diseño y ofrecen guías para la última. En resumen, enfatizan la necesidad de investigación orientada a la síntesis de los modelos y técnicas aisladas actuales, como base para el apoyo a las decisiones en el diseño de un sistema de almacenamiento completo. Tal investigación rellenaría una importante brecha entre la literatura científica y la práctica del diseño y gestión de almacenes.

La siguiente figura representa las decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo relacionadas con las tres dimensiones del almacén (procesos, recursos y organización) representada por *Rouwenhorst et al. (2000)*:

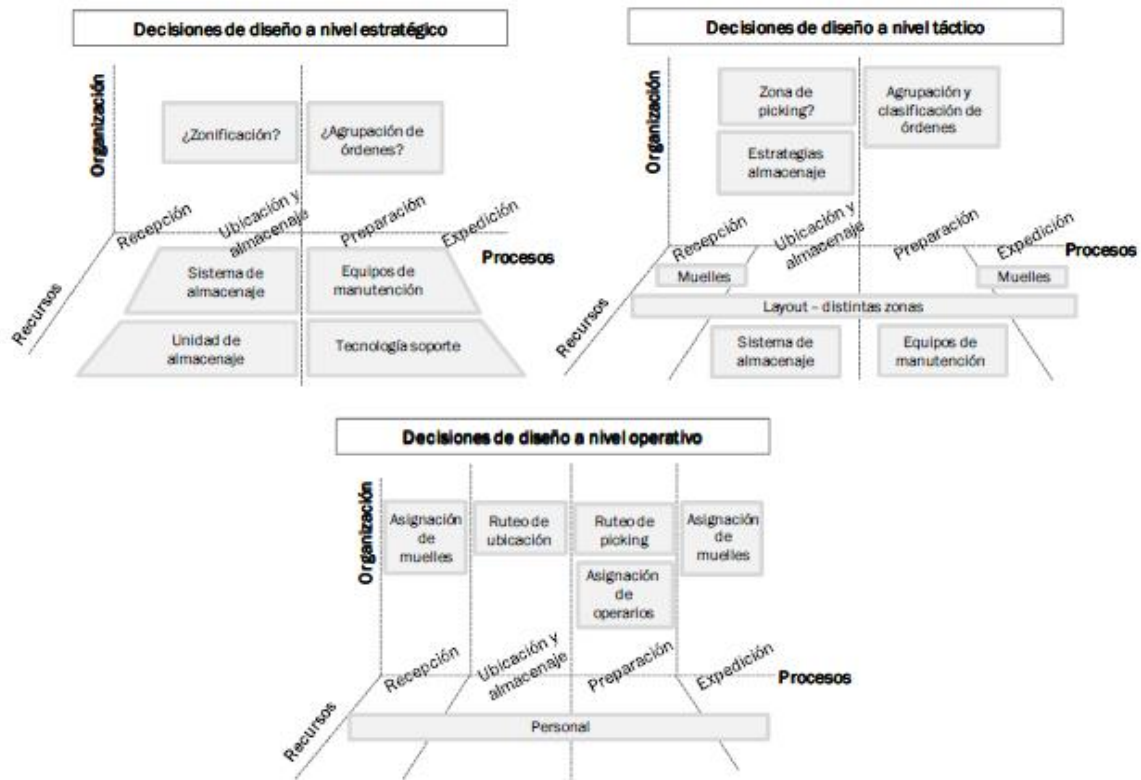


Figura 3. Decisiones a niveles estratégico, táctico y operativo. (Rouwenhorst et al. Adaptada 2000)

Aunque desglosan las decisiones según su horizonte temporal, en la ejecución de los mismos pierden el orden secuencial de los siete pasos propuestos en su metodología. Igualmente no detallan qué herramientas seleccionar para asegurar un correcto diseño ni tampoco de qué forma seleccionar entre las posibles alternativas de diseño.

En resumen, enfatizan la necesidad de investigación orientada a la síntesis de los modelos y técnicas aisladas actuales, como base para el apoyo a las decisiones en el diseño de un sistema de almacenamiento completo. Tal investigación rellenaría una importante brecha entre la literatura científica y la práctica del diseño y gestión de almacenes.



### **2.2.16 Rowley (2000)**

Rowley recopila las acciones planteadas por anteriores autores y en diez fases establece una metodología de diseño, sin detallar las decisiones a tomar en cada una de estas ni herramientas necesarias para su diseño:

1. Definir los requisitos del sistema y sus restricciones
2. Definir y obtener datos relevantes
3. Analizar datos
4. Establecer unidades de carga
5. Establecer procedimientos operativos
6. Considerar características de distintos equipos
7. Calcular necesidades de mantenimiento y almacenamiento
8. Definir otras funciones auxiliares
9. Diseños de planta posibles
10. Selección de diseño final, evaluar y comparar y simularlo.

### **2.2.17 Bodner et al. (2002)**

Bodner plantea un método reiterativo basado en cuatro fases muy generalistas sin aportar detalle en el diseño de cada de una de estas:

1. Obtención y análisis datos
2. Definición de funciones alto nivel
3. Definición especificaciones alto nivel
4. Realizar especificaciones del sistema

### **2.2.18 Goetschalckx et al. (2002)**

*Goetschalckx et al. (2002)*, mencionan dos procedimientos jerárquicos de diseño propuestos por *Gray et al. (1992)* y por *Miller (2001)*. Este documento se centra en los modelos para el diseño de un sistema de cajones y estantes según la metodología propuesta anteriormente por los autores. En su publicación, se aportan interesantes aspectos a tener en cuenta para el diseño adecuado de los estantes en los sistemas de almacenamiento, pero abordan la problemática de forma aislada, como la resolución de un único problema dentro del complejo mundo de diseño de los almacenes. Su punto de partida se basa en el planteamiento de la necesidad de una metodología menos exigente, más simple y rápida en ejecución. Para los autores esta debe ser capaz de buscar soluciones posibles entre un gran abanico de posibilidades, poder ser programable para poder ejecutarla con rapidez y a la vez que con los mismos

datos de entrada se obtenga siempre la misma solución (es decir, no aproximaciones de soluciones según diferentes iteraciones como plantean otros diseñadores). Por todo ello proponen un modelo jerárquico basado en los siguientes pasos:

1. Diseñar en cada área dentro del almacén su espacio requerido y sus flujos de materiales entre otras áreas de forma aislada.
2. Decidir la distribución de estas áreas, su diseño en planta.
3. Calcular costes
4. Actualizar parámetros de las fases 1 y 2 de forma que el proceso se repita de forma iterativa.

Con este modelo desarrollan un algoritmo iterativo desarrollado con un software de programación que contiene: Una función Objetivo, las áreas funcionales, el flujo de materiales, la tecnología utilizada, los recursos y la conservación del flujo.

Sin embargo, los autores resaltan la dificultad de encontrar la solución óptima debido a la complejidad del problema planteado, por lo que sugieren la aceptación de tres aproximaciones para reducir la casuística pero que a la vez le hace perder el rigor del planteamiento realizado con anterioridad.

Plantean con ello tres modelos (continuo, dimensión vertical y 3D) que aunque pueden resultar útiles para dimensionar los recursos necesarios, no ayudan en la toma de decisiones de cuáles de estas tecnologías seleccionar.

### **2.2.19 Hassan (2002) y Waters (2003)**

Estos dos autores en sus aportaciones aportan unos pasos en el diseño de almacenes que son muy similares a los aportados hasta la fecha por el resto de autores, salvo porque se centran más en el problema del diseño de planta de los mismos. Sus aportaciones muy similares justifican que se estudien de manera conjunta. Su aportación principal se basa en el análisis de la planta de los sistemas de almacenamiento, tratando de aportar pasos a seguir para poder desarrollar un modelo de planta eficiente para el trabajo en un almacén. No trabajan con limitaciones de espacios ni alturas, dejando las posibilidades de limitación de estas variables abiertas a debate. El dejar sin limitaciones estas variables aleja las posibles soluciones de los sistemas reales de almacenamiento que están siempre supeditados a dichas restricciones físicas.

### **2.2.20 McGinnis (2003)**

*McGinnis (2003)* plantea crear un modelo de referencia para el diseño de sistemas de almacenamiento. Para ello plantea una serie de principios organizativos y algunas líneas de trabajo basadas en la descripción, las predicciones, el control y el diseño. Su principal aportación se fundamenta en la necesidad de crear la infraestructura intelectual necesaria para que la investigación llevada a cabo en este campo tenga su correspondiente impacto. Para que esto tenga lugar, como requisito fundamental se necesita poder disponer de un modelo de referencia unificado, por lo que sugiere la necesidad de su creación.

### **2.2.21 Rushton et al. (2006)**

*Rushton et al. (2006)* en su libro reconocen la importancia de la flexibilidad en el diseño de almacenes. Para ello ejemplifican una serie de acciones a tener en cuenta en el momento de realizar los diseños, dejando abierta la posibilidad de poder modificar cada una de estas para poder otorgar mayor flexibilidad al diseño final realizado. Concluyen que es importante que los almacenes puedan gozar de un alto grado de flexibilidad lo que les hará poder ajustarse de mejor forma a los requerimientos que el mundo empresarial puede plantearlos en función de las necesidades de negocio que se planteen en cada instante. Sin embargo, no aportan una serie de pautas a tener en cuenta en el momento de contemplar todas las posibilidades de aumentar la flexibilidad en estos sistemas. La principal aportación de estos autores es el reconocimiento de la necesidad de flexibilidad en el diseño de sistemas de almacenamiento, variable que se tendrá en cuenta en el planteamiento metodológico de esta tesis.

### **2.2.22 Baker y Canessa (2007)**

Hay una serie de puntos en los que coinciden la mayoría de los autores relacionados con el área (*Baker y Canessa, 2007*):

- El diseño de almacenes es altamente complejo.
- Se aborda esta complejidad trabajando paso a paso.
- Todos estos pasos están relacionados y con un alto grado de realimentación.
- No es posible designar la solución óptima debido al gran número de opciones que se plantean en cada nivel de diseño.

Por ello, fusionando metodologías propuestas y prácticas realizadas por autores en este campo, aportan los siguientes 11 pasos en el diseño de almacenes:

1. Definición de los requerimientos del sistema
2. Definición y obtención de los datos
3. Análisis de los datos
4. Establecimiento de cargas de datos unitarias a utilizar
5. Definición de procedimientos operativos y métodos de trabajo.
6. Consideración de tecnologías existentes.
7. Calcular capacidades y cantidades de los elementos seleccionados para el diseño del almacén.
8. Definición de servicios y operaciones secundarias.
9. Planteamiento de posibles diseños de planta
10. Evaluación
11. Identificar la solución a implantar

*Baker y Canessa (2007)* analizan las herramientas, y los pasos de diseño propuestos por diferentes autores con el objetivo de poder identificar características comunes en ellos y así poder determinar patrones de diseño establecidos para determinadas combinaciones. Algunos autores proponen sus propias metodologías y las publican. Para contrastar algunas de estas aportaciones, realizan un estudio de casos prácticos de centros de distribución, según diferentes sectores de actuación, con el objetivo de analizar las características básicas de los mismos, diseñados para ofrecer la respuesta más rápida ante las demandas de los clientes. Es por ello que consultan a siete empresas que diseñan almacenes, recopilando las herramientas que utilizan los entrevistados en su labor de diseño. Finalizan su artículo animando a otros autores en este campo a que realicen aportaciones con la intención de lograr una metodología clara. En cuanto a herramientas, proponen entre otras: checklist de validación, software comercial, hojas de cálculo, diagramas de flujo, árbol de decisión, matriz de atributos, manual de equipos, CAD, simulación y análisis DAFO.

**Sin embargo su metodología propuesta en los 11 pasos, anteriormente detallados es una de las grandes aportaciones en este campo. Finalmente incentivan a los investigadores en esta área a seguir aportando métodos de diseño con el objetivo de construir una metodología que resulte práctica.**

### **2.2.23 De Koster et al. (2007)**

*De Koster et al. (2007)* realizan una revisión muy completa de la literatura relacionada con la preparación de pedidos, en particular en sistemas de operario a producto trabajando a baja altura. Esta elección se basa en que, según la experiencia de los autores, más del 80% de los almacenes de picking son de este tipo. Sin embargo, la literatura académica se centra más en picking que en sistemas de almacenamiento de reserva y sistemas AS/RS.

Concluyen con las siguientes ideas:

1. A pesar del predominio de los sistemas operario a producto, han tenido menos investigación que los sistemas producto a operario. Las razones pueden tener que ver con la complejidad y diversidad de los sistemas operario a producto. Más aún, los sistemas producto a operario a menudo son automatizados total o parcialmente, atrayendo la atención de los investigadores.
2. Aunque el número de publicaciones en las áreas de distribución en planta, lotificación, zonificación, estrategias de almacenamiento y acumulación y clasificación es todavía limitada, su número está en crecimiento. En particular, parecen haber madurado las áreas de asignación de almacenamiento y determinación de rutas. Pocos autores consideran la combinación de decisiones, aunque sea necesario por la obvia interdependencia en su impacto en los objetivos de la preparación de pedidos. Nuevos desarrollos prácticos con productividades sin precedentes tales como el almacenamiento dinámico aún no han recibido la atención de los académicos.
3. Los estudios actuales en sistemas operario a producto se centran principalmente en la gestión aleatoria de las ubicaciones. Aún faltan modelos analíticos para optimizar la asignación de ubicaciones fija y basada en clases. Más aún, este efecto parece ser ampliamente despreciado en la literatura. En su lugar, muchos autores se centran

en la gestión aleatoria de las ubicaciones para analizar el desempeño de los métodos de determinación de rutas.

4. Casi toda la investigación en la preparación de pedidos trata la demanda como conocida de antemano, lo cual no es cierto, especialmente en entornos de preparación rápida (pedidos pequeños que llegan continuamente y que deben ser expedidos dentro de un pedido temporal estrecho). Los problemas de optimización que aparecen en estos sistemas deben ser considerados como problemas de optimización estocástica, no determinista.
5. Mucha de la investigación se centra en una situación específica de preparación de pedidos o problema de decisión. Sin embargo, no es adecuado aplicar a otra situación los métodos desarrollados para una situación específica. Faltan procedimientos generales de diseño y modelos de optimización global.

#### **2.2.24 Gu et al. (2007)**

Los autores inciden que es necesario disponer en la fase de diseño de un almacén de herramientas que permitan asegurar que las decisiones adoptadas conducen a los mejores diseños posibles. Para ellos el diseño de almacenes se centra en los siguientes cinco pasos:

1. Definición de los requerimientos iniciales
2. Dimensionamiento en base al inventario y políticas de reaprovisionamiento.
3. Definición de la planta del almacén
4. Selección de equipos en base a las combinaciones de tecnologías existentes. Aquí resaltan la necesidad de un método que permita seleccionar las mejores configuraciones posibles.
5. Selección de métodos operativos

Una contribución importante de los autores es la importancia de la necesidad de una herramienta que permita la selección de entre las alternativas posibles, de aquellas combinaciones de tecnologías que minimicen los costes logísticos.

Gu et al. (2007) realizan una revisión muy completa de la literatura relacionada con la preparación de los problemas de planificación de operaciones en los almacenes. Las nuevas técnicas de producción surgidas en los últimos tiempos (técnicas Just In Time) y las tecnologías surgidas como las

de Radiofrecuencia han supuesto una revolución en la gestión de operaciones de los almacenes. Los problemas de almacenes los dividen en dos bloques principales:

- 1- Problemas relacionados con el diseño de los mismos y basados en la estructura general, el dimensionamiento, el layout de salida, el equipamiento técnico o la estrategia de operaciones.
- 2- Problemas relacionados con las operaciones de los mismos como la recepción y envío, el almacenamiento o los tipos de picking.

En cada uno de estos bloques se analizan las decisiones que se han de tomar para diseñar o decidir las operaciones a realizar.

Se hace especial hincapié en los problemas relacionados con las operaciones. Se evalúan de manera conjunta los algoritmos de designación de rutas y picking por lotes. Inciden en que la mayor parte de la literatura se ha enfocado hacia el objetivo de la minimización del tiempo total de cada orden de picking, con métodos heurísticos para las órdenes de secuenciación y que muy pocos artículos han desarrollado algoritmos óptimos de procesamiento por lotes. Finalmente proponen las siguientes conclusiones:

- Algunos problemas han recibido mucha atención de los investigadores (SLAP, storage location assignment problem) mientras que otros (zonificación) apenas se han investigado.
- Hay poca evidencia directa de la colaboración entre investigadores y la industria.
- Las decisiones son del nivel operativo, lo que significa que se adoptan con bastante frecuencia y que la influencia de las decisiones suele ser localizada y de corta duración. Estas decisiones típicamente deben tomarse rápidamente sin grandes recursos computacionales, lo que tiende a promover el uso de heurísticas. Además, desde el punto de vista de la gestión, un método ideal debe ser simple, intuitivo y fiable para minimizar el entrenamiento del personal del almacén.
- Otra consecuencia de la naturaleza operativa de los problemas analizados es que deben considerarse dinámicamente incorporando nueva información sobre el entorno operativo. Existe alguna investigación sobre la planificación dinámica de las operaciones, pero los problemas

dinámicos han sido estudiados mucho menos que los estáticos equivalentes.

- La investigación suele concentrarse en algunas mediciones estándar del desempeño, como el coste total de preparación, pero en muchas situaciones prácticas el retraso o el plazo de preparación son igualmente importantes.
- Continúa siendo necesaria la investigación en la gestión operativa de los almacenes, donde se consideren conjuntamente diferentes procesos, se respete la naturaleza dinámica de los problemas y se consideren simultáneamente múltiples objetivos.
- El dominio de investigación de las operaciones del almacén es muy rico y desafiante. Dada la importancia de los almacenes en la cadena de suministro, los resultados de investigación pueden tener un impacto económico significativo.

#### **2.2.25 Cakmak, Gunay, Aybakan y Tanyas (2012)**

*Cakmak, Gunay, Aybakan y Tanyas (2012)*, estudian la importancia del diseño del “layout” de los almacenes con el objetivo de minimizar los tiempos de desplazamiento en la preparación de los pedidos. De esta forma, plantean la optimización del diseño de planta en base al número de puertas de entrada y salida del mismo sistema de almacenamiento y de la regla de Pareto para la ubicación de los diferentes tipos de ítems en el almacén. Abordan una problemática clara de los sistemas de almacenamiento, de forma aislada del resto de variables a tener en cuenta. La aportación es importante desde el punto de vista táctico y operativo pero no cuenta con el punto de vista estratégico.

#### **2.2.26 Accorsi, Manzini y Maranesi (2013)**

En los últimos años, *Accorsi, Manzini y Maranesi (2013)* aportan un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS), para el diseño, control y gestión de los almacenes, entre las que destaca la prioridad en la gestión de las colas de pedidos, decisión clave en los costes logísticos de un sistema de almacenamiento. Además presentan en su artículo un caso de estudio práctico para ejemplificar el algoritmo de ayuda a la toma de decisiones descrito. Es un algoritmo muy centrado en la optimización de pedidos. Sin embargo, la aportación de estos autores reside en la propuesta de un método de diseño basado en una serie de decisiones.



### 2.2.27 Kostrzewski (2014)

Por último, *Kostrzewski* (2014) recopila una gran mayoría de las aportaciones realizadas hasta la fecha por los diferentes autores y propone una metodología de diseño implementable, basada en una sucesión de 23 niveles en los que se ejecutan cada una de las acciones descritas en el diagrama que se presenta a continuación:

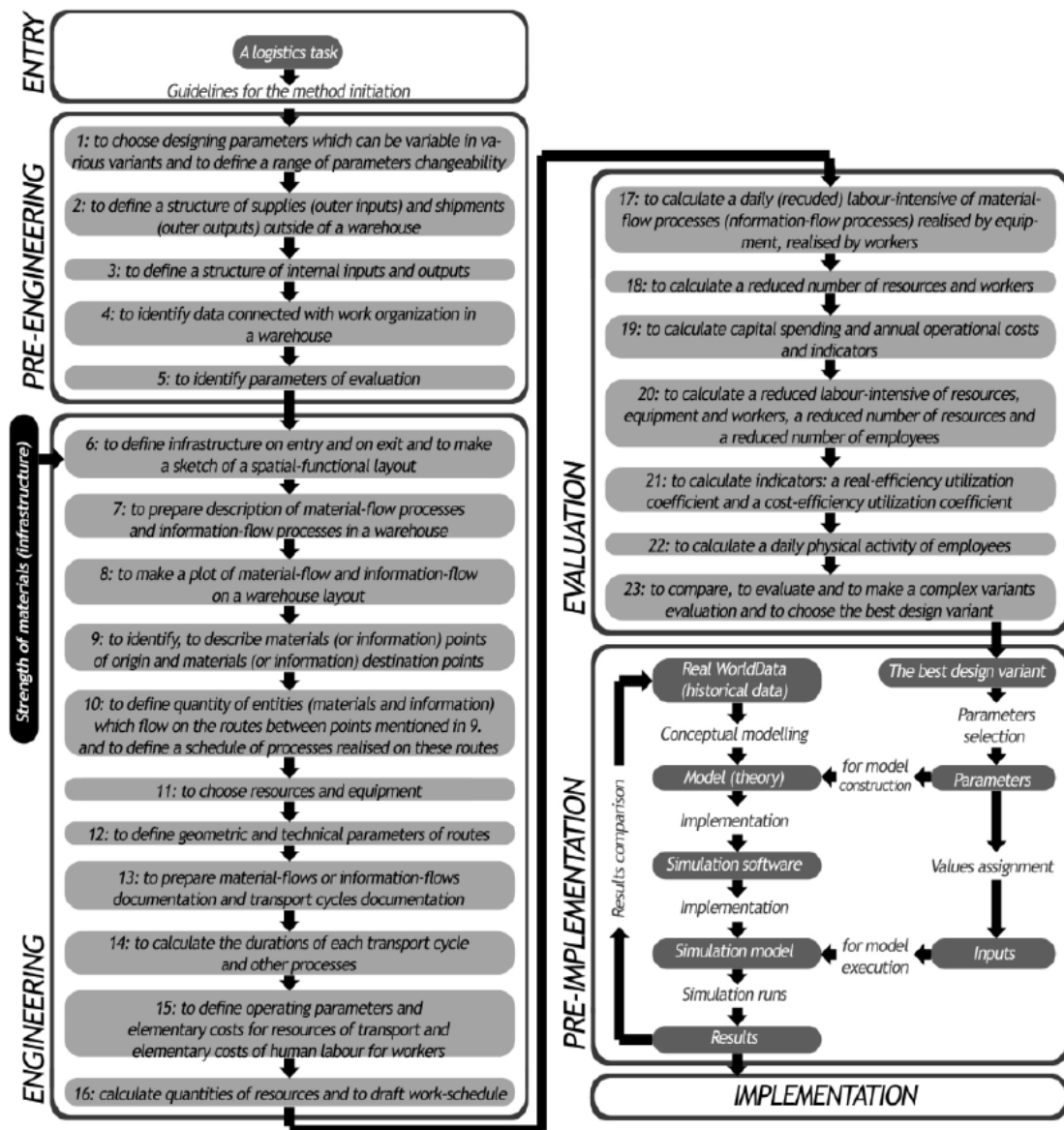


Figura 4. Metodología implementable (Kostrzewski 2014)

*Kostrzewski* (2014) establece que el método debe ser abierto y actualizable, pero que la esencia de la ejecución del mismo debe ser la ejecución de los pasos descritos. Sin embargo, no aporta herramientas que ayuden a la toma de decisiones ni tampoco detalla el procedimiento de ejecución de todas las fases.

Sugiere su implementación como algoritmo de programación para futuras investigaciones. Sin embargo no detalla ni como tomar las decisiones en cada uno de los niveles establecidos, ni aporta herramientas que permitan la toma de estas decisiones. Enumera las fases, indicando los pasos a seguir, pero no qué decisiones tomar en cada uno de ellos ni las implicaciones que estas decisiones tienen en el diseño de los sistemas de almacenamiento.

### **2.2.28 Comparativa metodologías propuestas por autores**

A continuación, en el siguiente cuadro se exponen las diferentes metodologías expuestas por los anteriores autores analizados con sus principales aportaciones y las limitaciones que presentan como resumen del análisis anterior:

<b>Autor/es</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>	<b>Limitaciones</b>
Heskett et al.	1973	Primeras acciones a realizar para desarrollar una metodología de diseño.	Únicamente aportan indicaciones a seguir en el procedimiento de diseño, sin detallar el alcance e implicación de estas.
Apple	1977	Establece una serie de acciones que finalmente se resumen en 11 pasos a seguir en el diseño de almacenes.	Explica el procedimiento pero no establece el detalle de cada una de las acciones.
Ashayeri y Gelders	1985	Metodología de diseño de almacenes, concluyen que ni un enfoque analítico puro, ni un enfoque que sólo utilice simulación, conducen a un método práctico y general. Ha de ser una combinación de ambos.	No aportan un método, sólo enfoques y aproximaciones.
Firth et al.	1988	Establecen diferentes métodos alternativos en el diseño.	No profundizan en los niveles detallados.
Hatton	1990	Analiza cantidad de productos y movimientos.	No estudia ninguna de las implicaciones de cada uno de los supuestos.

<b>Autor/es</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>	<b>Limitaciones</b>
Choe y Sharp	1991	Se basan sólo en los almacenes de picking, considerando solo: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selección de equipos.</li> <li>2. Gestión operativa.</li> </ol>	Punto de vista subjetivo, basado sólo en la experiencia, sin rigor objetivo.
Cormier y Gunn	1992	Importante aportación al clasificar las decisiones a tomar en 3 niveles: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Decisiones estratégicas.</li> <li>2. Decisiones tácticas.</li> <li>3. Decisiones operativas.</li> </ol>	Se analizan las decisiones en los tres niveles por separado sin aportar implicaciones entre cada uno de los niveles.
Gelders	1992	Comparativa de la distribución con las cadenas de producción.	Sugiere utilizar las técnicas de producción sin detallar cómo realizarlo.
Johnson y Lofgren	1994	Aportan su experiencia personal en la fase de diseño descomponiendo este en fases independientes que se pueden llevar en paralelo.	Diseño por zonas basado en experiencias previas, sin aportar un método de trabajo.
Mulcahy	1994	Establece diferentes alternativas de diseño para un mismo planteamiento.	No detalla cómo se realiza la selección de la mejor alternativa de entre todas las planteadas
Oxley	1994	Recopila de forma clara todos los procedimientos aportados con anterioridad y aporta el paso de evaluación de los diseños propuestos.	No establece el procedimiento o técnica de selección de alternativas.
Yoon y Sharp	1995	Establecen un procedimiento de diseño.	Basado en experiencias de diseñadores, sin rigor objetivo en cuanto al método aportado en el procedimiento.

<b>Autor/es</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>	<b>Limitaciones</b>
Van den Berg y Zijm	1999	Tratamiento aislado de los problemas de diseño en contraposición a otros autores. Proponen una serie de modelos de gestión táctica.	No establecen modelos estratégicos, tampoco operativos y utilizan una perspectiva aislada.
Govindaraj et al.	2000	Establecen un procedimiento reiterativo en el diseño.	Sin herramientas que aporten alguna ayuda en el diseño.
Rouwenhorst et al.	2000	Proponen entre todo un modelo de referencia basado en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización almacenes.</li> <li>• Diseño.</li> <li>• Problemas con el diseño.</li> <li>• Revisión de modelos de almacenes.</li> <li>• Investigación orientada al diseño.</li> </ul>	No aportan metodología definida, solo los tres niveles de diseño (estratégico, táctico y operativo).
Rowley	2000	Recopila anteriores aportaciones y establece método de diseño en 10 pasos.	No aporta método de selección de alternativas propuestas.
Bodner et al.	2002	Recopilan algunas aportaciones anteriores y establecen método iterativo en pocas fases de diseño.	Con el procedimiento iterativo no establecen en base a que se va iterando.
Goetschalckx et al.	2002	Proponen un modelo para el diseño de un sistema de cajones y estantes en un almacén.	Pasos únicamente en el diseño operativo en toda su aportación.
Hassan y Waters	2002 y 2003	Aportan pasos en el diseño de almacenes.	Se centran más en el problema del diseño de planta de los mismos.
McGinnis	2003	Necesidad de un modelo de referencia unificado.	No aporta acciones concretas en ningún paso del procedimiento.

<b>Autor/es</b>	<b>Año</b>	<b>Aportación</b>	<b>Limitaciones</b>
Rushton et al.	2006	Resalta la importancia de la flexibilidad en la toma de decisiones en el diseño.	No aporta método que ayude a la toma de decisiones.
Baker y Canessa,	2007	Recopilación de pasos a seguir en el diseño de almacenes por parte de las empresas. Recopilan herramientas como: checklist de validación, software comercial, hojas de cálculo, diagramas de flujo, árbol de decisión, matriz de atributos, manual de equipos, CAD, simulación y análisis DAFO.	No se establece metodología clara y las herramientas aportadas no son de gran ayuda.
De Koster et al.	2007	Revisión muy completa de la literatura relacionada con la preparación de pedidos. Se hace especial énfasis en los estudios desarrollados en torno a la función de preparación de pedidos.	No aportan metodología propia ni herramientas de ayuda a la toma de decisiones.
Gu et al.	2007	Método de diseño en 5 pasos. Plantean la necesidad de una herramienta de ayuda a la selección de alternativas basadas en las combinaciones de tecnologías.	No aportan detalles del método planteado, solo indicaciones.
Cakmak, Gunay , Aybakan y Tanyas	2012	Optimización del diseño de planta en base al número de puertas de entrada y salida del mismo sistema de almacenamiento.	Sólo aportaciones a nivel operativo.
Accorsi, Manzini y Maranesi	2013	Sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS).	Siguen sin seguir una metodología detallada.
Kostrzewski	2014	Propone su propia metodología implementable.	No aporta herramientas de ayuda.

**Tabla 1. Aportaciones/Limitaciones metodologías autores**

Con este análisis se puede comprobar que con el tiempo la visión de los almacenes ha variado en los autores, generando en estos una mayor demanda de herramientas de ayuda a la toma de decisiones. Aparecen escuelas de pensamiento más orientadas al uso de modelos cuantitativos como *Rouwenhorst et al.* y otras que demandan un enfoque más conceptual con herramientas como diagramas de flujo, análisis DAFO o experiencia propia entre otras, como *Baker y Canessa*. El enfoque jerárquico en la toma de decisiones respecto a las instalaciones de sistemas de almacenamiento (decisiones estratégicas, tácticas y operativas) está muy aceptado por diferentes autores como se ha visto en la revisión de literatura, así como el hecho de tomar todas decisiones al mismo tiempo.

Sin embargo, no se han encontrado aportaciones significativas en cuanto a metodologías de diseño para paletas, aparte de la de *Alshayery y Gelders, (1985)*, por lo que es esta la única que se ha incluido en la revisión realizada.

### **2.3 Minimización de costes en el diseño de un almacén**

Como se podrá observar, el número de publicaciones no es muy grande y para poder realizar un estudio en detalle de lo publicado en esta área de minimización de costes hay que remontarse incluso a artículos publicados en los años 80. En este segundo bloque de análisis de literatura los artículos presentados tratan de aportar indicaciones que posibiliten la minimización de los costes, uno de los objetivos planteados en la presente tesis.

#### **2.3.1 Rosenblatt et al. (1984)**

*Rosenblatt et al. (1984)* escriben un artículo sobre el problema de minimización del coste de un almacén en el que aparece el siguiente modelo de minimización con las variables:

$$\text{Min TC (K, p)} = \text{Min [C1(K,p) + C2(K,p) + C3(K,p)] donde} \quad (2.1)$$

K	Capacidad del almacén
p	Extensión de la aleatoriedad, denotando la fracción de un almacén dentro de la cual la ubicación aleatoria está permitida. Si r es el número de zonas de un almacén, entonces $p=1/r$ .

C1	Coste asociado con la construcción y con la manipulación interna de un almacén con una capacidad K y con r zonas.
C2	Costes producidos cuando un almacén no puede absorber toda la entrada de mercancía.
C3	Función de la estrategia de almacenamiento adoptada en conjunción con las zonas de almacenaje.

A continuación aparece una discusión de estos tres componentes del coste analizado. El primero de ellos C1 hace referencia al layout interno del almacén, son costes de construcción y de manipulación. Si un almacén con estanterías tiene un número n de estanterías, un número m de posiciones en cada estantería y un número H de niveles de altura en cada estantería, la capacidad total del almacén se define como  $K=2*m*n*H$ , siendo el objetivo de diseño del almacén el encontrar la pareja óptima m, n que minimice el coste dado una capacidad deseada K.

La segunda de las variables analizadas C2, está relacionada con las políticas de almacenamiento, las que hacen referencia al agrupamiento de mercancías según la entrada para minimizar costes de almacenamiento, las de ubicación aleatoria en las que se ubican los palets en una zona determinada, pero dentro de esta se hace de forma aleatoria, y frente a estas, está la política de ubicación totalmente aleatoria en todo el almacén, en la que cuanto más pequeña sea la capacidad del almacén mayor será el número de mercancías que no se puedan ubicar en el almacén.

La tercera variable depende de la estrategia de almacenamiento, y se determina en función del estudio de las variables anteriores. Para ello plantean en el artículo una serie de pasos (12, en concreto) para poder establecer el procedimiento de diseño del almacén, en función del número de palets que pasan por el almacén en un año, analizando diariamente, el número de palets y tiempo de almacenamiento de cada pedido recibido junto con el tamaño de cada pedido, número de pedidos al día y tiempos de almacenamiento de cada uno de estos. Se presenta un ejemplo numérico que aclara el procedimiento establecido.

Aunque es un modelo de diseño que permite obtener parámetros que minimicen el coste de los almacenes, no se ofrece ninguna estrategia de almacenamiento o modo de elegir la más adecuada.

### **2.3.2 Ashayeri y Gelders (1985)**

*Ashayeri y Gelders (1985)* basan su estudio en un modelo propuesto para calcular las dimensiones de un almacén automático de paletas con el objetivo de optimizar los costes de la inversión en la vida útil del mismo. Como restricciones al modelo considera las dimensiones máximas del terreno a utilizar así como la producción máxima del almacén.

### **2.3.3 Gray, Karmarkar y Seidmann (1992)**

Gray, Karmarkar, y Seidmann, (1992) presentan una formulación basada en experiencias previas del problema global de diseño de un almacén, estableciendo como objetivo la minimización de costes como criterio prioritario en el momento de la toma de decisiones de diseño y con variables de decisión basadas en criterios de costes, así como restricciones al problema planteado.

Sin embargo al ser un problema complejo propone su descomposición en tres niveles de decisión (Políticas de operaciones, ubicación de artículos y selección de tecnologías), sin tener un fuerte acoplamiento entre estas. De esta manera analiza por separado cada uno de estos niveles de decisión, detallando las variables que influyen en cada uno de los campos tratados, sin considerar la implicación o influencia que estas mismas pueden tener en los siguientes niveles planteados.

### **2.3.4 Goetschalckx et al. (2001)**

*Goetschalckx et al. (2001)*, proponen un modelo cuantitativo para abordar el diseño de un almacén considerando la evolución temporal. Resulta ser un flujo de materiales con limitaciones de capacidad formulado así:

- La función objetivo consiste en minimizar los flujos de caja actualizados (inversión inicial más los costes operativos actualizados).
- Áreas funcionales: según el modelos de referencia y donde los componentes están sujetos a restricciones.
- Flujo de productos: atraviesa el almacén y debe tener detalle suficiente para representar los departamentos principales y su flujo a lo largo del tiempo.



- Tecnologías: cada área funcional debe usar una o más tecnologías para realizar su función, cada alternativa con su coste.
- Recursos: típicamente horas hombre por categoría, horas de equipo por tipo de equipo, espacio, presupuesto de inversiones. Existe una capacidad disponible de cada recurso en cada período.
- Requisitos de capacidad: restricciones del flujo.
- Conservación generalizada del flujo: (a) balance tradicional de flujo de entrada y salida de cada producto en un departamento para cada período temporal; (b) balance de flujo entre períodos temporales que incorpora el efecto de los inventarios; (c) balance de flujo entre productos cuando un producto se transforma en otro.

El problema así formulado es un flujo de materiales con limitaciones de capacidad. Es muy importante mantener el número de producto en un mínimo para limitar el tamaño global del problema.

Sin embargo el mayor desafío es determinar y validar los datos necesarios para esta formulación.

Proponen un algoritmo para el diseño iterativo de almacenes:

1. Resolver el modelo cuantitativo anterior (CMF). Para cada área funcional la solución determina la o las tecnologías utilizadas, el espacio necesario y el flujo de materiales con otras áreas.
2. Realizar la distribución en planta del almacén (WBL) utilizando la superficie necesaria por departamento y los flujos de materiales. Se obtiene la distancia entre los departamentos.
3. Calcular los medios de transporte necesarios entre departamento y su coste; añadirlo al coste obtenido en el paso 1 para obtener el coste global.
4. Si se desea, los parámetros de coste del problema 1 pueden actualizarse de forma que se puedan resolver CMF y WBL iterativamente hasta que ambas soluciones converjan.

### **2.3.5 Hwang y Cho (2006)**

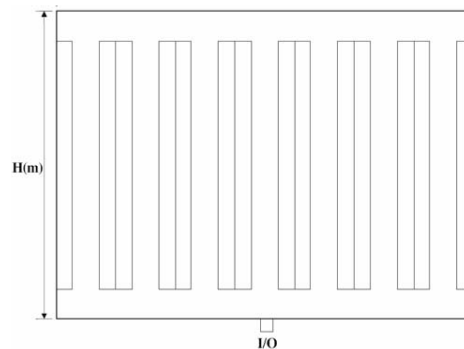
*Hwang y Cho (2006)* desarrollan un modelo analítico para la minimización de los costes de un almacén de picking mediante la reducción del número de vehículos (reduciendo la distancia recorrida). Propone un enfoque basado en tres pasos, donde los primeros constituyen un modelo matemático y el último un modelo de simulación. Plantean el siguiente esquema de desarrollo:

1. Diseño del almacén de picking.
  - Parámetros del diseño.
  - Configuración del sistema.
2. Análisis del desempeño de los vehículos.
  - Tiempo de desplazamiento en el almacén.
  - Tiempo de parada ante las SKU
  - Tiempo de extracción en el área de preparación.
  - Número de unidades recuperadas por vehículo.
3. Diseño de la distribución en planta usando AutoMod.
  - Desempeño de los vehículos.
  - Capacidad y desempeño del sistema.

Para el modelo matemático desarrollan expresiones analíticas de la probabilidad de picking, tamaño óptimo de la estantería y tiempo de desplazamiento. Finalmente utilizan el modelo de simulación para comprobar la bondad de las expresiones analíticas utilizadas.

### 2.3.6 Manzini et al. (2007)

*Manzini et al. (2007)* determinan empíricamente mediante simulación un modelo analítico para estimar la distancia recorrida durante un ciclo de picking en un sistema preparador a producto. Obtienen para la distribución vertical de pasillos siguiente:



**Figura 5. Diseño en planta básico de un almacén (Manzini et al. 2007)**

$$L = s \cdot p \cdot c \cdot \frac{N_{\text{pick}} \cdot (S)^{0.45}}{\sqrt[5]{R}} \quad (2.2)$$

Por otra parte, para la orientación longitudinal del almacén (ver figura 6), la longitud media se expresa como:

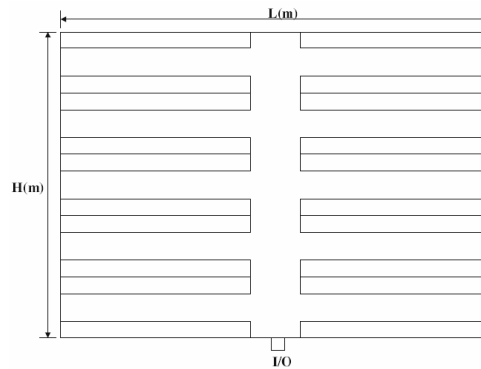


Figura 6. Diseño en planta básico de un almacén (Manzini et al. 2007)

$$L = \frac{H \cdot N_{\text{pick}}}{2 \cdot R} + s \cdot p \cdot c \cdot \frac{N_{\text{pick}} \cdot (S)^{0.45}}{\sqrt[5]{R}} \quad (2.3)$$

Donde las variables indicadas son:

- L Distancia media a recorrer
- H Anchura del almacén
- s Constante que identifica la forma del almacén dependiendo de la longitud y anchura.
- p Parámetro que identifica la configuración del sistema basado en la combinación de la forma y el valor de la política de distribución.
- c Parámetro asociado con la combinación de la forma, políticas de aprovisionamiento y valores de la clase y de la curva de simulación.
- $N_{\text{pick}}$  Número de pickings realizados en un periodo determinado.
- S Superficie (m<sup>2</sup>).
- R Número de acciones de picking para llenar el espacio de un vehículo de picking.

### 2.3.7 Comparativa minimización costes propuestos por autores

A continuación se recopilan en la tabla 2 las aportaciones más significativas de los autores mencionados con anterioridad, así como las limitaciones que ofrecen cada una de sus aportaciones en este campo.

Autor/es	Año	Aportación	Limitaciones
Rosenblatt et al.	1984	Modelo de minimización costes en almacén.	No ofrecen ninguna estrategia básica de almacenamiento o modo de elegir la más adecuada.
Ashayeri y Gelders	1985	Modelo propuesto para calcular las dimensiones de un almacén automático con el objetivo de optimizar costes de la inversión en la vida útil del mismo.	Restricciones sólo basadas en la superficie disponible.
Gray, Karmarkar, y Seidmann	1992	Descomposición del diseño en tres niveles de decisión (Políticas de operaciones, ubicación de artículos y selección de tecnologías.	Se analizan por separado.
Goetschalckx et al.	2001	Modelo cuantitativo para abordar el diseño de un almacén considerando la evolución temporal.	Decisiones basadas en las restricciones dadas.
Hwang y Cho	2006	Modelo analítico para la minimización de los costes de un almacén de picking mediante la reducción del número de vehículos.	Sólo analizan esta perspectiva de minimización de costes.
Manzini et al.	2007	Modelo analítico para estimar la distancia recorrida durante un ciclo de picking en un sistema preparador a producto.	Aportaciones sólo a nivel operativo.

Tabla 2. Aportaciones/Limitaciones reducción costes autores

## 2.4 Conclusiones

Se ha realizado una revisión de literatura sobre el diseño de sistemas de almacenamiento para intentar encontrar aportaciones en este campo que nos puedan servir como punto de partida para poder establecer una metodología general en esta área. En esta revisión se han encontrado dos tipos diferenciados de artículos relacionados con este campo de investigación.

En primer lugar, hay un grupo de artículos que tratan diferentes líneas de diseño estratégico y táctico basadas en métodos de diseño o aportaciones propias. Entre alguno de los artículos más relevantes destaca el de *Rouwenhorst et al. (2000)*, en el que desarrollan un modelo de referencia para el diseño de almacenes y realizan una revisión de la literatura relacionada con estos procedimientos. En su revisión inciden en que los artículos publicados se centran en problemas aislados bien definidos y con un enfoque analítico. Se hace especial énfasis en las tres fases de diseño de los almacenes (estratégico, táctico y operativo), resaltando la importancia de trabajar en paralelo con las múltiples variables de decisión. Otro de los artículos destacables en este campo es el de *Baker y Canessa, (2007)* en el que concluyen con que no es posible designar la solución óptima debido al gran número de opciones que se plantean en cada nivel de diseño. Aportan una metodología basada en 11 pasos a seguir en el método de diseño basado en las aportaciones de los anteriores autores en este campo.

En segundo lugar, hay otro grupo de artículos que plantean diferentes algoritmos de cálculo con el objeto de minimizar los costes de almacenamiento. Se puede resaltar dentro de esta área el artículo de *Goetschalckx et al. (2001)*, en el que proponen un modelo cuantitativo para el análisis de capacidad necesaria de un almacén.

Al realizar esta revisión bibliográfica se ha podido observar, conforme se ha recogido en las tablas 1 y 2, que las publicaciones realizadas en este campo presentan únicamente una serie de indicaciones generales y pautas de ayuda en el diseño de sistemas de almacenamiento, sin plantar las bases de lo que se podría considerar como un método de diseño válido y único para todas las posibles situaciones. Por tanto, tal como presenta en su artículo *Rouwenhorst et al. (2000)*, se han realizado muy pocas contribuciones a decisiones estratégicas, tácticas y operativas a la vez, y es por eso mismo que resulta tan complejo establecer una metodología que tenga presente en todo momento decisiones en los tres niveles.

Es por ello que existe este hueco dentro del campo de investigación de los sistemas de almacenamiento. De esta forma, con la presente tesis, se planteará la elaboración de un método de diseño que pueda ofrecer la mejor solución posible bajo unas

## Capítulo 2. Revisión de la literatura sobre metodologías para el diseño estratégico

determinadas restricciones. Finalmente se muestra a continuación una tabla Resumen sólo con los artículos en los que se hacía alguna propuesta metodológica para almacenes de paletas, dejando de lado el diseño de los almacenes de picking, al no ser el propósito de la presente tesis:

<b>Autor/es</b>	<b>Año</b>	<b>Limitaciones</b>
Apple	1977	Establece un procedimiento de 11 pasos como una primera metodología de diseño pero no explica el procedimiento de detalle de cada una de estas.
Rosenblatt et al.	1984	No se ofrece ninguna estrategia de almacenamiento o modo de elegir la más adecuada en su propuesta de modelo de minimización de costes en almacén.
Ashayeri y Gelders	1985	Proponen 5 dimensiones a analizar de forma separada sin aportar método, solo enfoques y aproximaciones: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Nivel mecanización.</li><li>2. Política de almacenaje.</li><li>3. Ciclo Pedidos.</li><li>4. Dimensiones almacén.</li><li>5. Disponibilidad información.</li></ol>
Choe y Sharp	1991	Diseño subjetivo basado en experiencia únicamente de: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Selección de equipos.</li><li>2. Gestión operativa.</li></ol>
Cormier y Gunn	1992	Toma de decisiones en 3 niveles por separado sin aportar implicaciones entre cada uno de ellos: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Decisiones estratégicas.</li><li>2. Decisiones Tácticas.</li><li>3. Decisiones Operativas.</li></ol>
Gelders	1992	Sugieren utilizar las técnicas de producción aplicadas al almacenamiento sin detallar cómo.
Gray, Karmarkar, y Seidmann	1992	Análisis por separado del diseño en los tres niveles de decisión.
Johnson y Lofgren	1994	Descomposición del diseño en partes independientes basado en experiencias previas: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Clasificación.</li><li>2. Preparación pedidos.</li><li>3. Empaquetado.</li><li>4. Envío de paletas.</li></ol>

<b>Autor/es</b>	<b>Año</b>	<b>Limitaciones</b>
Yoon y Sharp	1995	Procedimiento de diseño basado este en experiencias de diseñadores, no aporta rigor objetivo.
Van den Berg y Zijm	1999	Proponen una serie de modelos de gestión táctica únicamente, no estratégicos ni operativos: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducción de inventario.</li> <li>2. Separación picking y reserva.</li> <li>3. Asignación ubicaciones.</li> </ol>
Rouwenhorst et al.	2000	Proponen un modelo de referencia basado en: Caracterización de almacenes, diseño, problemas con el diseño, revisión de modelos de almacenes e investigación orientada al diseño.
Goetschalckx et al.	2001	Decisiones basadas en restricciones dadas en un modelo cuantitativo para abordar el diseño de un almacén considerando la evolución temporal.
Goetschalckx et al.	2002	Diseño operativo de estantes en un almacén.
Hassan y Waters	2002	Se centran más en el problema del diseño de planta de los mismos.
McGinnis	2003	Necesidad de un modelo unificado, pero no aporta acciones concretas en ese modelo de referencia.
Rushton et alt.	2006	Resalta la importancia de la flexibilidad en la toma de decisiones en el diseño de almacenes.
Baker y Canessa,	2007	Recopilación de 11 pasos a seguir en el diseño de almacenes por parte de las empresas, basado en las aportaciones de los anteriores autores, sin aportar detalle claro y definido sobre las decisiones a adoptar en el proceso de diseño.
Gu et al.	2007	Plantean 5 pasos a seguir como guía pero no profundizan en las decisiones de diseño.
Cakmak, Gunay , Aybakan y Tanyas	2012	Optimización del diseño de planta en base al número de puertas de entrada y salida del mismo sistema de almacenamiento, solo a nivel operativo.
Accorsi, Manzini y Maranesi	2013	Aportan un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) sin seguir ninguna metodología definida.

**Tabla 3. Resumen Limitaciones metodologías autores**

Como se puede apreciar, cada una de ellas por separado aporta aspectos a tener en cuenta de cara al diseño de sistemas de almacenamiento. Sin embargo abordan variables de diseño tratadas de forma aislada, decisiones subjetivas de diseño y pasos a seguir aislados. No se ofrece un enfoque global, donde se contemplen todas las variables de diseño al mismo tiempo y donde se pueda valorar cada decisión tomada, pudiendo comparar esta con las opciones descartadas.

El desarrollo de la metodología que se propone en la presente tesis se basará en el denominador común encontrado por *Baker y Canessa (2007)* y en las principales herramientas de diseño propuestas por los diferentes autores. Sintetizando las aportaciones realizadas por los diferentes autores a modo de pasos a seguir en la fase de diseño de un almacén se tendría en consideración lo siguiente:

1. Definición de los requisitos del sistema que darán lugar a los diferentes objetivos y restricciones.
2. Definición de los posibles escenarios de estudio en base los requerimientos planteados con anterioridad.
3. Análisis y organización de la información.
4. Decisiones estratégicas de diseño.
5. Diseño detallado (planta, equipos y operativas de trabajo).
6. Evaluación de posibles diseños.
7. Implantación de la solución adoptada.



---

### **CAPÍTULO 3. Metodología**

---

En este capítulo, en primer lugar se justifica la necesidad de desarrollar una metodología de diseño de almacenes. Esto se realiza tras intentar aplicar los pasos recopilados en la literatura y poder observar que no se pueden tomar decisiones en los diferentes niveles de diseño. A continuación se hace una propuesta metodológica que permita dar respuesta a las necesidades planteadas. Se detalla cada una de las fases de esta metodología y se presenta la herramienta desarrollada para la ayuda a la toma de decisiones entre las alternativas posibles basadas en las diferentes combinaciones tecnológicas.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA PROPUESTA

### 3.1 Introducción

Como se ha podido observar en el capítulo anterior, las aportaciones realizadas por los autores en este campo, relacionadas con metodologías de diseño de sistemas de almacenamiento para paletas (Tabla 3. Resumen Limitaciones Metodologías autores) presentan carencias en cada una de ellas. Sin embargo, y aunque su aportación no es del todo satisfactoria para el autor de la presente tesis, de todas las realizadas por los diferentes autores en este campo de diseño, la recopilación de pasos descrita por *Baker y Canessa (2007)*, es la que aporta una metodología clara definida, junto con algunas herramientas de aplicación de la misma.

Es por ello que antes de realizar la propuesta metodológica de la presente tesis, se pretende comprobar con la aplicación a un caso real de diseño, utilizando la metodología propuesta por *Baker y Canessa (2007)*, cuál sería el resultado obtenido y de esta manera poder analizar los problemas surgidos en la utilización de la misma que darán paso a continuación al planteamiento metodológico de la presente tesis.

### 3.2 Ejemplo de aplicación de la metodología de *Baker y Canessa (2007)*

Para ello se seguirán pasos descritos por *Baker y Canessa (2007)* en su propuesta:

1. Definición de los requerimientos del sistema
2. Definición y obtención de los datos
3. Análisis de los datos
4. Establecimiento de cargas de datos unitarias a utilizar
5. Definición de procedimientos operativos y métodos de trabajo.
6. Consideración de tecnologías existentes.
7. Cálculo de capacidades y cantidades de los elementos seleccionados para el diseño del almacén.
8. Definición de servicios y operaciones secundarias.
9. Planteamiento de posibles diseños de planta
10. Evaluación
11. Identificación de la solución a implantar

Para poner en práctica la aplicación de esta metodología, se aplicará a un caso real simplificado de diseño de un almacén, cuyo diseño se realizó por el autor de la presente tesis hace algunos años, basándose éste en la propia experiencia personal tal y como muchos autores en este campo han concluido. Dada la gran complejidad del diseño a

realizar por el gran número de referencias y las dimensiones del mismo, se ha tomado sólo una de las líneas de productos con el objeto de facilitar la comprensión del caso y poder evaluar los pasos descritos por los autores citados con anterioridad. Durante el desarrollo del mismo se procederá a seguir las indicaciones dadas por los autores de este método de diseño, resaltando los resultados obtenidos e indicando, en los casos en los que sea necesario, la problemática surgida. El objetivo es seguir cada uno de los pasos, analizando las implicaciones de este método hasta ver si fuera posible la finalización del mismo con la obtención de la mejor solución posible.

### 3.2.1 Aplicación pasos diseño (Baker y Canessa, 2007)

#### 1. Definición de los requerimientos del sistema.

Los datos que figuran a continuación se corresponden con un resumen significativo de toda la información de la que se dispone. No se darán datos reales del nombre de la empresa para preservar su anonimato en la presente tesis ya que el conocimiento de este dato no es relevante para la investigación.

Requerimientos: Se pretende diseñar un almacén para una empresa de venta de calzado con un total de 380 referencias diferentes en un espacio delimitado por una parcela situada en el polígono de “Elche Parque Empresarial” situado a 10 kms de la ciudad de Elche. La parcela tiene una extensión de 33.612 m<sup>2</sup>. El tiempo de respuesta de servicio establecido por la empresa es de un máximo de 48 horas de servicio del pedido en territorio nacional desde la recepción del mismo en las instalaciones de almacenaje. Se pretende diseñar el mismo con el requerimiento del mínimo tiempo de extracción posible y la mínima inversión.

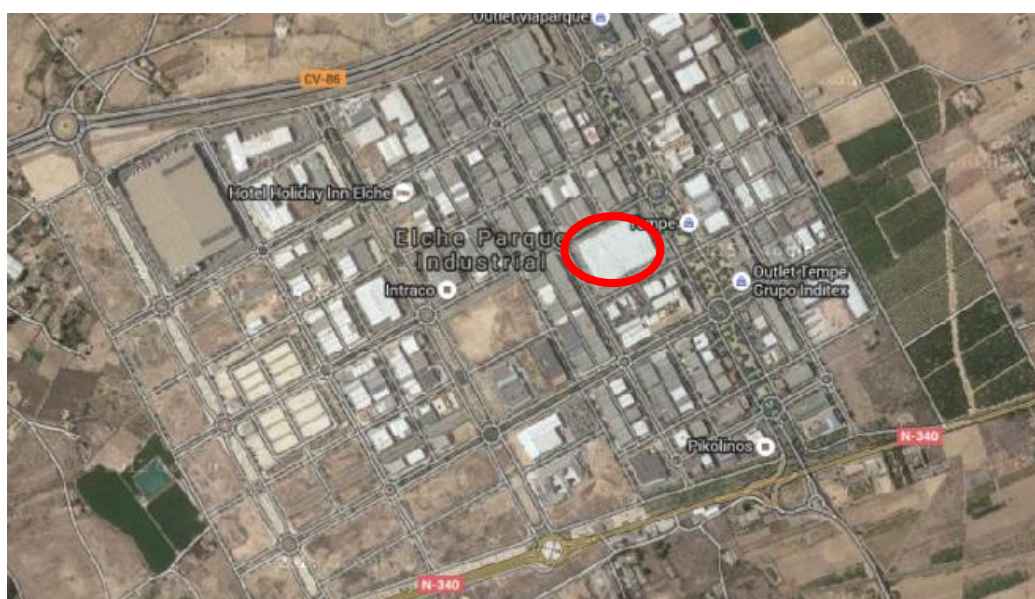


Figura 7. Parcela acotada emplazamiento almacén

2. Definición y obtención de datos.

- Los artículos se diferencian por tipo de calzado (bota, botín, bota plana, sandalia, zapato plano y mocasín) y por tamaño (largo, medio, corto). Para facilitar el trabajo con estas referencias se hace agrupaciones de familias de artículos en base al tipo de calzado y al tamaño del mismo.
- Las previsiones de venta de la empresa se obtienen con facilidad siendo los datos que figuran a continuación:

	Previsión venta semanal (uds)	Palets/semana por familia
Baño/Chancla	3.225	68
Básico	12.192	43
Bota	470.580	2.159
Bota Plana	152.591	3.185
Bota Tacón	268.548	5.604
Botín	54.430	421
Botín Tacón	239.862	5.005
Cuñas	89.958	1.878
Deportivo	139.102	664
Deportivo Bailarina	32.010	669
Deportivo Botín	21.340	446
Deportivo Zapato	130.433	2.729
Destalonado	160.574	3.350
Esclava	38.632	806
Home	40.595	145
Lluvia	30.091	107
Pala/Pinky	94.643	1.976
Sandalia	440.160	8.913
Uniforme	38.632	806
Zapato	190.137	2.281
Zapato Plano	403.760	8.425
Zapato Tacón	532.385	11.107
Zueco	91.865	1.918
<b>TOTAL</b>	<b>3.675.745</b>	<b>62.705</b>

**Tabla 4. Datos referencia**

3. Análisis de los datos.

Se observa, que de los productos a tratar, las previsiones de ventas entre ellos son muy diferentes, algunos con altas rotaciones y otros con valores por debajo de la mitad de los anteriores. Los datos nos permitirán clasificar los productos en función de la rotación de los mismos para establecer un sistema ABC que permita

la posterior toma de decisiones. El ABC de los productos se encuentra en el anexo II de la presente tesis, ya que sus resultados no son relevantes en este apartado pero sí necesarios para determinar el espacio que ocupa cada tipo de productos (A, B ó C) en posteriores pasos a seguir.

4. Establecimiento de cargas de datos unitarias a utilizar.

En este apartado, se debe decidir el tipo de unidades de almacenamiento a utilizar. Viendo que el tamaño de los mismos es un elemento diferenciador y que el servicio de pedidos se va a realizar por palets se puede decidir el almacenaje de los mismos en tres tipos de cajas en función del tamaño del producto:

Cajas	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)
L	40	30	25
M	35	30	25
S	18	15	15

Tabla 5. Tamaño unidades almacenamiento (SKU)

De esta forma se puede calcular el número de cajas por palet en cada uno de los tipos de producto descritos:

Cajas	Aproximación cajas/capa	Realidad cajas/capa	Capas	Cajas/palet
L	12	12	4	48
M	13,71	12	4	48
S	53,33	48	6	288

Tabla 6. Cajas por palet

5. Definición de procedimientos operativos y métodos de trabajo.

En este paso se deben definir todos los procedimientos operativos de trabajo. Sin embargo para tomar estas decisiones se debe decidir respecto a tres cuestiones principales antes de seguir avanzando en el diseño del almacén:

- **Gestión de ubicaciones** (fija, aleatoria o aleatoria por zonas). En este instante de la fase de diseño no podemos determinar cuál de estas opciones es la más recomendable para asegurar un mejor diseño final. Tampoco en la literatura revisada tenemos herramientas que nos permitan determinar cuál de estas decisiones es la mejor para el tipo de

productos que disponemos. Por tanto se debe trabajar con tres alternativas posibles de diseño llegado este punto para poder continuar con el diseño del almacén.

- **Ciclo de trabajo.** Puede ser simple o compuesto si cada vez que se ubica un palet realiza una única operación o se combina más de una operación de extracción o ubicación en una misma acción, respectivamente.
- **Perfiles de stock.** La decisión del número de semanas de cobertura para cada uno de los productos influye directamente en las futuras decisiones de espacio de almacenamiento necesario y también en la anterior de la política de gestión ya que para un mismo tipo de producto, en función del perfil de stock puede ser conveniente la utilización de un tipo de política de gestión u otra. Para simplificar podríamos suponer que cada familia puede tener dos posibles perfiles de stock, una semana de stock mínimo y dos o tres semanas de cobertura, eliminando las situaciones intermedias.

Por tanto, tras este paso, nos encontramos con:

1. Tres posibles diseños en función de la política de gestión de ubicaciones que debemos seguir analizando en paralelo.
2. La decisión de utilizar ciclo de trabajo simple o compuesto lo que duplica las tres alternativas anteriores.
3. Una decisión de perfiles de stock que varía el escenario de las tres alternativas propuestas, siendo posible un escenario diferente por cada una de las variaciones de perfil de stock de cada familia. Además cada referencia tendrá dos perfiles de stock definidos (por simplificación).

Esto supone que se tendrán 3 alternativas por la política de gestión, duplicando estas por el ciclo de trabajo (6 alternativas) y combinando esto con la variación de los perfiles de stock a definir en cada una de las 23 familias de productos.

#### 6. Consideración de tecnologías existentes.

En esta fase del diseño debemos considerar todas las combinaciones de tecnologías existentes para determinar el diseño del almacén. Para ello se enumeran todos los posibles sistemas de almacenamiento por un lado:

Las opciones de medios de almacenamiento para palets son:

1. Bloques apilados o almacenaje en bloques
2. Estanterías convencionales pasillo ancho
3. Estanterías convencionales pasillo estrecho
4. Estanterías compactas
5. Estanterías dinámicas

Por otro lado, las opciones de medios de manutención para manipulación de palets son:

1. Apiladores autopropulsados
2. Carretilla contrapesada
3. Carretilla retráctil
4. Carretilla de doble acceso
5. Carretilla bilateral
6. Carretilla trilateral
7. Transelevadores

Sabiendo que en la fase anterior teníamos que considerar todas las alternativas de diseño planteadas y que tendremos 35 posibles combinaciones que se pueden plantear al combinar las tecnologías, resultará un total de:  $(2 \times 3 \times 2 \times 35)^{23} = 2,161392694 \times 10^{60}$  **combinaciones posibles**. Aunque podrían estudiarse mediante herramientas informáticas de simulación de escenarios, la definición y detalle de cada una de estas posibles combinaciones, a su vez, en cada uno de estos escenarios multitud de variables a considerar que ofrecerán soluciones diferentes en cada caso. Estas deberían estudiarse en paralelo contemplando todos los escenarios posibles.

Sin embargo, **el problema no radica en el número de posibles alternativas a considerar ya que estas se podrían estudiar con la programación de alguna herramienta informática de análisis de situaciones. El problema reside en que las decisiones que se toman en el diseño detallado en cada uno de los escenarios definidos, afecta al resto de posibles alternativas**, obligando esto a replantear otra vez el conjunto inicial de casos a estudiar. Esto supone un algoritmo recursivo de difícil solución.

7. Calcular capacidades y cantidades de los elementos seleccionados para el diseño del almacén.

Llegados a este punto, para calcular las capacidades y cantidades de cada elemento se deben tomar decisiones que afectan a las anteriormente citadas.

Por ejemplo, si definimos una capacidad determinada para un tipo de referencia en función del perfil de stock y de la política de gestión y cambian estas decisiones se deberían rehacer todos los cálculos obtenidos. No se entrará en el detalle del cálculo detallado en este punto dada la gran cantidad de alternativas planteadas. Aquí ya nos encontramos con **un grave problema de decisión**, ya que supone definir todas las opciones posibles y aunque no lo menciona la metodología debería contemplarse la elección de tecnologías para determinar el camino hacia la mejor solución posible. Si no se acota el espacio de diseño y se establecen unas restricciones, en este punto seguir evaluando todas las alternativas de diseño, definiendo el detalle de cada uno de los diseños planteados es **tarea inviable**.

8. Definición de servicios y operaciones secundarias.

Este paso viene determinado por la elección entre las alternativas anteriores ya que en caso de no haber seleccionado alternativa todavía, las operaciones y servicios secundarios vienen determinados por las dimensiones y capacidades del almacén y de los productos que en él se encuentran. Podrían definirse estos servicios y sus operaciones secundarias, pero dada la situación en la que nos encontramos en la fase de diseño, no es posible definir detalladamente el problema a resolver.

9. Planteamiento de posibles diseños de planta.

En este paso habría que estudiar todas las posibles configuraciones en planta que se podrían tener en cada una de las  $2,161392694 \times 10^{60}$  posibles combinaciones. Sin embargo, **cada diseño de planta (layout) que determina el número de pasillos, la altura de los mismos, su profundidad, afecta directamente a la cantidad de espacio necesario y por tanto al tiempo de extracción e incluso a la tecnología utilizada, por lo que dado este punto del proceso de diseño, el procedimiento se vuelve redundante entre este punto y el punto 6.**

Algunos diseños de planta descartarán combinaciones de tecnologías planteadas con anterioridad.

Es por todo lo anteriormente expuesto que llegados este punto en el proceso de diseño, siguiendo los pasos planteados por *Baker y Canessa (2007)* implica que hay demasiadas decisiones a considerar que no nos permiten definir el diseño que se había planteado inicialmente, por lo que abandonamos el proceso de diseño planteado (no es necesario continuar con las siguientes fases ( 10. evaluación y 11. identificación de la



*solución a implantar*) demostrando con la práctica del caso expuesto la necesidad de una metodología que proporcione mayor ayuda al diseño de casos como el aquí planteado.

### 3.3 Metodología planteada

Se ha podido demostrar en el punto anterior que con las aportaciones realizadas hasta la fecha, la tarea de diseño de un almacén necesita de una metodología real y práctica. Han surgido muchas decisiones relacionadas unas con otras, ante las cuales no se disponía de herramientas de ayuda a la toma de decisiones. El objetivo de la presente metodología es también el de ofrecer una serie de herramientas que permitan tomar las mejores decisiones posibles.

Para sentar la base de la misma se podría haber seleccionado cualquiera de las aportaciones realizadas en el campo del diseño de almacenes, entre otras la de *Rouwenhorst et al., (2000)* con el modelo de referencia para el diseño de almacenes a tres niveles (estratégico, táctico y operativo), o *Ashayeri & Gelders, (1985)* que sugieren que una combinación de enfoques analíticos y de simulación puede conducir a un buen método de diseño. Asimismo *Ashayeri & Goetschalckx, (1988)* proporcionan un procedimiento de diseño general por pasos y *Gray, Karmakar, & Seidmann, (1992)* también proponen un método jerárquico de diseño. Por último, son *Baker y Canessa (2007)* los que plantean una serie de 11 pasos a seguir en el proceso de diseño de sistemas de almacenamiento y ofrecen una visión metodológica de aplicación de la misma un poco más práctica que los anteriores autores. Sin embargo, tal y como se ha demostrado en el punto anterior tiene carencias en el momento de su aplicación real.

Viendo que cada una de estas aportaciones y que no existen una serie de pasos básicos acompañados de herramientas de toma de decisiones para el diseño de un sistema de almacenamiento, es objeto de la presente tesis la elaboración de una metodología de diseño estratégico de almacenes basada en la selección de tecnologías y políticas de gestión.

Es por ello, que para dar una mayor claridad al método de diseño que se propone en la presente tesis, se representa en el diagrama que se muestra a continuación en la figura 8, las fases de la metodología para el diseño de un sistema de almacenamiento. Para ello, se han representado las siete fases de las que constaría la metodología, representando en cada una de ellas tanto los resultados obtenidos (mediante cajas de proceso), como las variables que inciden en la definición en cada una de las fases (éstas representadas como flechas verticales que atraviesan los procesos definidos).

Sirva por tanto el diagrama representado en la figura 8 como guía gráfica de la metodología que se presenta a continuación:

Metodología de diseño

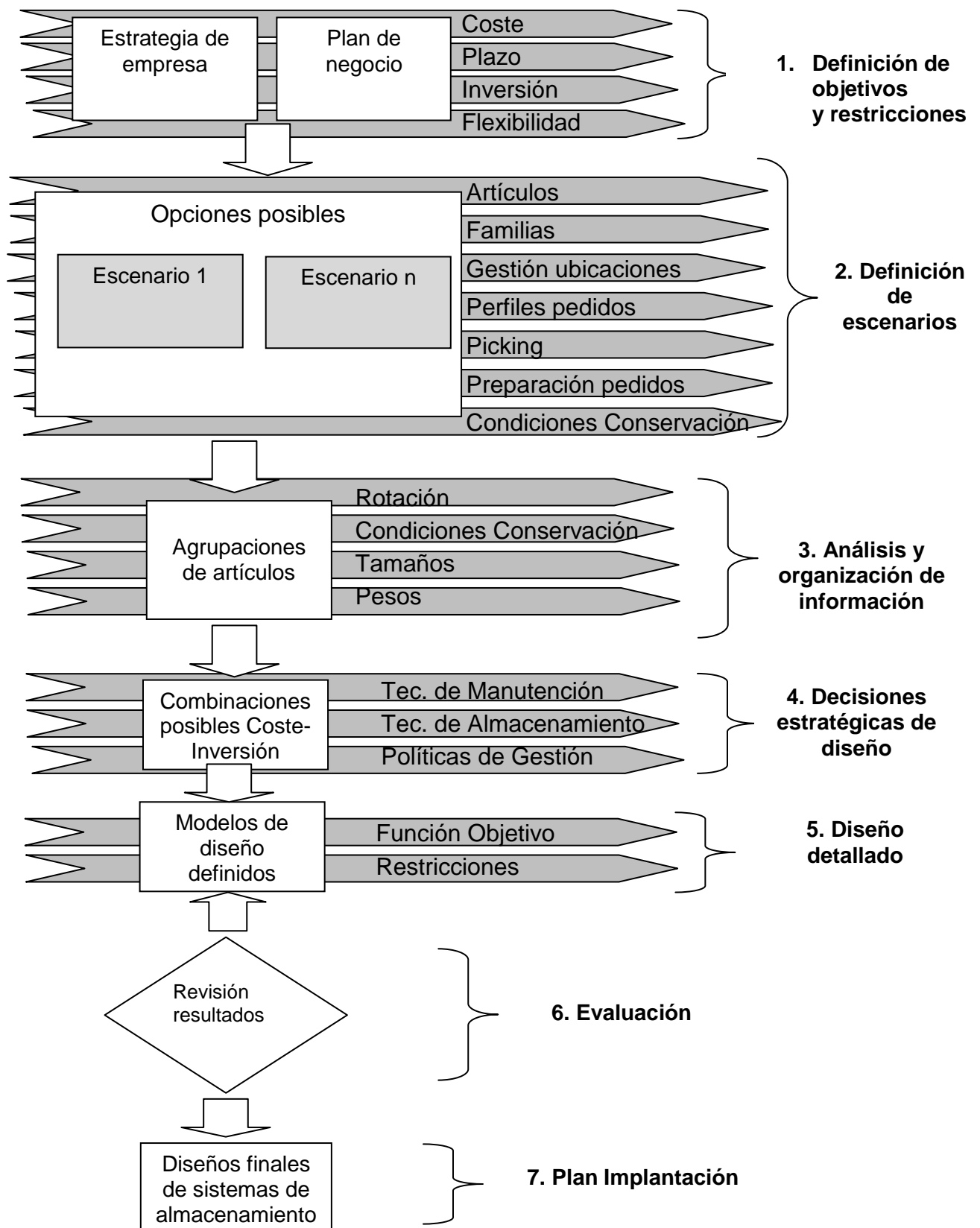


Figura 8. Metodología de diseño

### 3.4 Acciones a desarrollar en la aplicación de la metodología de diseño:

#### 3.4.1 Definición de objetivos y restricciones

La primera acción a llevar a cabo, es la definición de los objetivos que se pretenden con el diseño de un sistema de almacenamiento. La definición de estos objetivos no se debe realizar de forma aleatoria, sino que vendrán determinados por la estrategia de la empresa y el plan de negocio establecido:

- **Estrategia de Empresa:** Dependiendo del plan de acción desarrollado por la organización para la búsqueda de su ventaja competitiva, se definirán unos objetivos determinados relacionados con el propósito de crecimiento y expansión de su mercado, o de consolidación de su posición, o de abandono de sectores de mercado o zonas de negocio. Esta estrategia define los pasos a seguir con la gestión de los productos que la empresa comercializa.
- **Plan de Negocio:** Por otro lado, este es usado por la gerencia de la organización para la planificación de la empresa. En el diseño de almacenes se tendrá en cuenta las acciones planteadas en el plan de negocio de la empresa, donde se reflejarán las inversiones, acciones y beneficios esperados de las mismas.

De esta manera, teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en base a la estrategia y el plan de negocio, los objetivos deben quedar definidos en cuanto al coste, el plazo, la inversión y la flexibilidad.

- **Coste:** Es necesario definir cuál va a ser el coste operativo que se pretende conseguir con el diseño del almacén. Este coste vendrá determinado por el tiempo de extracción medio de cada uno de los productos a almacenar en el mismo y por los medios utilizados para la manipulación y almacenamiento de los mismos. Es por ello que el establecimiento de este coste de obtención por referencia determinará aquella selección de tecnologías necesarias para alcanzar el objetivo previsto en este sentido. Este coste operativo irá asociado a cada uno de los productos que se pretenden almacenar, debiendo este ser tenido en cuenta dentro del plan de negocio establecido por la compañía para establecer el objetivo de beneficio por producto. Las actuales tendencias de externalización de los servicios de almacenamiento por parte de las empresas, precisan del cálculo de este coste operativo para poder negociar con los propios operadores logísticos que ofrecen estos servicios logísticos. Se debe establecer si este es un requisito prioritario para la empresa. Para establecer este coste se deben realizar las oportunas mediciones de los tiempos empleados para la extracción de los

productos almacenados y repartir de forma proporcional los costes asociados tanto al tiempo de extracción como el de los medios utilizados para el almacenamiento y manipulación de los mismos.

- **Plazo:** El plazo es un objetivo fundamental para el diseño de un sistema de almacenamiento. Se debe definir el tiempo que se dispone para poner en marcha el nuevo sistema de almacenamiento. Los plazos establecidos condicionan muchas de las posteriores variables de diseño, pudiendo descartar algunas tecnologías de almacenamiento que por sus características de implementación superaran los tiempos establecidos. Este objetivo vendrá determinado por la estrategia de la empresa, pero hay que tener en cuenta que sin un plazo acotado, las opciones de diseño que se pueden contemplar son mayores que las que con este objetivo fijado se pudieran considerar.
- **Inversión:** La inversión es la cuantía total que la empresa está dispuesta a invertir en el diseño y puesta en marcha del nuevo sistema de almacenamiento. El límite de inversión fijado determina las opciones de diseño que se pueden considerar y cuáles quedarían descartadas. Se debe tener en cuenta que la inversión a realizar tendrá un periodo de retorno establecido y que se repartirá de forma proporcional entre todos los productos que se dispongan a almacenar. Si no se fija un límite de inversión se pueden estudiar las distintas combinaciones de tecnologías de almacenamiento y con posterioridad evaluar aquellas que ofrezcan un menor coste/inversión para la decisión de la mejor de todas las alternativas posibles.
- **Flexibilidad:** La flexibilidad es la posibilidad de poder modificar elementos definidos del diseño para adaptarlos en un momento determinado a nuevas situaciones particularizadas. De esta manera es importante tener en cuenta esta variable en todo momento dada la aleatoriedad que puede estar presente en la preparación de pedidos en un sistema de almacenamiento determinado. Un almacén flexible posibilita su adaptación a un cambio en la situación inicial planteada, lo que aumenta las posibilidades de crecimiento del sistema de almacenamiento alargando su vida útil en el tiempo.

Combinando las cuatro variables anteriormente mencionadas se generan diferentes combinaciones posibles que serían las que se representan en la tabla 7:

Combinaciones posibles	Coste	Plazo	Inversión	Flexibilidad
Opción 1	X			
Opción 2		X		
Opción 3			X	
Opción 4				X
Opción 5	X	X		
Opción 6	X		X	
Opción 7	X			X
Opción 8		X	X	
Opción 9		X		X
Opción 10			X	X
Opción 11	X	X	X	
Opción 12	X	X		X
Opción 13	X		X	X
Opción 14		X	X	X
Opción 15	X	X	X	X

**Tabla 7: Combinaciones posibles de objetivos**

Cada una de las anteriores combinaciones ofrecerá una combinación de objetivos fijados por la empresa, en función de la estrategia definida por esta y la visión de la dirección de la misma. En cada una de estas combinaciones los resultados obtenidos en la fase de diseño obedecerán a criterios diferentes y por tanto los diseños obtenidos bajo estas condiciones diferirán unos de otros.

La mayor parte de la literatura se centra en la minimización de costes y hay pocas aportaciones relacionadas con los plazos de ejecución y la flexibilidad. Algunos autores como *Rushton et al. (2006)*, reconocen la importancia de la flexibilidad en el diseño de sistemas de almacenamiento.

### 3.4.2 Definición de escenarios

Una vez definidos los objetivos, en el apartado anterior, se deben establecer los escenarios sobre los que se aplicarán las condiciones de diseño de la metodología establecida.

Por todo ello hay que definir de forma muy clara cada uno de los siguientes ítems, de forma que esto determinará los escenarios posibles sobre los que se va a realizar el diseño del sistema de almacenamiento. En esta fase ya se incluyen decisiones de diseño. Los ítems a definir son los siguientes:

- Artículos: Hay que detallar el número de artículos que pretendemos almacenar, número de referencias por cada uno de ellos, la rotación de los mismos, dimensiones, pesos y características logísticas que se precisen.
- Familias: Igualmente, hay que definir las familias de artículos que se pueden encontrar, con el objeto de establecer características logísticas similares que permitan un mismo tratamiento a un grupo de artículos o familia.
- Gestión de ubicaciones: Hay que detallar el tipo política de gestión que se quiere emplear para el almacenamiento de los productos, ya sea ubicación fija (cada ítem dispone de un lugar fijo en el almacén), aleatoria (ningún ítem dispone de una ubicación fija establecida a priori) o aleatoria por zonas (cómo la aleatoria pero con zonas reservadas a ciertos ítems). En la elección de la gestión de ubicaciones, fijando esta variable condicionamos el diseño posterior, limitando el alcance de la metodología, aunque también esta decisión permitirá avanzar en una dirección clara de diseño descartando opciones paralelas.
- Perfiles de pedido: Conociendo la rotación de los productos podremos decidir cuántos días/semanas se quiere disponer en el almacén para cubrir la demanda. Para los productos de alta rotación se dispondrá de mayor cantidad que para los de media, y éstos últimos dispondrán de mayor cantidad almacenada que los de baja rotación.
- Picking: Decidir el tipo de picking que se va a llevar a cabo de cara a la preparación de pedidos, permite hacer un diseño acorde a las necesidades del almacén. La realización de un picking automatizado no necesita de la misma infraestructura que un diseño manual, de esta forma, se debe seleccionar el tipo de procedimiento de extracción de los pedidos para realizar un diseño adecuado. Se entiende como picking la operación de extracción de productos unitarios o conjuntos de productos de una unidad superior a la extraída. Dicha operación puede ser llevada a cabo de forma manual por operarios o de forma automática por tecnologías de almacenamiento que lo permitan. Sin embargo, aunque en la presente tesis, no será considerada esta variable, se deja indicada para futuras mejoras en el desarrollo de esta línea de investigación.
- Preparación de pedidos: Disponer de los datos de los perfiles de los pedidos es de gran utilidad a la hora de poder hacer un diseño más ajustado. Se debe conocer los pedidos diarios, la cantidad de líneas de pedido que tienen esos pedidos y el número de productos que contiene cada línea de pedido.

- Condiciones de conservación: Dependiendo de los productos a almacenar el tipo de almacén variará. De esta forma si se va a almacenar productos que necesitan refrigeración en una cámara no serán almacenados de igual forma que productos que no necesiten de condiciones especiales de conservación. Las fechas de caducidad y la necesidad de establecer sistemas de extracción tipo FIFO o LIFO influirán en las decisiones de diseño.

### 3.4.3 Análisis y organización de información

Los ítems definidos con anterioridad establecen una serie de escenarios de diseño que permiten la generación de agrupaciones de familias de artículos con el mismo tratamiento logístico lo que permite reducir las políticas de actuación frente a toda la variabilidad de los productos a almacenar. Se podrán generar agrupaciones de familias de artículos en base a la rotación, condiciones de conservación, tamaños, pesos, etc. Siendo objeto de análisis cada una de las condiciones anteriormente descritas:

- Rotación: La agrupación de productos por rotación hace referencia a agrupar los distintos ítems según la frecuencia con la que se expiden. Por ello, en este tipo de agrupación pueden haber productos totalmente distintos entre ellos. Para realizar este tipo de agrupación se debe tener clasificadas las referencias según ABC (El análisis ABC es utilizado para clasificar los ítems de acuerdo a criterios predefinidos, esta clasificación se basa en la ley de Pareto, y distingue entre los productos importantes y escasos (A), los numerosos y triviales (C), y una agrupación intermedia que no está incluida en ambos grupos (B). Los productos "A" representan 80% del valor total de stock y 20% del total de los ítems. Los "B" representaran 15% del valor total de stock, 30% del total de los ítems. Los "C" son los artículos que representaran el 5% del valor total de stock, siendo el 50% del total de los artículos.)
- Condiciones de conservación: A través de las necesidades de conservación de los productos se pueden realizar agrupaciones de éstos. Condiciones de humedad, temperatura, radiación UV o por ejemplo polvo permiten la creación de familias de artículos con el fin de poder realizar un diseño acorde con las necesidades. Por ejemplo, productos que no tienen relación aparente entre sí como lo son los textiles y productos envasados alimenticios (tetrabrik), necesitan estar almacenados en condiciones de luminosidad limitada para que no sufran daños.
- Tamaños: Otro criterio para la confección de familias es el tamaño de los artículos. Si existen diferencias de tamaños en los ítems permite un diseño de los

medios de almacenamiento acorde a estas necesidades. El diseño de los huecos irá ajustado al tamaño de las agrupaciones de los productos. El criterio para llevar a cabo este tipo de agrupación puede ser por dimensiones lineales o bien por volúmenes.

- **Pesos:** Una característica de los productos que puede ser utilizada para la confección de familias es el peso de los productos. La selección de los medios de manutención y de almacenamiento puede estar influida por la carga que éstos deben soportar, por lo que separar los productos por pesos permitirá un uso óptimo de las tecnologías seleccionadas para el diseño del almacén logístico.

#### 3.4.4 Decisiones estratégicas de diseño

Antes de comenzar con el diseño, hay una serie de decisiones básicas a establecer como la altura de la nave, si hay una limitación establecida, el espacio en planta disponible (solar de ubicación de la misma), o los accesos posibles a la misma (misma puerta de entrada/salida o diferentes). *Rouwenhorst et al., (2000)* con el modelo de referencia para el diseño de almacenes a tres niveles (estratégico, táctico y operativo) sienta las bases para definir todas estas decisiones en los tres niveles definidos.

Para ello se define una triplete a definir (tecnologías de almacenamiento, tecnologías de manutención y por último las políticas de gestión).

- **Tecnologías de manutención:** Se pueden definir como el conjunto de instrumentos, medios técnicos y dispositivos que facilitan la manipulación y movimiento de los productos en el almacén logístico.
- **Tecnologías de almacenamiento:** Son aquellas tecnologías que complementan a los sistemas de manutención, que no generan movimiento, pero son el soporte y la base, para el almacenamiento.
- **Políticas de gestión:** Engloba el tratamiento de los datos relacionados con el almacén logístico, como por ejemplo el número de ítems en el almacén o la ubicación de éstos. Las decisiones respecto a la ubicación de los productos, si debe ser aleatoria, fija o aleatoria por zonas, determina tanto el procedimiento de trabajo como el espacio requerido para su almacenamiento.

Utilizando los modelos de experimentación descritos en el siguiente capítulo, se puede definir tanto el dimensionamiento como la relación coste operativo-inversión de las posibles opciones de diseño que se plantean. Esta herramienta de ayuda a la toma de decisiones que se analizará y detallará en el capítulo 4 permite la elección de aquella combinación de tecnologías de todas las posibles, que mejor solución aporta según los criterios definidos por la empresa.



### 3.4.5 Diseño detallado

Una vez conocidas las decisiones de diseño particulares para cada una de las posibles combinaciones de alternativas (tecnologías de almacenamiento, tecnologías de mantenimiento y políticas de gestión), se analizan las incompatibilidades tecnológicas que permitan establecer las posibles alternativas tecnológicas a definir. Para ello se necesita una herramienta que permita seleccionar aquellas combinaciones que ofrecerán mejores soluciones, lo que se detallará más adelante en la presente tesis.

Las opciones de medios de almacenamiento para palets son:

1. Bloques apilados o almacenaje en bloques



Figura 9. Bloques apilados

2. Estanterías convencionales pasillo ancho



Figura 10. Estanterías convenc. pasillo ancho

3. Estanterías convencionales pasillo estrecho



Figura 11. Estanterías convenc. pasillo estrecho

4. Estanterías compactas



Figura 12. Estanterías compactas

5. Estanterías dinámicas



Figura 13. Estanterías dinámicas

Por otro lado, las opciones de medios de manutención para manipulación de palets son:

1. Apiladores autopropulsados



Figura 14. Apiladores autopropulsados

2. Carretilla contrapesada



Figura 15. Carretilla contrapesada

3. Carretilla retráctil



Figura 16. Carretilla retráctil

4. Carretilla de doble acceso



Figura 17. Carretilla doble acceso

5. Carretilla bilateral



Figura 18. Carretilla bilateral

6. Carretilla trilateral



Figura 19. Carretilla trilateral

## 7. Transelevadores



Figura 20. Transelevadores

Por último las técnicas de gestión que se han de determinar son:

1. Ubicación (Aleatoria, fija por ABC o fija por zonas)
2. Ciclo de trabajo (simple o combinado)
3. Ruteo para picking
4. Reposición de reserva a picking

Tanto el ruteo como la reposición de reserva a picking no se analizarán en la presente tesis, pero se dejan indicadas para eventuales ampliaciones de la metodología.

Vistas las tecnologías planteadas y las técnicas de gestión se plantearán las posibles combinaciones. Estas combinaciones de medios de almacenamiento y medios de manutención dan un total de 35 posibles alternativas. Estas 35 opciones pueden combinarse con el tipo de ubicación dando lugar a 105 posibles soluciones que a la vez dependiendo del ciclo de trabajo darán las 210 combinaciones. Cada una de estas posibles combinaciones no es únicamente una opción definida, lo que supondría, si así fuese que no sería necesario descartar el estudio de ninguna de estas posibles configuraciones. Sin embargo, **cada combinación es un escenario diferente de los anteriores y dentro de este existirán multitud de configuraciones deterministas en base a las variables a definir en el diseño de los sistemas de almacenamiento.** Se quiere indicar con esto que explorar de forma completa cada combinación aquí descrita supone infinidad de posibles configuraciones en el diseño para cada una de ellas. Es por ello que es muy importante poder seleccionar aquellas que tenga sentido su estudio para dentro de las mismas poder explorar toda la combinatoria posible.

Sin embargo ya **hay soluciones que no serán viables por las incompatibilidades físicas de los sistemas seleccionados** o por no aportar ésta nada adicional a otras planteadas previamente y que encarecen el coste de la solución elegida.

En primer lugar se estudiará de las combinaciones de tecnologías (medios de almacenamiento y manutención) cuáles son viables para reducir luego el número de soluciones posibles.

De esta forma, se descartarán de forma global para cualquier tipo de análisis de combinaciones, aquellas que no son posibles de combinar por incompatibilidad física, por razones constructivas o de funcionamiento, y también las que aún pudiendo materializarse no aportarán al estudio ninguna ventaja adicional que cualquier otro tipo de combinaciones tecnológicas puedan aportar.

Medio de almacenamiento	Medio de manutención	Opción combinatoria válida
Bloques apilados o almacenaje en bloques	Apiladores autopropulsados	X
	Carretilla contrapesada	X
	Carretilla retráctil	X
	Carretilla de doble acceso	X
	Carretilla bilateral	
	Carretilla trilateral	
	Transelevadores	

Tabla 8. Combinaciones con bloques apilados

Se descarta la opción de combinación de bloques apilados con transelevadores debido a la incompatibilidad física ya que los transelevadores necesitan de un soporte de estanterías para la configuración de su sistema. Además se descarta la combinación con la carretilla bilateral y trilateral al ser la inversión demasiado elevada sin que ofrezca alguna mejora de rendimiento sobre las anteriores opciones.

A continuación se representan las posibles combinaciones con el segundo de los medios de almacenamiento descritos anteriormente:

Medio de almacenamiento	Medio de manutención	Opción combinatoria válida
Estanterías convencionales pasillo ancho	Apiladores autopropulsados	X
	Carretilla contrapesada	X
	Carretilla retráctil	X
	Carretilla de doble acceso	X
	Carretilla bilateral	
	Carretilla trilateral	
	Transelevadores	

Tabla 9. Combinaciones con estanterías convenc. pasillo ancho

Se descarta la opción de combinación de estanterías convencionales pasillo ancho con transelevadores debido a la incompatibilidad física y la combinación con la carretilla bilateral y trilateral al ser la inversión demasiado elevada sin mejora de rendimiento sobre las anteriores opciones.

A continuación se representan las posibles combinaciones con el tercero de los medios de almacenamiento descritos anteriormente:

Medio de almacenamiento	Medio de manutención	Opción combinatoria válida
Estanterías convencionales pasillo estrecho	Apiladores autopropulsados	
	Carretilla contrapesada	
	Carretilla retráctil	
	Carretilla de doble acceso	
	Carretilla bilateral	X
	Carretilla trilateral	X
	Transelevadores	X

Tabla 10. Combinaciones con estanterías convenc. pasillo estrecho

Se descartan todas las opciones de combinación por incompatibilidad física excepto las combinaciones con carretillas bilaterales, trilaterales y transelevadores.

A continuación se representan las posibles combinaciones con el cuarto de los medios de almacenamiento descritos anteriormente:

Medio de almacenamiento	Medio de manutención	Opción combinatoria válida
Estanterías compactas	Apiladores autopropulsados	
	Carretilla contrapesada	
	Carretilla retráctil	X
	Carretilla de doble acceso	
	Carretilla bilateral	
	Carretilla trilateral	
	Transelevadores	

Tabla 11. Combinaciones con estanterías compactas

Se descartan todas las opciones de combinación por incompatibilidad física excepto la combinación con carretilla retráctil.

A continuación se representan las posibles combinaciones con el quinto de los medios de almacenamiento descritos anteriormente:

Medio de almacenamiento	Medio de manutención	Opción combinatoria válida
Esteras dinámicas	Apiladores autopropulsados	
	Carretilla contrapesada	X
	Carretilla retráctil	X
	Carretilla de doble acceso	
	Carretilla bilateral	X
	Carretilla trilateral	X
	Transelevadores	

Tabla 12. Combinaciones con estanterías dinámicas

Se descartan las opciones de combinación de estanterías dinámicas con apiladores autopropulsados, carretillas de doble acceso y los transelevadores debido a la incompatibilidad física. Analizadas las opciones de combinación anteriores, queda la siguiente tabla resumen con las opciones que se estudiarán:

Nº Opción	Medio de almacenamiento	Medio de manutención
1	Bloques apilados	Apiladores autopropulsados
2		Carretilla contrapesada
3		Carretilla retráctil
4		Carretilla de doble acceso
5	Esteras convencionales pasillo ancho	Apiladores autopropulsados
6		Carretilla contrapesada
7		Carretilla retráctil
8		Carretilla de doble acceso
9	Esteras convencionales pasillo estrecho	Carretilla bilateral
10		Carretilla trilateral
11		Transelevadores
12	Esteras compactas	Carretilla retráctil
13	Esteras dinámicas	Carretilla contrapesada
14		Carretilla retráctil
15		Carretilla bilateral
16		Carretilla trilateral

Tabla 13. Combinaciones posibles tecnologías



Por último, se determinarán las políticas de gestión a utilizar (fija, aleatoria o aleatoria por zonas) que aplicadas a las 16 combinaciones posibles entre medios de almacenamiento y mantenimiento darán un total de 48 posibles configuraciones.

La Ubicación fija no permite una optimización de las variables de diseño al determinar en cada momento la ubicación asignada a cada una de las referencias, y aunque se deja contemplada en el modelo para futuras ampliaciones, solo se estudiarán los escenarios contemplados con gestión aleatoria y aleatoria por zonas, dando estos un total de 32 combinaciones posibles que se representarán en la tabla 14:

° Opción	Medio de almacenamiento	Medio de mantenimiento	Gestión
1	Bloques apilados	Apiladores autopropulsados	Aleatoria
2		Apiladores autopropulsados	Aleatoria zonas
3		Carretilla contrapesada	Aleatoria
4		Carretilla contrapesada	Aleatoria zonas
5		Carretilla retráctil	Aleatoria
6		Carretilla retráctil	Aleatoria zonas
7		Carretilla de doble acceso	Aleatoria
8		Carretilla de doble acceso	Aleatoria zonas
9	Estanterías convencionales pasillo ancho	Apiladores autopropulsados	Aleatoria
10		Apiladores autopropulsados	Aleatoria zonas
11		Carretilla contrapesada	Aleatoria
12		Carretilla contrapesada	Aleatoria zonas
13		Carretilla retráctil	Aleatoria
14		Carretilla retráctil	Aleatoria zonas
15		Carretilla de doble acceso	Aleatoria
16		Carretilla de doble acceso	Aleatoria zonas
17	Estanterías convencionales pasillo estrecho	Carretilla bilateral	Aleatoria
18		Carretilla bilateral	Aleatoria zonas
19		Carretilla trilateral	Aleatoria
20		Carretilla trilateral	Aleatoria zonas
21		Transelevadores	Aleatoria
22		Transelevadores	Aleatoria zonas
23	Estanterías compactas	Carretilla retráctil	Aleatoria
24		Carretilla retráctil	Aleatoria zonas
25		Carretilla contrapesada	Aleatoria

26	Esteranterías dinámicas	Carretilla contrapesada	Aleatoria zonas
27		Carretilla retráctil	Aleatoria
28		Carretilla retráctil	Aleatoria zonas
29		Carretilla bilateral	Aleatoria
30		Carretilla bilateral	Aleatoria zonas
31		Carretilla trilateral	Aleatoria
32		Carretilla trilateral	Aleatoria zonas

Tabla 14. Combinaciones finales posibles Tecnologías

Una vez tomadas las decisiones básicas de diseño, realizadas las agrupaciones en familias de artículos, definido el escenario y tomado el objetivo se podría diseñar el almacén logístico de la forma tradicional. Pero como el objeto de esta tesis es la propuesta de una metodología de diseño de un almacén óptimo a través de la comparación de todas las posibles combinaciones, se realizan los cálculos pertinentes para todas las alternativas planteadas de entre las 32 combinaciones posibles detalladas en la anterior tabla.

**En el siguiente capítulo se detallará el algoritmo de experimentación utilizado para la ayuda de toma de decisiones en cuanto a combinación de tecnologías con el objetivo de obtener las mejores soluciones posibles en el diseño de un almacén.**

### 3.4.6 Evaluación

Detalladas las opciones de diseño descritas con anterioridad, se debe evaluar el modelo obtenido y comprobar si cumple con todas las especificaciones, restricciones y objetivos definidos previamente. Si no fuese así se volvería al punto anterior (3.2.3) de análisis y organización de la información y a partir de este, se repetiría todo el procedimiento indicado con anterioridad.

Ítem	¿Válido?	
	SI	NO
Objetivo: Coste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Objetivo: Plazo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Objetivo: Inversión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flexibilidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Restricciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabla 15: Ejemplo de lista de comprobación para la evaluación

Igualmente al utilizar la herramienta, ésta aporta una solución para cada categoría de productos, si las soluciones de cada una de estas fuesen diferentes, se dejaría a criterio del diseñador el de unificar posibles soluciones con la intención de lograr una mejor integración en el funcionamiento del sistema de almacenamiento.

### **3.4.7 Plan de implantación**

Definido el diseño del sistema de almacenamiento, es necesario detallar un plan de implantación donde se describan con detalle cada una de las fases a seguir para la puesta en marcha y funcionamiento del sistema de almacenamiento diseñado.

Estas fases solo servirían para la nueva construcción de un sistema de almacenamiento, existiendo otras opciones como reformas de un sistema ya existente.

A continuación se detallará a modo resumen los pasos que se deberían seguir a la hora de la implantación del almacén diseñado:

1. Primera fase: Una vez adquirido el terreno se debe acondicionar para las tecnologías elegidas. No todos los medios de manutención y almacenamiento necesitan el mismo acabado superficial del terreno, por lo que la realización correcta de las obras en esta primera fase supondrán el éxito del buen funcionamiento del diseño elaborado.
2. Segunda fase: Si el diseño del almacén cuenta con medios de almacenamiento autoportantes se debe realizar el montaje de éstos, posteriormente se llevará a cabo el recubrimiento de la fachada. Por el contrario, si no dispone el diseño de estos medios se procederá a la construcción de la nave industrial con la altura y perímetro establecidos.
3. Tercera fase: Una vez dispuestos los medios de almacenamiento, en el caso de necesitarlos, se procederá a la realización de pruebas con un número reducido de ítems para comprobar el funcionamiento de la instalación. Esta comprobación se hará de forma gradual para asegurar la correcta marcha del almacén.
4. Cuarta fase: Realizadas todas las pruebas se procede al almacenamiento en los medios de almacenamiento utilizando los medios de manutención adquiridos para tal fin. Se debe realizar un seguimiento del proceso.
5. Quinta fase: Una vez completado el almacenamiento se comienza el normal funcionamiento de la instalación. El funcionamiento del almacén se lleva a cabo por la gerencia del mismo a través del sistema de gestión del almacén.

Habría que establecer responsables, plazos y recursos necesarios para la implantación del sistema de almacenamiento, así como los criterios para validar cada fase o tarea (especialmente cuando se contrata a diferentes subcontratistas de forma sucesiva).

### 3.5. Conclusiones

En este capítulo se ha mostrado, en primer lugar, que con las aportaciones realizadas hasta el momento, si se intentan aplicar a un caso real de diseño, hay demasiadas decisiones que no pueden tomarse y definir la mejor solución posible. Por tanto, una vez demostrada la imposibilidad de la aplicación en el procedimiento de diseño de los pasos descritos, tal y como se ha comprobado con las propuestas metodológicas previas de *Baker y Canessa (2007)*, se ha propuesto una metodología para afrontar el complejo reto del diseño de los sistemas de almacenamiento. El objetivo del mismo ha sido el de recoger de una forma gráfica y clara los pasos a seguir, definiendo cada una de las fases, las variables y restricciones a tener en cuenta y los resultados obtenidos en cada uno de los pasos seguidos. Tal y como se ha presentado en capítulos anteriores, al no existir una metodología ampliamente aceptada por parte de los autores que trabajan en este campo de investigación, hay algunas aportaciones interesantes al proceso de diseño de sistemas de almacenamiento. Estas aportaciones de autores, han posibilitado que la propuesta metodológica de diseño presentada en el capítulo actual, tenga un espíritu común a las aportaciones realizadas. *Cormier y Gunn (1992)*, resaltan la necesidad de diseñar en los tres niveles (estratégico, táctico y operativo) que *Rouwenhorst et al. (2000)* detalla igualmente pero con la necesidad de ir determinando las decisiones en cada nivel de forma simultánea. *Cakmak, Gunay, Aybakan y Tanyas (2012)* realizan aportaciones solo a nivel operativo para la optimización del diseño de planta que con la presente tesis se pretende aportar un algoritmo que permita, dada una situación definida encontrar la solución óptima, al igual que el planteamiento de los autores mencionados, pero desde dentro de una metodología definida.

Es por ello, que la presente tesis, pretende también aportar un algoritmo de diseño utilizable en la cuarta fase (Decisiones básicas de diseño) que permita seleccionar de entre todas las opciones posibles de diseño, aquella que cumple con el criterio de menor inversión y menor tiempo de extracción. Para ello, en el siguiente capítulo se desarrollará en detalle esta fase de la metodología de diseño de sistemas de almacenamiento.

Para ofrecer mejor visión de lo expuesto con anterioridad en el presente capítulo se muestra a continuación en la tabla 16 la comparativa de la metodología propuesta con la de *Baker y Canessa (2007)*. En ella se puede observar las principales diferencias que existen entre las metodologías comparadas, de forma que se puede observar de forma gráfica al mismo tiempo, las diferencias y similitudes entre ambas propuestas:

<b>Metodología propuesta tesis</b>	<b>Aportaciones Autores</b>
1. Definición de Objetivos (Coste, plazo, inversión y flexibilidad): <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Estrategia Empresa.</li> <li>b. Plan de Negocio.</li> </ul>	1. Definición de requerimientos del sistema. 2. Definición y obtención de los datos.
2. Definición de Escenarios en base a: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Artículos.</li> <li>b. Familias.</li> <li>c. Gestión ubicaciones.</li> <li>d. Perfiles pedido.</li> <li>e. Picking.</li> <li>f. Preparación pedidos.</li> <li>g. Condiciones conservación.</li> </ul>	
3. Análisis y organización de Información (Rotación, tamaños, pesos y condiciones).	3. Análisis de los datos.
4. Decisiones estratégicas de diseño. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Técnicas de mantenimiento.</li> <li>b. Técnicas de almacenamiento.</li> <li>c. Gestión Sist. Almacenamiento.</li> </ul>	4. Establecimiento de cargas de datos unitarias a utilizar. 5. Definición de procedimientos operativos y métodos de trabajo. 6. Consideración de tecnologías existentes.
5. Diseño detallado: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Función Objetivo.</li> <li>b. Restricciones.</li> </ul>	7. Calcular capacidades y cantidades de los elementos seleccionados para el diseño del almacén. 8. Definición de servicios y operaciones secundarias.
	9. Planteamiento de posibles diseños de planta.
6. Evaluación.	10. Evaluación. 11. Identificar la solución a implantar.
7. Plan de implantación.	

Tabla 16: Comparativa metodología propuesta

---

## CAPÍTULO 4. Herramientas para decisiones estratégicas de diseño

Una vez definida la metodología planteada en la presente tesis, es objeto del presente capítulo, detallar la herramienta definida con anterioridad para la ayuda a la toma de decisiones en la fase de la elección de la mejor combinación de tecnologías de almacenamiento de todas las alternativas planteadas. En esta herramienta se detallarán los parámetros utilizados para fijar el escenario de aplicación de la misma, así como la función objetivo que se pretende minimizar (minimización de tiempo de extracción e inversión), así como las restricciones que se establecen en función de las limitaciones físicas de las tecnologías de almacenamiento (altura máxima que alcanzan las carretillas, o altura de las estanterías, entre otras). También se procede a analizar las experimentaciones realizadas en los diferentes escenarios propuestos. A continuación se ha elaborado una guía de utilización de las gráficas de análisis obtenidas con el objetivo de ofrecer una ayuda a la toma de decisiones en la elección de las tecnologías de almacenamiento y mantenimiento.

## **CAPÍTULO 4. HERRAMIENTAS PARA DECISIONES ESTRATÉGICAS DE DISEÑO.**

### **4.1 Introducción**

En el capítulo anterior se han descrito diferentes opciones y planteamientos en el diseño de un sistema de almacenamiento. En la metodología de diseño del apartado 3.1 del anterior capítulo se podía concretar que la metodología propuesta consta de 7 fases:

1. Definición de objetivos y restricciones
2. Definición de escenarios
3. Análisis y organización de información
4. Decisiones estratégicas de diseño
5. Diseño detallado
6. Evaluación
7. Plan de implantación.

Algunas de estas fases han quedado detalladas con suficiente claridad en el anterior capítulo, tales como la Definición de Objetivos (1), la Definición de Escenarios (2), el Análisis y organización de la información (3), la Evaluación (6) y el Plan de Implantación (7), otras fases de la metodología necesitan ser analizadas y expuestas con claridad para poder comprender el alcance que se pretende dar a la presente tesis dentro del campo de los sistemas de almacenamiento.

En el presente capítulo se establecen las variables consideradas para la experimentación a realizar (4.Decisiones estratégicas de diseño), y las restricciones (5. Diseño detallado) que se imponen en cada uno de ellos. Para ello se detallarán las herramientas que se van a utilizar para las decisiones estratégicas de diseño que se plantean en la presente tesis.

Se pretende crear un modelo de experimentación con diferentes configuraciones para obtener resultados comparativos en un mismo escenario y con arreglo a un criterio prefijado. El modelo de experimentación se obtendrá a partir de una serie de restricciones, y seleccionando una combinación de tecnologías.

Este algoritmo de cálculo partirá de unas restricciones, unas combinaciones de tecnologías y unas variables (cuantitativas y cualitativas). Definiendo cada una de estas entradas al sistema se obtendrá el algoritmo de experimentación, como puede apreciarse en la siguiente figura en la que se plantea el contexto de experimentación:

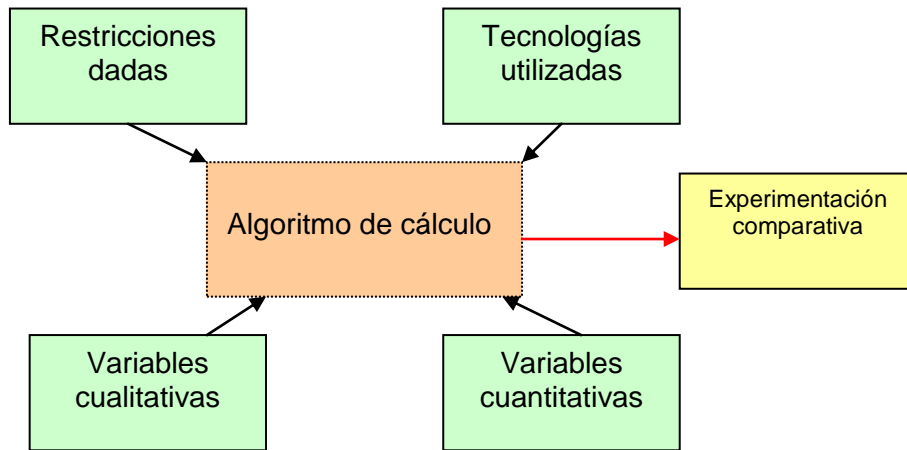


Figura 21. Contexto de experimentación

El objetivo es generar todas las combinaciones posibles y representarlas en un escenario coste/inversión como el siguiente:

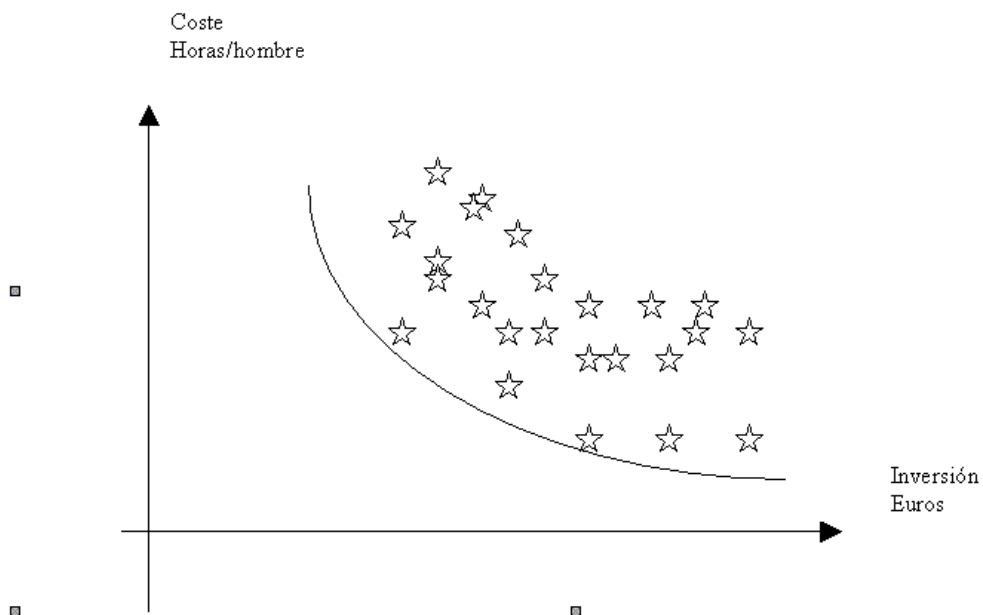


Figura 22. Envolvente coste/Inversión

La envolvente inferior sería la mejor opción coste-inversión para unas tecnologías dadas (parámetros de diseño fijados). Ésta solución se plantea como una nube de puntos en función de la tripleta de combinaciones tecnológicas (sistemas de almacenamiento-sistemas de mantenimiento-políticas de gestión). Otra posible solución podría ser la de ir cortando por niveles de coste e ir analizando las diferentes opciones, pero para ello hay que definir un coste que no se dispone a priori, por lo que se utilizará el primer método descrito.



Es importante indicar que con esta herramienta se van a tomar decisiones acotadas que aunque limiten el alcance de la metodología de diseño, permitirán seguir avanzando en la toma de decisiones y en la obtención de la mejor solución posible.

Es por ello que a continuación se procederá a definir las fases 4 y 5 (Decisiones básicas de diseño y Diseño detallado, respectivamente) que es donde menos aportaciones existen en este campo de los sistemas de almacenamiento y esto se realizará definiendo las herramientas que se van a utilizar para la toma de decisiones estratégicas de diseño, el algoritmo de experimentación que se aporta en la presente tesis.

### 4.2 Diseño de la experimentación

Por tanto, en el momento de diseñar, ¿cómo sabremos que la solución adoptada es la mejor de las posibles elecciones? Para poder responder a esta pregunta es necesario establecer el criterio de diseño del sistema, que puede estar basado en la minimización de los costes logísticos o en la minimización de la inversión realizada o en una combinación de ambos. Generalmente el criterio de diseño se establece en base a la minimización del coste logístico, utilizando el criterio de inversión realizada como medida del diseño realizado. En la presente tesis **se selecciona como métrica la minimización del coste logístico bajo unas restricciones determinadas (modelos locales) a la vez que se intentará en un segundo plano minimizar la inversión realizada.**

Para cada una de estas combinaciones de tecnologías obtenidas anteriormente y representadas en la tabla 14 del capítulo anterior, se pretende obtener un modelo de optimización con unas decisiones de diseño y unas restricciones determinadas, con el objetivo de poder obtener el coste total en cuanto a la extracción o ubicación.

Es por ello que se estudian diferentes escenarios locales de diseño de soluciones de almacenamiento, basadas en el criterio anteriormente enunciado. Para ello se plantean algoritmos de cálculo en cada uno de los diferentes escenarios, donde se pretende obtener la mejor solución posible que minimice a la vez los costes y la inversión, con un conjunto de tecnologías determinado y bajo unas restricciones definidas.

El método más extendido para calcular el tiempo de extracción de un producto en un sistema de almacenamiento determinado es mediante la utilización del cálculo del tiempo de ciclo simple.

La metodología propuesta se fundamenta en un experimento amplio que incluye diferentes escenarios de diseño, con restricciones y variables cuantitativas y

cualitativas diferenciadas en cada uno de ellos, con el objetivo de establecer modelos locales de optimización del diseño planteado.

Por todo lo anteriormente descrito, el objeto de este algoritmo es dar respuesta a la pregunta ¿Se puede asegurar que el diseño realizado bajo unas determinadas restricciones y con la utilización de unas tecnologías determinadas es el mejor posible? Con el planteamiento de modelos locales de optimización, se puede abarcar el mayor rango posible de combinaciones, de forma que la elección de algunas de estas pueda ofrecer la seguridad que bajo estas hipótesis de partida, la alternativa elegida es la mejor de las posibles.

Una vez definidas las variables que condicionan el modelo de diseño se realizarán una serie de experimentaciones con objeto de poder obtener modelos locales con una serie determinada de combinaciones posibles de estas mismas en cada uno de los escenarios planteados.

Para cada uno de los escenarios planteados se obtendrá un valor de coste de extracción (tiempo necesario para la extracción de los productos, según la configuración y tecnologías del sistema de almacenamiento) y el coste de la inversión necesaria.

Para poder establecer una métrica adecuada que permita comparar las opciones de diseño resultantes, se establece el coste logístico tal y como se comentó en el capítulo primero de la presente tesis. Este coste se centrará en el tiempo de extracción de un producto cualquiera del sistema de almacenamiento diseñado. Para ello se calculará el tiempo que se necesitará en función de las dimensiones del espacio de almacenamiento y de las tecnologías utilizadas.

El tiempo necesario para un trayecto de ida o vuelta ( $T_d$ ) es:

$$T_d = \frac{1}{XZ} \int_0^X \int_0^Z \max \left\{ \frac{x}{v_x}, \frac{z}{v_z} \right\} dx dz \quad (4.1)$$

Siendo:

$v_x$  = velocidad de desplazamiento horizontal  
 $v_z$  = velocidad de desplazamiento vertical  
 $T_d$  = tiempo de recogida o de descarga  
 $X$  = longitud de la estantería  
 $Z$  = altura de la estantería

Siempre que:

1. Las cargas estén distribuidas aleatoriamente (para distribución aleatoria por zonas se introducirá un factor corrector en la fórmula, consistente en

ponderar cada recorrido utilizando la distribución ABC y la probabilidad de que un artículo sea de cada uno de los tres tipos; A, B ó C )

2. Los desplazamientos verticales y horizontales del medio de manutención sean simultáneos.
3. El punto de Entrada-Salida se sitúa en un mismo punto extremo en cada una de las experimentaciones.

Supongamos que:  $\frac{X}{v_x} \geq \frac{Z}{v_z}$

Considerando que el tiempo de ciclo o de extracción de la paleta depende de tres acciones:

1. Transporte horizontal  $X/V_x \rightarrow$  Tiempo de desplazamiento horizontal
2. Transporte vertical  $Z/V_z \rightarrow$  Tiempo de desplazamiento vertical
3. Extracción de paleta  $\rightarrow T_{picking} * \text{Profundidad del hueco} * n^{\circ}$  productos

Suponiendo que en todas las alternativas a estudiar este desplazamiento se realiza de manera secuencial (primero desplazamiento horizontal, luego vertical y por último extracción), que únicamente se extrae un producto por referencia (una paleta) y que el punto de partida y llegada es el mismo, entonces:

Este tiempo se calculará con la siguiente expresión:

$$T_{\text{ciclo}} = \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \quad (4.2)$$

Siendo:

$V_x$ = Velocidad horizontal del medio de desplazamiento elegido

$X$ = Longitud total del recorrido realizado para extraer el producto

$V_z$ = Velocidad vertical del medio de desplazamiento elegido

$Z$ = Altura total del recorrido realizado para extraer el producto

$T_{picking}$ = Tiempo de recogida de un producto de la estantería.

Siendo para los medios de almacenamiento que simultanean a la vez movimiento horizontal y vertical la siguiente expresión:

$$T_d = \frac{1}{XZ} \left[ \int_0^Z \int_0^{\frac{v_x}{v_z} Z} \frac{Z}{v_z} dx dz + \int_0^Z \int_{\frac{v_x}{v_z} Z}^X \frac{X}{v_x} dx dz \right] = \frac{v_x Z^2}{6v_z^2 X} + \frac{X}{2v_x} \quad (4.3)$$

Como se ha comentado anteriormente, en el diseño de la experimentación, hay que tener en cuenta una serie de variables que condicionarán el resultado del coste anteriormente descrito. El propósito del modelo planteado es la inclusión en el mismo de todas aquellas variables cuantificables, de modo que el rango de aplicación de este modelo sea el mayor posible.

Algunas de estas variables no podrán ser contenidas en este modelo de experimentación, bien por no ser fácilmente cuantificables o bien porque su inclusión elevaría la complejidad del modelo estudiado, no pudiendo dar respuesta en un ámbito global. Es por ello que se intentará dar respuestas locales con el objeto posteriormente de buscar un modelo global que contenga los supuestos locales estudiados y experimentados anteriormente.

Estas variables tendrán a su vez sub-variables contenidas en ellas mismas y pueden ser de dos tipos:

□ **Variables cuantitativas**, son aquellas que se pueden determinar o cuantificar numéricamente y en este estudio son:

1. Distribución en planta. Esta variable incluirá la longitud y profundidad de los pasillos, así como la altura de las estanterías. Veamos el detalle de cada sub-variable incluida en esta:

1.1. Longitud de los pasillos. Este valor definirá otra de las dimensiones del sistema de almacenamiento. Vendrá determinado por la cantidad de estanterías y la disposición de las mismas. Según las diferentes disposiciones obtendremos un valor u otro. El mejor valor para un escenario dado lo determinará el modelo de experimentación.

1.2. Profundidad de los bloques de estanterías. Define el tamaño del hueco de almacenamiento. Este valor lo determinará el modelo de experimentación en cada una de las situaciones planteadas y vendrá limitado por las tecnologías utilizadas en cada escenario planteado.

1.3. Altura de las estanterías. Este valor define la dimensión del volumen del espacio de almacenamiento. Vendrá limitada por las tecnologías elegidas, aunque es un parámetro que se obtendrá de la experimentación, dentro de las restricciones lógicas que se planteen.

2. Ubicación de los artículos. El sistema de asignación de espacios en el sistema de almacenamiento diseñado influye en el espacio que se ha de

recorrer para realizar una extracción de un producto determinado. Esta política de ubicación podrá ser aleatoria o aleatoria por zonas.

2.1 Ubicación aleatoria. Cualquier artículo puede colocarse en una ubicación que no se encuentre previamente asignada. Esto no afecta de forma directa al tiempo de preparación de pedidos dada la aleatoriedad de los pedidos a preparar. Además se busca siempre la que menor coste suponga en desplazamiento.

2.2 Ubicación aleatoria por zonas. Cualquier artículo se podrá colocar en una ubicación no previamente asignada, dentro de una zona determinada, según sea su tipo (A, B ó C).

Se decide que la ubicación de los productos en el modelo de experimentación será aleatoria y aleatoria por zonas para simplicidad del mismo.

3. Número de palets a almacenar. La cantidad de palets a almacenar influye directamente en las dimensiones del centro de almacenamiento. Es un parámetro de entrada a nuestro modelo. En función de la cantidad de palets a almacenar el tamaño y diseño del centro de distribución será diferente. Se realizarán diferentes simulaciones variando este parámetro de entrada para estudiar las posibles configuraciones. Esta variable se fijará para determinar el escenario a simular en cada ocasión.

4. Tecnologías utilizadas. Según la elección realizada de los medios de manutención, estos tendrán unas velocidades determinadas en función del medio elegido, así como en función de las estanterías seleccionadas el medio de manutención se seleccionará acorde a las mismas. Este parámetro se fijará en el modelo de experimentación para obtener el mejor diseño posible para la configuración establecida.

4.1. El tipo de carretilla determinará la velocidad horizontal, vertical, el tiempo de picking y la anchura del pasillo. Se podrá seleccionar entre carretillas contrapesadas, retráctiles, bilateral, trilateral y transelevador de palets. Se irán variando los tipos anteriores para estudiar las posibles configuraciones.

4.2. El tipo de estanterías irá totalmente relacionado con el medio de manutención elegido. Pudiendo ser estas bloques apilados, estanterías

convencionales de pasillo ancho y de pasillo estrecho, compactas, y dinámicas.

5. Tipo de picking. Influye en el tiempo de extracción del producto de la estantería. Se detallará si este se realizará por palet completo o cajas, si en cada viaje se portará un solo palet o si se hará algún tipo de reaprovisionamiento. Se fijará también el punto de partida y llegada del trayecto a efectuar. A continuación se detallan las sub-variables que influyen en esta:

- 5.1 Se determina si será palet completo o se realizará una extracción por cajas. Para todas las simulaciones del modelo esta variable se fijará a palet completo para simplicidad del mismo.

- 5.2 En cada viaje se debe definir si se aprovecha el desplazamiento para depositar un palet al ir a extraer otro o no. Se decide que en este modelo cada viaje de ida y vuelta será solo para la extracción de un palet.

- 5.3 El punto de entrada y salida de la zona de almacenamiento puede ser diferente. Se puede entrar por un lugar al sistema de almacenamiento y depositar el palet extraído en otro lugar diferente. Se fijará en este modelo el mismo punto de entrada y salida con objeto de simplificar el cálculo del coste de desplazamiento.

- **Variables cualitativas**, son aquellas que no se pueden cuantificar de forma totalmente numérica y exacta y que los valores que puedan adoptar influyen en mayor o menor medida en el resultado del diseño planteado. Para el modelo de experimentación, se han detectado cuáles son y se han fijado a unos valores determinados para simplificación del proceso de experimentación, estas son del tipo siguiente:

1. Caducidad de los productos extraídos. Para todos los experimentos realizados se decide que no se tendrá en cuenta la caducidad de los bienes de consumo, ni su influencia en el momento de decidir la extracción de un producto.
2. Zonificación (según zonas A, B, C o sin zonificación): Se trata de ubicar los productos en una zona ordenados por la categoría que se haya decidido. De esta manera se ahorran desplazamientos adicionales. No se

considera este variable ya que no hay referencias bibliográficas que hagan especial énfasis en su influencia en el coste de almacenamiento.

3. Ritmo de preparación de los pedidos. Aunque es una variable que influye de forma directa, se actuará considerando que todos los pedidos se realizan acorde al ritmo estándar de preparación. Por tanto se deja esta variable fuera del modelo a considerar.
4. Los tiempos de carga de las baterías de las carretillas y descanso del personal de almacén no se tendrán en cuenta en la generación del modelo con objeto de la simplificación del mismo.
5. La compactación nocturna de las mercancías es otra variable que aunque influye de forma muy directa en los recorridos a realizar para la extracción de un producto determinado, se dejará aparte considerando que esta no se realiza durante el proceso de extracción del producto.
6. Pasos intermedios entre pasillos. En este caso se considerará cada parte de estantería como un bloque independiente ya que para calcular el tiempo de preparación se acorta al pasar por estas zonas. Se considerará para este modelo de experimentación que no hay pasos intermedios entre pasillos.

### 4.3 Diseño cuantitativo del modelo de experimentación

#### 4.3.1 Función objetivo

Con el algoritmo de cálculo del coste de extracción de un producto determinado, en el que aparecen las variables indicadas en el apartado anterior, se plantea el modelo de optimización local, que se aplicará a cada uno de los escenarios diferentes que se defina para obtener el mejor valor posible de las variables del modelo.

Para ello se plantea un modelo basado en una función Objetivo que será la que se minimizará en el proceso de experimentación. Esta función objetivo será la que se define a continuación:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (4.4)$$

Siendo cada término multiplicado por 2 dada la repetición en cada extracción de cada una de las operaciones incluidas en el modelo de funcionamiento.

Variables de la función Objetivo del modelo:

X= Longitud total del recorrido realizado para extraer el producto

Z= Altura total del recorrido realizado para extraer el producto

Parámetros de la función Objetivo del modelo:

$V_x$ = Velocidad horizontal del medio de manutención elegido

$V_z$ = Velocidad vertical del medio de manutención elegido

$T_{\text{Picking}}$ = Tiempo de recogida de un producto de la estantería.

Fijando la longitud de estantería y altura máxima.

Se programará la función Objetivo definida anteriormente, mediante técnicas de métodos cuantitativos de programación lineal, con las variables especificadas, fijando que el objetivo sea la minimización del valor resultante.

#### **4.3.2 Restricciones**

Asimismo se establecerán las restricciones del modelo (valores mínimos y máximos de cada una de las variables, viniendo estas restricciones fijadas por las tecnologías utilizadas). Estas restricciones afectarán a:

- Altura de estanterías. Esta variable tendrá siempre la restricción de que ha de ser un valor entero positivo, mayor de 1 (que es el la altura de un palet) y menor que la altura máxima alcanzable por el medio de manutención elegido dentro del apartado de tecnologías.
- Longitud de pasillos. Se establece un límite de 150 metros para todas las evaluaciones de alternativas tecnológicas. Se podría dejar este parámetro sin limitación, aunque se ha considerado que limitarlo a esta longitud máxima, se ajusta a la realidad de los diseños de almacenes. Como la restricción se realiza para todas la combinaciones posibles, la fijación de este parámetro permite la comparativa de estas bajo la misma situación. Cuando por necesidades de almacenamiento se supera la longitud del pasillo, se fijan nuevos pasillos que se dotarán de nuevos medios de manutención, lo que obligará a que en cada uno de estos pasillos exista un medio de manutención para la extracción de los palets.
- Profundidad de hueco. Esta variable tendrá siempre la restricción de que ha de ser un valor entero positivo, mayor de 1 y menor que el número de palets máximo que se puedan disponer en el hueco de almacenamiento



que vendrá impuesto por las limitaciones tecnológicas (tipo de estanterías y medios de mantenimiento elegidos).

- Número de productos/referencia. Dada la proporcionalidad lineal de este parámetro en el modelo definido se fijará su valor a la unidad para establecer una comparativa lo más sencilla posible, **dejando su variable representada en la función objetivo para futuros estudios posteriores o posibles ampliaciones de esta tesis.**

#### 4.3.3 Metodología a seguir con el modelo de experimentación

Tras una serie de iteraciones, se obtendrá el valor de estas variables que minimiza la función objetivo planteada y por tanto, la mejor solución posible para el escenario determinado.

Con esto se obtendrá el tiempo necesario para extraer un palet determinado. Al variar la cantidad de palets a almacenar, irá cambiando el coste de extracción en cada uno de las evaluaciones de alternativas tecnológicas. Aunque no es objeto de la presente tesis, mediante el algoritmo detallado con anterioridad sería posible obtener el sumatorio del total de los palets extraídos, con el objetivo de poder obtener las horas/hombre necesarias para la preparación, y de esta manera la herramienta proporcionada podría resultar útil en la planificación de la preparación de pedidos. Aunque no es objeto de la presente tesis, se deja el planteamiento para futuras ampliaciones.

$$T = \sum_{i=1}^n T_{\text{ciclo / pedido}} \quad (4.5)$$

Siendo n el número de palets para el que se diseña el sistema de almacenamiento.

#### 4.3.4. Algoritmo de trabajo

El algoritmo que se expondrá a continuación permitirá obtener las dimensiones del hueco y la organización de las estanterías, mediante modelo de programación lineal entera, al ser todas sus variables enteras. Se repite la operación de sacar cada producto recorriendo el pasillo hasta encontrar la ubicación en la que se encuentre el producto buscado, que una vez encontrado se extraerá de su posición, siguiendo el recorrido hasta la zona de salida de mercancía, considerándose un ciclo completo cada vez que el medio de mantenimiento realice una extracción de un palet completo y lo deposite en el punto de partida. El procedimiento de experimentación es el siguiente:

1. Se fija el número de palets para el almacenamiento y el número de productos por referencia (1).
2. Se fija el tipo de ubicación de los palets. (En esta experimentación será siempre aleatoria o aleatoria por zonas).
3. Se determinan las tecnologías utilizadas:
  - 3.1. Se determina el tipo de estantería a utilizar.
  - 3.2. Se determina el tipo de manutención elegido acorde al medio de almacenamiento seleccionado. Esto fijará la velocidad horizontal, vertical, tiempo de picking y anchura de pasillo.
4. Se fija el tipo de picking a realizar:
  - 4.1. Picking de Palet completo.
  - 4.2. Cada viaje de ida y vuelta 1 sólo palet.
  - 4.3. El punto de partida y llegada es el mismo.

Una vez establecidos los parámetros de la experimentación parcial, se realizan 10.000 iteraciones buscando una solución factible satisfactoria con la herramienta Excel Solver, obteniéndose así los parámetros físicos de diseño que minimizan el tiempo de extracción de un producto para la configuración determinada:

1. Longitud total y número de pasillos
2. Altura vertical
3. Profundidad de las estanterías

#### **4.3.5. Medición de la Inversión**

La inversión realizada en cada configuración se medirá en base a los siguientes parámetros:

1. Coste en euros de las estanterías utilizadas como medios de almacenamiento. Estas vendrán fijadas por la elección de las tecnologías en el modelo de experimentación. Este coste vendrá dado por:

$$\text{Coste estanterías} = \text{Metros estanterías} * \text{Coste m}^2 \text{ estantería} \quad (4.6)$$

El coste de los metros cuadrados por cada tipo de estanterías vendrá fijado por precios de catálogos de fabricantes, no siendo de gran importancia variaciones actuales respecto del mismo, ya que se considerará el mismo precio para todos

los escenarios posibles. Los metros de estantería necesarios se calcularán de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Metros estantería} = \text{Altura vertical} * \text{Profundidad hueco} * \text{N}^{\circ} \text{ pasillos} * \text{Longitud} \quad (4.7)$$

2. Coste en euros de los medios de manutención móviles elegidos (carretillas, carros, etc.). Estas vendrán fijadas por la elección de las tecnologías en el modelo de experimentación. Su precio se obtendrá de catálogos de fabricantes y se considerará la existencia de un medio de manutención por pasillo obtenido.

$$\text{Coste Manutención} = \text{N}^{\circ} \text{ de medios de manutención} * \text{Coste unitario} \quad (4.8)$$

3. Coste del personal necesario para realizar las operaciones previstas en el sistema de almacenamiento.

$$\text{Coste Personal} = \text{N}^{\circ} \text{ de trabajadores necesarios} * \text{Coste por trabajador} \quad (4.9)$$

El nº de trabajadores se establece en función del número de medios de manutención seleccionados, asignando un trabajador a cada uno de estos. El criterio será el mismo para todos los escenarios posibles de experimentación.

4. Coste del suelo necesario para la ubicación del sistema de almacenamiento. Este coste vendrá dado por el total de metros cuadrados necesarios. Para calcular este valor, se multiplicará el coste del suelo (que será el mismo para todos los escenarios posibles, con objeto de simplificar la comparativa), por el espacio total necesario. Este vendrá dado por:

$$\text{Coste Suelo} = \text{Suelo necesario (m}^2\text{)} * \text{Coste m}^2 \quad (4.10)$$

El suelo necesario para el sistema de almacenamiento se calculará de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Suelo necesario} = \text{Longitud} * \text{N}^{\circ} \text{ pasillos} * \text{Profundidad hueco} * \text{Ancho pasillos} \quad (4.11)$$

Por tanto el coste de la Inversión para un escenario de experimentación definido vendrá dado por la siguiente expresión de coste:

$$\text{Inversión} = \text{Coste Estanterías} + \text{Coste Manutención} + \text{Coste Personal} + \text{Coste Suelo} \quad (4.12)$$

De estas experimentaciones se obtienen los datos que se presentan en las tablas resumen que se presentan en el Anexo I, donde se presentan por separado cada uno de los 32 escenarios diferentes de experimentación.

#### 4.4 Utilización de las gráficas

A continuación se pretende analizar las experimentaciones realizadas y representadas en el Anexo I, con la intención de buscar una pauta o una tendencia que determine para un conjunto de variables, la mejor solución posible. Para ello se ha representado, para cada uno de los medios de almacenamiento, en primer lugar las comparativas de tiempo/ nº palets en las que se han estudiado las diferentes combinaciones de tecnologías de almacenamiento y manutención para diferentes números de palets y para una política de gestión aleatoria y aleatoria por zonas.

A continuación se han representado con el mismo criterio anterior las comparativas coste/nº palets. Por último se representa la tendencia tiempo/inversión.

Las gráficas obtenidas en los experimentos realizados permiten seleccionar la mejor combinación de tecnologías (manutención, almacenamiento y políticas de gestión). Estas gráficas son comparativas de diferentes medios de manutención con un mismo sistema de almacenamiento en base a tres criterios diferenciados:

1. Comparativa tiempo de extracción de una paleta.

En este tipo de gráficas en el eje de abscisas se representa el número de palets necesarios y en el eje de ordenadas el tiempo de extracción. Para un mismo sistema de almacenamiento se seleccionará aquella tecnología de manutención cuyo valor en el eje de ordenadas sea el mínimo para un determinado tamaño del sistema de almacenamiento (número de palets necesarios).

2. Comparativa coste unitario (inversión).

En este tipo de gráficas en el eje de abscisas se representa el número de palets necesarios y en el eje de ordenadas el coste unitario (inversión). Para un mismo sistema de almacenamiento se seleccionará aquella tecnología de manutención cuyo valor en el eje de ordenadas sea el mínimo para un determinado tamaño del sistema de almacenamiento (número de palets necesarios).

3. Comparativa tiempo-coste unitario.

En este tipo de gráficas en el eje de abscisas se representan el coste unitario (inversión) y en el eje de ordenadas el tiempo de extracción. Para un mismo sistema de almacenamiento se seleccionará aquella tecnología de manutención cuyo valor tanto en el eje de ordenadas como en el eje de abscisas sea el mínimo para un determinado tamaño del sistema de almacenamiento (número de palets necesarios).

Las gráficas obtenidas ya se podrían utilizar, sin necesidad de recurrir a las representaciones coste/inversión para cada número de palets, si el criterio buscado fuese sólo el de menor tiempo de extracción o el de menor coste. Sin embargo, se seguirá detallando las comparativas completas coste/inversión ya que ofrecen soluciones más cercanas a la realidad empresarial.

Si con la herramienta aportada, se añaden nuevos objetivos y restricciones, se deben generar de nuevo las gráficas, ya que responderán a unas variables diferentes de las iniciales.

Igualmente, se puede comprobar el comportamiento no lineal en las gráficas obtenidas lo que respalda la dificultad mencionada en el diseño de sistemas de almacenamiento.

A continuación se presenta un análisis descriptivo de los resultados obtenidos en las experimentaciones realizadas en las que se puede observar la comparativa entre las diferentes combinaciones de tecnologías planteadas, en función del medio de almacenamiento seleccionado y la variación de la cantidad de palets a almacenar.

#### 4.5 Análisis descriptivo

Se van a analizar las simulaciones realizadas en base al tiempo de extracción, al coste por cada tipo de combinación tecnológica y la combinación de estas dos variables de forma simultánea. Aunque se han analizado capacidades de hasta 100.000 palets, al no ofrecer resultados diferenciadores a partir de los 2.000 palets se mostrarán las gráficas solo hasta este valor para no perder el detalle mostrado. De esta manera la percepción de los resultados será mayor que si mostrará el rango completo al ser este demasiado amplio.

##### 4.5.1 Análisis tiempo/nº palets

En primer lugar, se analizan las simulaciones realizadas en base al tiempo de extracción por cada uno de los medios de manutención.

###### Comparativa Bloque apilado

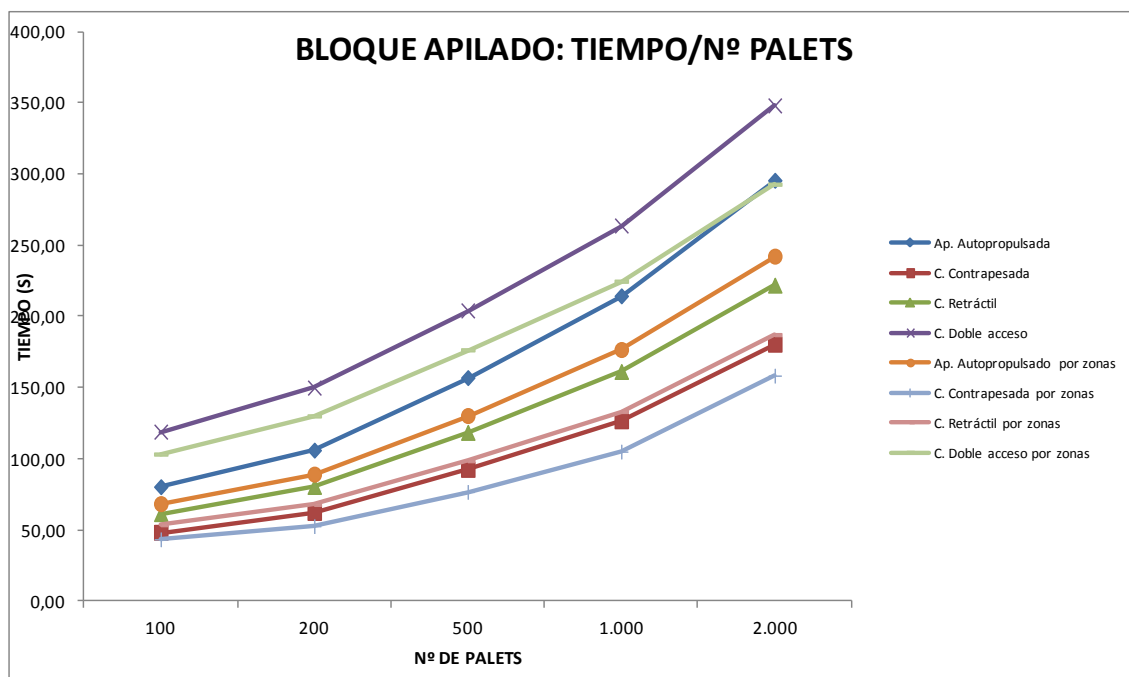


Figura 23. Tiempo/Nº palets Bloques apilados

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar que al diseñar un sistema de almacenamiento con bloques apilados, las tecnologías de manutención en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, aun cambiando el número de palets, es la carretilla contrapesada, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas. Además se puede también observar que cambiando la política de gestión de aleatoriedad a aleatoria por zonas se mejoran

también los resultados obtenidos. De esta manera en algunas combinaciones, el cambio de la política de gestión sitúa por ejemplo la retráctil por zonas, en mejor lugar que la contrapesada aleatoria pura.

Comparativa Estantería convencional

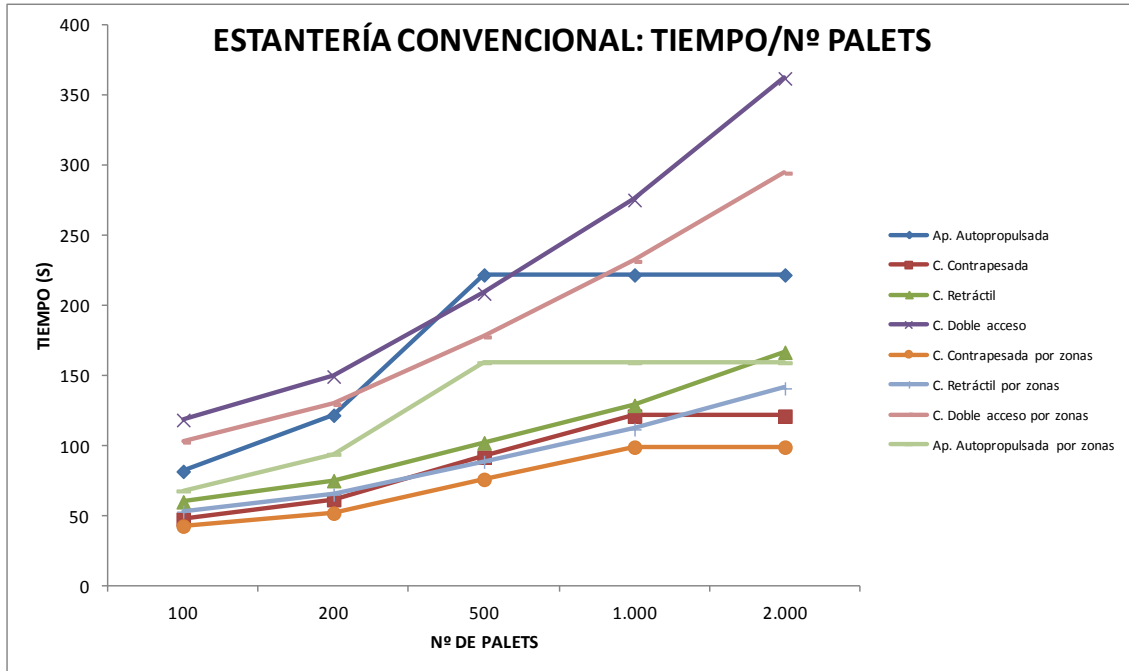


Figura 24. Tiempo/Nº palets Estantería Convenc.

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías convencionales, las tecnologías de mantenimiento en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, aun cambiando el número de palets, es la carretilla contrapesada, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas, sin embargo la combinación de bilateral por zonas o retráctil por zonas se aproxima bastante a esta opción presentada. Algunas combinaciones, a partir de un número determinado de palets de almacenamiento mantienen el tiempo de extracción, al aparecer otros pasillos en los que se necesitarán medios de mantenimiento adicionales, siendo este el tiempo máximo necesario para la extracción de un palet en un pasillo.

*Comparativa Estantería dinámica*

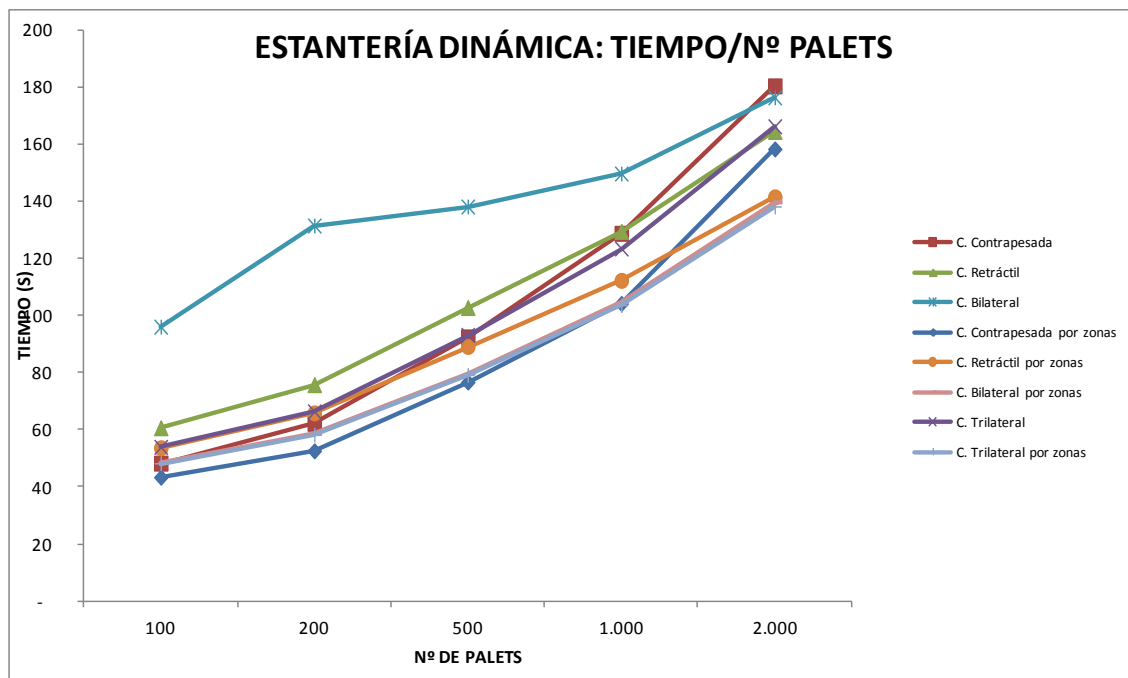


Figura 25. Tiempo/Nº palets Estantería dinámica

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías dinámicas, las tecnologías de manipulación en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, aun cambiando el número de palets, es la carretilla contrapesada con ubicación aleatoria por zonas, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas. Muy cercana a esta opción se encuentra la combinación de carretilla trilateral con ubicación aleatoria por zonas.



Comparativa Estantería compacta

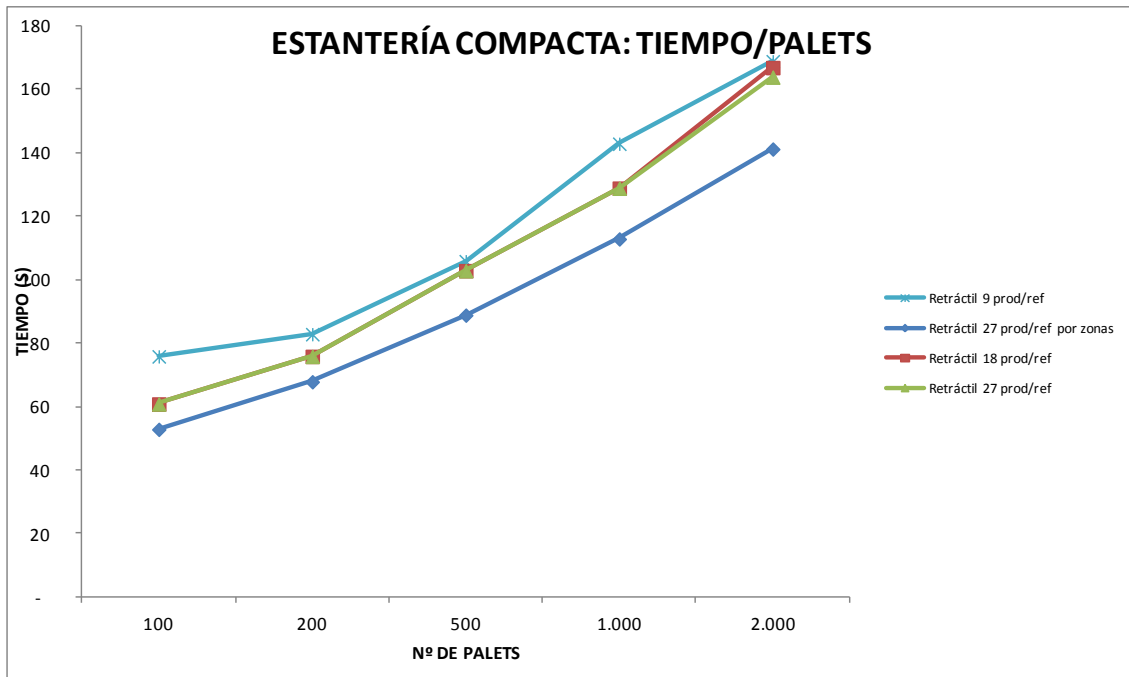


Figura 26. Tiempo/Nº palets Estantería compacta

La estantería compacta, únicamente se ha experimentado con carretilla retráctil, observando que esta es mucho más eficiente para bajo número de palets, aunque es mejorada, como es obvio, cambiando la política de gestión a aleatoria por zonas. Igualmente, se puede observar que conforme aumenta el número de palets, la diferencia entre ambas alternativas también aumenta. Se ha experimentado cambiando el número de productos por referencia, con lo que se observa que estas estanterías son mejores para productos de alta rotación con un gran número de palets por referencia.

Comparativa estantería convencional pasillo estrecho

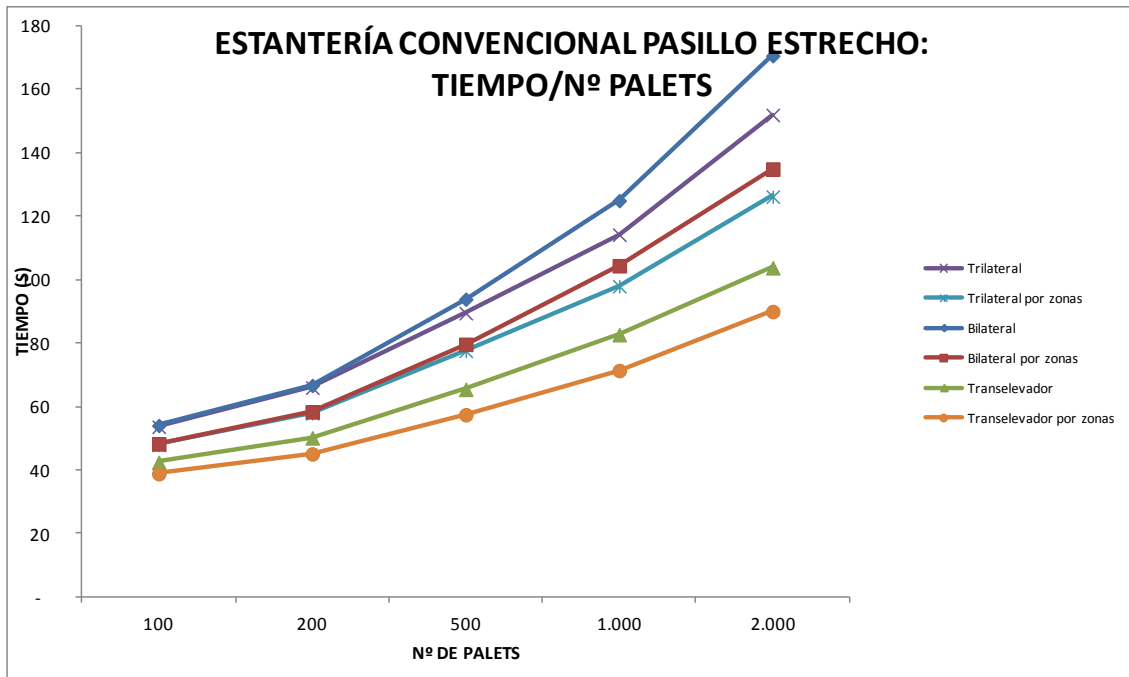


Figura 27. Tiempo/Nº palets Estantería convenc. pasillo estrecho

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías convencionales de pasillo estrecho, la tecnología de manutención en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aporta una clara reducción de los tiempos de extracción, son los transelevadores, siendo incluso mejorada al cambiar la política de gestión de ubicaciones. Esta conclusión corresponde con la realidad en el momento de la selección de medios de almacenamiento y medios de manutención ya que los tiempos de extracción son muy superiores al resto de medios.

### 4.5.2 Análisis coste/nº palets

A continuación, se analizan las simulaciones realizadas en base al coste (€) monetario por cada uno de los medios de manutención.

#### Comparativa Bloque apilado

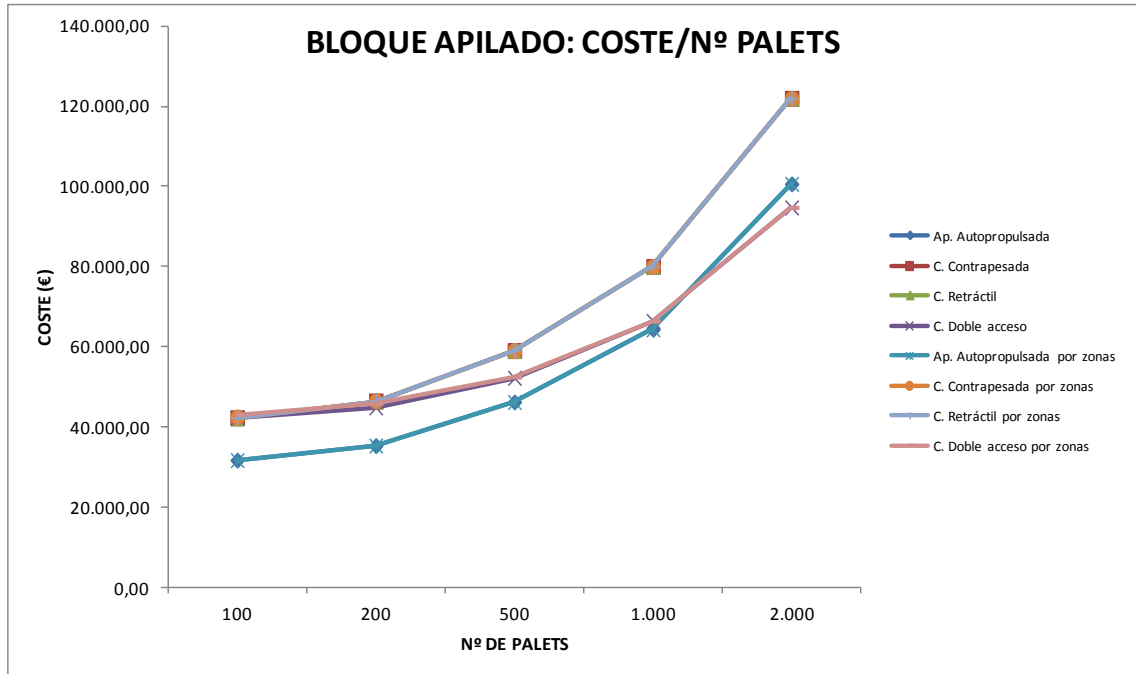


Figura 28. Coste/Nº palets Bloques Apilados

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con bloques apilados, las tecnologías de manutención en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es el apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas. El resto de combinaciones aún no quedándose excesivamente alejadas encarecen la solución, coincidiendo en inversión en algunas de las restantes posibilidades, tal y como se aprecia en la figura.

*Comparativa Estantería convencional*

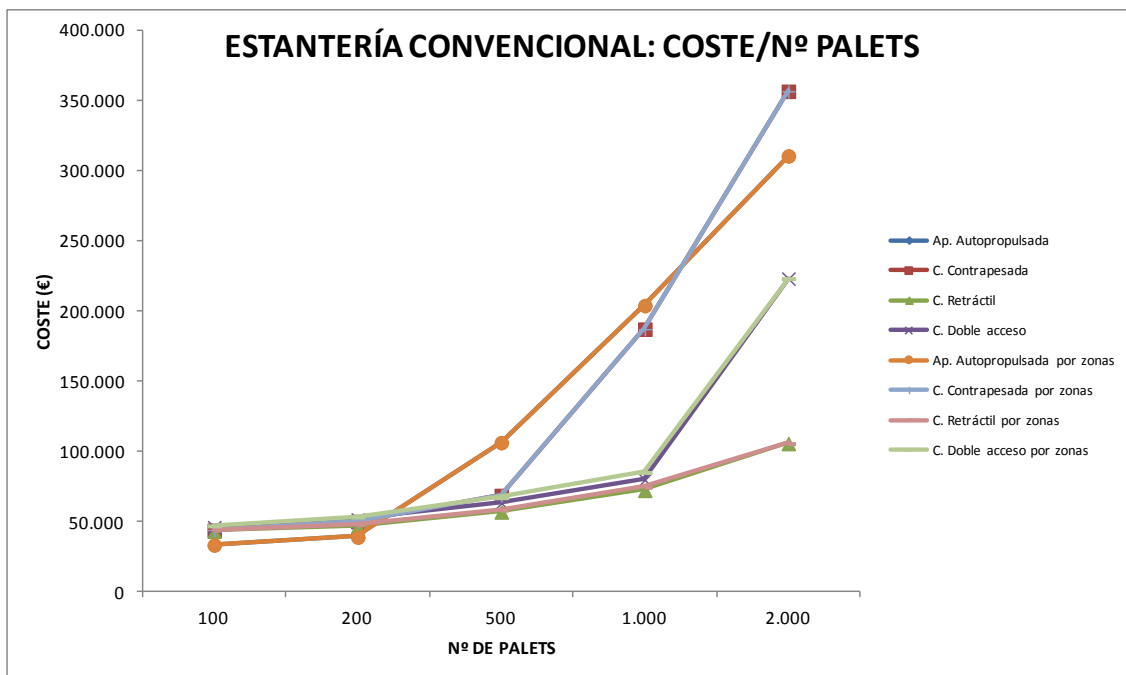


Figura 29. Coste/Nº palets Estantería convenc.

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías convencionales, las tecnologías de manipulación en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es la apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas para un número bajo de palets y para mayor número la carretilla retráctil, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas.

Comparativa Estantería dinámica

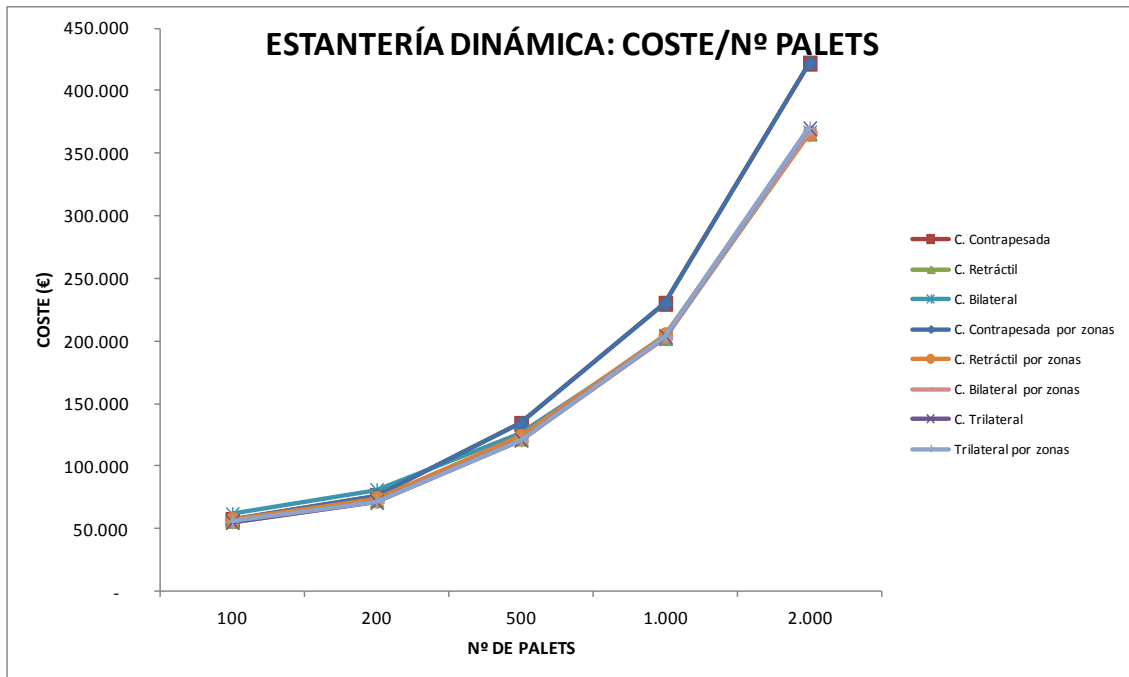


Figura 30. Coste/Nº palets Estantería dinámica

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías dinámicas, las tecnologías de mantenimiento en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es la carretilla trilateral con gestión aleatoria por zonas o incluso la carretilla bilateral con la misma política de gestión. De todas formas, aquí las diferencias son mínimas en cuanto al medio de almacenamiento utilizado.

Comparativa Estantería compacta

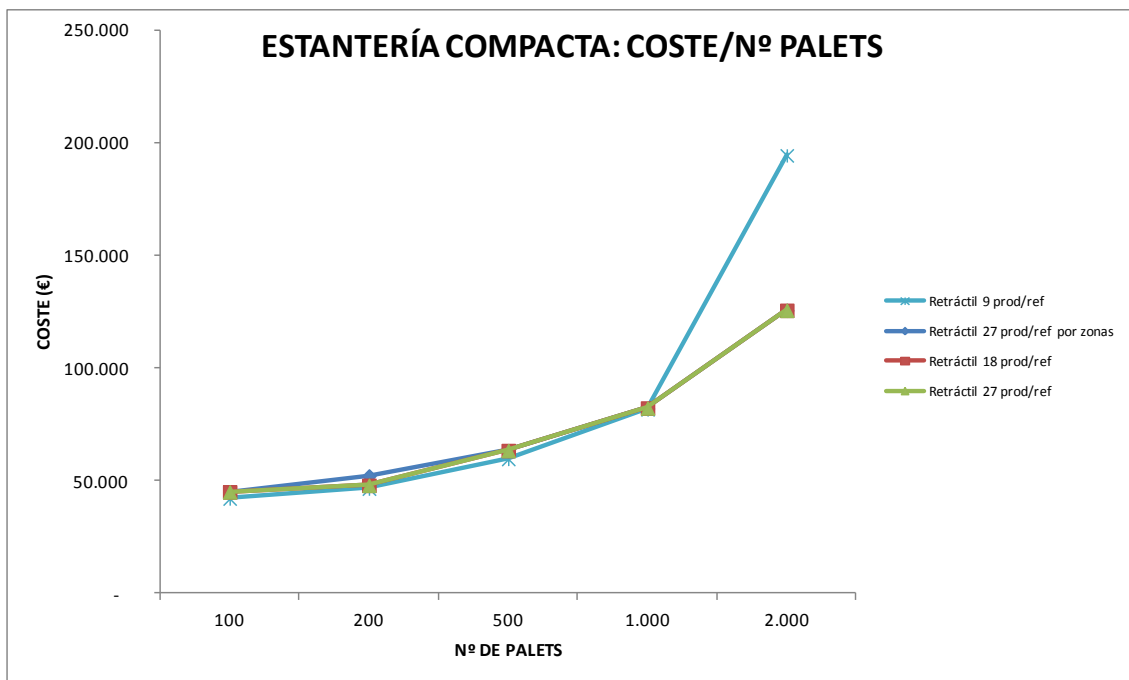


Figura 31. Coste/Nº palets Estantería compacta

La estantería compacta, únicamente se ha experimentado con la carretilla retráctil, siendo esta del mismo coste prácticamente, aún cambiando la política de gestión a aleatoria por zonas como puede apreciarse. En este caso, las diferencias de inversión no son diferenciadoras, ya que el cambio en la política de gestión mejora el tiempo de extracción de los palets del medio de almacenamiento, pero el número de palets a disponer será el mismo.

Comparativa estantería convencional pasillo estrecho

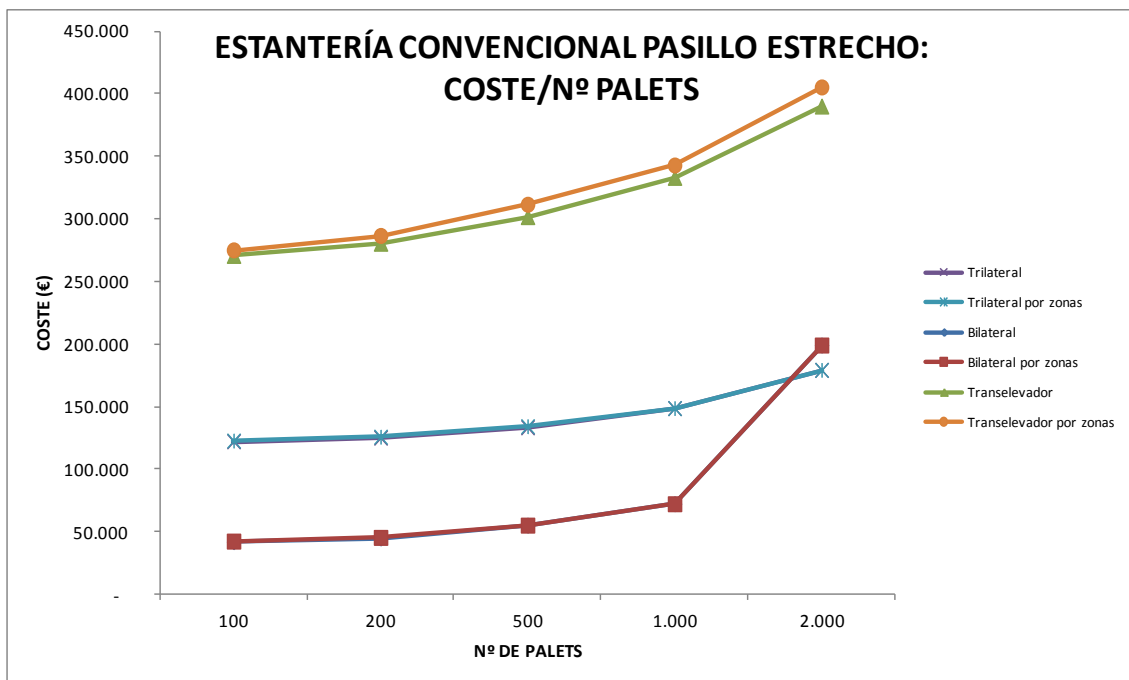


Figura 32. Coste/ nº palets Estantería convenc. pasillo estrecho

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías convencionales de pasillo estrecho, las tecnologías de manutención en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es la carretilla bilateral, la que menores costes ofrece en combinación con el espacio requerido para su funcionamiento.

### 4.5.3 Análisis tiempo/inversión

Una vez realizadas las simulaciones en base a las combinaciones de tecnologías respecto del tiempo de extracción y del coste por cada tipo de combinación realizada, se procede a realizar la comparativa de las dos variables que se pretenden analizar en esta tesis, de forma simultánea para poder determinar la conveniencia de la utilización de una u otra combinación de alternativas cuando se pretenda optimizar estas dos variables cuantitativas.

#### Comparativa Bloque apilado

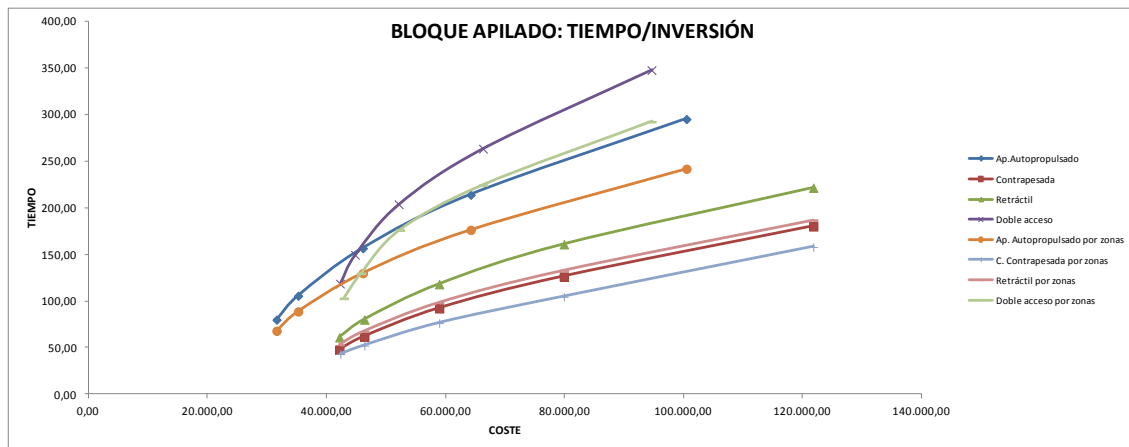


Figura 33. Tiempo/Inversión Bloques Apilados

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con bloques apilados, las tecnologías de manutención en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción y de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es la carretilla contrapesada con gestión aleatoria por zonas, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas.



Comparativa Estantería convencional

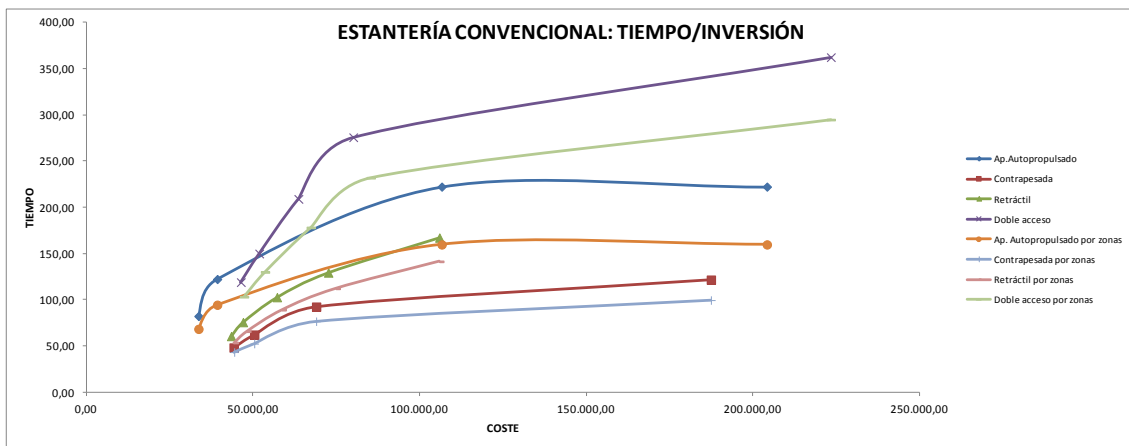


Figura 34. Tiempo/Inversión Estantería convenc.

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías convencionales, las tecnologías de manutención en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción y de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es la carretilla contrapesada con gestión aleatoria por zonas, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas.

Comparativa Estantería dinámica

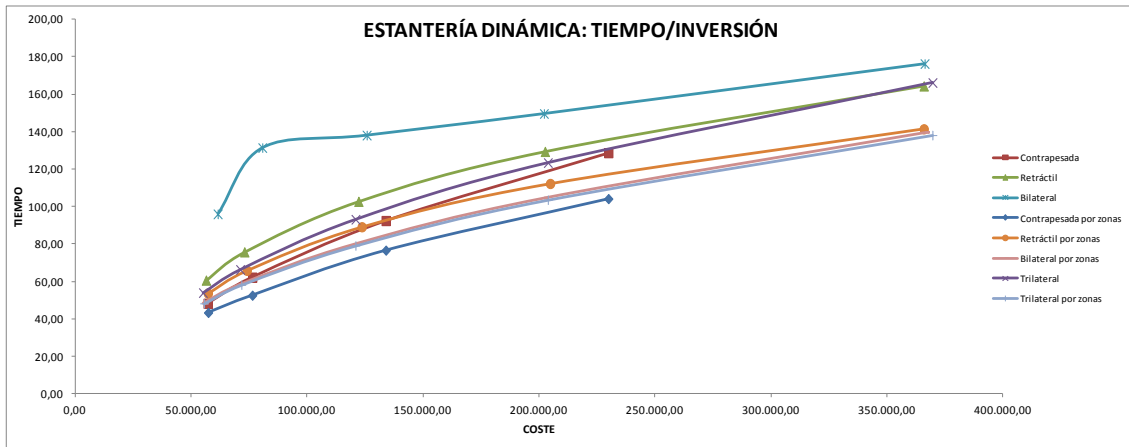


Figura 35. Tiempo/Inversión Estantería dinámica

En la gráfica resumen anterior se puede apreciar con claridad que al diseñar un sistema de almacenamiento con estanterías dinámicas, las tecnologías de manipulación en combinación con esta tecnología de almacenamiento que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción y de los costes (€), aun cambiando el número de palets, es la carretilla contrapesada por zonas, que se encuentra siempre por debajo de cualquier otra tecnología utilizada en las experimentaciones realizadas.

Comparativa Estantería compacta

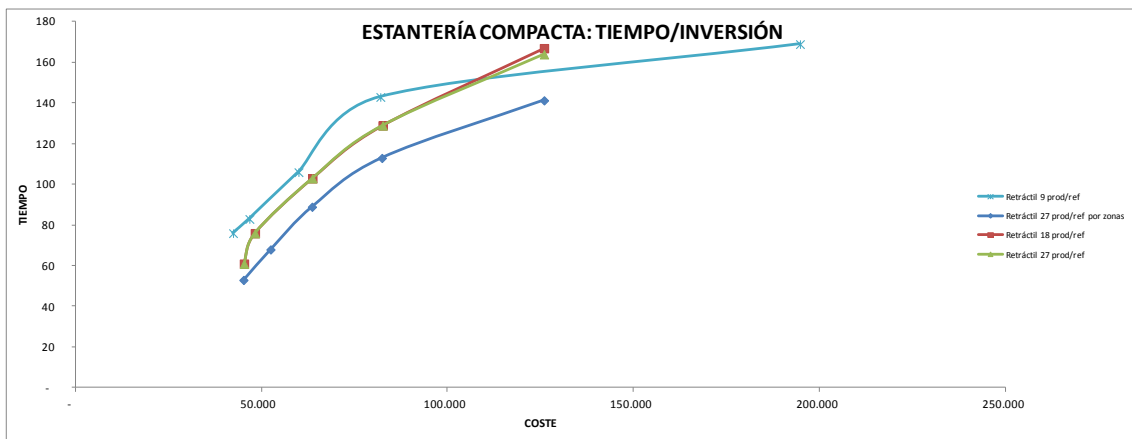


Figura 36. Tiempo/Inversión Estantería compacta

Igual que en los apartados anteriores, con esta combinación de tecnologías, únicamente se ha experimentado para una opción, siendo esta la de estantería compacta con carretilla retráctil, con gestión aleatoria pura y gestión aleatoria por zonas, resultando esta última mejor opción. Aumentando el número de productos por referencia, mejoran los resultados obtenidos, aunque esto se ha realizado para este tipo de estantería, se deja como futura línea de investigación para el resto de las alternativas tecnológicas.

Comparativa estantería convencional pasillo estrecho

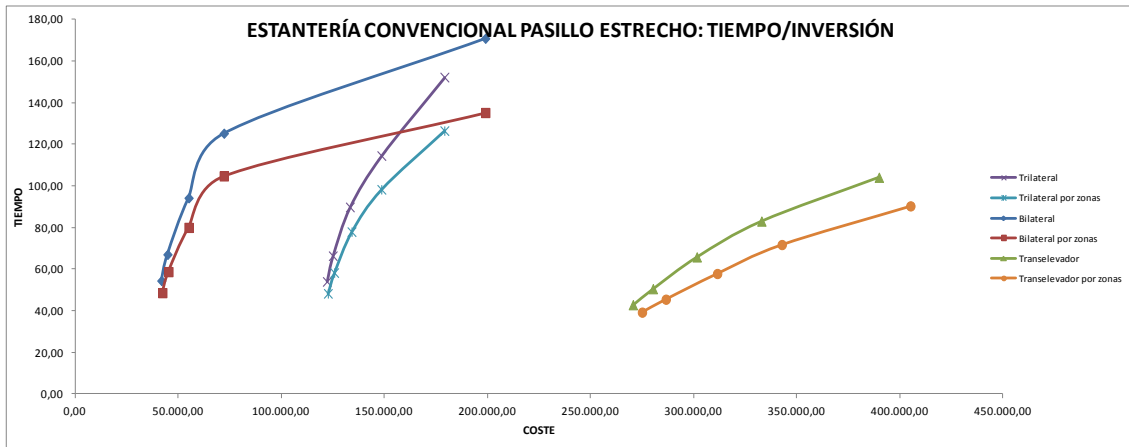


Figura 37. Tiempo/Inversión Estantería convenc. pasillo estrecho

En esta experimentación, se puede apreciar que la carretilla bilateral presenta menores costes de inversión que el resto de tecnologías, pero que el tiempo de extracción se eleva enormemente en comparación con otros medios como los transelevadores, con mayor inversión, pero mucho menor tiempo de extracción. Se puede apreciar de forma clara las diferencias entre medios tecnológicos de forma muy representativa, pudiendo resultar muy útil en el momento de toma de decisiones.

A continuación se presenta una comparativa de menor a mayor tiempo de extracción de paletas para las diferentes evaluaciones de alternativas tecnológicas, donde los resultados anteriormente expuestos de forma gráfica, se exponen a continuación en forma numérica:

Almacenamiento	Manutención	100	
		Tiempo	Inversión
Conven Estrecho zonas	Transelevador	39,03	275.028,00
Conven Estrecho	Transelevador	42,61	270.602,00
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	43,20	42.369,11
Conven ancho zonas	Contrapesada	43,20	44.369,11
Dinámica zonas	Contrapesada	43,20	57.369,11
Conven Estrecho zonas	Trilateral	48,08	122.635,27
Dinámica zonas	Trilateral	48,08	55.635,27
Bloque Apilado	Contrapesada	48,12	42.193,33
Conven ancho	Contrapesada	48,12	44.193,33
Dinámica	Contrapesada	48,12	57.193,33
Conven Estrecho zonas	Bilateral	48,41	42.321,34
Dinámica zonas	Bilateral	48,42	55.320,01
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	53,00	45.193,00
Bloque Apilado zonas	Retráctil	53,50	42.265,02
Conven ancho zonas	Retráctil	53,50	44.265,00
Dinámica zonas	Retráctil	53,50	57.265,00
Conven Estrecho	Trilateral	53,81	122.128,72
Dinámica	Trilateral	53,81	55.128,64
Conven Estrecho	Bilateral	54,22	41.875,13
Dinámica	Retráctil	60,51	56.445,17
Conven ancho	Retráctil	60,51	43.445,14
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	61,00	45.337,00
Compacta 18 prod/ref	Trilateral	61,00	45.337,00
Bloque Apilado	Retráctil	61,22	42.193,33
Bloque Apilado zonas	Apilador	68,24	31.626,67
Conven ancho zonas	Apilador	68,28	33.626,67
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	76,00	42.397,00
Bloque Apilado	Apilador	80,15	31.626,67
Conven ancho	Apilador	82,18	33.626,67
Dinámica	Bilateral	95,90	61.500,00
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	103,07	42.947,98
Conven ancho zonas	Doble acceso	103,07	47.323,00
Bloque Apilado	Doble acceso	118,80	42.291,81
Conven ancho	Doble acceso	118,84	46.351,87

Tabla 17. Comparativas tecnologías menor tiempo 100 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (100) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías

que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es el transelevador con las estanterías convencionales de pasillo estrecho con gestión aleatoria por zonas.

Almacenamiento	Manutención	200	
		Tiempo	Inversión
Conven Estrecho zonas	Transelevador	45,26	286.567,00
Conven Estrecho	Transelevador	50,32	280.307,00
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	52,42	46.386,67
Conven ancho zonas	Contrapesada	52,42	50.386,67
Dinámica zonas	Contrapesada	52,42	76.386,67
Conven Estrecho zonas	Trilateral	58,06	125.726,85
Dinámica zonas	Trilateral	58,06	71.727,00
Conven Estrecho zonas	Bilateral	58,52	45.282,90
Dinámica zonas	Bilateral	58,54	71.281,14
Conven ancho	Contrapesada	62,06	50.386,67
Dinámica	Contrapesada	62,06	76.386,67
Bloque Apilado	Contrapesada	62,06	46.386,67
Conven ancho zonas	Retráctil	65,71	48.031,61
Dinámica zonas	Retráctil	65,71	74.031,60
Conven Estrecho	Trilateral	66,16	125.010,48
Dinámica	Trilateral	66,22	71.173,33
Conven Estrecho	Bilateral	66,83	44.833,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	67,76	46.386,67
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	68,00	52.458,00
Dinámica	Retráctil	75,60	72.992,64
Conven ancho	Retráctil	75,60	46.992,48
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	76,00	48.274,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	76,00	48.274,00
Bloque Apilado	Retráctil	80,32	46.386,67
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	83,00	46.795,00
Bloque Apilado zonas	Apilador	88,97	35.253,33
Conven ancho zonas	Apilador	94,38	39.253,33
Bloque Apilado	Apilador	105,82	35.253,33
Conven ancho	Apilador	122,18	39.253,33
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	129,86	45.854,33
Conven ancho zonas	Doble acceso	129,86	53.624,39
Dinámica	Bilateral	131,30	80.750,00
Bloque Apilado	Doble acceso	149,73	44.812,43
Conven ancho	Doble acceso	149,78	51.887,30

Tabla 18. Comparativas tecnologías menor tiempo 200 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (200) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es el transelevador con las estanterías convencionales de pasillo estrecho y gestión aleatoria por zonas, de la misma forma que en el caso anterior (100 palets).

Almacenamiento	Manutención	500	
		Tiempo	Inversión
Conven Estrecho zonas	Transelevador	57,61	311.494,00
Conven Estrecho	Transelevador	65,61	301.595,00
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	76,50	58.966,67
Conven ancho zonas	Contrapesada	76,50	68.966,67
Dinámica zonas	Contrapesada	76,50	133.966,67
Conven Estrecho zonas	Trilateral	77,74	134.123,07
Dinámica zonas	Trilateral	78,99	120.933,33
Conven Estrecho zonas	Bilateral	79,79	55.083,33
Dinámica zonas	Bilateral	79,83	120.083,33
Conven ancho zonas	Retráctil	88,99	58.602,38
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	88,99	63.602,38
Dinámica zonas	Retráctil	88,99	123.602,48
Conven Estrecho	Trilateral	89,63	133.305,24
Bloque Apilado	Contrapesada	92,32	58.966,67
Conven ancho	Contrapesada	92,32	68.966,67
Dinámica	Contrapesada	92,32	133.966,67
Dinámica	Trilateral	93,03	120.933,33
Conven Estrecho	Bilateral	94,02	55.083,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	98,43	58.966,67
Dinámica	Retráctil	102,60	122.195,80
Conven ancho	Retráctil	102,60	57.195,90
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	103,00	63.709,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	103,00	63.709,00
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	106,00	59.988,00
Bloque Apilado	Retráctil	118,28	58.966,67
Bloque Apilado zonas	Apilador	130,11	46.133,33
Dinámica	Bilateral	137,97	125.750,00
Bloque Apilado	Apilador	156,75	46.133,33
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	106.640,00
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	176,26	52.382,31
Conven ancho zonas	Doble acceso	178,00	67.354,26
Bloque Apilado	Doble acceso	203,94	52.166,67
Conven ancho	Doble acceso	208,93	63.633,78
Conven ancho	Apilador	222,18	106.640,00

Tabla 19. Comparativas tecnologías menor tiempo 500 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (500) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es el transelevador con las estanterías convencionales de pasillo estrecho y gestión aleatoria por zonas. Se repite la solución obtenida en los dos casos anteriores (100 y 200 palets), al ser todavía bajo el número de palets necesarias.

Almacenamiento	Manutención	1.000	
		Tiempo	Inversión
Conven Estrecho zonas	Transelevador	71,54	342.824,00
Conven Estrecho	Transelevador	82,84	332.959,00
Conven Estrecho zonas	Trilateral	98,12	148.577,78
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	187.480,00
Dinámica zonas	Trilateral	103,43	203.866,67
Dinámica zonas	Contrapesada	104,04	229.933,33
Conven Estrecho zonas	Bilateral	104,57	72.166,67
Dinámica zonas	Bilateral	104,61	202.166,67
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	104,79	79.933,33
Conven ancho zonas	Retráctil	112,12	74.828,67
Dinámica zonas	Retráctil	112,12	204.830,38
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	113,00	82.376,00
Conven Estrecho	Trilateral	114,33	148.577,78
Conven ancho	Contrapesada	121,53	187.480,00
Dinámica	Trilateral	123,28	203.866,67
Conven Estrecho	Bilateral	125,08	72.166,67
Bloque Apilado	Contrapesada	126,42	79.933,33
Dinámica	Contrapesada	128,59	229.933,33
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	129,00	82.597,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	129,00	82.597,00
Conven ancho	Retráctil	129,27	72.597,90
Dinámica	Retráctil	129,27	202.597,94
Bloque Apilado zonas	Retráctil	132,98	79.933,33
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	143,00	81.977,00
Dinámica	Bilateral	149,52	202.166,67
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	204.280,00
Bloque Apilado	Retráctil	161,06	79.933,33
Bloque Apilado zonas	Apilador	176,47	64.266,67
Bloque Apilado	Apilador	214,14	64.266,67
Conven ancho	Apilador	222,18	204.280,00
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	224,43	66.333,33
Conven ancho zonas	Doble acceso	231,84	85.370,97
Bloque Apilado	Doble acceso	263,57	66.333,33
Conven ancho	Doble acceso	275,59	80.109,64

Tabla 20. Comparativas tecnologías menor tiempo 1.000 palets

Idénticos resultados a los obtenidos en las anteriores tabla en las que se puede apreciar con claridad que para un número todavía bajo de palets (1.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es el transelevador con las estanterías convencionales de pasillo estrecho y gestión aleatoria por zonas. Se siguen repitiendo los resultados anteriores (100, 200 y 500 palets) ya que los tiempos de extracción del transelevador a baja altura superan al resto.



Almacenamiento	Manutención	2.000	
		Tiempo	Inversión
Conven Estrecho zonas	Transelevador	90,13	405.229,00
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	356.960,00
Conven Estrecho	Transelevador	103,91	389.942,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	356.960,00
Conven Estrecho zonas	Trilateral	126,33	179.155,56
Conven Estrecho zonas	Bilateral	135,04	199.000,00
Dinámica zonas	Trilateral	137,98	369.733,33
Dinámica zonas	Bilateral	139,66	366.333,33
Conven ancho zonas	Retráctil	141,33	105.955,56
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	141,33	125.955,56
Dinámica zonas	Retráctil	141,33	365.955,56
Conven Estrecho	Trilateral	152,07	179.155,56
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	158,12	121.866,67
Dinámica zonas	Contrapesada	158,12	421.866,67
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	310.920,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	164,00	125.955,00
Dinámica	Retráctil	164,26	365.955,56
Dinámica	Trilateral	166,06	369.733,33
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	167,00	125.955,00
Conven ancho	Retráctil	167,07	105.955,56
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	169,00	194.740,00
Conven Estrecho	Bilateral	170,74	199.000,00
Dinámica	Bilateral	176,19	366.333,33
Bloque Apilado	Contrapesada	180,20	121.866,67
Dinámica	Contrapesada	180,20	421.866,67
Bloque Apilado zonas	Retráctil	186,92	121.866,67
Bloque Apilado	Retráctil	221,67	121.866,67
Conven ancho	Apilador	222,18	310.920,00
Bloque Apilado zonas	Apilador	242,04	100.533,33
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	292,55	94.666,67
Conven ancho zonas	Doble acceso	294,74	223.480,00
Bloque Apilado	Apilador	295,31	100.533,33
Bloque Apilado	Doble acceso	347,88	94.666,67
Conven ancho	Doble acceso	362,24	223.480,00

Tabla 21. Comparativas tecnologías menor tiempo 2.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número todavía bajo de palets (2.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es el transelevador con las estanterías convencionales de pasillo estrecho y gestión aleatoria por zonas. Siguen siendo las mismas combinaciones resultantes que para los casos anteriormente analizados (100, 200, 500 y 1.000 palets).

Almacenamiento	Manutención	10.000	
		Tiempo	Inversión
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	1.352.100,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	1.352.100,00
Conven Estrecho zonas	Bilateral	135,04	724.000,00
Conven Estrecho zonas	Trilateral	143,25	948.800,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	154,12	770.918,00
Dinámica zonas	Contrapesada	158,12	5.731.333,33
Conven ancho zonas	Retráctil	158,25	594.700,00
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	1.536.600,00
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	169,00	892.700,00
Conven Estrecho	Bilateral	170,74	724.000,00
Conven Estrecho	Transelevador	177,69	742.236,00
Conven Estrecho	Trilateral	178,00	348.800,00
Dinámica	Contrapesada	180,20	1.957.333,33
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	182,00	742.940,00
Conven ancho	Retráctil	193,00	594.700,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	193,00	702.700,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	217,00	742.940,00
Conven ancho	Apilador	222,18	1.536.600,00
Dinámica zonas	Retráctil	288,03	1.677.777,78
Dinámica	Retráctil	322,78	1.677.777,78
Dinámica zonas	Trilateral	351,92	1.696.666,67
Dinámica zonas	Bilateral	353,78	1.679.666,67
Conven ancho	Doble acceso	362,24	821.920,00
Dinámica	Trilateral	386,67	1.696.666,67
Dinámica	Bilateral	389,52	1.679.666,67
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	584,79	457.333,33
Bloque Apilado	Contrapesada	606,86	457.333,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	613,58	457.333,33
Bloque Apilado	Retráctil	648,33	457.333,33
Bloque Apilado zonas	Apilador	668,97	390.666,67
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	720,08	321.333,33
Bloque Apilado	Apilador	731,52	390.666,67
Bloque Apilado	Doble acceso	787,58	321.333,33
Conven ancho zonas	Doble acceso	1.170,19	821.920,00

Tabla 22. Comparativas tecnologías menor teste 10.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número muy alto de palets (10.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es la carretilla contrapesada con las estanterías convencionales de pasillo ancho y gestión aleatoria por zonas. La opción del transelevador que aparecía anteriormente sale un poco menos favorecida ya que para minimizar la inversión aumenta la altura, mientras

que no lo hace con la carretilla contrapesada y las velocidades de desplazamiento de esta última superar en horizontal a las del transelevador en vertical.

Almacenamiento	Manutención	100.000	
		Tiempo	Inversión
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	12.998.300,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	12.998.300,00
Conven Estrecho zonas	Bilateral	135,04	6.651.500,00
Conven Estrecho zonas	Trilateral	143,25	9.233.440,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	154,12	6.373.600,00
Dinámica zonas	Contrapesada	158,12	22.678.960,00
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	169,00	8.553.890,00
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	14.859.800,00
Conven Estrecho	Bilateral	170,74	6.651.500,00
Conven Estrecho	Transelevador	177,69	6.373.600,00
Conven Estrecho	Trilateral	178,00	9.233.440,00
Dinámica	Contrapesada	180,20	22.388.128,79
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	182,00	6.065.020,00
Conven ancho	Retráctil	193,00	5.763.260,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	193,00	6.789.260,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	217,00	6.065.020,00
Conven ancho	Apilador	222,18	15.375.000,00
Dinámica zonas	Retráctil	288,03	20.085.700,00
Dinámica	Retráctil	322,78	20.085.700,00
Dinámica zonas	Trilateral	351,92	20.637.280,00
Dinámica zonas	Bilateral	353,78	20.368.000,00
Conven ancho	Doble acceso	362,24	7.545.020,00
Dinámica	Trilateral	386,67	20.637.280,00
Dinámica	Bilateral	389,52	20.368.000,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	1.170,19	7.545.020,00
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	3.651,45	5.737.000,00
Bloque Apilado	Contrapesada	3.673,53	5.737.000,00
Bloque Apilado zonas	Retráctil	3.680,25	5.737.000,00
Bloque Apilado	Retráctil	3.715,00	5.737.000,00
Bloque Apilado zonas	Apilador	3.735,63	4.952.000,00
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	3.786,74	3.901.000,00
Conven ancho zonas	Retráctil	158,25	5.763.260,00
Bloque Apilado	Apilador	3.798,18	4.952.000,00
Bloque Apilado	Doble acceso	3.854,24	3.901.000,00

Tabla 23. Comparativas tecnologías menor toste 100.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número muy alto de palets (100.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una clara reducción de los tiempos de extracción, es la

carretilla contrapesada con las estanterías convencionales de pasillo ancho y gestión aleatoria por zonas, por las mismas razones que se han descrito para el escenario anterior (10.000 paletas)

A continuación se presenta una comparativa de menor a mayor inversión para las diferentes alternativas tecnológicas, obteniendo las siguientes tablas de resultados para el diferente número de palets simulados:

Almacenamiento	Manutención	100	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Apilador	68,24	31.626,67
Bloque Apilado	Apilador	80,15	31.626,67
Conven ancho zonas	Apilador	68,28	33.626,67
Conven ancho	Apilador	82,18	33.626,67
Conven Estrecho	Bilateral	54,22	41.875,13
Bloque Apilado	Contrapesada	48,12	42.193,33
Bloque Apilado	Retráctil	61,22	42.193,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	53,50	42.265,02
Bloque Apilado	Doble acceso	118,80	42.291,81
Conven Estrecho zonas	Bilateral	48,41	42.321,34
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	43,20	42.369,11
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	76,00	42.397,00
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	103,07	42.947,98
Conven ancho	Retráctil	60,51	43.445,14
Conven ancho	Contrapesada	48,12	44.193,33
Conven ancho zonas	Retráctil	53,50	44.265,00
Conven ancho zonas	Contrapesada	43,20	44.369,11
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	53,00	45.193,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	61,00	45.337,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	61,00	45.337,00
Conven ancho	Doble acceso	118,84	46.351,87
Conven ancho zonas	Doble acceso	103,07	47.323,00
Dinámica	Trilateral	53,81	55.128,64
Dinámica zonas	Bilateral	48,42	55.320,01
Dinámica zonas	Trilateral	48,08	55.635,27
Dinámica	Retráctil	60,51	56.445,17
Dinámica	Contrapesada	48,12	57.193,33
Dinámica zonas	Retráctil	53,50	57.265,00
Dinámica zonas	Contrapesada	43,20	57.369,11
Dinámica	Bilateral	95,90	61.500,00
Conven Estrecho	Trilateral	53,81	122.128,72
Conven Estrecho zonas	Trilateral	48,08	122.635,27
Conven Estrecho	Transelevador	42,61	270.602,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	39,03	275.028,00

Tabla 24. Comparativas tecnologías menor inversión 100 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (100) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con apilador autopropulsado y

gestión aleatoria por zonas, que es la opción más económica en el momento de diseñar un sistema de almacenamiento, sobre todo para un número bajo de palets necesarios.

Almacenamiento	Manutención	200	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Apilador	88,97	35.253,33
Bloque Apilado	Apilador	105,82	35.253,33
Conven ancho zonas	Apilador	94,38	39.253,33
Conven ancho	Apilador	122,18	39.253,33
Bloque Apilado	Doble acceso	149,73	44.812,43
Conven Estrecho	Bilateral	66,83	44.833,33
Conven Estrecho zonas	Bilateral	58,52	45.282,90
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	129,86	45.854,33
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	52,42	46.386,67
Bloque Apilado	Contrapesada	62,06	46.386,67
Bloque Apilado zonas	Retráctil	67,76	46.386,67
Bloque Apilado	Retráctil	80,32	46.386,67
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	83,00	46.795,00
Conven ancho	Retráctil	75,60	46.992,48
Conven ancho zonas	Retráctil	65,71	48.031,61
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	76,00	48.274,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	76,00	48.274,00
Conven ancho zonas	Contrapesada	52,42	50.386,67
Conven ancho	Contrapesada	62,06	50.386,67
Conven ancho	Doble acceso	149,78	51.887,30
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	68,00	52.458,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	129,86	53.624,39
Dinámica	Trilateral	66,22	71.173,33
Dinámica zonas	Bilateral	58,54	71.281,14
Dinámica zonas	Trilateral	58,06	71.727,00
Dinámica	Retráctil	75,60	72.992,64
Dinámica zonas	Retráctil	65,71	74.031,60
Dinámica zonas	Contrapesada	52,42	76.386,67
Dinámica	Contrapesada	62,06	76.386,67
Dinámica	Bilateral	131,30	80.750,00
Conven Estrecho	Trilateral	66,16	125.010,48
Conven Estrecho zonas	Trilateral	58,06	125.726,85
Conven Estrecho	Transelevador	50,32	280.307,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	45,26	286.567,00

Tabla 25. Comparativas tecnologías menor inversión 200 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (200) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con el apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas, como el caso anteriormente descrito.

Almacenamiento	Manutención	500	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Apilador	130,11	46.133,33
Bloque Apilado	Apilador	156,75	46.133,33
Bloque Apilado	Doble acceso	203,94	52.166,67
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	176,26	52.382,31
Conven Estrecho zonas	Bilateral	79,79	55.083,33
Conven Estrecho	Bilateral	94,02	55.083,33
Conven ancho	Retráctil	102,60	57.195,90
Conven ancho zonas	Retráctil	88,99	58.602,38
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	76,50	58.966,67
Bloque Apilado	Contrapesada	92,32	58.966,67
Bloque Apilado zonas	Retráctil	98,43	58.966,67
Bloque Apilado	Retráctil	118,28	58.966,67
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	106,00	59.988,00
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	88,99	63.602,38
Conven ancho	Doble acceso	208,93	63.633,78
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	103,00	63.709,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	103,00	63.709,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	178,00	67.354,26
Conven ancho zonas	Contrapesada	76,50	68.966,67
Conven ancho	Contrapesada	92,32	68.966,67
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	106.640,00
Conven ancho	Apilador	222,18	106.640,00
Dinámica zonas	Bilateral	79,83	120.083,33
Dinámica zonas	Trilateral	78,99	120.933,33
Dinámica	Trilateral	93,03	120.933,33
Dinámica	Retráctil	102,60	122.195,80
Dinámica zonas	Retráctil	88,99	123.602,48
Dinámica	Bilateral	137,97	125.750,00
Conven Estrecho	Trilateral	89,63	133.305,24
Dinámica zonas	Contrapesada	76,50	133.966,67
Dinámica	Contrapesada	92,32	133.966,67
Conven Estrecho zonas	Trilateral	77,74	134.123,07
Conven Estrecho	Transelevador	65,61	301.595,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	57,61	311.494,00

Tabla 26. Comparativas tecnologías menor inversión 500 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (500) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con el apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas, como los dos casos anteriormente descritos (100 y 200 palets).

Almacenamiento	Manutención	1.000	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Apilador	176,47	64.266,67
Bloque Apilado	Apilador	214,14	64.266,67
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	224,43	66.333,33
Bloque Apilado	Doble acceso	263,57	66.333,33
Conven Estrecho zonas	Bilateral	104,57	72.166,67
Conven Estrecho	Bilateral	125,08	72.166,67
Conven ancho	Retráctil	129,27	72.597,90
Conven ancho zonas	Retráctil	112,12	74.828,67
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	104,79	79.933,33
Bloque Apilado	Contrapesada	126,42	79.933,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	132,98	79.933,33
Bloque Apilado	Retráctil	161,06	79.933,33
Conven ancho	Doble acceso	275,59	80.109,64
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	143,00	81.977,00
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	113,00	82.376,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	129,00	82.597,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	129,00	82.597,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	231,84	85.370,97
Conven Estrecho zonas	Trilateral	98,12	148.577,78
Conven Estrecho	Trilateral	114,33	148.577,78
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	187.480,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	187.480,00
Dinámica zonas	Bilateral	104,61	202.166,67
Dinámica	Bilateral	149,52	202.166,67
Dinámica	Retráctil	129,27	202.597,94
Dinámica zonas	Trilateral	103,43	203.866,67
Dinámica	Trilateral	123,28	203.866,67
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	204.280,00
Conven ancho	Apilador	222,18	204.280,00
Dinámica zonas	Retráctil	112,12	204.830,38
Dinámica zonas	Contrapesada	104,04	229.933,33
Dinámica	Contrapesada	128,59	229.933,33
Conven Estrecho	Transelevador	82,84	332.959,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	71,54	342.824,00

Tabla 27. Comparativas tecnologías menor inversión 1.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (1.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con el apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas, como los casos anteriormente descritos (100, 200 y 500 palets).



Almacenamiento	Manutención	2.000	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	292,55	94.666,67
Bloque Apilado	Doble acceso	347,88	94.666,67
Bloque Apilado zonas	Apilador	242,04	100.533,33
Bloque Apilado	Apilador	295,31	100.533,33
Conven ancho zonas	Retráctil	141,33	105.955,56
Conven ancho	Retráctil	167,07	105.955,56
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	158,12	121.866,67
Bloque Apilado	Contrapesada	180,20	121.866,67
Bloque Apilado zonas	Retráctil	186,92	121.866,67
Bloque Apilado	Retráctil	221,67	121.866,67
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	164,00	125.955,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	167,00	125.955,00
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	141,33	125.955,56
Conven Estrecho zonas	Trilateral	126,33	179.155,56
Conven Estrecho	Trilateral	152,07	179.155,56
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	169,00	194.740,00
Conven Estrecho zonas	Bilateral	135,04	199.000,00
Conven Estrecho	Bilateral	170,74	199.000,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	294,74	223.480,00
Conven ancho	Doble acceso	362,24	223.480,00
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	310.920,00
Conven ancho	Apilador	222,18	310.920,00
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	356.960,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	356.960,00
Dinámica zonas	Retráctil	141,33	365.955,56
Dinámica	Retráctil	164,26	365.955,56
Dinámica zonas	Bilateral	139,66	366.333,33
Dinámica	Bilateral	176,19	366.333,33
Dinámica zonas	Trilateral	137,98	369.733,33
Dinámica	Trilateral	166,06	369.733,33
Conven Estrecho	Transelevador	103,91	389.942,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	90,13	405.229,00
Dinámica zonas	Contrapesada	158,12	421.866,67
Dinámica	Contrapesada	180,20	421.866,67

Tabla 28. Comparativas tecnologías menor inversión 2.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (2.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con el apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas, como todos los casos anteriormente descritos (100, 200,500 y 1.000 palets).

Almacenamiento	Manutención	10.000	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	720,08	321.333,33
Bloque Apilado	Doble acceso	787,58	321.333,33
Conven Estrecho	Trilateral	178,00	348.800,00
Bloque Apilado zonas	Apilador	668,97	390.666,67
Bloque Apilado	Apilador	731,52	390.666,67
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	584,79	457.333,33
Bloque Apilado	Contrapesada	606,86	457.333,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	613,58	457.333,33
Bloque Apilado	Retráctil	648,33	457.333,33
Conven ancho zonas	Retráctil	158,25	594.700,00
Conven ancho	Retráctil	193,00	594.700,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	193,00	702.700,00
Conven Estrecho zonas	Bilateral	135,04	724.000,00
Conven Estrecho	Bilateral	170,74	724.000,00
Conven Estrecho	Transelevador	177,69	742.236,00
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	182,00	742.940,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	217,00	742.940,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	154,12	770.918,00
Conven ancho	Doble acceso	362,24	821.920,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	1.170,19	821.920,00
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	169,00	892.700,00
Conven Estrecho zonas	Trilateral	143,25	948.800,00
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	1.352.100,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	1.352.100,00
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	1.536.600,00
Conven ancho	Apilador	222,18	1.536.600,00
Dinámica zonas	Retráctil	288,03	1.677.777,78
Dinámica	Retráctil	322,78	1.677.777,78
Dinámica zonas	Bilateral	353,78	1.679.666,67
Dinámica	Bilateral	389,52	1.679.666,67
Dinámica zonas	Trilateral	351,92	1.696.666,67
Dinámica	Trilateral	386,67	1.696.666,67
Dinámica	Contrapesada	180,20	1.957.333,33
Dinámica zonas	Contrapesada	158,12	5.731.333,33

Tabla 29. Comparativas tecnologías menor inversión 10.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (10.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con el apilador autopulsado con gestión aleatoria por zonas, como todos los casos anteriormente descritos (100, 200,500 1.000 y 2.000 palets).

Almacenamiento	Manutención	100.000	
		Tiempo	Inversión
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	3.786,74	3.901.000,00
Bloque Apilado	Doble acceso	3.854,24	3.901.000,00
Bloque Apilado zonas	Apilador	3.735,63	4.952.000,00
Bloque Apilado	Apilador	3.798,18	4.952.000,00
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	3.651,45	5.737.000,00
Bloque Apilado	Contrapesada	3.673,53	5.737.000,00
Bloque Apilado zonas	Retráctil	3.680,25	5.737.000,00
Bloque Apilado	Retráctil	3.715,00	5.737.000,00
Conven ancho	Retráctil	193,00	5.763.260,00
Conven ancho zonas	Retráctil	158,25	5.763.260,00
Compacta 27 prod/ref zonas	Retráctil	182,00	6.065.020,00
Compacta 27 prod/ref	Retráctil	217,00	6.065.020,00
Conven Estrecho zonas	Transelevador	154,12	6.373.600,00
Conven Estrecho	Transelevador	177,69	6.373.600,00
Conven Estrecho zonas	Bilateral	135,04	6.651.500,00
Conven Estrecho	Bilateral	170,74	6.651.500,00
Compacta 18 prod/ref	Retráctil	193,00	6.789.260,00
Conven ancho	Doble acceso	362,24	7.545.020,00
Conven ancho zonas	Doble acceso	1.170,19	7.545.020,00
Compacta 9 prod/ref	Retráctil	169,00	8.553.890,00
Conven Estrecho zonas	Trilateral	143,25	9.233.440,00
Conven Estrecho	Trilateral	178,00	9.233.440,00
Conven ancho zonas	Contrapesada	99,45	12.998.300,00
Conven ancho	Contrapesada	121,53	12.998.300,00
Conven ancho zonas	Apilador	159,63	14.859.800,00
Conven ancho	Apilador	222,18	15.375.000,00
Dinámica zonas	Retráctil	288,03	20.085.700,00
Dinámica	Retráctil	322,78	20.085.700,00
Dinámica zonas	Bilateral	353,78	20.368.000,00
Dinámica	Bilateral	389,52	20.368.000,00
Dinámica zonas	Trilateral	351,92	20.637.280,00
Dinámica	Trilateral	386,67	20.637.280,00
Dinámica	Contrapesada	180,20	22.388.128,79
Dinámica zonas	Contrapesada	158,12	22.678.960,00

Tabla 30. Comparativas tecnologías menor inversión 100.000 palets

En la tabla anterior se puede apreciar con claridad que para un número bajo de palets (100.000) al diseñar un sistema de almacenamiento la combinación de tecnologías que aportan una mínima inversión, es el bloque apilado con el apilador autopropulsado con gestión aleatoria por zonas, como todos los casos anteriormente descritos (100, 200,500 1.000, 2.000 y 10.000 palets), ya que la experiencia demuestra que es la inversión mínima al no necesitar ni siquiera estanterías para su puesta en marcha.

Finalmente, se representan simultáneamente las combinaciones de tecnologías para cada número diferente de palets simulados (desde 100 hasta 100.000 palets), quedando las siguientes representaciones:

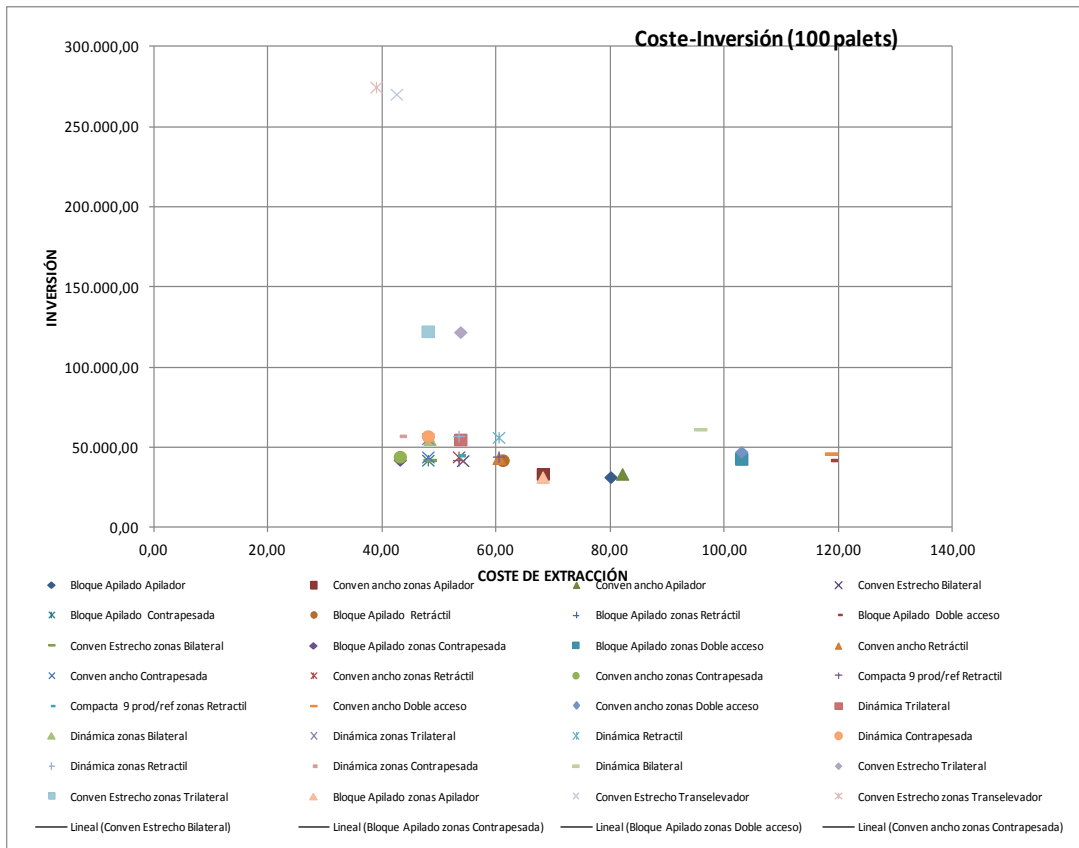


Figura 38. Coste/Inversión (100 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número bajo de palets (100). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.

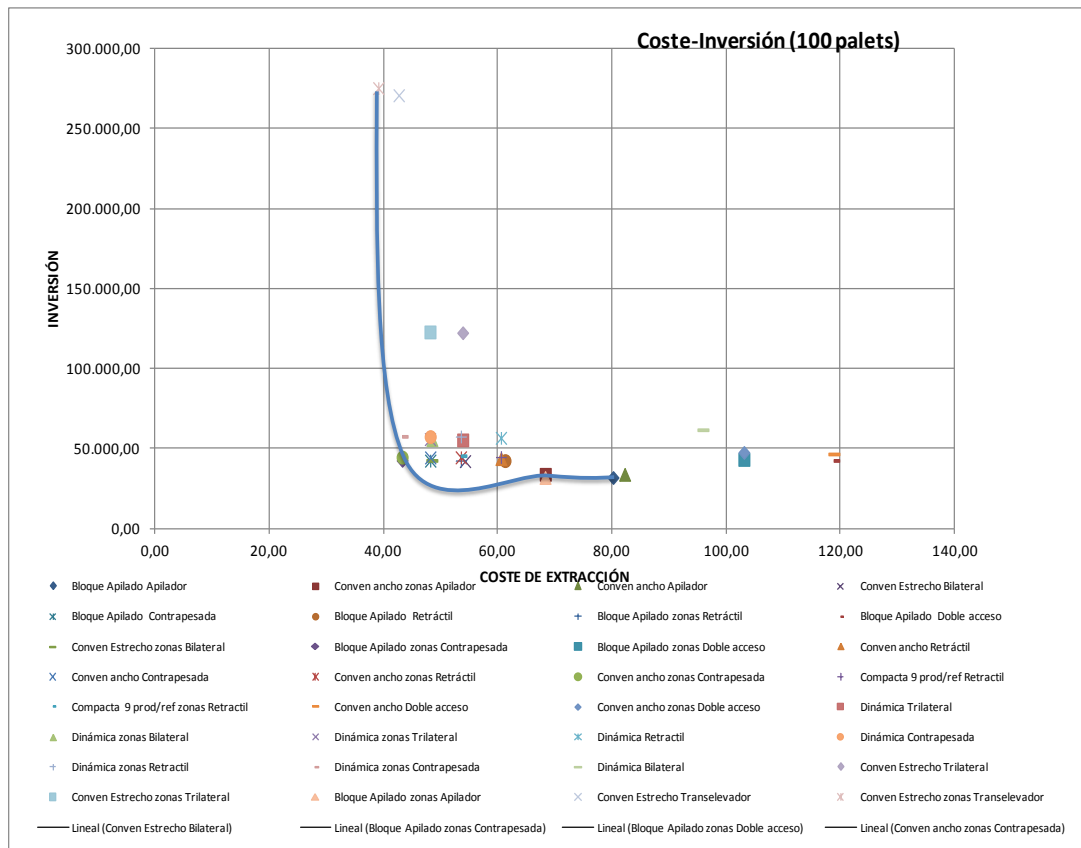


Figura 39. Envolvente Coste/Inversión (100 palets)

Con estos resultados se obtiene la envolvente para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo. Las opciones más favorables son las que aparecen sobre esta envolvente.

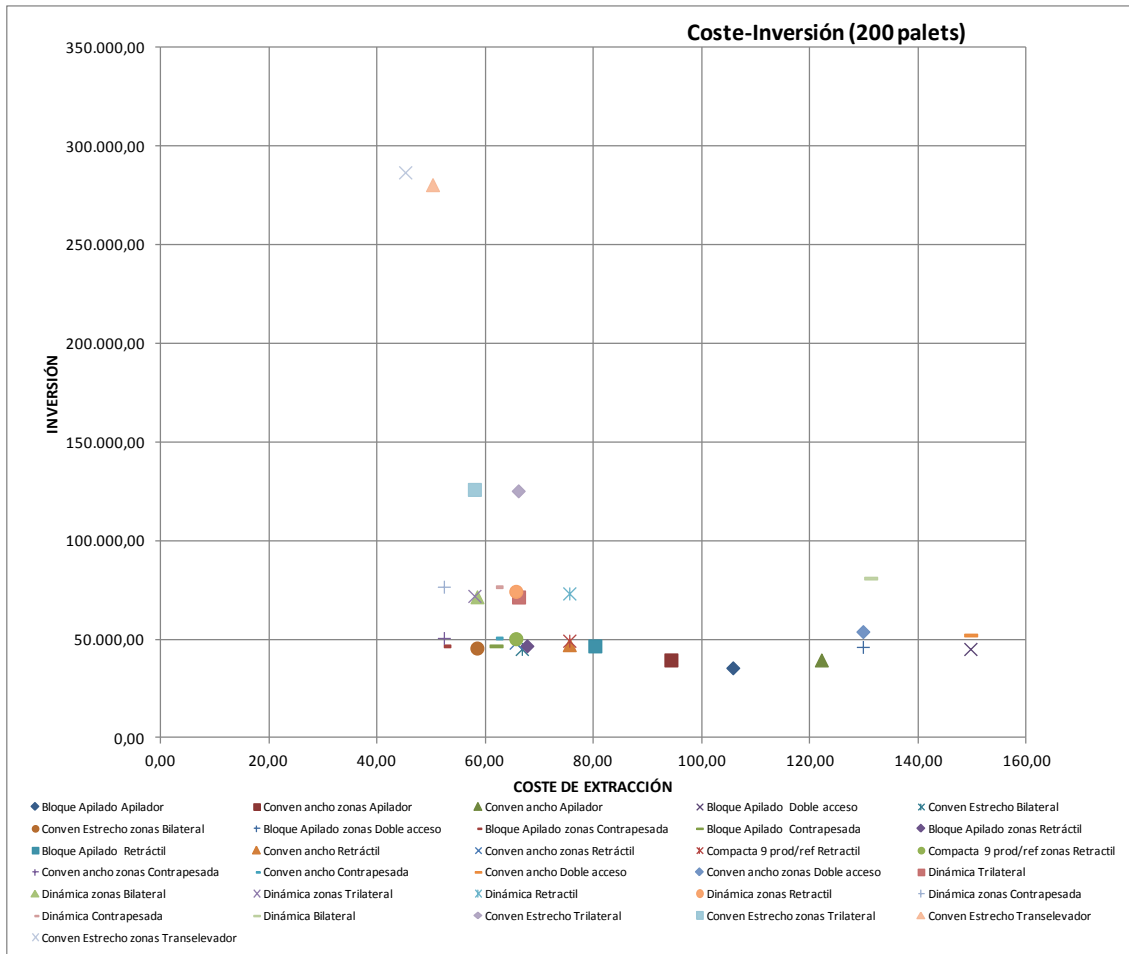


Figura 40. Coste/Inversión (200 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, de igual manera que se hizo con anterioridad, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número bajo de palets (200). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.

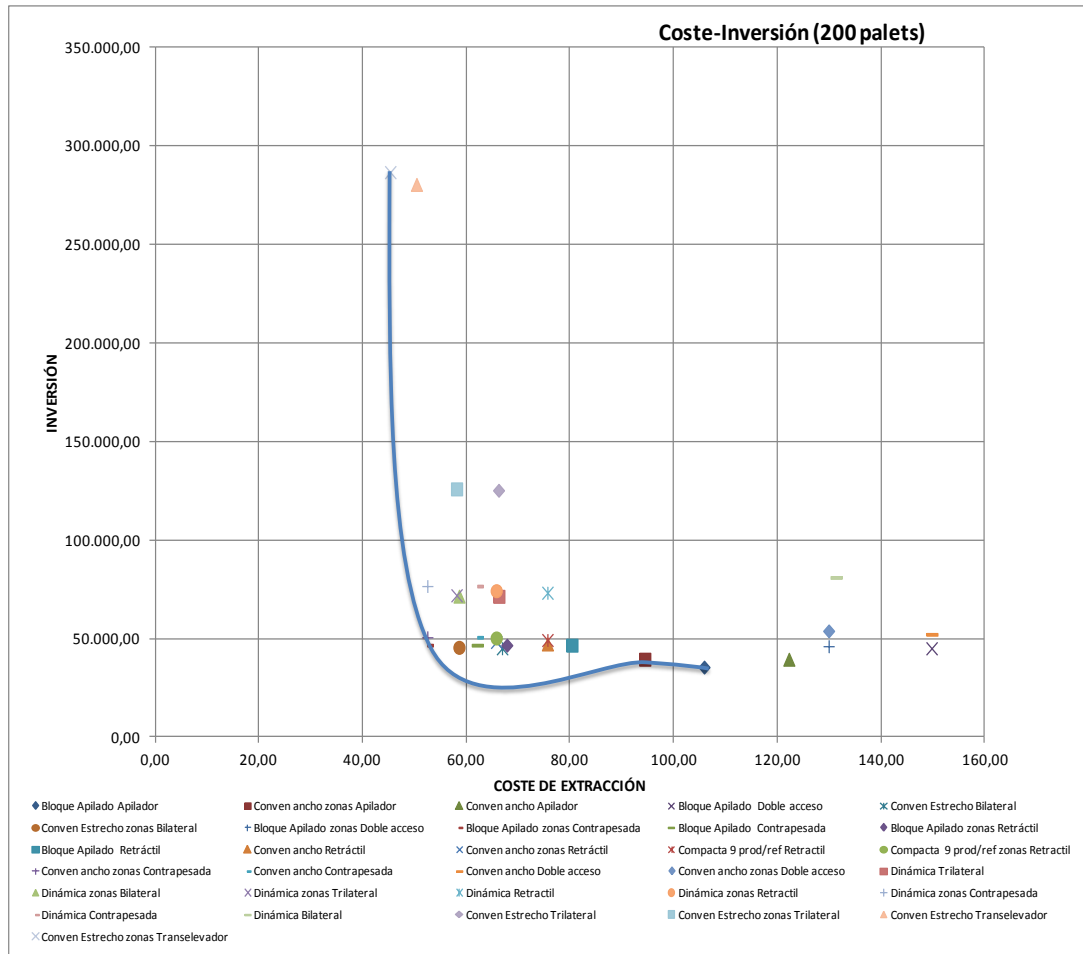


Figura 41. Envoltente Coste/Inversión (200 palets)

Con estos resultados se obtiene la curva para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo.

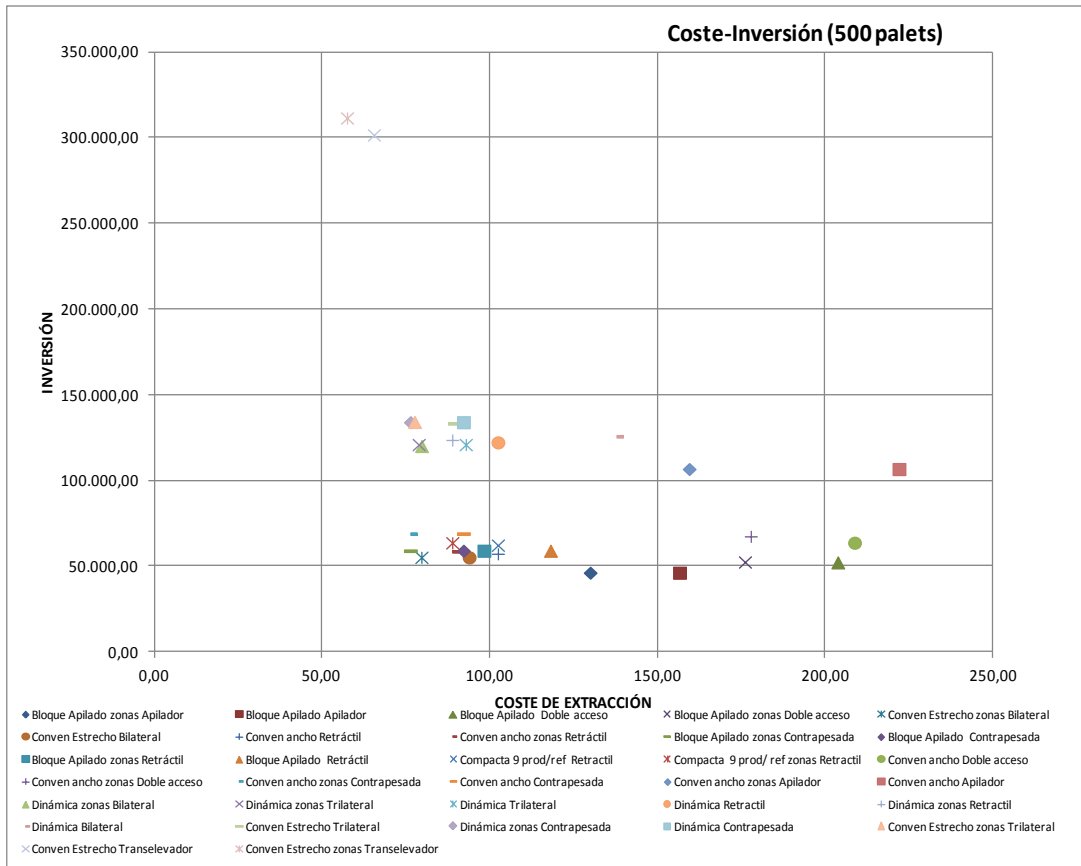


Figura 42. Coste/Inversión (500 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, de igual manera que se hizo con anterioridad, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número bajo de palets (500). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.



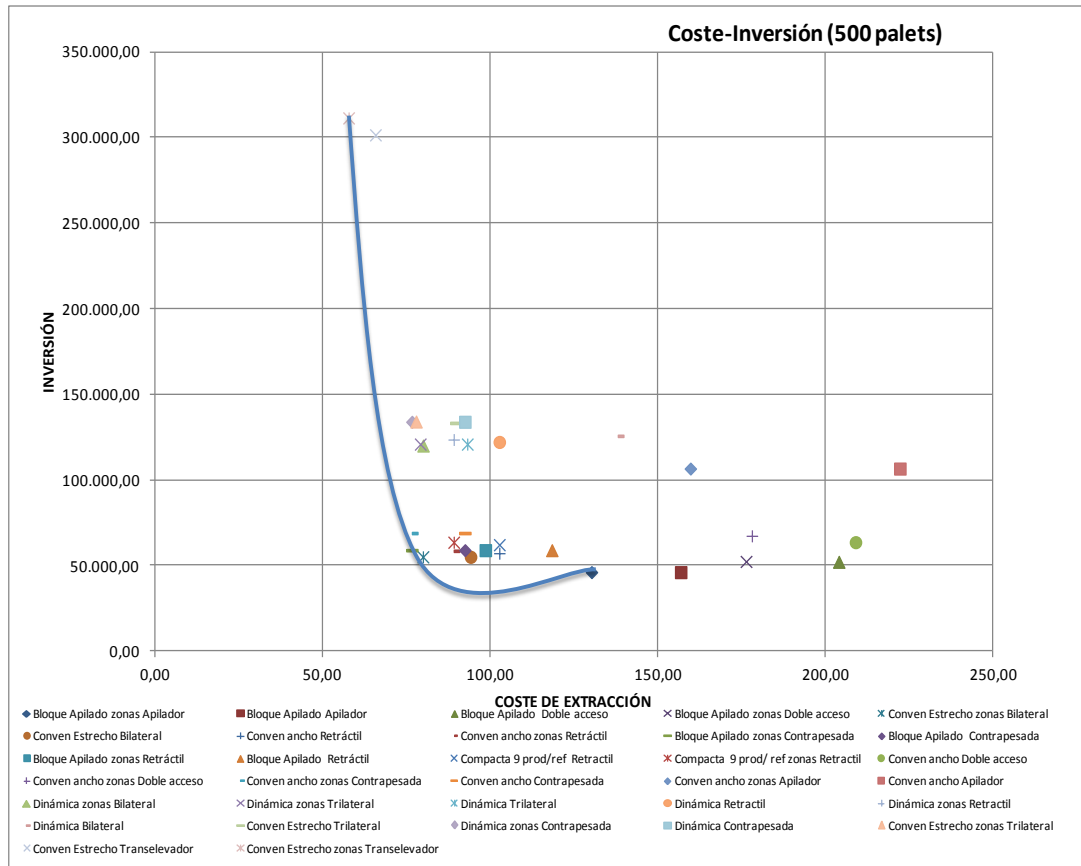


Figura 43. Envoltente Coste/Inversión (500 palets)

Con estos resultados se obtiene la curva para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo.

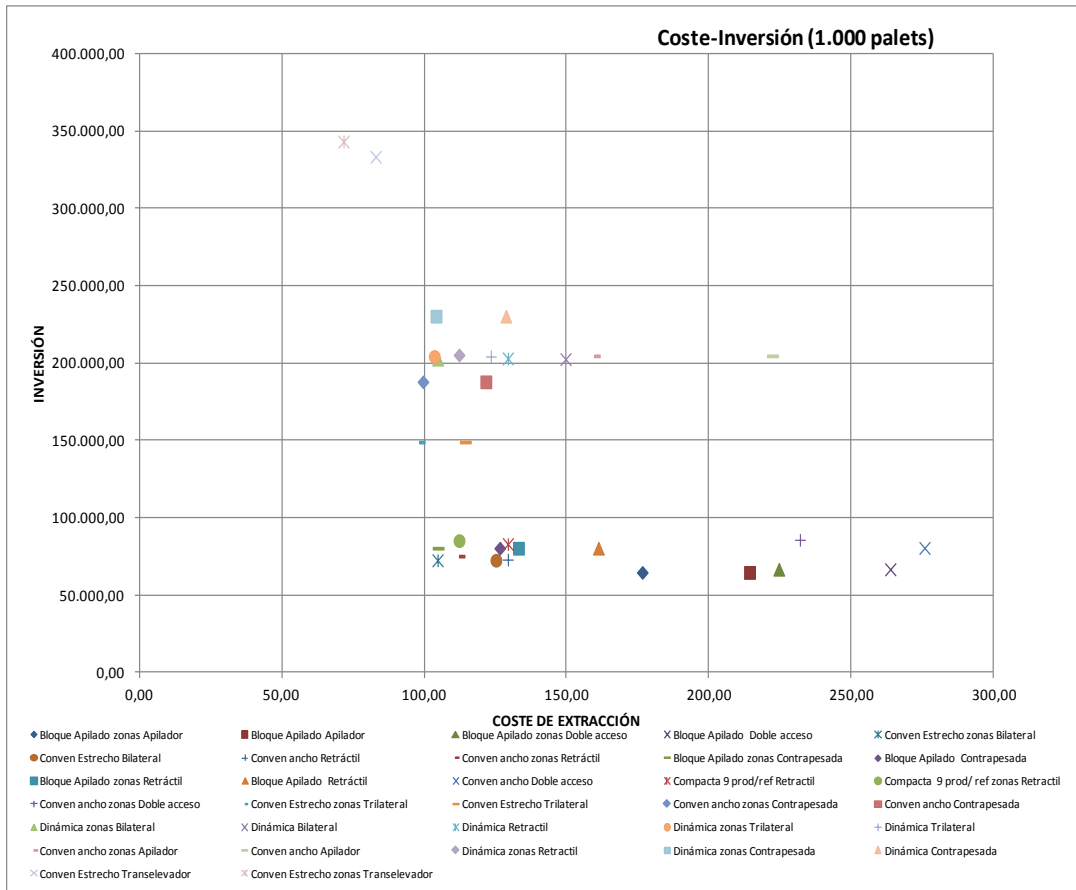


Figura 44. Coste/Inversión (1.000 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, de igual manera que se hizo con anterioridad, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número alto de palets (1.000). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.

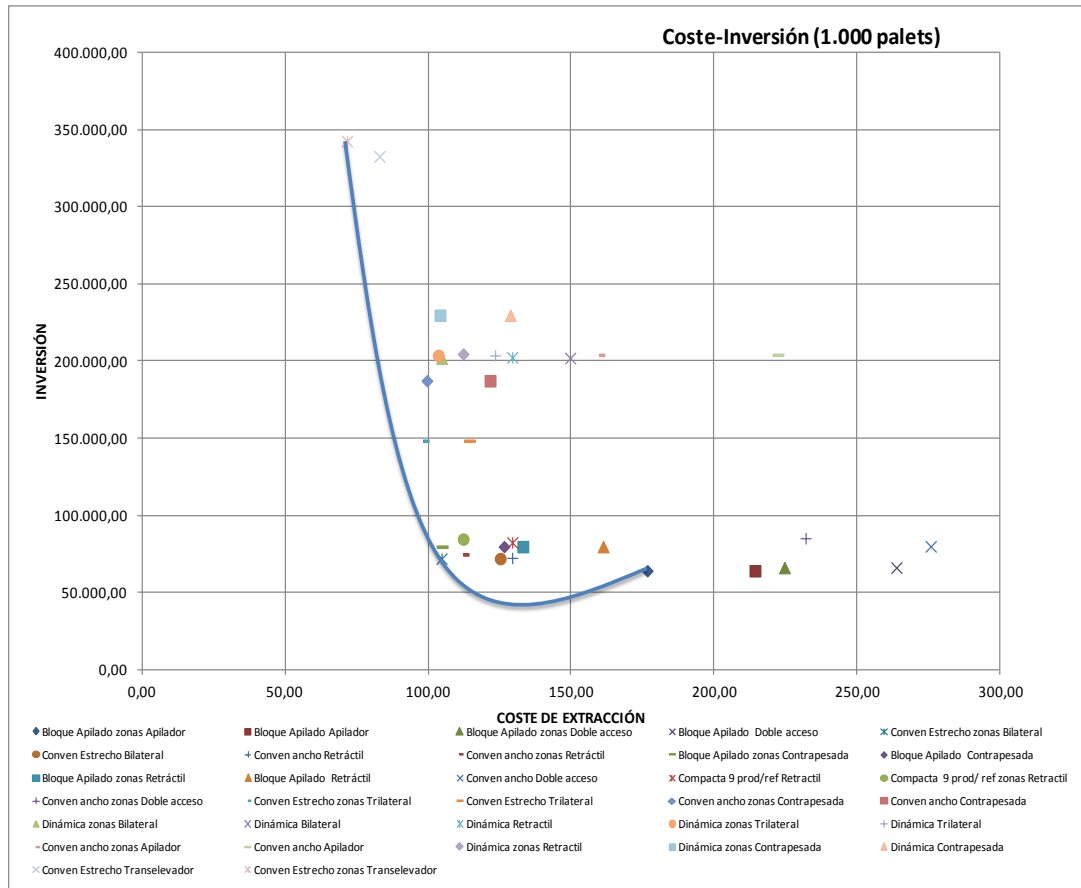


Figura 45. Envolverte Coste/Inversión (1.000 palets)

Con estos resultados se obtiene la curva para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo.

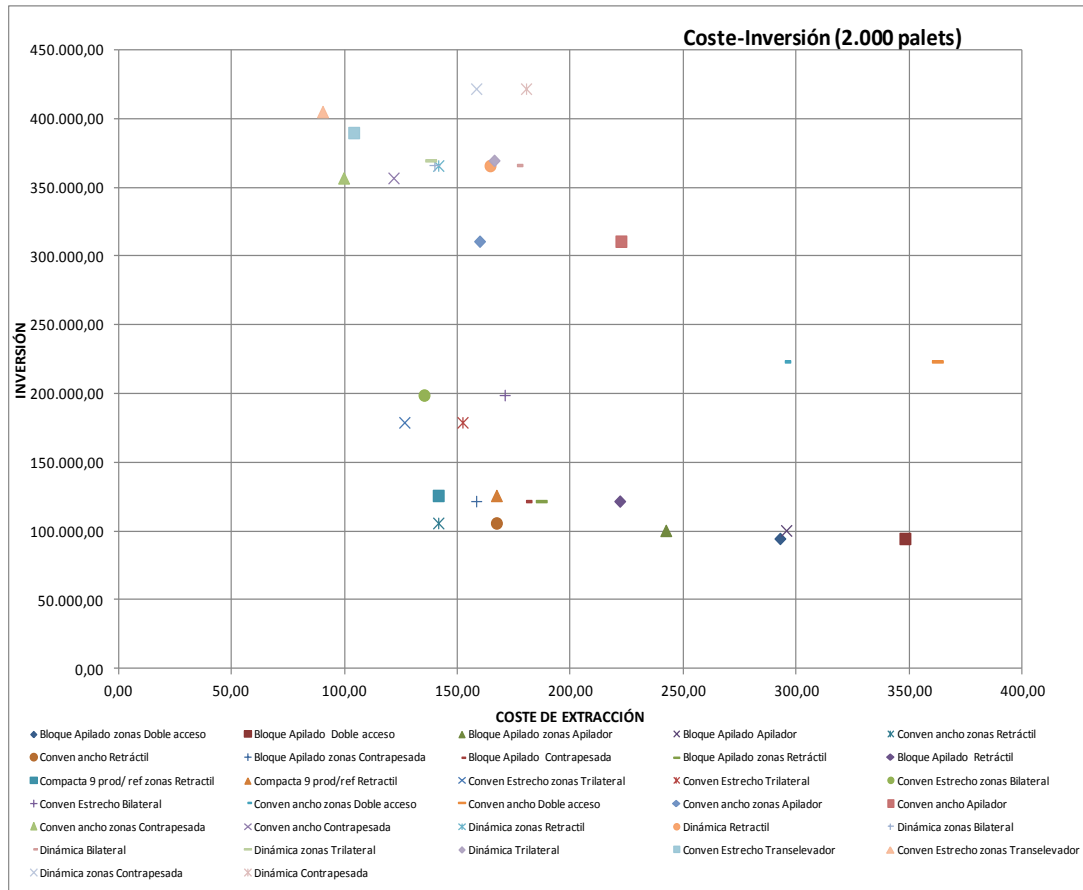


Figura 46. Coste/Inversión (2.000 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número alto de palets (2.000). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.

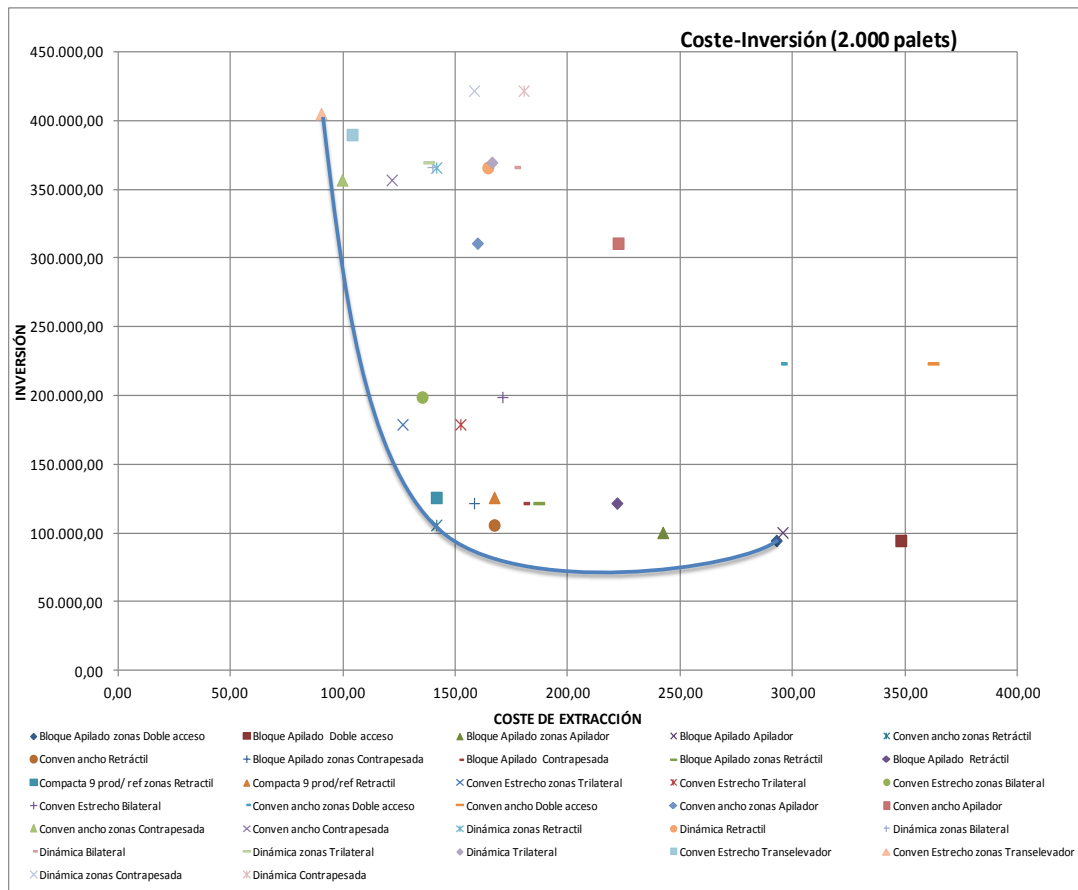


Figura 47. Envolvente Coste/Inversión (2.000 palets)

Con estos resultados se obtiene la curva para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo.

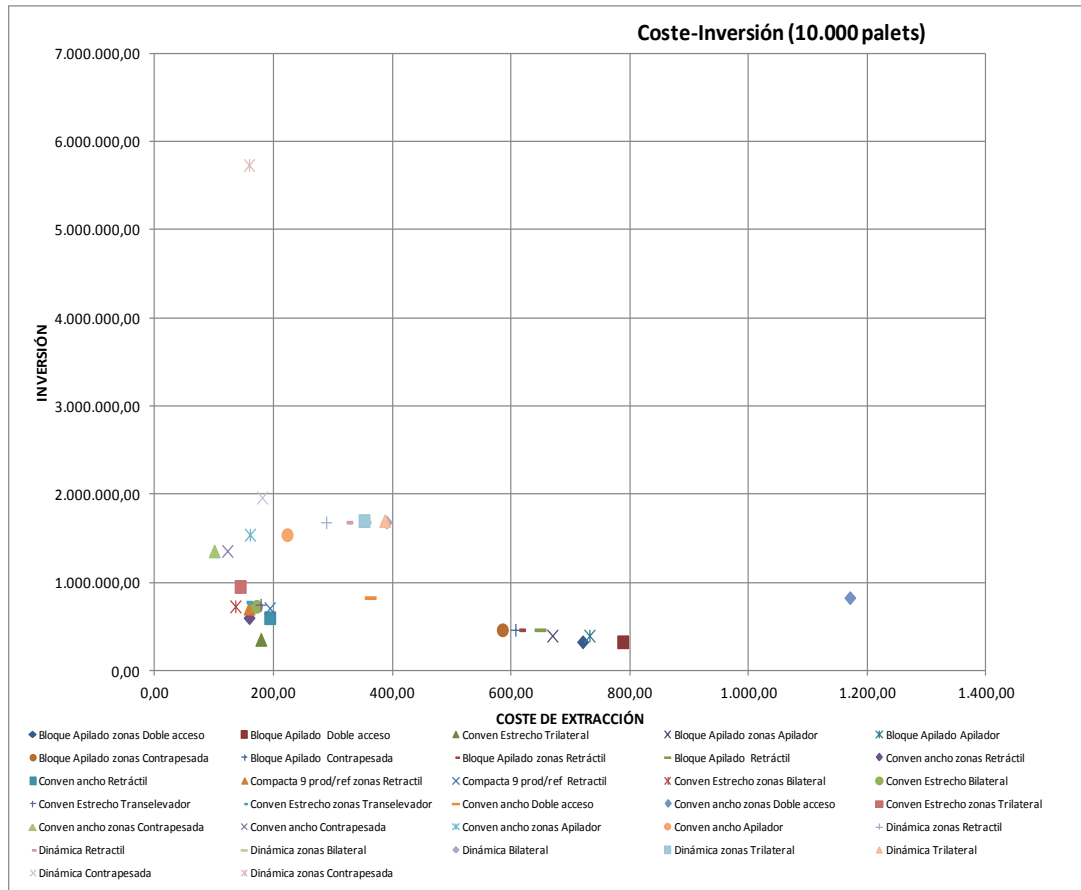


Figura 48. Coste/Inversión (10.000 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número alto de palets (10.000). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.

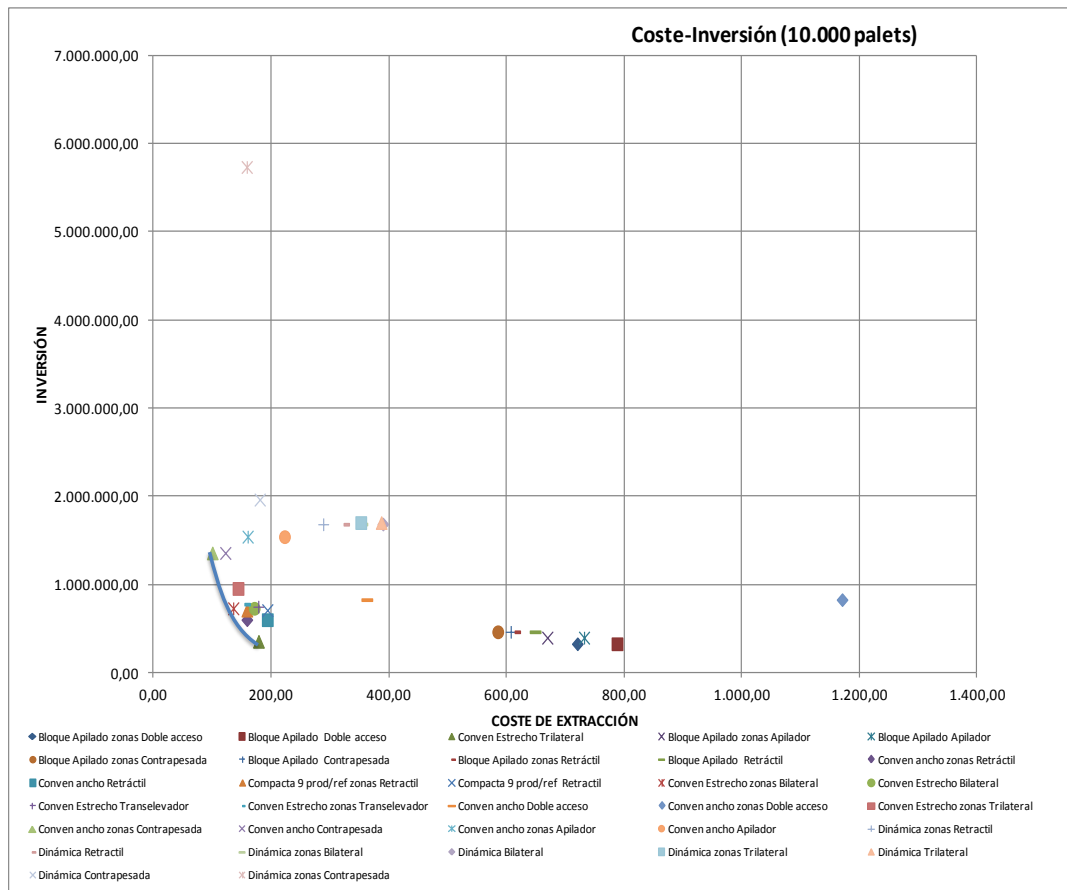


Figura 49. Envolvente Coste/Inversión (10.000 palets)

Con estos resultados se obtiene la curva para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo. Sin embargo si lo que se pretende es minimizar la inversión la solución adoptada queda muy alejada del resto de soluciones planteadas.

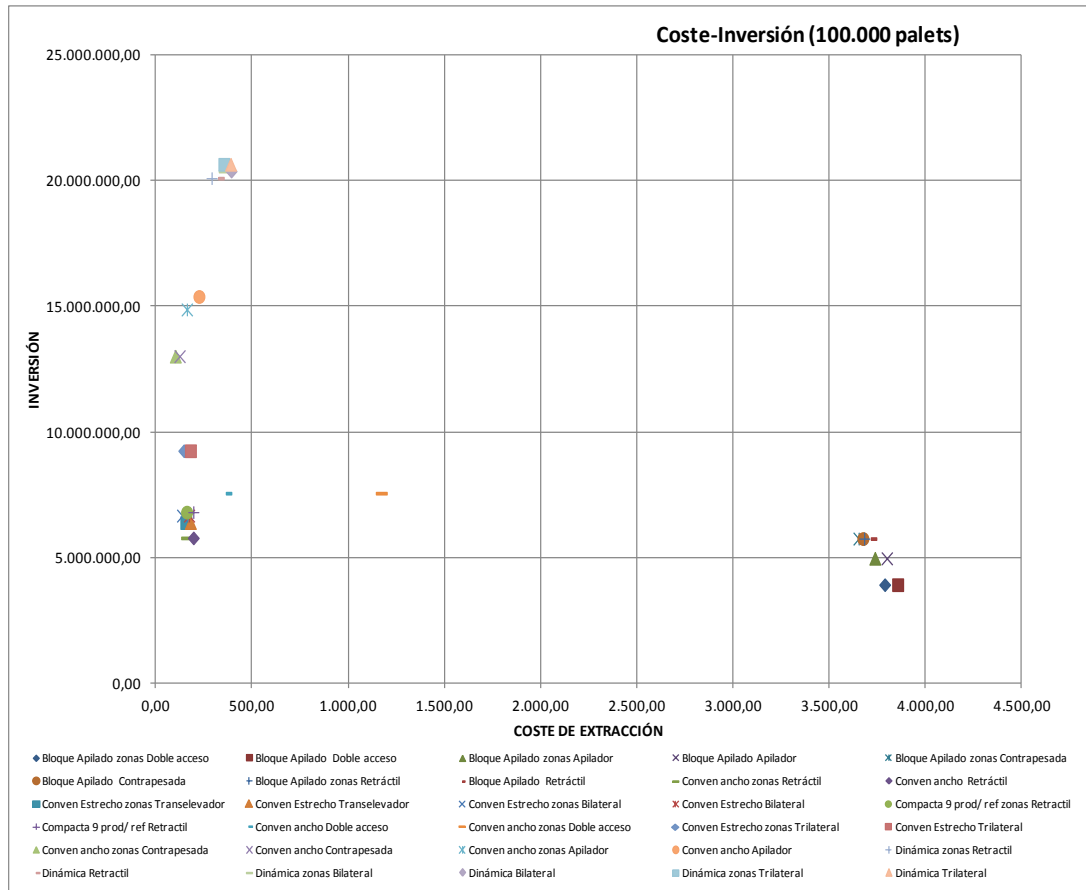


Figura 50. Coste/Inversión (100.000 palets)

Representando todas las combinaciones simuladas, aparece una nube de puntos, buscando una envolvente para las representaciones realizadas, se obtiene la ecuación de esta envolvente que aparece representada en la siguiente gráfica, para un número alto de palets (100.000). Esta envolvente marca la curva sobre la que se dispondrían las soluciones de las combinaciones realizadas en las simulaciones estudiadas.



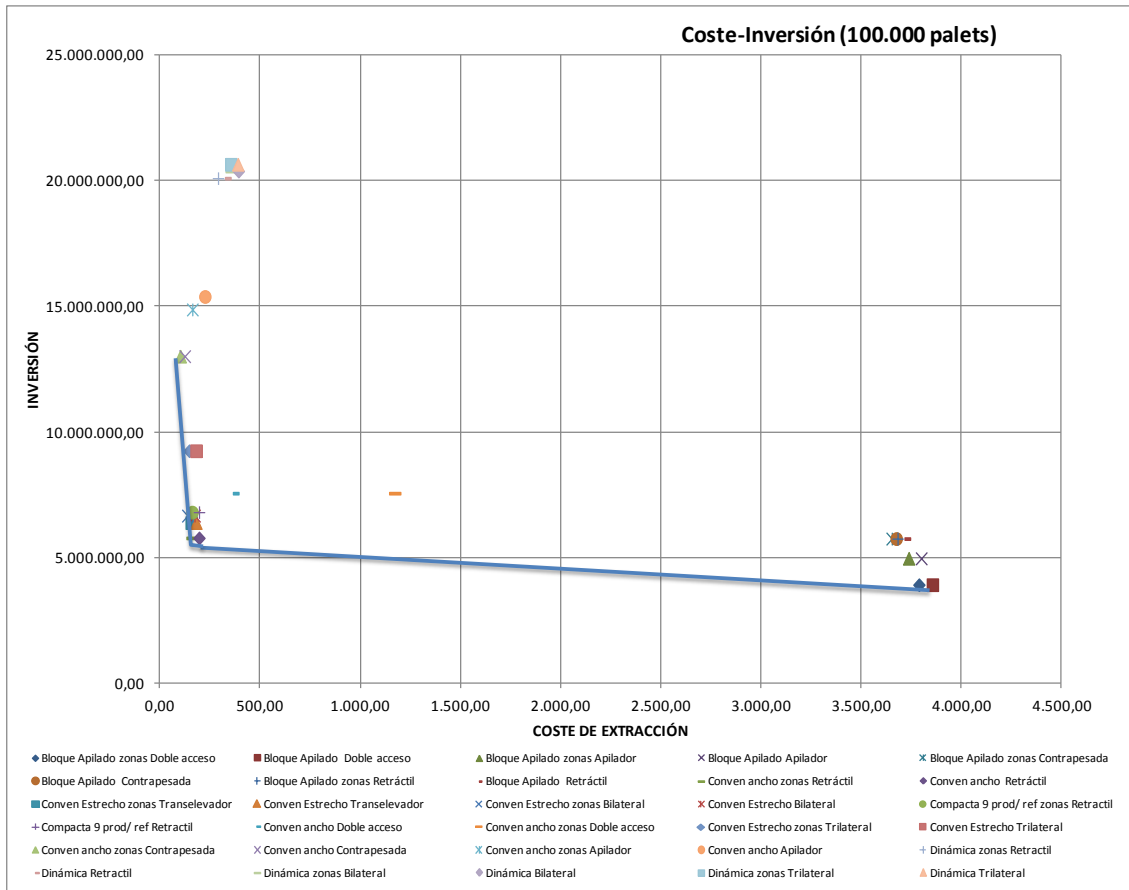


Figura 51. Envolvente Coste/Inversión (100.000 palets)

Con estos resultados se obtiene la curva para la que dado un valor determinado de la inversión que se quiere realizar para un número determinado de palets a almacenar, se obtendrá el coste en tiempo de extracción para cada uno de los palets ubicados en el mismo, o de otra manera, si se quiere trabajar con un tiempo de extracción determinado, determinará la inversión a realizar para lograr este objetivo.

#### **4.6. Descripción y uso de las guías para la selección de tecnologías**

Se pretende ofrecer unas pautas orientativas de cara al diseño de sistemas de almacenamiento, basadas en el análisis de los resultados experimentales anteriormente.

Tras las experimentaciones realizadas, se puede deducir que este modelo cuantitativo utilizado para la misma, resulta útil y claro para un número bajo de palets a diseñar, hasta un máximo de 2.000 palets. Para tamaños mayores, las experimentaciones, además de que las posibles combinaciones son menores, debido al alto volumen de referencias a almacenar, los resultados no son tan concluyentes, debiendo analizarse cada opción por separado.

Por todo ello, la regla a seguir para la obtención de soluciones de diseño bajo la metodología propuesta es la siguiente:

1. Fijar los parámetros de diseño de los escenarios a simular, teniendo en cuenta que el valor de las ubicaciones determinará los resultados en cuanto a las combinaciones tecnológicas.
2. Para la obtención de la envolvente, la función utilizada ha sido la función aproximada a los resultados representados, intentando ajustar el grado de la función según la tendencia de las soluciones representadas buscando el menor valor posible entre mínima inversión y menor coste de extracción.
3. Hay que remarcar que la función objetivo utilizada resulta útil para la ayuda a la toma de decisión de la combinación más apropiada para cada escenario de diseño planteado, para valores bajos del número de palets. Se ha podido apreciar que para valores altos del orden de 10.000 o 100.000 palets, la envolvente no es determinante, por la variabilidad de los resultados obtenidos, por lo que se recomienda el análisis individualizado de cada una de las opciones representadas, cercanas a dicha envolvente.
4. Aunque las simulaciones utilizadas en la presente tesis, han sido definidas bajo un número determinado de parámetros definidos en los primeros capítulos de la misma, estos pueden ser modificados o ampliados para dar un mayor abanico de posibilidades de experimentación, e incluso poder simular algunas combinaciones tecnológicas descartadas a priori, pero que podrían tenerse en cuenta bajo otros supuestos.
5. Al obtenerse las envolventes para cada número de palets, esto permite a priori y dado uno de los objetivos fijados a priori (inversión o coste de extracción), poder definir el otro antes de realizar el diseño y determinar la combinación de tecnologías que mejor se aproxima a la consecución de dicho objetivo. De esta forma se puede obtener en cada momento la mejor

de las soluciones posibles, siendo esta una herramienta de diseño muy útil para afrontar cualquier reto en el campo del diseño de sistemas de almacenamiento.

Igualmente se ha optado por representar el coste unitario por palet extraído en base a la combinación de tecnologías elegidas y el número de palets determinados quedando a continuación representadas las tablas con los costes obtenidos cuyo análisis se realizará tras la exposición de los mismos. Se ha considerado un coste de amortización de 5 años y rotación de un mes para todos los escenarios a efectos comparativos:

Almacenamiento	Manutención	100
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Apilador	5,27
Bloque Apilado	Apilador	5,27
Conven ancho zonas	Apilador	5,60
Conven ancho	Apilador	5,60
Conven Estrecho	Bilateral	6,98
Bloque Apilado	Contrapesada	7,03
Bloque Apilado	Retráctil	7,03
Bloque Apilado zonas	Retráctil	7,04
Bloque Apilado	Doble acceso	7,05
Conven Estrecho zonas	Bilateral	7,05
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	7,06
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	7,16
Conven ancho	Retráctil	7,24
Conven ancho	Contrapesada	7,37
Conven ancho zonas	Retráctil	7,38
Conven ancho zonas	Contrapesada	7,39
Compacta	Retráctil	7,41
Compacta zonas	Retráctil	7,54
Conven ancho	Doble acceso	7,73
Conven ancho zonas	Doble acceso	7,89
Dinámica	Trilateral	9,19
Dinámica zonas	Bilateral	9,22
Dinámica zonas	Trilateral	9,27
Dinámica	Retráctil	9,41
Dinámica	Contrapesada	9,53
Dinámica zonas	Retráctil	9,54
Dinámica zonas	Contrapesada	9,56
Dinámica	Bilateral	10,25
Conven Estrecho	Trilateral	20,35
Conven Estrecho zonas	Trilateral	20,44
Conven Estrecho	Transelevador	45,10
Conven Estrecho zonas	Transelevador	45,84

Tabla 31. Comparativas tecnologías Coste Unitario 100 palets

Sobre estos resultados, se puede observar de forma clara que para un número bajo de palets (100), los costes unitarios de extracción por palet son elevados. Esto es

debido a que la mínima inversión que se debe realizar no es rentable para un número tan bajo de palets.

Almacenamiento	Manutención	200
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Apilador	2,94
Bloque Apilado	Apilador	2,94
Conven ancho zonas	Apilador	3,27
Conven ancho	Apilador	3,27
Bloque Apilado	Doble acceso	3,73
Conven Estrecho	Bilateral	3,74
Conven Estrecho zonas	Bilateral	3,77
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	3,82
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	3,87
Bloque Apilado	Contrapesada	3,87
Bloque Apilado zonas	Retráctil	3,87
Bloque Apilado	Retráctil	3,87
Conven ancho	Retráctil	3,92
Conven ancho zonas	Retráctil	4,00
Compacta	Retráctil	4,08
Compacta zonas	Retráctil	4,17
Conven ancho zonas	Contrapesada	4,20
Conven ancho	Contrapesada	4,20
Conven ancho	Doble acceso	4,32
Conven ancho zonas	Doble acceso	4,47
Dinámica	Trilateral	5,93
Dinámica zonas	Bilateral	5,94
Dinámica zonas	Trilateral	5,98
Dinámica	Retráctil	6,08
Dinámica zonas	Retráctil	6,17
Dinámica zonas	Contrapesada	6,37
Dinámica	Contrapesada	6,37
Dinámica	Bilateral	6,73
Conven Estrecho	Trilateral	10,42
Conven Estrecho zonas	Trilateral	10,48
Conven Estrecho	Transelevador	23,36
Conven Estrecho zonas	Transelevador	23,88

Tabla 32. Comparativas tecnologías Coste Unitario 200 palets

En comparación con los resultados obtenidos anteriormente (100 palets), los costes unitarios de extracción por palet han disminuido en torno a un 40%, aunque siguen siendo elevados y no se consideran rentables para el número de palets planteado (200 palets).

Almacenamiento	Manutención	500
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Apilador	1,54
Bloque Apilado	Apilador	1,54
Bloque Apilado	Doble acceso	1,74
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	1,75
Conven Estrecho zonas	Bilateral	1,84
Conven Estrecho	Bilateral	1,84
Conven ancho	Retráctil	1,91
Conven ancho zonas	Retráctil	1,95
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	1,97
Bloque Apilado	Contrapesada	1,97
Bloque Apilado zonas	Retráctil	1,97
Bloque Apilado	Retráctil	1,97
Compacta	Retráctil	2,07
Compacta zonas	Retráctil	2,12
Conven ancho	Doble acceso	2,12
Conven ancho zonas	Doble acceso	2,25
Conven ancho zonas	Contrapesada	2,30
Conven ancho	Contrapesada	2,30
Conven ancho zonas	Apilador	3,55
Conven ancho	Apilador	3,55
Dinámica zonas	Bilateral	4,00
Dinámica zonas	Trilateral	4,03
Dinámica	Trilateral	4,03
Dinámica	Retráctil	4,07
Dinámica zonas	Retráctil	4,12
Dinámica	Bilateral	4,19
Conven Estrecho	Trilateral	4,44
Dinámica zonas	Contrapesada	4,47
Dinámica	Contrapesada	4,47
Conven Estrecho zonas	Trilateral	4,47
Conven Estrecho	Transelevador	10,05
Conven Estrecho zonas	Transelevador	10,38

Tabla 33. Comparativas tecnologías Coste Unitario 500 palets

En comparación con los resultados obtenidos anteriormente (100 y 200 palets), los costes unitarios de extracción por palet han disminuido, aunque aún siguen siendo elevados y no se consideran rentables para el número de palets planteado (500 palets).

Almacenamiento	Manutención	1.000
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Apilador	1,07
Bloque Apilado	Apilador	1,07
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	1,11
Bloque Apilado	Doble acceso	1,11
Conven Estrecho zonas	Bilateral	1,20
Conven Estrecho	Bilateral	1,20
Conven ancho	Retráctil	1,21
Conven ancho zonas	Retráctil	1,25
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	1,33
Bloque Apilado	Contrapesada	1,33
Bloque Apilado zonas	Retráctil	1,33
Bloque Apilado	Retráctil	1,33
Conven ancho	Doble acceso	1,34
Compacta	Retráctil	1,38
Compacta zonas	Retráctil	1,41
Conven ancho zonas	Doble acceso	1,42
Conven Estrecho zonas	Trilateral	2,48
Conven Estrecho	Trilateral	2,48
Conven ancho zonas	Contrapesada	3,12
Conven ancho	Contrapesada	3,12
Dinámica zonas	Bilateral	3,37
Dinámica	Bilateral	3,37
Dinámica	Retráctil	3,38
Dinámica zonas	Trilateral	3,40
Dinámica	Trilateral	3,40
Conven ancho zonas	Apilador	3,40
Conven ancho	Apilador	3,40
Dinámica zonas	Retráctil	3,41
Dinámica zonas	Contrapesada	3,83
Dinámica	Contrapesada	3,83
Conven Estrecho	Transelevador	5,55
Conven Estrecho zonas	Transelevador	5,71

Tabla 34. Comparativas tecnologías Coste Unitario 1.000 palets

Ahora los costes unitarios obtenidos no presentan grandes cambios frente a los anteriores, sin embargo el coste todavía sigue siendo elevado para el número de palets que se pretende almacenar (1.000 palets).

Almacenamiento	Manutención	2.000
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	0,79
Bloque Apilado	Doble acceso	0,79
Bloque Apilado zonas	Apilador	0,84
Bloque Apilado	Apilador	0,84
Conven ancho zonas	Retráctil	0,88
Conven ancho	Retráctil	0,88
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	1,02
Bloque Apilado	Contrapesada	1,02
Bloque Apilado zonas	Retráctil	1,02
Bloque Apilado	Retráctil	1,02
Compacta zonas	Retráctil	1,05
Compacta	Retráctil	1,05
Conven Estrecho zonas	Trilateral	1,49
Conven Estrecho	Trilateral	1,49
Conven Estrecho zonas	Bilateral	1,66
Conven Estrecho	Bilateral	1,66
Conven ancho zonas	Doble acceso	1,86
Conven ancho	Doble acceso	1,86
Conven ancho zonas	Apilador	2,59
Conven ancho	Apilador	2,59
Conven ancho zonas	Contrapesada	2,97
Conven ancho	Contrapesada	2,97
Dinámica zonas	Retráctil	3,05
Dinámica	Retráctil	3,05
Dinámica zonas	Bilateral	3,05
Dinámica	Bilateral	3,05
Dinámica zonas	Trilateral	3,08
Dinámica	Trilateral	3,08
Conven Estrecho	Transelevador	3,25
Conven Estrecho zonas	Transelevador	3,38
Dinámica zonas	Contrapesada	3,52
Dinámica	Contrapesada	3,52

Tabla 35. Comparativas tecnologías Coste Unitario 2.000 palets

Ahora los costes unitarios han disminuido, estando por debajo de 1 euro por palet en este escenario (1.000 palets). Se priorizan las combinaciones de tecnologías con menor velocidad de extracción y medios de almacenamiento como almacenamiento en bloques apilados, lo que se ajusta a los casos reales.



Almacenamiento	Manutención	10.000
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	0,54
Bloque Apilado	Doble acceso	0,54
Conven Estrecho	Trilateral	0,58
Bloque Apilado zonas	Apilador	0,65
Bloque Apilado	Apilador	0,65
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	0,76
Bloque Apilado	Contrapesada	0,76
Bloque Apilado zonas	Retráctil	0,76
Bloque Apilado	Retráctil	0,76
Conven ancho zonas	Retráctil	0,99
Conven ancho	Retráctil	0,99
Compacta zonas	Retráctil	1,17
Compacta	Retráctil	1,17
Conven Estrecho zonas	Bilateral	1,21
Conven Estrecho	Bilateral	1,21
Conven Estrecho	Transelevador	1,24
Conven Estrecho zonas	Transelevador	1,28
Conven ancho	Doble acceso	1,37
Conven ancho zonas	Doble acceso	1,37
Conven Estrecho zonas	Trilateral	1,58
Conven ancho zonas	Contrapesada	2,25
Conven ancho	Contrapesada	2,25
Conven ancho zonas	Apilador	2,56
Conven ancho	Apilador	2,56
Dinámica zonas	Retráctil	2,80
Dinámica	Retráctil	2,80
Dinámica zonas	Bilateral	2,80
Dinámica	Bilateral	2,80
Dinámica zonas	Trilateral	2,83
Dinámica	Trilateral	2,83
Dinámica	Contrapesada	3,26
Dinámica zonas	Contrapesada	9,55

Tabla 36. Comparativas tecnologías Coste Unitario 10.000 palets

A partir de este número de palets (10.000) es cuando los costes unitarios son rentables para algunas tecnologías como los bloques apilados y estanterías convencionales, pero elevados para algunas como las estanterías dinámicas.

Almacenamiento	Manutención	100.000
		Coste Unitario
Bloque Apilado zonas	Doble acceso	0,65
Bloque Apilado	Doble acceso	0,65
Bloque Apilado zonas	Apilador	0,83
Bloque Apilado	Apilador	0,83
Bloque Apilado zonas	Contrapesada	0,96
Bloque Apilado	Contrapesada	0,96
Bloque Apilado zonas	Retráctil	0,96
Bloque Apilado	Retráctil	0,96
Conven ancho	Retráctil	0,96
Conven ancho zonas	Retráctil	0,96
Conven Estrecho zonas	Transelevador	1,06
Conven Estrecho	Transelevador	1,06
Conven Estrecho zonas	Bilateral	1,11
Conven Estrecho	Bilateral	1,11
Compacta zonas	Retráctil	1,13
Compacta	Retráctil	1,13
Conven ancho	Doble acceso	1,26
Conven ancho zonas	Doble acceso	1,26
Conven Estrecho zonas	Trilateral	1,54
Conven Estrecho	Trilateral	1,54
Conven ancho zonas	Contrapesada	2,17
Conven ancho	Contrapesada	2,17
Conven ancho zonas	Apilador	2,48
Conven ancho	Apilador	2,56
Dinámica zonas	Retráctil	3,35
Dinámica	Retráctil	3,35
Dinámica zonas	Bilateral	3,39
Dinámica	Bilateral	3,39
Dinámica zonas	Trilateral	3,44
Dinámica	Trilateral	3,44
Dinámica	Contrapesada	3,73
Dinámica zonas	Contrapesada	3,78

Tabla 37. Comparativas tecnologías Coste Unitario 100.000 palets

Los costes no disminuyen de forma notable para el escenario planteado, por lo que se aprecia que a partir de 10.000 palets los costes de inversión no difieren de forma notable, siendo prácticamente los mismos. Es a partir de este momento cuando incrementos de número de palets, incrementa también la inversión mínima necesaria, por lo que el coste se mantiene estable.

## 4.7 Conclusiones

En este capítulo se ha detallado el propósito y diseño de la experimentación. Se ha definido la función objetivo, las variables a obtener del modelo, así como las restricciones. Con todo esto se han realizado las experimentaciones que se detallan en el Anexo I utilizando la función objetivo descrita en el apartado 4.3 del presente capítulo. Una vez realizadas las experimentaciones en las que el objetivo prioritario es el de minimizar tanto el tiempo de extracción de un palet como la inversión a realizar en medios de almacenamiento y manutención, se han detallado estas en las gráficas que se acompañan como resultados de cada uno de las 32 alternativas tecnológicas descritas y detalladas en el Anexo I de la presente tesis.

En este capítulo se ha podido comprobar, al representar las combinaciones de tecnologías de almacenamiento y manutención, que los resultados obtenidos con la experimentación para los escenarios estudiados, presentan opciones claramente diferenciables unas de otras, en función del número de palets a almacenar.

Es por ello que, de esta manera, se ha podido representar la envolvente que representa las combinaciones óptimas estudiadas y sobre la que cualquier opción de diseño que no se ha representado, pueda definirse, con el simple hecho de deslizarse por la misma curva y buscar el punto de cruce entre el mínimo coste de extracción posible y la mínima inversión.

De esta forma, con esta metodología de diseño, en cualquier situación intermedia no representada, la presente tesis ofrece la oportunidad de encontrar el punto de intersección óptimo para los parámetros de diseño fijados previamente en las alternativas tecnológicas, sin más que cambiar el número de palets necesarios en el modelo de experimentación.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede concluir que el objetivo de ofrecer una guía detallada para el diseño de almacenes a la vez que una herramienta matemática que permita optimizar la disposición física del mismo para lograr los mejores resultados, queda patente en este capítulo.

La herramienta aportada tiene limitaciones en el sentido que está enfocada en la elección de medios tecnológicos para cada una de las categorías de productos definidas. Por tanto en la metodología, en la evaluación de resultados se debe hacer una comprobación cruzada de categorías con sus soluciones. Si todas estas fueran diferentes, se deja a criterio del diseñador el de aunar las soluciones para lograr una solución integrada si la diferencia encontrada entre todas ellas no es muy grande

Como se ha descrito con anterioridad, la metodología propuesta ofrece la oportunidad de poder adentrarse en el complejo trabajo del diseño de un sistema de almacenamiento al ofrecer una serie de pasos guiados. Además, gracias al algoritmo de optimización, permite el poder seleccionar la mejor de todas las posibles soluciones que se plantean por el mero hecho de las numerosas combinaciones de tecnologías.

Sin embargo, este algoritmo, que determina de forma clara la mejor solución para un escenario determinado, es concluyente para cantidades de palets inferiores a 10.000 unidades de almacenamiento, pero por otro lado, cuando se supera este número los resultados obtenidos no demuestran una clara tendencia en la elección apropiada de la combinación tecnológica, siendo algunas soluciones muy aproximadas. Es por ello que para un número elevado de palets a almacenar, aunque se utilice el algoritmo de optimización, hay que hacer un posterior análisis de las soluciones adoptadas para determinar en cada caso, la más conveniente, lo que no deja de ser de gran ayuda, al tener que evaluar sólo algunas opciones finales en el procedimiento de diseño.

Se verán a continuación las conclusiones más relevantes para cada una de las representaciones gráficas realizadas en función del número de palets necesarios, pudiendo utilizarse el algoritmo planteado para buscar situaciones intermedias entre las planteadas a continuación:

1. **100 palets:** De todas las combinaciones posibles de tecnologías realizadas la que presenta un mejor equilibrio coste operativo de extracción-inversión es la opción de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretillas contrapesadas.
2. **200 palets:** De todas las combinaciones posibles de tecnologías realizadas la que presenta un mejor equilibrio coste operativo de extracción-inversión es la opción de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretillas contrapesadas con gestión aleatoria por zonas.
3. **500 palets:** De todas las combinaciones posibles de tecnologías realizadas la que presenta un mejor equilibrio coste operativo de extracción-inversión es la opción de bloques apilados con carretillas contrapesadas, con gestión aleatoria por zonas, aunque la opción de estanterías convencionales de pasillo estrecho y carretilla bilateral con gestión aleatoria por zonas, tampoco queda muy alejada de esta.
4. **1.000 palets:** Para este número de palets las mejores combinaciones son las de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretillas bilaterales y gestión aleatoria por zonas, quedando la opción de bloques

apilados con carretilla contrapesada y gestión aleatoria por zonas no muy alejada de esta opción.

5. **2.000 palets:** Para este número de palets las mejores combinaciones son las de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretilla retráctil muy parecida a la carretilla bilateral o estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretilla trilateral o estanterías compactas con carretilla retráctil.
6. **10.000 palets:** De todas las combinaciones posibles de tecnologías realizadas la que presenta un mejor equilibrio coste operativo de extracción-inversión es la opción de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretillas trilaterales y gestión aleatoria por zonas.
7. **100.000 palets:** De todas las combinaciones posibles de tecnologías realizadas la que presenta un mejor equilibrio coste operativo de extracción-inversión es la opción de estanterías convencionales de pasillo estrecho con transelevadores y gestión aleatoria por zonas.

Viendo los resultados anteriores se puede concluir que para un número bajo de palets a diseñar, la mejor combinación de tecnologías es la de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretillas contrapesadas (hasta 200 palets). Sin embargo, para diseños cercanos a las 100.000 palets resulta más conveniente la combinación de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretillas transelevadores.

Se aprecia, por tanto, que para diseños de pequeños sistemas de almacenamiento resulta más conveniente la elección de estanterías convencionales de pasillo ancho y a partir de 100.000 palets, estanterías convencionales de pasillo estrecho. Los medios de manutención elegidos, serán carretillas contrapesadas para un bajo número de palets y transelevadores para un número elevado de palets.

De igual forma realizando la comparativa de costes unitarios para cada uno de los diferentes escenarios representados, se ha podido comprobar que los costes descienden de forma notable para un número de palets superior a 10.000 unidades, siendo elevados para cantidades inferiores y estabilizándose para un mayor número de unidades a almacenar. Los costes unitarios se han dividido entre el número de años de vida estimada del sistema de almacenamiento para amortizar la inversión realizada, por lo que este dato ha ofrecido una clara comparativa de los costes por medios de almacenamiento, obtenidos con la inversión estimada para su realización.

Los menores costes obtenidos, del orden de los 0,65€, se estabilizan cuando se superan los 10.000 palets a almacenar.

## 4.8 Validación metodología

En este apartado, se pretende demostrar la validación de la metodología planteada en la presente tesis, junto con el algoritmo de experimentación con el mismo caso práctico expuesto en el apartado 3.1 del capítulo 3 que se utilizó para demostrar la imposibilidad del diseño de un almacén siguiendo las pautas existentes actuales. Con la aplicación de la metodología propuesta por este trabajo de investigación y su algoritmo de experimentación al mismo caso práctico se podrá comprobar la utilidad de la misma. Recordando los datos de partida del caso práctico definido en el apartado 3.1 del capítulo 3:

### 1. Definición de los requerimientos del sistema.

Se pretende diseñar un almacén para una empresa de venta de calzado con un total de 380 SKU en un espacio delimitado por una parcela situada en el polígono de "Elche Parque Empresarial" situado a 10 kms de la ciudad de Elche. La parcela tiene una extensión de 33.612 m<sup>2</sup>. Una longitud de 172 metros por una anchura de 195 metros. El tiempo de respuesta de servicio establecido por la empresa es de un máximo de 48 horas de servicio del pedido en territorio nacional desde la recepción del mismo en las instalaciones de almacenaje. Se pretende diseñar el mismo con el requerimiento del mínimo tiempo de extracción posible y la mínima inversión. El plano de ubicación es la figura 7 que se encuentra ya definido con anterioridad en el presente trabajo.

Se procede a validar la metodología aplicando cada uno de los pasos descritos con anterioridad:

#### 1. Definición de objetivos

Los objetivos a satisfacer por el diseño del almacén logístico deben de ser el COSTE y la INVERSIÓN. Estos objetivos son establecidos por la empresa en base a su estrategia y a su plan de negocio. Con estos dos objetivos la empresa pretende:

- Coste: Conseguir que el tiempo de extracción sea el mínimo. Con ello se conseguirá que el coste asociado a la extracción de cada producto se reduzca. Este criterio se considerará prioritario dado el sector de negocio de la empresa.
- Inversión: Que la cuantía total de la implementación y puesta en marcha del almacén sea la más reducida de todas las opciones que minimicen el coste de extracción determinado con antelación.

Esta opción plantea un diseño de almacén que tenga por objetivos reducir el tiempo de extracción así como minimizar la inversión en dicho almacén. Un diseño con estos requerimientos es posible con un sistema de fácil acceso a bajo coste. Se buscarán tecnologías que con una baja inversión nos ofrezcan un tiempo de extracción reducido sin importar el plazo en el que el almacén quede operativo. De esta forma en el momento de elección de soluciones posibles muchas de estas se descartarán en base a los requerimientos ahora establecidos.

## 2. Definición de escenarios

En esta fase de la metodología se deben tomar decisiones relativas a la diferenciación, clasificación y agrupación de los artículos a almacenar. Igualmente hay que definir el perfil de pedidos, la forma del picking o la gestión de las ubicaciones.

**Artículos:** Los artículos se diferencian por tipo de calzado (bota, botín, bota plana, sandalia, zapato plano y mocasín) y por tamaño (largo, medio, corto). Quedan definidos los datos en el Anexo II.

**Familias:** Para facilitar el trabajo con estas referencias se hacen agrupaciones de familias de artículos en base al tipo de calzado y al tamaño del mismo y agrupando estos en base a las previsiones de ventas se obtienen con facilidad siendo los datos que figuran a continuación ya obtenidos anteriormente en el capítulo 3 y detallados en el Anexo II, de forma que de las 380 SKU, se obtienen las 23 familias de productos que aparecen en la tabla 4 que se muestra a continuación:

	Previsión venta semanal (uds)	Palets/semana por familia
Baño/Chancla	3.225	68
Básico	12.192	43
Bota	470.580	2.159
Bota Plana	152.591	3.185
Bota Tacón	268.548	5.604
Botín	54.430	421
Botín Tacón	239.862	5.005
Cuñas	89.958	1.878
Deportivo	139.102	664
Deportivo Bailarina	32.010	669
Deportivo Botín	21.340	446
Deportivo Zapato	130.433	2.729
Destalonado	160.574	3.350
Esclava	38.632	806
Home	40.595	145
Lluvia	30.091	107
Pala/Pinky	94.643	1.976
Sandalia	440.160	8.913
Uniforme	38.632	806
Zapato	190.137	2.281
Zapato Plano	403.760	8.425
Zapato Tacón	532.385	11.107
Zueco	91.865	1.918
TOTAL	3.675.745	62.705

Tabla 4. Datos referencia

**Gestión de ubicaciones:** En este punto se toma la decisión de utilizar una ubicación aleatoria. Este tipo de ubicación obliga a la necesidad de un sistema informático de gestión, pero el aprovechamiento del espacio es mucho mayor y dado el gran número de referencias a almacenar, es un criterio de decisión importante. Ésta decisión está tomada en base a las necesidades de minimización de costes de la empresa. Una elección acertada puede permitir una gestión eficaz de los recursos y mayor aprovechamiento del diseño realizado.

**Perfiles de pedidos:** Conocidos los datos de las demandas semanales se debe decidir el stock máximo y mínimo que se va a almacenar. Se decide que como máximo se van a almacenar productos para poder abastecer la demanda de 2 semanas consecutivas sin recibir productos en el almacén logístico en el caso de que el



producto sea tipo A. Si el producto es tipo B o C se dispondrá de stock para cubrir 3 semanas. Como mínimo se tendrá almacenado una cantidad igual a la demanda de una semana. Los datos referentes a los stocks máximo y mínimo se pueden consultar en el Anexo II Stock mínimo-máximo.

**Picking**: El picking se realizará sobre palets completos, no necesitando la partición de ninguno de los mismos, al ser el almacén diseñado un sistema de almacenamiento de alta rotación con grandes cantidades que trabajará como un centro de distribución hacia otros pequeños centros de consolidación.

**Preparación de pedidos**: Se prepararán los pedidos de forma lineal, agrupando en los muelles de salida los palets seleccionados para pedido solicitado.

**Condiciones de conservación**: Los productos a almacenar no requieren de unas condiciones especiales de conservación. Las características del calzado facilitan que no se necesite condiciones especiales de temperatura, iluminación, humedad, etc. La protección que le ofrece la caja de cartón, además de un posible Retractilado del palet es suficiente para asegurar la integridad de los productos.

### **3. Análisis y organización de información**

**Rotación**: Se observa, que de los productos a tratar, las previsiones de ventas entre ellos son muy diferentes, algunos con altas rotaciones y otros con valores por debajo de la mitad de los anteriores. Los datos nos permitirán clasificar los productos en función de la rotación de los mismos para establecer un sistema ABC que permita la posterior toma de decisiones. El ABC de los productos se encuentra en el anexo II de la presente tesis, ya que sus resultados no son relevantes en este apartado pero sí necesarios para determinar el espacio que ocupa cada tipo de productos (A, B ó C) en posteriores pasos a seguir.

**Tamaños y pesos**: Ahora, se debe decidir el tipo de unidades de almacenamiento a utilizar. Viendo que el tamaño de los mismos es un elemento diferenciador y que el servicio de pedidos se va a realizar por palets se puede decidir el almacenaje de los mismos en tres tipos de cajas en función del tamaño del producto, resultando la misma tabla definida en el capítulo 3.

Cajas	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)
L	40	30	25
M	35	30	25
S	18	15	15

**Tabla 5. Tamaño unidades almacenamiento (SKU)**

De esta forma se puede calcular el número de cajas por palet en cada uno de los tipos de producto descritos:

Cajas	Aproximación cajas/capa	Realidad cajas/capa	Capas	Cajas/palet
L	12	12	4	48
M	13,71	12	4	48
S	53,33	48	6	288

**Tabla 6. Cajas por palet**

Llegado este punto, se han tomado todas las decisiones necesarias para definir la gestión, agrupación y extracción de los productos que deben ser almacenados en base a los objetivos y estrategias de la empresa definidos con anterioridad. De esta forma, lo que resta por definir es la combinación de tecnologías que se debe seleccionar para definir totalmente el problema a resolver que se trata en el siguiente apartado.

#### 4. Decisiones estratégicas de diseño

En este punto se deben tomar decisiones estratégicas para adoptar la mejor solución posible. Como se ha visto en el capítulo 5 de la presente tesis, en el que se han estudiado todas las combinaciones posibles entre:

1. Medios de manutención.
2. Medios de almacenamiento.
3. Técnicas de gestión.

Las posibles combinaciones se han analizado detalladamente para poder estudiar las posibles alternativas tecnológicas en cada una de las situaciones posibles.

Es en este momento de aplicación de la metodología de diseño donde en función de las decisiones estratégicas de diseño que se detallen se buscará aquella combinación de tecnologías que ofrezca la mejor solución posible.

Las decisiones estratégicas se basan en:

4. Los objetivos de la gerencia de la empresa son la minimización del coste e Inversión, con priorización del coste de extracción.
5. Se necesita un total de **140.784 palets**, tal y como se ha calculado en el Anexo II. Stock mínimo-máximo.
6. Las necesidades de stock y rotación han quedado definidas anteriormente y se detallan en el Anexo II.

Con estos datos, tal y como se ha desarrollado en el capítulo 4 se selecciona de la tabla que más se aproxima al número de ubicaciones a diseñar y se comprueba cual sería el escenario es el que mejor se adapta a las exigencias establecidas. De esta forma, revisando la representación de combinaciones de tecnologías para 100.000 palets que es la que más se aproxima a la demanda real del problema planteado, se selecciona la Figura 49. Coste-Inversión (100.000 Palets) que se puede ver en el capítulo 4 de la presente tesis y que se copia de nuevo a continuación para detallar el procedimiento seguido:

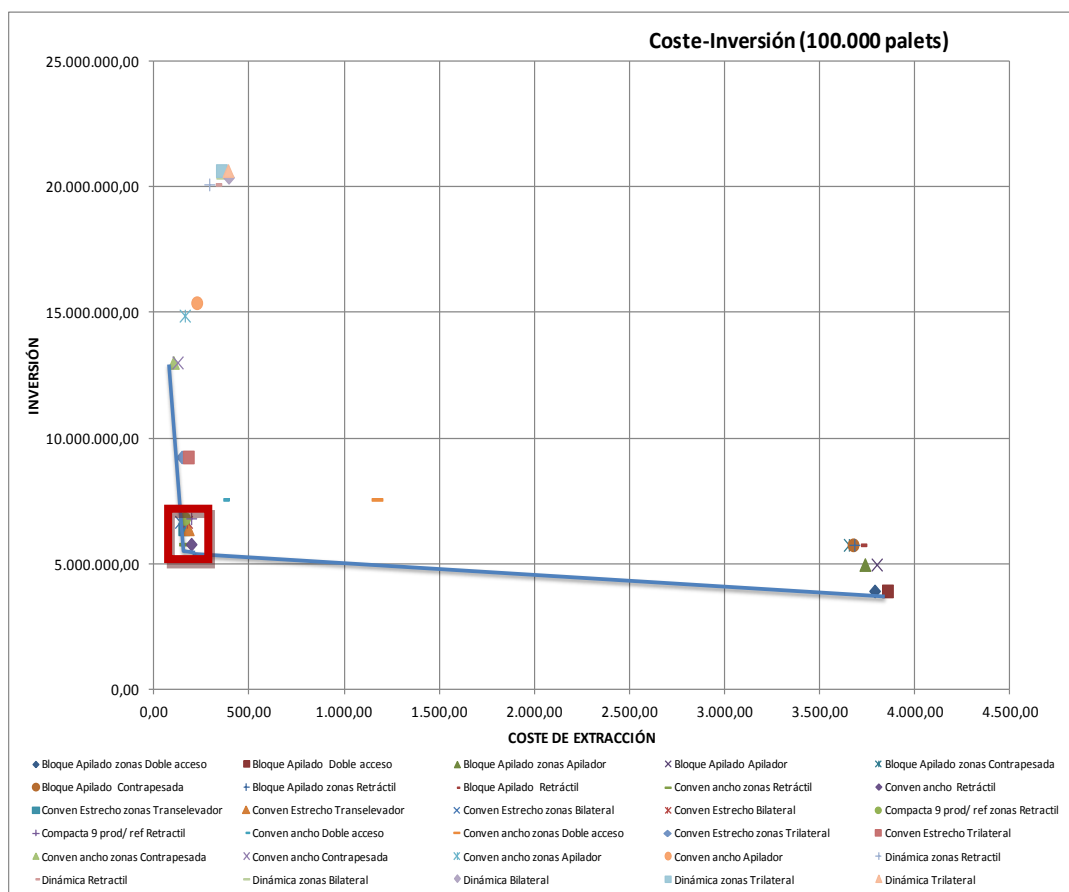


Figura 52. Coste/Inversión (100.000 palets)

El área encuadrada en rojo representa los escenarios que podrían satisfacer las necesidades de la gerencia. Estos escenarios son lo que con una menor inversión en

medios de mantenimiento y medios de almacenamiento consiguen que el tiempo de extracción de una ubicación sea mínimo. Priorizando el tiempo de extracción se selecciona la siguiente combinación de tecnologías:

Este escenario tiene las siguientes características:

- Almacenamiento: **Estantería convencional de pasillo estrecho**
- Medio de Mantenición: **Transelevadores**
- Política de gestión: **Aleatoria por zonas**

## 5. Diseño detallado

Una vez seleccionada la combinación tecnológica de entre todas las opciones posibles para el problema real planteado se emplea el algoritmo de experimentación descrito en el capítulo 4 de la presente tesis con el que se obtienen los siguientes resultados para 140.784 palets en una parcela con una longitud máxima de 195 metros. De esta forma se obtendrán los elementos de diseño detallado necesarios para el desarrollo del proyecto de diseño del sistema de almacenamiento. Utilizando el algoritmo de experimentación se obtendrá el siguiente resultado cuyo detalle se encuentra en el **Anexo III. Resultados Cálculo experimentación caso práctico**

**Nº pasillos:** 14

**Longitud pasillos:** 195 metros

**Profundidad hueco:** 2

**Altura estantería:** 36 metros

**Nº total palets almacenables:** 154.440

**Tiempo extracción palet:** 174,04 segundos

**Inversión Almacenamiento:** 7.108.592 €

Con la solución obtenida se asegura que de todas las combinaciones posibles de tecnologías en primer lugar, ésta es la que se ajusta a los requerimientos de diseño iniciales planteados por la empresa. En segundo lugar y dentro de todas las disposiciones físicas posibles para la combinación seleccionada, los parámetros que definen la misma (longitud y número de pasillos, altura y profundidad de almacenamiento), son los que minimizan el tiempo de extracción de un palet del almacén y suponen la menor inversión posible en el desarrollo del proyecto del sistema de almacenamiento.

Con todos los datos definidos con anterioridad, se puede ya proceder al diseño detallado del almacén, ya que se disponen de todos los parámetros necesarios para ello. Es cuando a partir de este momento se procedería al diseño detallado del sistema de almacenamiento ya definido (planos detalle zonas, gestión de zonas, tareas detalladas, personal,...) que **no** se desarrollará en el presente trabajo al no ser de relevancia para las conclusiones que se pretenden con esta tesis, debido a su carácter puramente técnico de detalle que no aporta relevancia a los resultados de la presente tesis.

## 6. Evaluación

Se debe comprobar que el diseño propuesto cumple con todas las restricciones y objetivos establecidos inicialmente. Para facilitar dicha labor se hará uso de una tabla de validación, de esta forma quedará de forma clara si tanto las restricciones como los objetivos han sido cubiertos satisfactoriamente.

Ítem	¿Válido?	
	SI	NO
Objetivo: Coste	SI	<input type="checkbox"/>
Objetivo: Inversión	SI	<input type="checkbox"/>
Restricción: altura	SI	<input type="checkbox"/>
Restricción: profundidad	SI	<input type="checkbox"/>
Restricción: longitud	SI	<input type="checkbox"/>
Restricción: nº ubicaciones	SI	<input type="checkbox"/>

Tabla 38. Lista de comprobación

Como podemos comprobar en la tabla, todos los objetivos y restricciones son cubiertos satisfactoriamente por lo que podemos afirmar que el diseño del almacén es aceptable.

## 7. Plan de Implantación

A continuación, y tras la evaluación satisfactoria del diseño del almacén propuesto, se procede a describir la ejecución del proyecto:

1ª Fase: La primera fase del proyecto engloba la adecuación del terreno, así como la construcción del propio almacén logístico. No se entrará al detalle ya que no presenta relevancia para la presente tesis.

2ª Fase: Esta segunda fase del proyecto consta de los diferentes trabajos de montaje de los medios de manutención:

- I. En la 1ª Fase se ha dejado el suelo nivelado según las exigencias requeridas para el montaje de las estructuras. En un primer momento y respetando las tolerancias del fabricante se procederá al montaje de las estanterías convencionales de doble profundidad y pasillo estrecho. Es importante respetar los márgenes indicados por el fabricante ya que el medio de almacenamiento así lo requiere.
- II. Una vez las estanterías estén montadas, se procederá al montaje de los medios de manutención. En este caso, los medios de manutención son las cintas transportadoras y los transelevadores.
- III. Instalado tanto los medios de manutención como los medios de almacenamiento se debe hacer una primera puesta a punto del sistema. Por lo que se llena el almacén un 10% de su capacidad. Este procedimiento se lleva a cabo para poder evaluar el funcionamiento del sistema y poder detectar fallos más rápidamente.
- IV. Una vez verificado que el sistema funciona con total normalidad se procede llenado por completo de la instalación.

Tal y como se ha descrito en los pasos seguidos con anterioridad, utilizando la metodología aportada, se ha podido establecer un diseño de un sistema de almacenamiento para un problema real, ajustándose a los requerimientos definidos y pudiendo asegurar con la utilización del algoritmo de experimentación que tanto la combinación tecnológica seleccionada como los parámetros definidos con ella (altura, profundidad, longitud y número de pasillos de estanterías) son los que minimizan el tiempo de extracción de un palet, así como la inversión a realizar, objetivo principal de la presente tesis.

No se ha realizado un estudio de la estacionalidad en la demanda de las diferentes familias, aunque para futuras investigaciones futuras se podría tener en cuenta, con la intención de rebajar las necesidades de capacidad nominal del almacén.

---

## CAPÍTULO 5. Resumen Conclusiones e Investigaciones futuras

En este último capítulo se exponen las conclusiones que se han obtenido a lo largo del desarrollo de esta tesis. Igualmente se presentan las futuras líneas de investigación que se plantean desarrollar para completar las aportaciones realizadas con el presente trabajo de investigación. Por último se realiza un resumen de todo el trabajo realizado.

## CAPÍTULO 5.RESUMEN, CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

### 5.1 Introducción

En el presente capítulo, se reflejará el propósito de la tesis realizada, así como la reflexión sobre los resultados obtenidos. La presente tesis ha tenido como propósito el planteamiento de una metodología de diseño de sistemas de almacenamiento con herramientas de ayuda a la toma de decisiones, que en la literatura actual relacionada con el área no se había presentado con anterioridad.

Durante la elaboración del presente trabajo, se han analizado los diferentes artículos de los autores en este campo de estudio, en las que aparecen interesantes aportaciones como las de:

- Rouwenhorst et al. (2000) que desarrollan un modelo determinista de referencia para el diseño de sistemas de almacenamiento. En su artículo plantean que gran parte de la literatura publicada en esta área de trabajo se centra en parcelas de diseño acotadas y aisladas unas de otras con enfoques inminentemente analíticos. Además durante la fase de diseño inciden en que ni siquiera los problemas están bien definidos por lo que no pueden reducirse a problemas aislados. Aportan igualmente que las decisiones que se toman en los tres niveles (estratégico, táctico y operativo) están relacionadas entre sí y deben evaluarse de forma simultánea dada la alta interacción entre ellas.
- *Baker y Canessa (2007)* concluyen en su revisión bibliográfica que el diseño de almacenes es altamente complejo, siendo necesario abordar este trabajo paso a paso. Sin embargo todos estos pasos, concluyen, que están relacionados y con un alto grado de realimentación no siendo posible en la mayoría de los casos alcanzar la solución óptima debido al gran número de opciones que se plantean en cada nivel de diseño.

Son algunas de las más relevantes publicaciones en este campo de estudio y coinciden en los siguientes puntos:

- 1. Necesidad de una metodología clara y orientadora.**
- 2. Decisiones en los tres niveles (estratégico, táctico y operativo) deben tomarse simultáneamente.**
- 3. Dificultad de las decisiones en el nivel estratégico ya que este condiciona el resto del proceso de diseño.**

Resumiendo todo lo anteriormente expuesto, la pretensión de esta tesis es la de ofrecer a los diseñadores de sistemas de almacenamiento unas pautas a seguir y una serie de pasos a tener en cuenta en cada diseño de un nuevo sistema de almacenamiento y a la vez de entre todas las opciones planteadas, ofrecer una



herramienta que permite seleccionar aquella opción de diseño que mejor se ajusta a los requerimientos iniciales planteados.

## 5.2 Conclusiones respecto a la metodología propuesta:

Partiendo de estas aportaciones, la presente tesis aporta una metodología de diseño basada en algunas de las ideas aportadas por los más relevantes autores en este campo, analizando cada uno de los pasos propuestos y estableciendo un orden y un guión a seguir en el complejo proceso del diseño de sistemas de almacenamiento.

Se ha propuesto una guía gráfica para su utilización en el diseño, diferenciada en esta cada una de las siete etapas planteadas:

1. **Definición de objetivos y restricciones** en base a los plazos, coste, inversión o flexibilidad. Variando estos objetivos se modifican las opciones de diseño. Cada opción prioriza unos objetivos diferentes en base a la Estrategia de Empresa y el Plan de Negocio. La empresa, en la búsqueda de su ventaja competitiva definirá unos objetivos determinados por su necesidad de crecimiento, expansión a otros sectores de mercado o abandono de ciertos productos ya en decrecimiento de ventas. En base a esta estrategia de empresa define su plan de negocio. En el diseño de almacenes se tendrá en cuenta las acciones planteadas en el plan de negocio de la empresa, donde se reflejarán las inversiones, acciones y beneficios esperados de las mismas.

De esta manera, teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, los objetivos deben quedar definidos en cuanto al coste, el plazo, la inversión y la flexibilidad. Son variables relacionadas entre sí en lo que sería el diseño estratégico de los sistemas de almacenamiento y que tienen relación directa con el diseño operativo que se lleva a cabo en posteriores fases de diseño. Por ello es muy importante en la aplicación de la metodología establecer las siguientes variables:

- **Coste:** Es necesario definir cuál va a ser el coste operativo que se pretende conseguir con el diseño del almacén. Es por ello que el establecimiento de este coste de obtención por referencia determinará aquella selección de tecnologías necesarias para alcanzar el objetivo previsto en este sentido. Este coste operativo irá asociado a cada uno de los productos que se pretenden almacenar, debiendo este ser tenido

en cuenta dentro del plan de negocio establecido por la compañía para establecer el objetivo de beneficio por producto.

- **Plazo:** El plazo es un objetivo fundamental para el diseño de un sistema de almacenamiento. Se debe definir el tiempo que se dispone para poner en marcha el nuevo sistema de almacenamiento. Los plazos establecidos condicionan muchas de las posteriores variables de diseño, pudiendo descartar algunas tecnologías de almacenamiento que por sus características de implementación superaran los tiempos establecidos.
- **Inversión:** La inversión es la cuantía total que la empresa está dispuesta a invertir en la implementación y puesta en marcha del nuevo sistema de almacenamiento. El límite de inversión fijado determina las opciones de diseño que se pueden considerar y cuáles quedarían descartadas. Se debe tener en cuenta que la inversión a realizar tendrá un periodo de retorno establecido y que se repartirá de forma proporcional entre todos los productos que se dispongan a almacenar.
- **Flexibilidad:** La flexibilidad es la posibilidad de poder modificar elementos definidos del diseño para adaptarlos en un momento determinado a nuevas situaciones particularizadas. De esta manera es importante tener en cuenta esta variable en todo momento dada la aleatoriedad que puede estar presente en la preparación de pedidos en un sistema de almacenamiento determinado. Un almacén flexible posibilita su adaptación a un cambio en la situación inicial planteada, lo que aumenta las posibilidades de crecimiento del sistema de almacenamiento alargando su vida útil en el tiempo.

Combinando estas cuatro variables definidas con anterioridad se puede establecer el patrón de diseño del sistema de almacenamiento basado en los objetivos fijados por la empresa.

2. **Definición de escenarios**, teniendo en cuenta factores como la agrupación de artículos, familias, gestión de ubicaciones, perfiles de pedido, picking, preparación de pedidos o condiciones de conservación, se establecen la definición de los diferentes escenarios de experimentación.
3. **Análisis y organización de información** en base a la rotación, tamaños, pesos y condiciones de conservación.

4. **Decisiones estratégicas de diseño** en base a todas las combinaciones posibles de:

- a. **Tecnologías de almacenamiento** (medios de almacenamiento existentes en el mercado adecuados a los productos a almacenar)
- b. **Tecnologías de manutención** (medios de transporte de cargas en el interior del almacén compatibles con las tecnologías de almacenamiento elegidas)
- c. **Políticas de gestión** (formas de gestión de los artículos almacenados para dar cumplimiento con los objetivos de empresa establecidos)

Es en este momento de la definición de la metodología descrita en el presente estudio, que la elección de la mejor combinación posible que permite el diseño detallado de la solución adoptada determinará la adecuada implementación de la misma, asegurando el cumplimiento de los objetivos establecidos por la propia empresa.

5. **Diseño detallado.** Fijando las restricciones del modelo planteado y la propia función objetivo a minimizar. **Para la elección de esta mejor solución posible se utilizarán las herramientas de ayuda a la toma de decisiones desarrolladas.**

6. **Evaluación** de la solución adoptada. Una vez definidos los pasos de la metodología, por último y no menos importante hay que realizar una evaluación del diseño realizado bajo las pautas anteriormente descritas

7. **Plan de Implantación** del diseño realizado.

### **5.3 Conclusiones respecto a las herramientas de ayuda a la toma de decisiones:**

Asimismo, partiendo de las aportaciones realizadas por autores como:

- *Rosenblatt et al. (1984)* que en su artículo sobre el problema de minimización del coste de un almacén propone un modelo de minimización con variables cuantitativas
- *Manzini et al. (2007)*, que aunque trabajan con sistemas de picking que no es objeto de la presente tesis, aportan interesantes conclusiones al determinar empíricamente mediante experimentación un modelo analítico para estimar la

distancia recorrida durante un ciclo de picking en un sistema preparador a producto, obteniendo para la distribución vertical de pasillos un tipo de configuración óptima.

Por lo anteriormente expuesto se han alcanzado las siguientes conclusiones respecto a las herramientas de ayuda en la toma de decisiones:

1. Se ha **desarrollado** en la presente tesis una **herramienta de ayuda a la toma de decisiones** de alternativas tecnológicas basada en una función cuyo objetivo ha sido la **minimización de los costes operativos y del tiempo de extracción** de las paletas de un determinado diseño de un sistema de almacenamiento
2. Se han fijado, en dicha herramienta, una serie de **restricciones** dadas con unas tecnologías utilizadas y con unas variables cualitativas y variables cuantitativas totalmente definidas.
3. La función objetivo de dicha herramienta, ha servido para determinar entre todas las **opciones de diseño** que la metodología ha planteado, cuáles son las **que minimizan los objetivos planteados** a priori en el diseño inicial.
4. **Se complementa de esta forma, la aportación principal de la presente tesis al campo del diseño de los sistemas de almacenamiento**, no solo **con** una metodología demandada por todos los autores estudiados, sino que además se aporta **una herramienta de cálculo para la ayuda a la toma de decisiones** dentro del propio proceso de diseño.
5. La utilización del algoritmo desarrollado en el capítulo 4 de la presente tesis permite asegurar en el procedimiento de diseño que, tras seguir los pasos de la metodología propuesta, **la opción de diseño alcanzada es la mejor posible de todas las combinaciones planteadas**, manteniendo el criterio de minimización del tiempo de extracción de una paleta del sistema y el criterio de minimización de la inversión a realizar.
6. Con la herramienta desarrollada se realizan las experimentaciones comparativas que definen para cada combinación de tecnologías utilizadas una representación gráfica de opciones de diseño, de las que nos interesa la **envolvente** que representa a la misma, que será la **curva que minimizará las variables de diseño definidas** con anterioridad. Se ha descrito en el capítulo anterior el procedimiento a seguir para la utilización de las mismas.
7. Las curvas envolventes que agrupan los resultados de las combinaciones tecnológicas simuladas con anterioridad, ofrecen una **herramienta**

**matemática que permite conocer antes del desarrollo del diseño del sistema de almacenamiento**, la inversión necesaria para poder conseguir un tiempo de extracción determinado para un número de ubicaciones, o de forma inversa, el tiempo que tardaremos en extraer un palet dada la inversión fijada.

8. Se **permite la elección de la combinación de tecnologías más adecuada** para satisfacer los objetivos fijados con anterioridad.
9. Igualmente, se puede observar que el **comportamiento no lineal en las gráficas obtenidas** respalda la dificultad del diseño de almacenes que se ha constatado en el primer capítulo de la presente tesis.

Con todo lo expuesto con anterioridad se puede concluir que el objetivo perseguido con el presente trabajo de desarrollar una metodología de diseño de sistemas almacenamiento, se ha desarrollado con éxito ofreciendo igualmente las herramientas matemáticas necesarias para la toma de decisiones. Es por todo ello que con la presente tesis se han conseguido alcanzar los siguientes propósitos:

- 1- **Definir** una serie de **fases a seguir en el diseño** de sistemas de almacenamiento.
- 2- En cada una de las fases descritas, **establecer los criterios a tener en cuenta para la toma de decisiones** que permiten avanzar en el diseño del mismo.
- 3- Determinar las **variables a tener en cuenta y como la relación entre estas mismas define las soluciones posibles alcanzadas**, de forma que de todas las posibles combinaciones posibles en el diseño de almacenes, algunas se descartan por imposibilidades físicas.
- 4- **Desarrollar herramientas matemáticas** como el algoritmo de experimentación definido en el presente trabajo **que permitan la elección de las mejores soluciones posibles**.
- 5- Determinación de **procedimientos de comprobación de que la solución adoptada corresponde con los objetivos perseguidos** y se ajusta a las restricciones establecidas.
- 6- **Validar la metodología y el algoritmo de experimentación** definidos con la aplicación a un caso práctico real, que ha permitido definir el mejor diseño posible ajustado a unos objetivos y restricciones reales para satisfacer las necesidades planteadas.

De esta forma, el vacío existente en la literatura relacionada con el diseño de sistemas de almacenamiento puede ser cubierto con la aportación realizada por el presente trabajo que pueda permitir a los expertos en este campo, apoyarse en la utilización de la misma para seguir avanzando en el complejo mundo del diseño de sistemas de almacenamiento.

Con el desarrollo de la presente tesis se ha presentado una **metodología de diseño basada en una serie de fases ordenadas** a tener en cuenta para el futuro diseñador de sistemas de almacenamiento. Se pretende aportar con el presente trabajo una guía de diseño para que cualquier profesional del diseño de almacenes o quien quiera iniciarse en el complejo mundo de la optimización de los sistemas de almacenamiento, pueda aventurarse en un proyecto de diseño con un soporte que le permita seguir un orden establecido y poder asegurar que se han tenido en cuenta todas las variables de diseño establecidas a priori. La experiencia personal profesional en esta área del autor de la presente tesis generó la necesidad de poder contar con una ayuda metodológica como la que se plantea en el presente trabajo. Asimismo, el caso práctico que ha permitido validar la metodología propuesta, se basa en un caso real llevado a cabo por el autor de esta tesis y que se ajusta en un alto porcentaje de diseño a las características diseñadas con el método de trabajo aquí planteado.

#### 5.4 Líneas futuras de investigación

La pretensión principal de esta tesis era la de plantear una metodología que aunque no lograra abarcar toda la casuística posible en el diseño de almacenes, pudiese obtener resultados favorables aunque se tuviera que limitar el campo de estudio fijando algunas variables de las definidas en la metodología descrita. Es por ello que de esta forma, se deja abierta la posibilidad de ampliar la investigación realizada en dos frentes diferenciados:

1. Por un lado, la posibilidad de añadir pautas a la metodología planteada, para completar o mejorar los pasos de diseño que se han planteado desde un inicio. Asimismo, se pueden establecer otras restricciones o plantear otras variables diferentes a las estudiadas, para las que se pretenda realizar un diseño de almacenamiento determinado. Además se puede particularizar el método desarrollado para algunos casos de diseño con características singulares.

2. Por otro lado, se ofrece la posibilidad y es el objeto de la pretensión futura del autor de la presente tesis, el de seguir trabajando en la línea marcada por el algoritmo utilizado como herramienta para la selección de la combinación de tecnologías elegida, con el objetivo de buscar pautas de comportamiento generales en cada uno de los modelos de diseño planteados con el fin de lograr un modelo de optimización lo más generalista posible. Para ello, se analizarán las envolventes encontradas en las simulaciones realizadas para intentar buscar una solución más global para cualquier tipo de diseño a realizar.
3. La herramienta de ayuda a la toma de decisiones tiene limitaciones como que está enfocada a la elección de medios por categorías de productos, por lo que habría que realizar una comprobación cruzada de soluciones adoptadas en cada una de estas, para que en el caso de que las soluciones fueran diferentes para cada una de estas categorías, poder revisarlas para unificarlas a una solución no tan favorable pero que por otro lado mejore la coordinación y aumente la integración de éstas y por tanto mejore la operativa del sistema de almacenamiento.
4. Otra cuestión a considerar es la de introducir en el modelo de programación lineal una variable que pueda cuantificar la flexibilidad que aporte el diseño seleccionado.

Además se seguirá analizando el detalle de cada uno de los modelos planteados con el objetivo de introducir variables ya definidas a priori como posibles variables cuyos valores puedan cambiar en función de los objetivos perseguidos.

## 5.5 Resumen

Para finalizar el presente capítulo y por tanto, la tesis realizada, se recopilan a continuación en forma de resumen los pasos realizados en la misma:

1. En primer lugar, en el capítulo primero, se ha presentado la justificación y el objetivo de esta tesis, la de elaborar una metodología que permita el diseño de sistemas de almacenamiento, asegurando que la elección realizada responde a los criterios de mínimo tiempo de extracción de un palet o mínima inversión a realizar. Igualmente se ha expuesto la gran complejidad que existe en este campo, donde los diseños de estos

sistemas se basan en la experiencia previa de los diseñadores y en ciertas pautas a seguir con las que diversos autores han contribuido.

2. En el segundo capítulo se han revisado los artículos más relevantes en el área de los sistemas de almacenamiento, agrupando los artículos revisados en base a los siguientes criterios:
  - a. Metodologías de diseño.
  - b. Minimización de costes.
3. En el tercer capítulo se ha expuesto la metodología planteada, resaltando los siguientes niveles de definición de la misma:
  - a. Objetivos a definir
  - b. Escenarios a plantear
  - c. Análisis de la información
  - d. Decisiones básicas de diseño
  - e. Diseño detallado
  - f. Evaluación de los resultados
  - g. Plan de Implantación
4. En el cuarto capítulo se han definido los parámetros de la experimentación realizada que apoya los planteamientos de la metodología expuesta en el apartado anterior. De esta manera se definieron los siguientes puntos:
  - a. Diseño de la experimentación
  - b. Definición de la Función objetivo
  - c. Restricciones del modelo planteado
  - d. Procedimiento de trabajo establecido en las experimentaciones
  - e. Medición de los resultados obtenidos

Igualmente en este capítulo se han analizado los resultados obtenidos, los datos numéricos y las gráficas con las representaciones realizadas. Asimismo se ha detallado cómo poder utilizar estas gráficas para la elección de las combinaciones de tecnologías de almacenamiento y se han revisado las representaciones obtenidas en cuanto a los criterios de:

- f. Análisis tiempo extracción
- g. Análisis inversión realizada
- h. Análisis tiempo/inversión simultáneo

También se ha planteado la regla a seguir para obtener siempre la mejor aproximación y la mejor combinación de todas las expuestas, así como el análisis del coste unitario de las simulaciones realizadas.



5. En el capítulo quinto se presentan las conclusiones generales de la presente tesis, así como las aportaciones más relevantes de este trabajo, y las futuras líneas de investigación que se proponen de cara al futuro.

Con todo esto, se ha pretendido en la tesis actual el poder ofrecer a los expertos en el campo del diseño de los sistemas de almacenamientos otra visión diferenciada de todas las existentes en la actualidad y la posibilidad de utilizar tanto la metodología propuesta como el algoritmo para la elección de combinaciones de tecnologías con el propósito de que tengan la seguridad en sus elecciones como diseñadores que la opción elegida es la mejor de todas las posibles opciones que se han podido plantear en la fase de diseño.

Desde el presente trabajo es la intención del autor la de incentivar a futuros diseñadores en este campo a utilizar y complementar la metodología propuesta, así como el algoritmo de ayuda a la toma de decisiones, con el objetivo de que resulte de utilidad en el procedimiento de diseño y les permita obtener, unidas a su propia experiencia personal, las mejores soluciones posibles.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

## Bibliografía

Accorsi, R. ; Manzini, R. ; Maranesi, F. 2013, "A decision-support system for the design and management of warehousing systems" *Computers in Industry*, Jan, 2014, Vol.65(1), p.175(12)

Ashayeri, J. & Gelders, L. F. 1985, "Warehouse Design Optimization", *European Journal of Operational Research*, vol. 21, no. 3, pp. 285-294.

Ashayeri, J. & Goetschalckx, M. 1988, "Analysis and design of order picking systems", *Proceedings of the International Conference on Automation in Warehousing* pp. 125-135.

Apple, J., 1977. *Plant Layout and Material Handling (3rd ed.)*. John Wiley, New York.

Baker, P., Canessa, M. 2007, " Warehouse design: A structured approach" , *European Journal of Operational Research*, 193,pp.425-446.

Bodner, D., Govindaraj, T., Karathur, K.N., Zerangue, N.F., McGinnis, L.F., 2002. *A process model and support tools for warehouse design*. *Proceedings of the 2002 NSF design, service and manufacturing grantees and research conference*.

Cakmak, E., Gunay, N.S., Aybakan, G., Tanyas, M. 2012, "Determining the Size and Design of Flow Type and U-Type Warehouses" *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol.58, pp.1425-1433

Cardós, M., Babiloni, E. Grau, G., Albarracín, J.M., Palmer, M. 2009, "Un modelo de referencia tecnológico para el diseño estratégico de almacenes", *3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*

Choe, K. II. & Sharp, G. 1991, "Small parts order picking: Design and Operation", Georgia Tech, MHRC TR-89-07.

Cormier, G. & Gunn, E. A. 1992, "A Review of Warehouse Models", *European Journal of Operational Research*, vol. 58, no. 1, pp. 3-13.

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, vol. 182, pp. 481-501.

Errasti, A. (2011), *Logística de almacenaje. Diseño y gestión de almacenes y plataformas logísticas world class warehousing*. Ediciones Pirámide. España

Firth, D., Apple, J., Denham, R., Hall, J., Inglis, P., Saïpe, A., 1988. *Profitable Logistics Management*. McGraw-Hill Ryerson, Toronto.

Gelders, L. F. 1992, "*Warehouse Design and Operation*", European Journal of Operational Research, vol. 58, no. 1, pp. 1-2.

Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., Bodner, D. A., Govindaraj, T., Sharp, G., & Huang, K. "*A systematic design procedure for small parts warehousing systems using modular drawer and bin shelving systems*", in IMHRC 2002, Portland, Maine.

Goetschalckx, M., McGinnis, L. F., Sharp, G., Bodner, D. A., Govindaraj, T., & Huang, K. 2001, "*A Framework for systematic warehousing design*", Virtual Factory Lab Research Report, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.

Gray, A. E., Karmarkar, u. S., & Seidmann, a. 1992, "*Design and Operation of An Order-Consolidation Warehouse - Models and Application*", European Journal of Operational Research, vol. 58, no. 1, pp. 14-36.

Govindaraj, T., Blanco, E., Bodner, D., Goetschalckx, L., McGinnis, L., Sharp, P., 2000. *Design of warehousing and distribution systems: an object model of facilities, functions and information*. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 8-11 October, Nashville, Tennessee, USA, 1099-1104.

Gu, J. X., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. 2007, "*Research on warehouse operation: A comprehensive review*", European Journal of Operational Research, vol. 177, no. 1, pp. 1-21.

Hassan, M., 2002. "*A framework for the design of warehouse layout*". Facilities 20 (13/14), 432–440.

Hatton, G., 1990. *Designing a warehouse or distribution centre*. In: Gattorna, J.L. (Ed.), *The Gower Handbook of Logistics and Distribution Management (4th ed.)*. Gower Publishing, Aldershot, pp. 175-193.

Heskett, J., Glaskowsky, N., Ivie, R., 1973. *Business Logistics, Physical Distribution and Materials Handling (2nd ed.)*. Ronald Press, New York.

Hwang, H. S. & Cho, G. S. 2006, "A performance evaluation model for order picking warehouse design", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 51, no. 2, pp. 335-342.

Johnson, M. E. & Lofgren, T. 1994, "Model Decomposition Speeds Distribution Center Design", *Interfaces*, vol. 24, no. 5, pp. 95-106.

Kostrzewski, M. 2014, "In search of Unified Warehouse Designing Method", Poznan University of Technology

Manzini, R., Gamberi, M., Persona, A., & Regattieri, A. 2007, "Design of a class based storage picker to product order picking system", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 32, no. 7-8, pp. 811-821.

McGinnis, L. F. "What is a warehouse?", in *INFORMS 2003*.

Mulcahy, D., 1994. *Warehouse Distribution and Operations Handbook*. McGraw-Hill, New York.

Oxley, J., 1994. Avoiding *inferior design*. *Storage Handling and Distribution* 38 (2), 28-30.

Rosenblatt, M.J., Roll, Y., 1984." *Warehouse design with storage policy considerations*" *International Journal of Production Research* 22 (5), 809–821.

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W.H. M. 2000, "Warehouse design and control: Framework and literature review", *European Journal of Operational Research*, vol. 122, no. 3, pp. 515-533.

Rowley, J., 2000. *The principles of warehouse design (2nd ed.)*. The Institute of Logistics & Transport, Corby.

Rushton, A., Croucher, P., Baker, P., 2006. "*The Handbook of Logistics and Distribution Management*", third ed. Kogan Page, London.

Van den Berg, J. P. 1993, "*A literature survey on planning and control of warehousing systems*", IIE Transactions, vol. 31, no. 8, pp. 751-762.

Van den Berg, J. P. & Zijm, W. H. M. 1999, "*Models for warehouse management: Classification and examples*", International Journal of Production Economics, vol. 59, no.1-3, pp. 519-528.

Waters, D., 2003. "*Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*". Palgrave Macmillan, New York.

Yoon, C. S. & Sharp, G. P. 1995, "*Example application of the cognitive design procedure for an order pick system: Case study*", European Journal of Operational Research, vol. 87, no. 2, pp. 223-246.

---

## ANEXO. Evaluación de alternativas tecnológicas

## ANEXO I. Evaluación de alternativas tecnológicas

En las siguientes evaluaciones de alternativas tecnológicas realizadas, que en este anexo se les llamarán escenarios de experimentación a cada uno de los marcos definidos, los valores de las características técnicas y económicas que se han fijado tanto en los medios de almacenamiento como en los medios de manutención, han sido obtenidos de diferentes catálogos de fabricantes y páginas web de venta de estos medios. Es complicado fijar unos precios y características para cada tipo de medio, al existir en el mercado diferentes fabricantes y modelos de cada uno de ellos. Sin embargo, se han establecido unos precios medios con características estándar para estos medios. Al ser un modelo de experimentación abierto en este sentido, si se va a trabajar con un fabricante en concreto, no habría más que fijar los valores de este y obtener los resultados. Como todos los escenarios parten de los mismos valores en cada uno de los medios, las posibles variaciones tanto en precios como en características técnicas de estas variables no suponen una modificación en las comparativas entre combinaciones, al tratarse todas estas con los mismos valores.

Estas características que se han definido de la misma forma para todas las experimentaciones han sido:

### 1. Medios de almacenamiento:

- Coste metro cuadrado estantería (se ha fijado como media de los precios de los fabricantes de este tipo de estantería). Su valor se ha fijado en función del tipo de estantería siendo los valores:
  - Estantería convencional → 20€/ metro lineal.
  - Estantería compacta → 30€/ metro lineal.
  - Estantería dinámica → 150€/ metro lineal.
- Coste metro cuadrado suelo → 34€/ metro cuadrado.

### 2. Medios de manutención

- Apilador autopropulsado
  - i. Coste: 10.000€ / unidad.
  - ii. Velocidad vertical: 0,33 m/s
  - iii. Velocidad horizontal: 1,66 m/s
  - iv.  $T_{picking}$ : 12 s/palet
  - v. Altura máxima: 3 palets
  - vi. Anchura pasillo mínima: 2,2 metros.
- Carretilla contrapesada
  - i. Coste: 20.000€ / unidad.



- ii. Velocidad vertical: 0,6 m/s
- iii. Velocidad horizontal: 4,72 m/s
- iv.  $T_{picking}$ : 12 s/palet
- v. Altura máxima: 3 palets
- vi. Anchura pasillo mínima: 2,7 metros.
- Carretilla retráctil
  - i. Coste: 20.000€ / unidad.
  - ii. Velocidad vertical: 0,4 m/s
  - iii. Velocidad horizontal: 3 m/s
  - iv.  $T_{picking}$ : 12 s/palet
  - v. Altura máxima: 3 palets
  - vi. Anchura pasillo mínima: 2,7 metros.
- Carretilla doble acceso
  - i. Coste: 20.000€ / unidad.
  - ii. Velocidad vertical: 0,1 m/s
  - iii. Velocidad horizontal: 1,54 m/s
  - iv.  $T_{picking}$ : 12 s/palet
  - v. Altura máxima: 3 palets
  - vi. Anchura pasillo mínima: 1,5 metros.
- Carretilla bilateral
  - i. Coste: 30.000€ / unidad.
  - ii. Velocidad vertical: 0,6 m/s
  - iii. Velocidad horizontal: 2,92 m/s
  - iv.  $T_{picking}$ : 12 s/palet
  - v. Altura máxima: 6 palets
  - vi. Anchura pasillo mínima: 1,5 metros.
- Carretilla Trilateral → 100.000€/ unidad.
  - i. Coste: 100.000€ / unidad.
  - ii. Velocidad vertical: 0,6 m/s
  - iii. Velocidad horizontal: 3 m/s
  - iv.  $T_{picking}$ : 12 s/palet
  - v. Altura máxima: 9 palets
  - vi. Anchura pasillo mínima: 1,8 metros.
- Transelevadores
  - i. Coste: 250.000€ / unidad.
  - ii. Velocidad vertical: 1,1 m/s

- iii. Velocidad horizontal: 4,2 m/s
- iv.  $T_{\text{picking}}$ : 12 s/palet
- v. Altura máxima: 36 palets
- vi. Anchura pasillo mínima: 1,5 metros.

El coste de los operarios que manejan los medios de manutención se ha estimado en unos 18.000€/año (coste total final para la empresa por operario).

Los valores fijados con anterioridad son en base a estimaciones de fabricantes, pudiendo modificarse en el modelo definido para futuras ampliaciones del modelo de investigación para comparar incluso por algunas características individuales de cada medio. La posible variación o desviación de estos valores con algunos fabricantes actuales, no supone cambios en los resultados en cuanto a la comparativa se refiere, al haber sido tratadas todas las combinaciones con los mismos valores definidos con anterioridad.

Los medios de almacenamiento de estanterías compactas y estanterías dinámicas, el tamaño del pasillo se ha considerado el mayor de los definidos (2,7 metros) por la necesidad de la operativa de las carretillas en estos medios, entre los huecos de palets definidos.

## 1 Primer escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con apiladores autopropulsados. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Apilador
----------

Velocidad horizontal (m/s):

1,67
------

Velocidad vertical (m/s):

0,33
------

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,2
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. En el caso de bloques apilados, la altura está delimita a 3, ya este es el máximo al que se puede apilar carga. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.1 Restricciones Escenario 1

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 1:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	80	31.626	1	26	1	3
200	105	35.253	1	37	2	3
500	156	46.133	1	58	3	3
1.000	214	64.266	1	82	4	3
2.000	295	100.533	1	115	6	3
10.000	731	390.666	1	150	22	3
100.000	3.798	4.952.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.2 Tabla Resumen Escenario 1

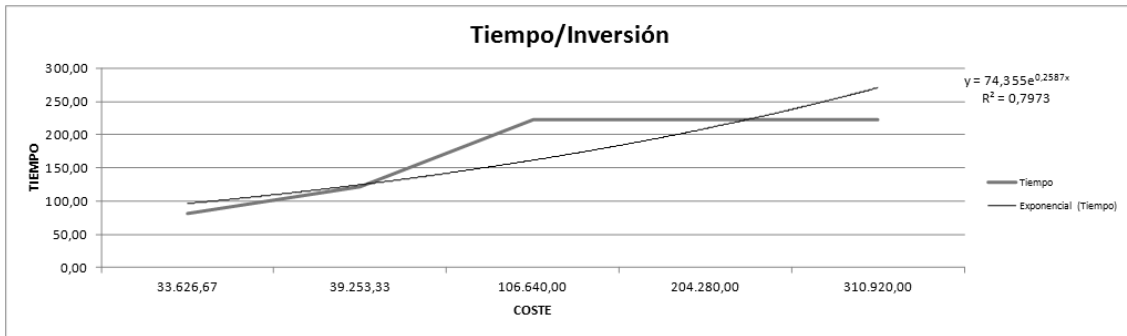


Figura Anexo1.1. Tiempo/Inversión Escenario 1

En este escenario donde el medio de almacenamiento es el bloque apilado la altura desde un principio es de 3 para optimizar el espacio y los medio de almacenamiento.

Por otra parte, la profundidad aumenta en función del número del número de palets. En cuanto a la inversión, aunque la inversión en medio de almacenamiento es nula, el espacio ocupado es elevado. Por ello, la inversión es elevada.

## 2 Segundo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con apiladores autopropulsados. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Apilador
----------

Velocidad horizontal (m/s):

1,67
------

Velocidad vertical (m/s):

0,33
------

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,2
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. En el caso de bloques apilados, la altura está delimita a 3, ya este es el máximo al que se puede apilar carga. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo1.3 Restricciones Escenario 2

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 2:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	68	31.626	1	32	1	3
200	88	35.253	1	45	1	3
500	130	46.133	1	71	2	3
1.000	176	64.266	1	101	3	3
2.000	242	100.533	1	143	5	3
10.000	668	390.666	1	150	22	3
100.000	3.735	4.952.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.4 Tabla Resumen Escenario 2

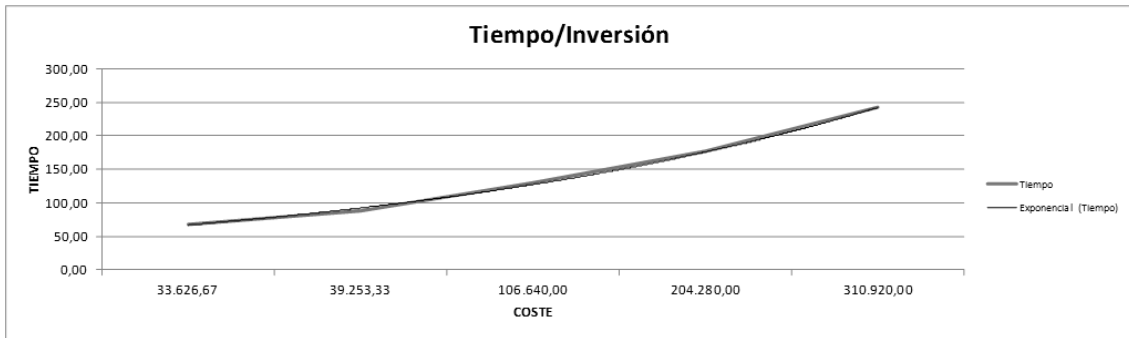


Figura Anexo 1.2 Tiempo/Inversión Escenario 2

La profundidad aumenta en función del número del número de palets. En cuanto a la inversión, aunque la inversión en medio de almacenamiento es nula, el espacio ocupado es elevado. Por ello, la inversión es elevada. Se observa que el resultado mejora al fijar el sistema de asignación de ubicaciones como aleatoria por zonas, respecto a la puramente aleatoria.



### 3. Tercer escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con carretilla contrapesada. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o Aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Contrapesada
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,72
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. En el caso de bloques apilados, la altura está delimita a 3, ya este es el máximo al que se puede apilar carga. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.5 Restricciones Escenario 3

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 3:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	42.193	1	33	1	3
200	62	46.386	1	61	1	3
500	92	58.966	1	97	2	3
1.000	126	79.933	1	137	2	3
2.000	180	121.866	1	150	4	3
10.000	606	457.333	1	150	22	3
100.000	3.673	5.737.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.6 Tabla Resumen Escenario 3

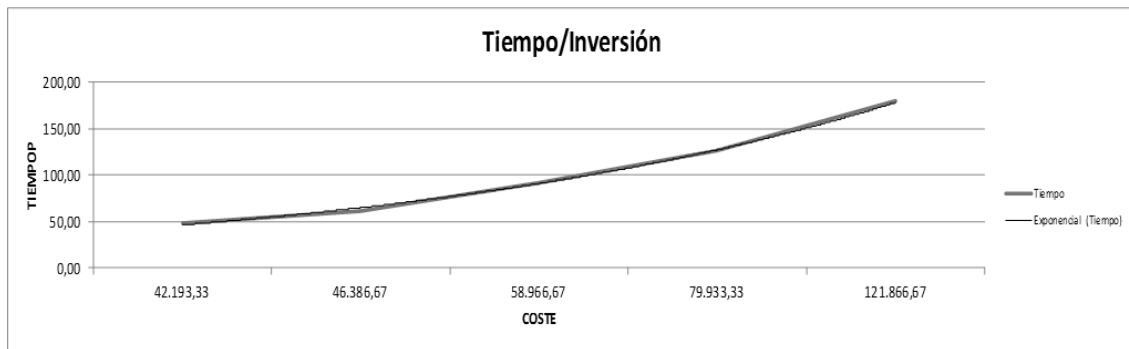


Figura Anexo 1.3 Tiempo/Inversión Escenario 3

La semejanza entre el escenario anterior es notable, la mayor diferencia la encontramos en el tiempo de extracción. Esto se debe a que la carretilla contrapesada dispone de velocidades más elevadas.

#### 4. Cuarto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con carretilla contrapesada. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

##### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

##### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o Aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

##### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Contrapesada
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,72
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. En el caso de bloques apilados, la altura está delimita a 3, ya este es el máximo al que se puede apilar carga. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.7 Restricciones Escenario 4

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 4:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	43	42.369	1	35	1	3
200	52	46.386	1	67	1	3
500	77	58.966	1	120	1	3
1.000	105	79.933	1	150	2	3
2.000	158	121.866	1	150	4	3
10.000	585	457.333	1	150	22	3
100.000	3.651	5.737.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.8 Tabla Resumen Escenario 4

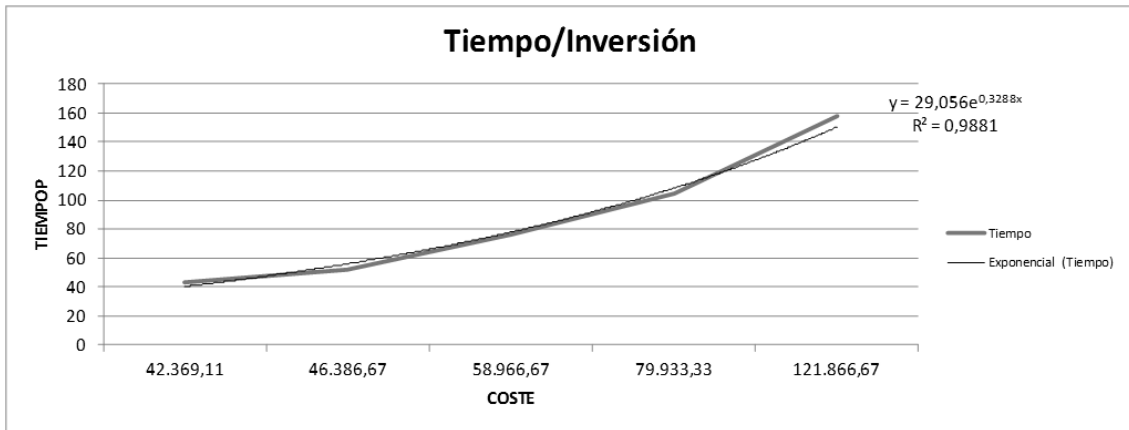


Figura Anexo 1.4 Tiempo/Inversión Escenario 4

Los tiempos de extracción, así como profundidad de pasillos y longitud han cambiado respecto al escenario anterior. Esto se debe a que la carretilla contrapesada dispone de velocidades más elevadas y en ubicación aleatoria por zonas se obtienen mejoras respecto a la ubicación aleatoria.

## 5. Quinto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con carretilla retráctil. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la, profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.9 Restricciones Escenario 5

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 5:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	61	42.193	1	33	1	3
200	80	46.387	1	49	1	3
500	118	58.967	1	77	2	3
1.000	161	79.933	1	110	3	3
2.000	222	121.867	1	150	4	3
10.000	648	457.333	1	150	22	3
100.000	3.715	5.737.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.10 Tabla Resumen Escenario 5



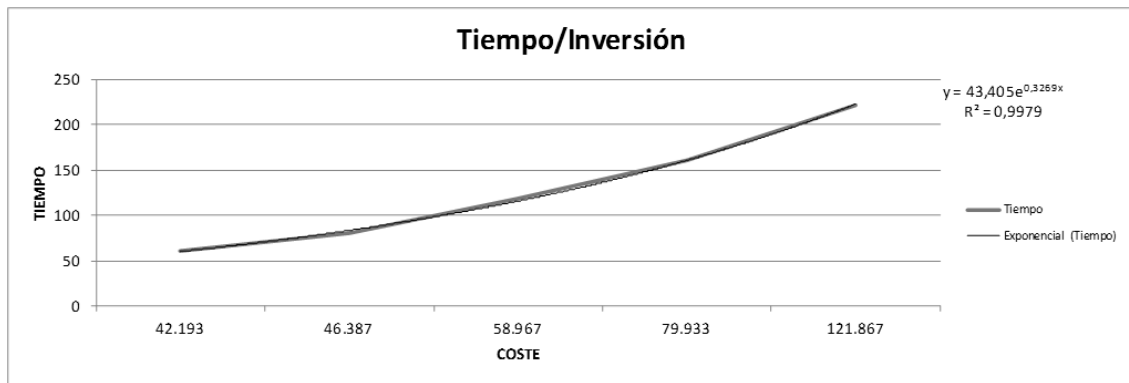


Figura Anexo 1.5 Tiempo/Inversión Escenario 5

Los escenarios en los que el medio de almacenamiento es el bloque apilado cuentan con características similares. Lo que los hace diferentes son las velocidades de extracción dependiendo del medio de manutención estudiado en cada escenario.

## 6. Sexto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con carretilla retráctil. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la, profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

<b>longitud</b>		<b>profundidad</b>		<b>altura</b>	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.11 Restricciones Escenario 6

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 6:**

<b>nº palets</b>	<b>Tiempo ciclo (s)</b>	<b>€</b>	<b>Nº pasillos</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>profundidad</b>	<b>altura</b>
100	54	42.265	1	34	1	3
200	68	46.387	1	61	1	3
500	98	58.967	1	96	2	3
1.000	133	79.933	1	136	2	3
2.000	187	121.867	1	150	4	3
10.000	614	457.333	1	150	22	3
100.000	3.680	5.737.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.12 Tabla Resumen Escenario 6

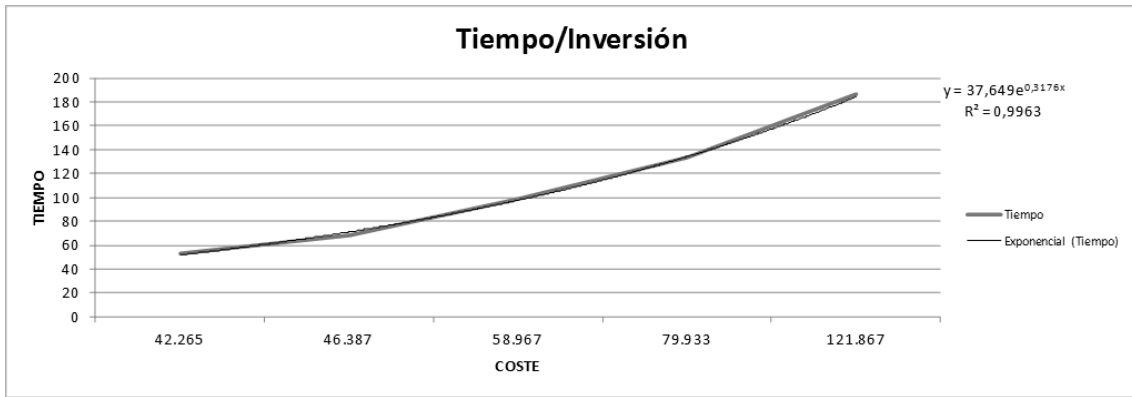


Figura Anexo 1.6 Tiempo/Inversión Escenario 6

Los escenarios en los que el medio de almacenamiento es el bloque apilado cuentan con características similares. Lo que los hace diferentes son las velocidades de extracción dependiendo del medio de manutención estudiado en cada escenario. La política de gestión de ubicación aleatoria por zonas mejora considerablemente los resultados, como era previsible, al minimizar los recorridos.

## 7. Séptimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con carretilla de doble acceso. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Doble acceso
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

1,54
------

Velocidad vertical (m/s):

0,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. En el caso de bloques apilados, la altura está delimita a 3, ya este es el máximo al que se puede apilar carga. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.13 Restricciones Escenario 7

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 7:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	119	42.292	1	31	2	2
200	150	44.812	1	39	2	2
500	204	52.167	1	56	3	3
1.000	264	66.333	1	79	4	3
2.000	348	94.667	1	111	6	3
10.000	788	321.333	1	150	22	3
100.000	3.854	3.901.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.14 Tabla Resumen Escenario 7

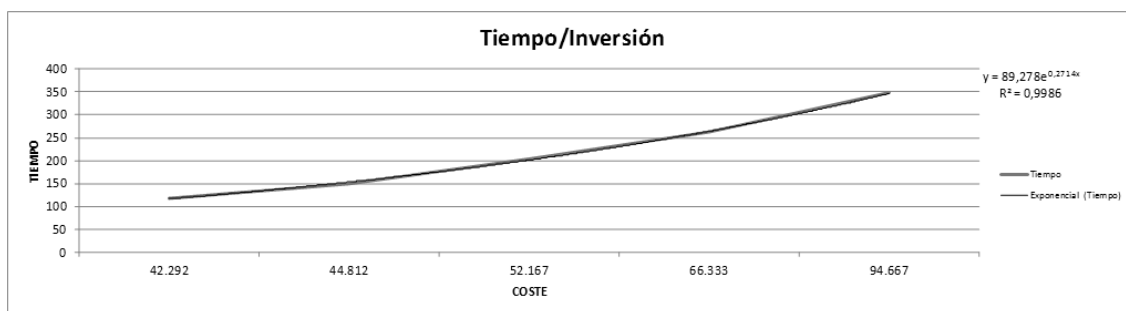


Figura Anexo 1.7 Tiempo/Inversión Escenario 7

Siguiendo con la misma tendencia anterior, los resultados obtenidos son similares a los de las opciones anteriores, al no variar el medio de almacenamiento que son los bloques apilados.

### 8. Octavo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de bloques apilados con carretilla de doble acceso. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Doble acceso
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

1,54
------

Velocidad vertical (m/s):

0,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Apilados
----------



Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. En el caso de bloques apilados, la altura está delimita a 3, ya este es el máximo al que se puede apilar carga. La profundidad no se delimita ya que no es restricción. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	3

Tabla Anexo 1.15 Restricciones Escenario 8

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 8:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	103	42.948	1	41	1	2
200	130	45.854	1	51	2	2
500	176	52.382	1	69	2	3
1.000	224	66.333	1	97	3	3
2.000	293	94.667	1	138	5	3
10.000	720	321.333	1	150	22	3
100.000	3.787	3.901.000	2	150	150	3

Tabla Anexo 1.16 Tabla Resumen Escenario 8

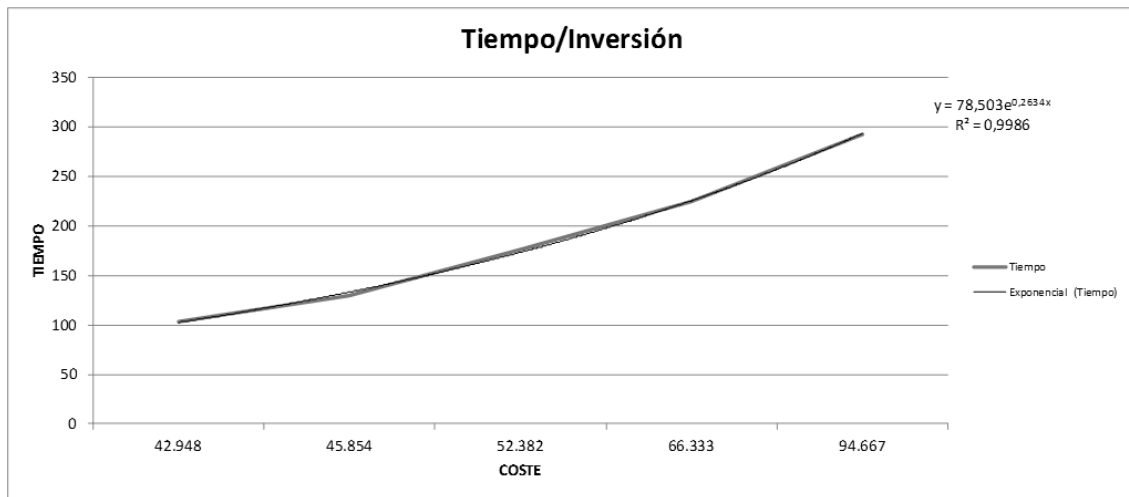


Figura Anexo 1.8 Tiempo/Inversión Escenario 8

Siguiendo con la misma tendencia anterior, los resultados obtenidos son similares a los de las opciones anteriores, al no variar el medio de manutención, bloques apilados.

## 9. Noveno escenario de experimentación

Descripción formal: En este primer escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo ancho con apiladores autopropulsados. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Apilador
----------

Velocidad horizontal (m/s):

1,67
------

Velocidad vertical (m/s):

0,33
------

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,2
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso el apilador autopropulsado. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	1	1	3

Tabla Anexo 1.17 Restricciones Escenario 9

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 9:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	82	33.627	1	33	1	3
200	122	39.253	1	67	1	3
500	222	106.640	2	150	1	3
1.000	222	204.280	4	150	1	3
2.000	222	310.920	6	150	1	3
10.000	222	1.536.600	30	150	1	3
100.000	222	15.375.000	300	150	1	3

Tabla Anexo 1.18 Tabla Resumen Escenario 9

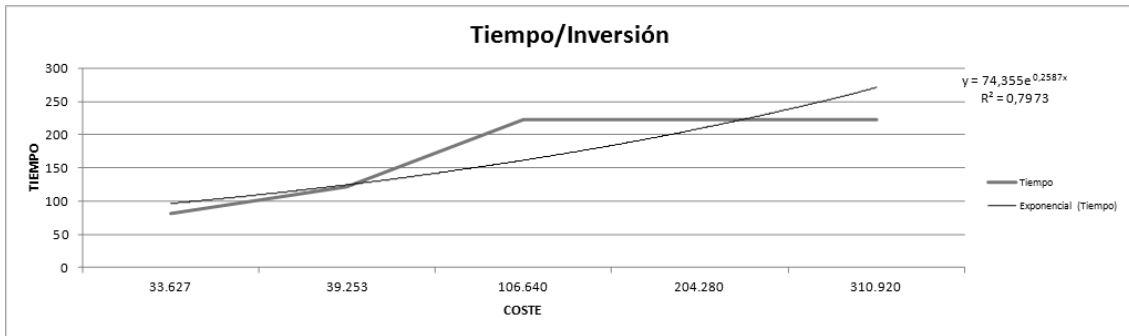


Figura Anexo 1.9 Tiempo/Inversión Escenario 9

Vistos los resultados, se puede destacar de este escenario, donde se ha utilizado apilador como medio de manutención y estanterías convencionales como medio de almacenamiento, que, el tiempo de extracción no es linealmente dependiente del número de palets y que la altura óptima es de 3 alturas hasta que se llega a un número de palets elevado (10.000 palets) donde la mejor opción es de 2 alturas.

### 10. Décimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este primer escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de mantenimiento y almacenaje de estanterías convencionales con apiladores autopropulsados. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Apilador
----------

Velocidad horizontal (m/s):

1,67
------

Velocidad vertical (m/s):

0,33
------

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,2
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso el apilador autopropulsado. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	1	1	3

Tabla Anexo 1.19 Restricciones Escenario 10

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 10:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	68	33.627	1	33	1	3
200	94	39.253	1	67	1	3
500	160	106.640	2	150	1	3
1.000	160	204.280	4	150	1	3
2.000	160	310.920	6	150	1	3
10.000	160	1.536.600	30	150	1	3
100.000	160	14.859.800	290	150	1	3

Tabla Anexo 1.20 Tabla Resumen Escenario 10

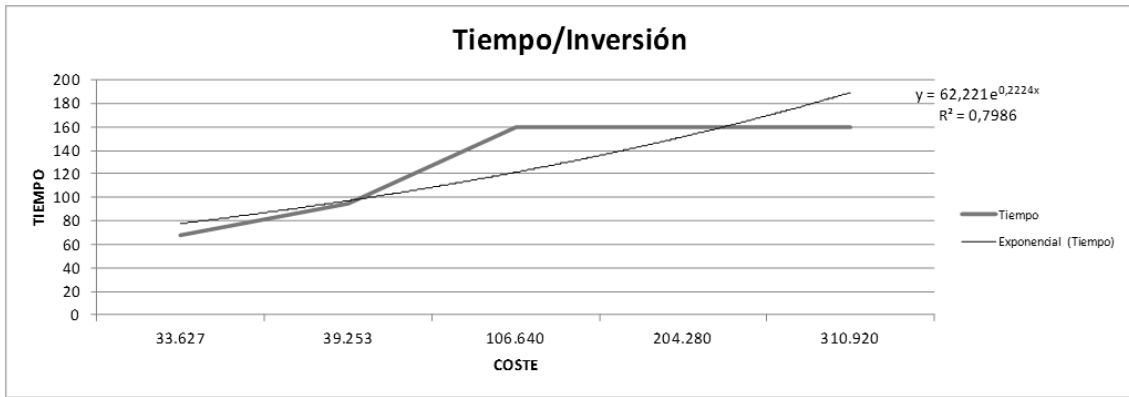


Figura 1.10 Tiempo/Inversión Escenario 10

Vistos los resultados, se puede destacar de este escenario, donde se ha utilizado apilador como medio de manutención y estanterías convencionales como medio de almacenamiento, que, el tiempo de extracción no es linealmente dependiente del número de palets y que la altura óptima es de 3 alturas hasta que se llega a un número de palets elevado (10.000 palets) donde el óptimo es de 2 alturas.

Respecto a la ubicación aleatoria también mejoran los tiempos de extracción, aunque no la longitud de pasillo ni la profundidad de los mismos.



### 11. Undécimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de mantenimiento y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretilla contrapesada. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Contrapesada
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,72
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso la carretilla contrapesa puede elevarse hasta una altura equivalente a 3 palets. En el caso de la profundidad se opta por 2, ya que es el máximo al que puede alcanzar el medio de manutención. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	3

Tabla Anexo 1.21 Restricciones Escenario 11

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 11:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	44.193	1	33	1	3
200	62	50.387	1	61	1	3
500	92	68.967	1	97	2	3
1.000	122	187.480	2	150	2	3
2.000	122	356.960	4	150	2	3
10.000	122	1.352.100	15	150	1	3
100.000	122	12.998.300	145	150	1	3

Tabla Anexo 1.22 Tabla Resumen Escenario 11

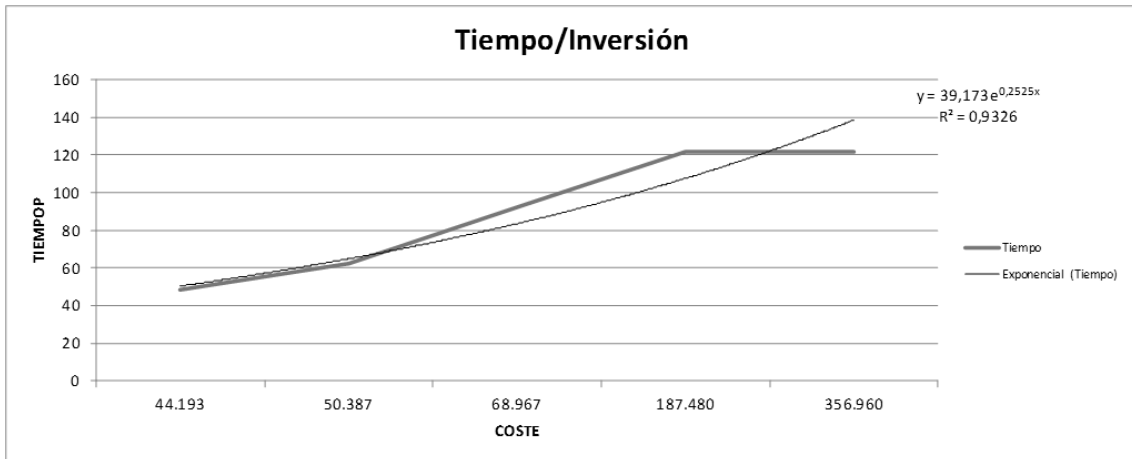


Figura 1.11 Tiempo/Inversión Escenario 11

Como podemos observar en las tablas resumen, la profundidad de hueco depende del rango de número de palets. De esta forma, si el número de palets está entre las 500 y las 2.000 la profundidad óptima es de 2, mientras que en el resto de casos es de 1. En cuanto a la altura óptima, la solución en este escenario es la de aumentar hasta el máximo de alturas (3 alturas) a la vez que se va aumentando el número de palets.

## 12. Duodécimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretilla contrapesada. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Contrapesada
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,72
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso la carretilla contrapesada puede elevarse hasta una altura equivalente a 3 palets. En el caso de la profundidad se opta por 2, ya que es el máximo al que puede alcanzar el medio de manutención. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	3

Tabla Anexo 1.23 Restricciones Escenario 12

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 12:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	43	44.369	1	35	1	3
200	52	50.387	1	67	1	3
500	77	68.967	1	120	1	3
1.000	99	187.480	2	150	2	3
2.000	99	356.960	4	150	2	3
10.000	99	1.352.100	15	150	1	3
100.000	99	12.998.300	145	150	1	3

Tabla Anexo 1.24 Tabla Resumen Escenario 12

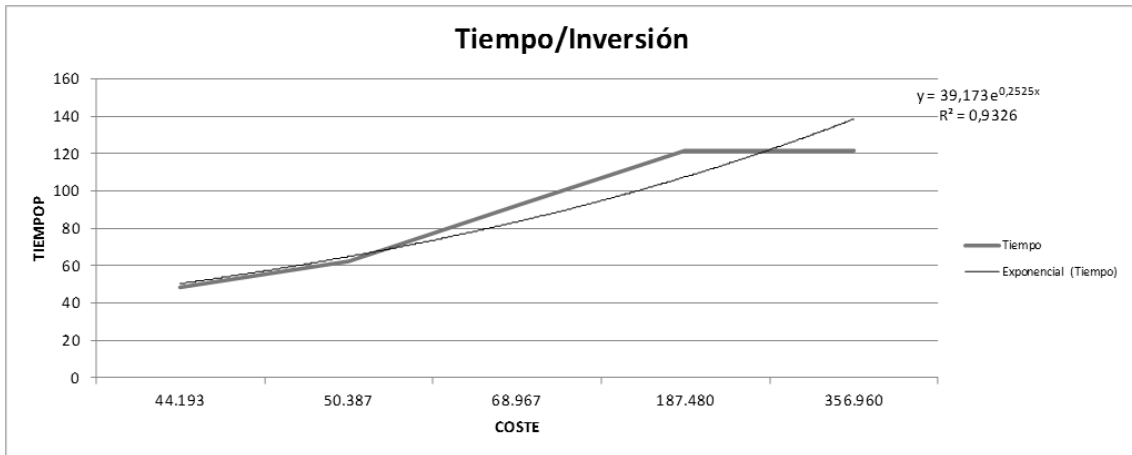


Figura Anexo 1.12 Tiempo/Inversión Escenario 12

Como podemos observar en las tablas resumen, la profundidad de hueco depende del rango de número de palets. De esta forma, si el número de palets es 1.000 ó 2.000 la profundidad óptima es de 2, mientras que en el resto de casos es de 1. En cuanto a la altura óptima, la solución en este escenario es la de aumentar hasta el máximo de alturas (3 alturas) a la vez que se va aumentando el número de palets. Respecto al escenario anterior, varía la inversión igualmente y el tiempo de extracción.

### 13. Decimotercer escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales pasillo ancho con carretilla retráctil. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso la carretilla retráctil puede elevarse hasta una altura equivalente a 9 palets.

En el caso de la profundidad se opta por 2, ya que es el máximo al que puede alcanzar el medio de manutención. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	9

Tabla Anexo 1.25 Restricciones Escenario 13

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 13:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	61	43.445	1	27	1	4
200	76	46.992	1	38	1	5
500	103	57.196	1	51	1	7
1.000	129	72.598	1	65	2	9
2.000	167	105.956	1	111	2	9
10.000	193	594.700	5	150	2	9
100.000	193	5.763.260	49	150	2	9

Tabla Anexo 1.26 Tabla Resumen Escenario 13



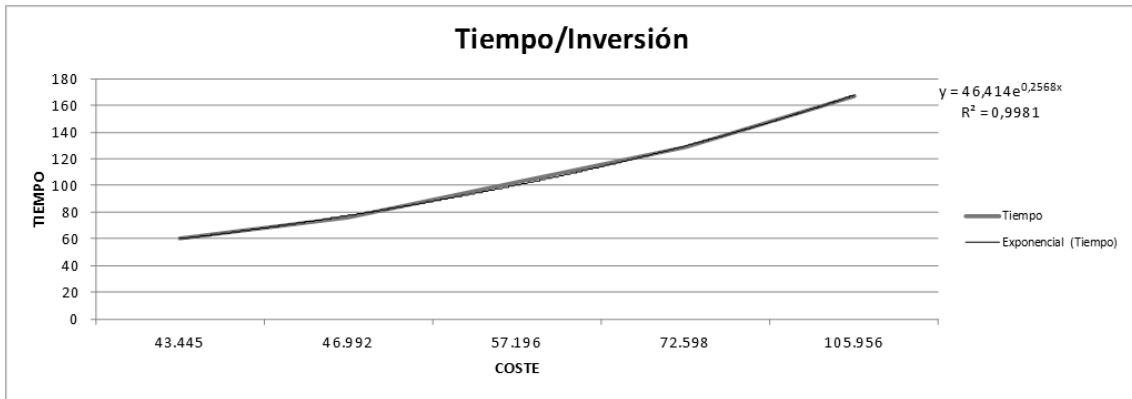


Figura Anexo 1.13 Tiempo/Inversión Escenario 13

Como se puede ver en los resultados, tanto la altura como la profundidad aumentan hasta los máximos definidos en función del número de palets. Esto se debe a que la velocidad horizontal del medio de mantenimiento es baja y es por ello que el almacén debe ser lo más compacto posible para que el tiempo de extracción sea menor.

#### 14. Decimocuarto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretilla retráctil y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero mantenga la misma combinación. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

##### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

##### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

##### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso la carretilla retráctil puede elevarse hasta una altura equivalente a 9 palets.

En el caso de la profundidad se opta por 2, ya que es el máximo al que puede alcanzar el medio de manutención. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	9

Tabla Anexo 1.27 Restricciones Escenario 14

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 14:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	54	44.265	1	34	1	3
200	66	48.032	1	48	1	4
500	89	58.602	1	68	1	6
1.000	112	74.829	1	86	2	7
2.000	141	105.956	1	111	2	9
10.000	158	594.700	5	150	2	9
100.000	158	5.763.260	49	150	2	9

Tabla Anexo 1.28 Tabla Resumen Escenario 14

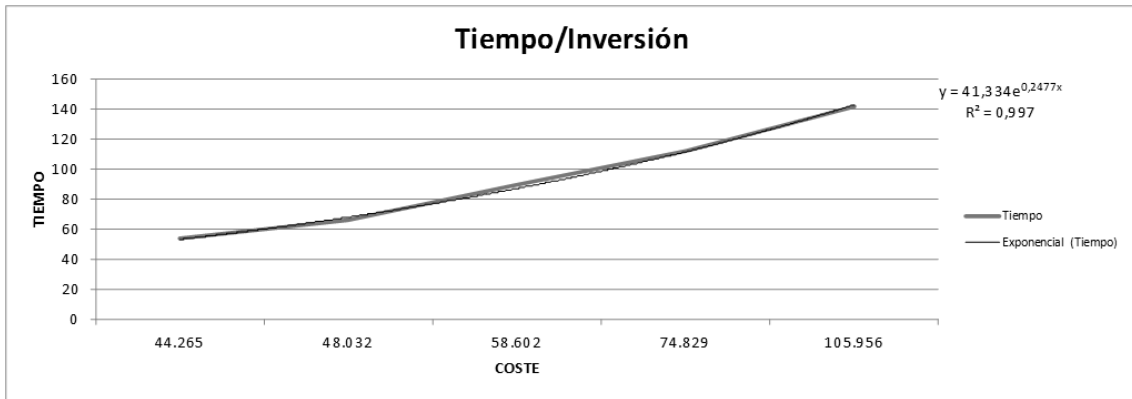


Figura Anexo 1.14 Tiempo/Inversión Escenario 14

Como se puede apreciar en los resultados, tanto la altura como la profundidad aumentan hasta los máximos definidos en función del número de palets. Esto se debe a que la velocidad horizontal del medio de mantenimiento es baja y es por ello que el almacén debe ser lo más compacto posible para que el tiempo de extracción sea menor.

### 15. Decimoquinto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretilla de doble acceso. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Doble acceso
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

1,54
------

Velocidad vertical (m/s):

0,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso la carretilla de doble acceso puede elevarse hasta una altura equivalente a 6 palets. En el caso de la profundidad se opta por 2, ya que es el máximo al que puede alcanzar el medio de manutención. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	6

Tabla Anexo 1.29 Restricciones Escenario 15

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 15:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	119	46.352	1	31	2	2
200	150	51.887	1	39	2	3
500	209	63.634	1	62	2	4
1.000	276	80.110	1	88	2	6
2.000	362	223.480	2	150	2	6
10.000	362	821.920	8	150	2	6
100.000	362	7.545.020	73	150	2	6

Tabla Anexo 1.30 Tabla Resumen Escenario 15

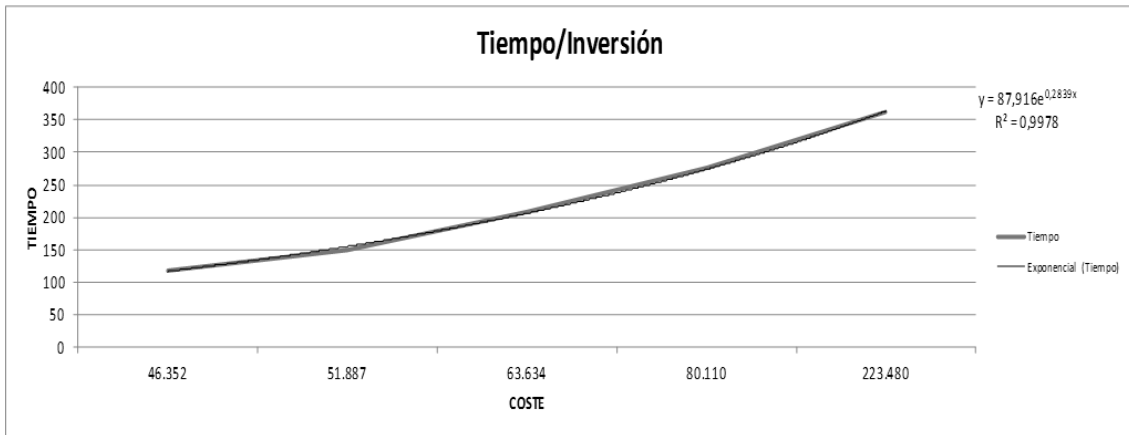


Figura Anexo 1.15 Tiempo/Inversión Escenario 15

En el caso de este escenario, al utilizar la carretilla de doble acceso todas las posibles soluciones se ajustan a las dos profundidades. En cuanto a la altura aumenta a la vez que lo hace el número de palets. Como podemos observar el tiempo de extracción de este medio de mantenimiento es más elevado que con el resto de medios para bajo número de palets.

## 16. Decimosexto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo ancho con carretilla de doble acceso y gestión por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Doble acceso
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

1,54
------

Velocidad vertical (m/s):

0,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencionales
----------------



Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Tanto la profundidad como la altura está delimita por el medio de manutención utilizado, en este caso la carretilla de doble acceso puede elevarse hasta una altura equivalente a 6 palets. En el caso de la profundidad se opta por 2, ya que es el máximo al que puede alcanzar el medio de manutención. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	6

Tabla Anexo 1.31 Restricciones Escenario 16

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 16:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	103	47.323	1	41	1	2
200	130	53.624	1	51	2	2
500	178	67.354	1	77	2	3
1.000	232	85.371	1	109	2	5
2.000	295	223.480	2	150	2	6
10.000	1.170	821.920	8	150	2	4
100.000	1.170	7.545.020	73	150	2	6

Tabla Anexo 1.32 Tabla Resumen Escenario 16

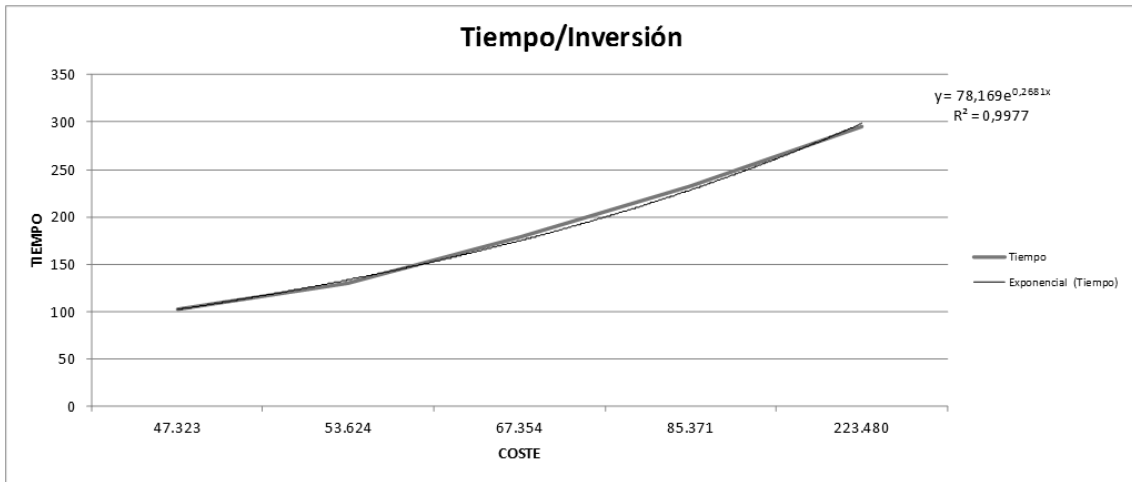


Figura Anexo 1.16 Tiempo/Inversión Escenario 16

En el caso de este escenario, al utilizar la carretilla de doble acceso todas las soluciones dan como mejor solución las dos profundidades. En cuanto a la altura aumenta a la vez que lo hace el número de palets. Como se puede observar el tiempo de extracción de este medio de manutención es más elevado que con el resto de medios para bajo número de palets.

### 17. Decimoséptimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretilla bilateral. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) \right) + \frac{Z}{V_z} \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Bilateral
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

2,92
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	6

Tabla Anexo 1.33 Restricciones Escenario 17

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 17:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	54	41.875	1	22	1	5
200	67	44.833	1	33	1	6
500	94	55.083	1	54	2	6
1.000	125	72.167	1	83	2	6
2.000	171	199.000	2	150	2	6
10.000	171	724.000	8	150	2	6
100.000	171	6.651.500	73	150	2	6

Tabla Anexo 1.34 Tabla Resumen Escenario 17

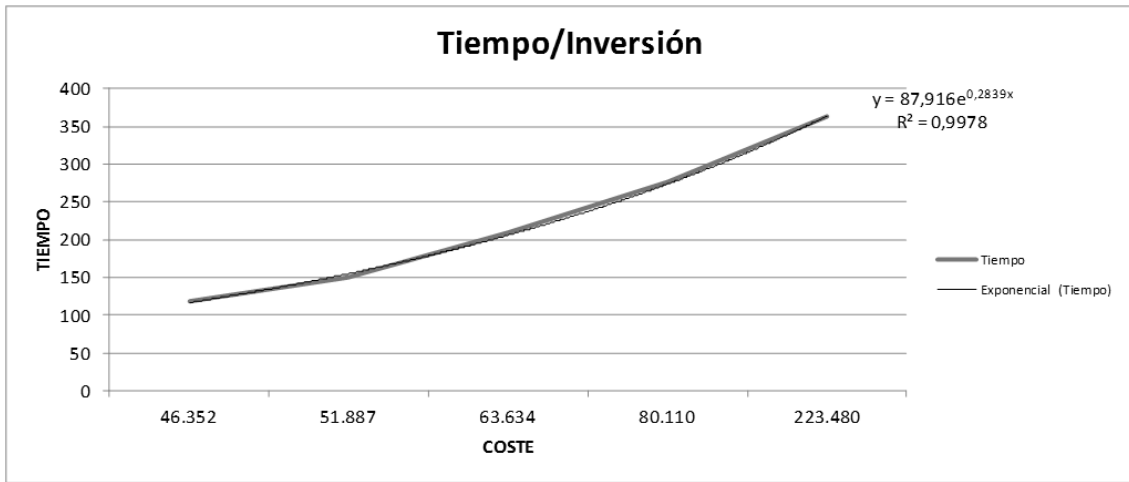


Figura Anexo 1.17 Tiempo/Inversión Escenario 17

En este escenario, la profundidad varía a partir de 500 palets, siendo esta de 2 palets de profundidad. Aparecen también un mayor número de pasillos, llegando asimismo la altura de estos hasta 6 niveles.

### 18. Decimoctavo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretilla bilateral y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Bilateral
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

2,92
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

convencionales
----------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	6

Tabla Anexo 1.35 Restricciones Escenario 18

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 18:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	42.321	1	27	1	4
200	59	45.283	1	39	1	5
500	80	55.083	1	67	1	6
1.000	105	72.167	1	94	2	6
2.000	135	199.000	2	150	2	6
10.000	135	724.000	8	150	2	6
100.000	135	6.651.500	73	150	2	6

Tabla Anexo 1.36 Tabla Resumen Escenario 18

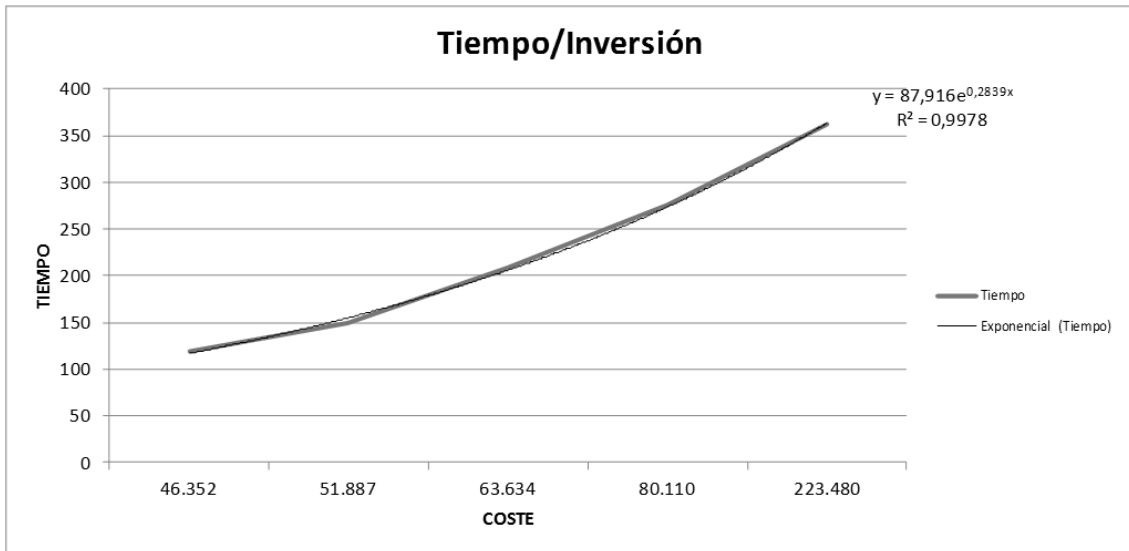


Figura Anexo 1.18 Tiempo/Inversión Escenario 18

En este escenario, la profundidad varía a partir de 500 palets, siendo esta de 2 palets de profundidad. Aparecen también un mayor número de pasillos, llegando asimismo la altura de estos hasta 6 niveles. Mejoran los tiempos de extracción respecto a la misma combinación pero con ubicación aleatoria (escenario 17).



## 19 Decimonoveno escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretilla trilateral. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Trilateral
------------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,8
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Pasillo estrecho
------------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La altura máxima está definida por el medio de manutención estudiado, en este escenario es la carretilla trilateral, por lo que la altura máxima es de 9 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	9

Tabla Anexo 1.37 Restricciones Escenario 19

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 19:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	54	122.129	1	22	1	4
200	66	125.010	1	32	1	6
500	90	133.305	1	45	1	9
1.000	114	148.578	1	63	2	9
2.000	152	179.156	1	111	2	9
10.000	178	348.800	5	150	2	9
100.000	178	9.233.440	49	150	2	9

Tabla Anexo 1.38 Tabla Resumen Escenario 19

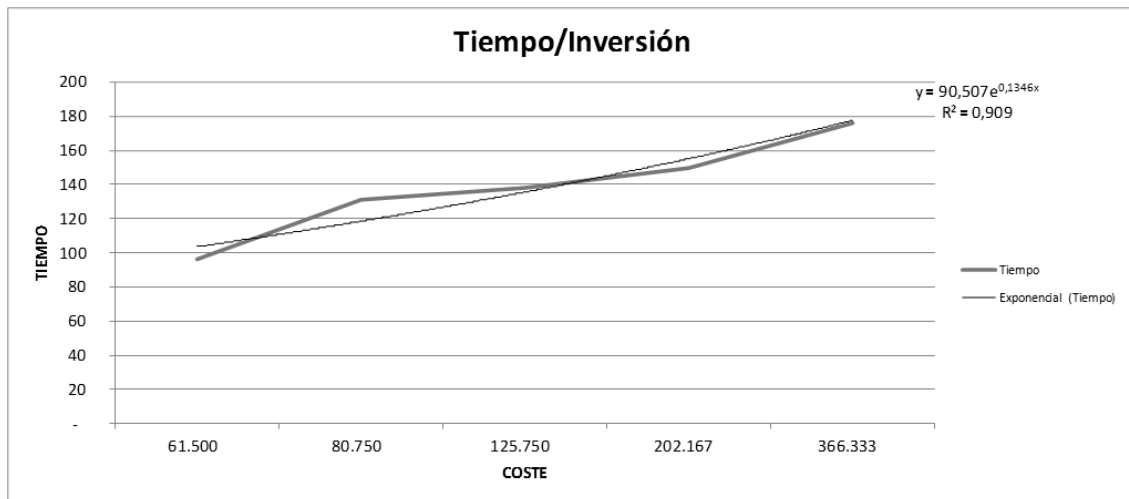


Figura Anexo 1.19 Tiempo/Inversión Escenario 19

En las tablas anteriores podemos observar que los tiempos de extracción para elevado número de palets es relativamente bajo. Por otro lado debemos destacar que aunque el resultado de la profundidad para bajo número de palets es de 1 no tendría mucho sentido utilizar este tipo de medio de almacenamiento.

## 20 Vigésimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con carretilla trilateral y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Trilateral
------------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,8
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Pasillo estrecho
------------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La altura máxima está definida por el medio de manutención estudiado, en este escenario es la carretilla trilateral, por lo que la altura máxima es de 9 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	9

Tabla Anexo 1.39 Restricciones Escenario 20

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 20:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	122.635	1	28	1	4
200	58	125.727	1	39	1	5
500	78	134.123	1	60	1	8
1.000	98	148.578	1	78	1	9
2.000	126	179.156	1	111	2	9
10.000	143	948.800	5	150	2	9
100.000	143	9.233.440	49	150	2	9

Tabla Anexo 1.40 Tabla Resumen Escenario 20

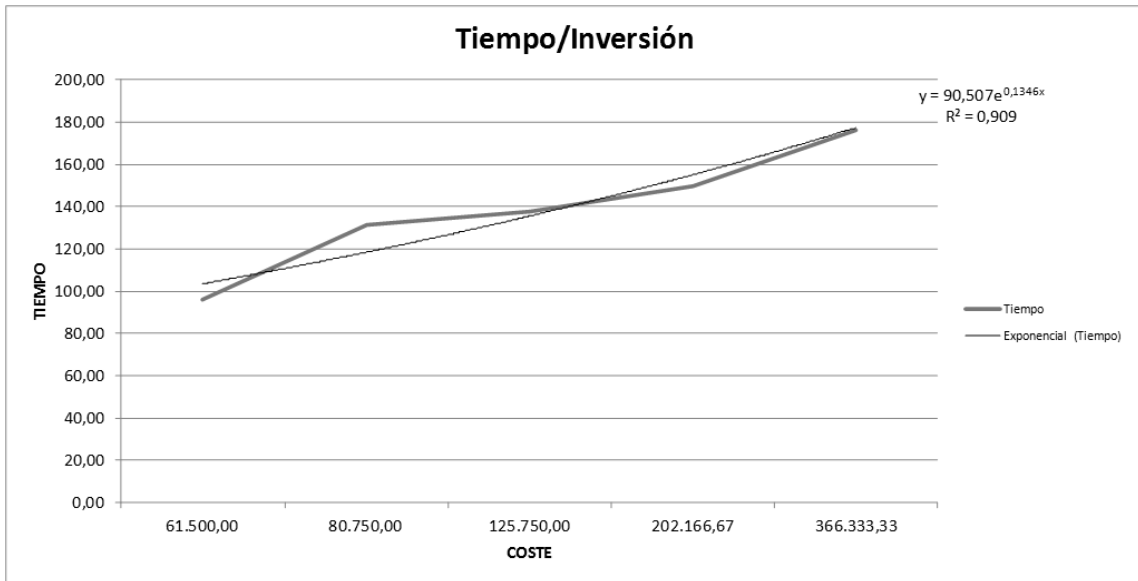


Figura Anexo 1.20 Tiempo/Inversión Escenario 20

En las tablas anteriores se puede observar que los tiempos de extracción para elevado número de palets es relativamente bajo. Por otro lado, destaca que aunque el resultado de la profundidad para bajo número de palets es de 1 no tendría mucho sentido utilizar este tipo de medio de almacenamiento. La inversión varía respecto a la misma opción anterior al igual que las longitudes de pasillos, ya que ahora la gestión es aleatoria por zonas.

## 21. Vigésimoprimer escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con transelevador. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Transelevador
---------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,2
-----

Velocidad vertical (m/s):

1,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencional
--------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La altura máxima está definida por el medio de mantenimiento estudiado, en este escenario los transelevadores, por lo que la altura máxima es de 36 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	36

Tabla Anexo 1.41 Restricciones Escenario 21

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 21:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	43	270.602	1	20	1	5
200	50	280.307	1	24	1	8
500	66	301.595	1	44	1	11
1.000	83	332.959	1	58	1	15
2.000	104	389.942	1	73	1	19
10.000	178	742.236	1	124	2	33
100.000	178	6.373.600	9	150	3	36

Tabla Anexo 1.42 Tabla Resumen Escenario 21



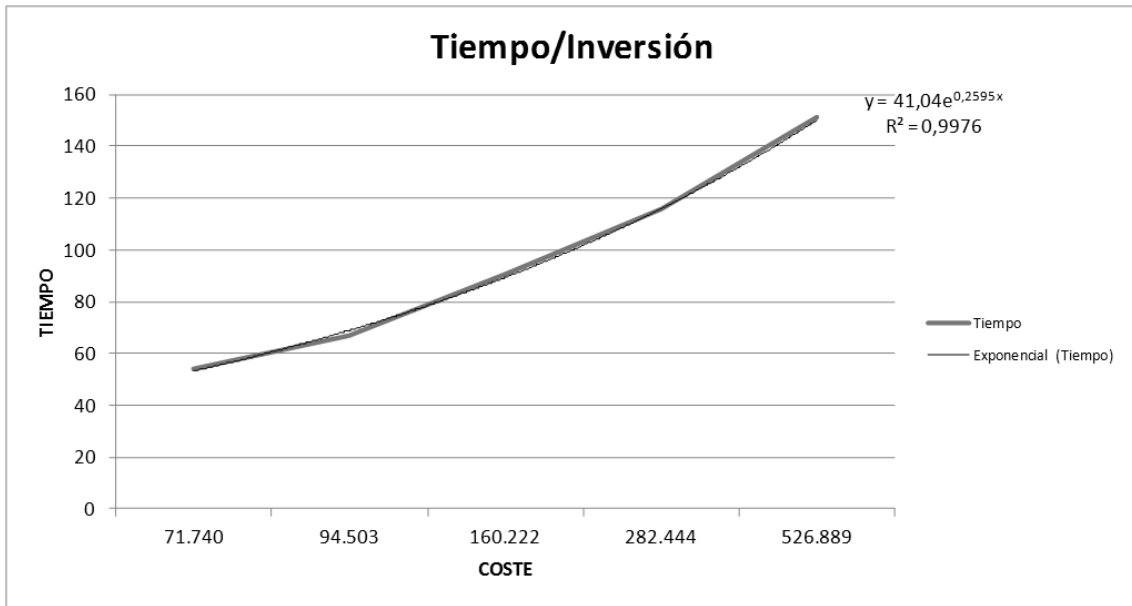


Figura Anexo 1.21 Tiempo/Inversión Escenario 21

A la vista de los resultados se observa como la altura aumenta con el número de palets. En este escenario la mejor opción es profundidad 1 para bajo número de palets y 2 para mayor número. Para necesidades de almacenamiento cercanas a los 100.000 palets, el número de pasillo llega hasta 9.

## 22. Vigésimosegundo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con transelevador y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Transelevador
---------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,2
-----

Velocidad vertical (m/s):

1,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Convencional
--------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La altura máxima está definida por el medio de manutención estudiado, en este escenario los transelevadores, por lo que la altura máxima es de 36 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	36

Tabla Anexo 1.43 Restricciones Escenario 22

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 22:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	39	275.028	1	24	1	4
200	45	286.567	1	34	1	6
500	58	311.494	1	54	1	9
1.000	72	342.824	1	76	1	13
2.000	90	405.229	1	97	1	17
10.000	154	770.918	1	150	2	30
100.000	154	6.373.600	9	150	3	36

Tabla Anexo 1.44 Tabla Resumen Escenario 22

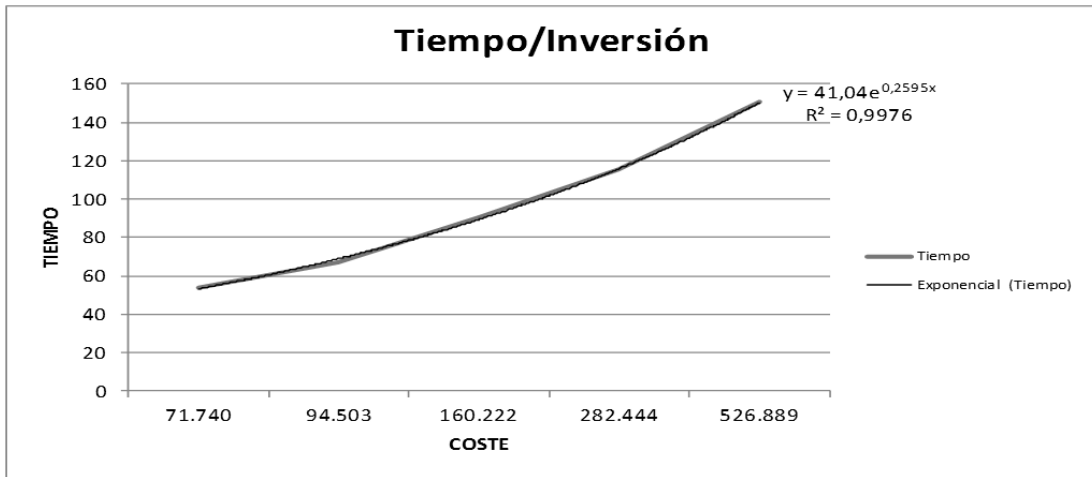


Figura Anexo 1.22 Tiempo/Inversión Escenario 22

A la vista de los resultados se observa como la altura aumenta con el número de palets. En este escenario la mejor opción es profundidad 1 para bajo número de palets y 2 para mayor número. Para necesidades de almacenamiento cercanas a los 100.000 palets, el número de pasillo llega hasta 9. Con la gestión aleatoria por zonas mejoran los tiempos de extracción.

### 23. Vigésimotercer escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías compactas con carretilla retráctil. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Compacta
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La altura máxima está definida por el medio de manutención estudiado, en este escenario es la carretilla retráctil, por lo que la altura máxima es de 9 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	2	1	9

Tabla Anexo 1.45 Restricciones Escenario 23

Se ha variado el número de palets y productos por referencia que se necesita almacenar, para realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 23:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	76	42.397	1	11	1	9
200	83	46.795	1	22	1	9
500	106	59.988	1	56	1	9
1.000	143	81.977	1	111	1	9
2.000	169	194.740	2	150	1	9
10.000	169	892.700	10	150	1	9
100.000	169	8.553.890	97	150	1	9
<b>18 productos por referencia</b>						
100	61	45.337	1	34	1	3
200	76	48.274	1	32	1	6
500	103	63.709	1	59	1	6
1.000	129	82.597	1	65	2	9
2.000	167	125.955	1	111	2	9
10.000	193	702.700	5	150	2	9
100.000	193	6.789.260	49	150	2	9
<b>27 productos por referencia</b>						
100	61	45.337	1	34	1	3
200	76	48.274	1	32	1	6
500	103	63.709	1	59	1	6
1.000	129	82.597	1	65	2	9
2.000	164	125.955	1	89	2	9
10.000	217	742.940	4	150	3	9
100.000	217	6.065.020	32	150	3	9

Tabla Anexo 1.46 Tabla Resumen Escenario 23

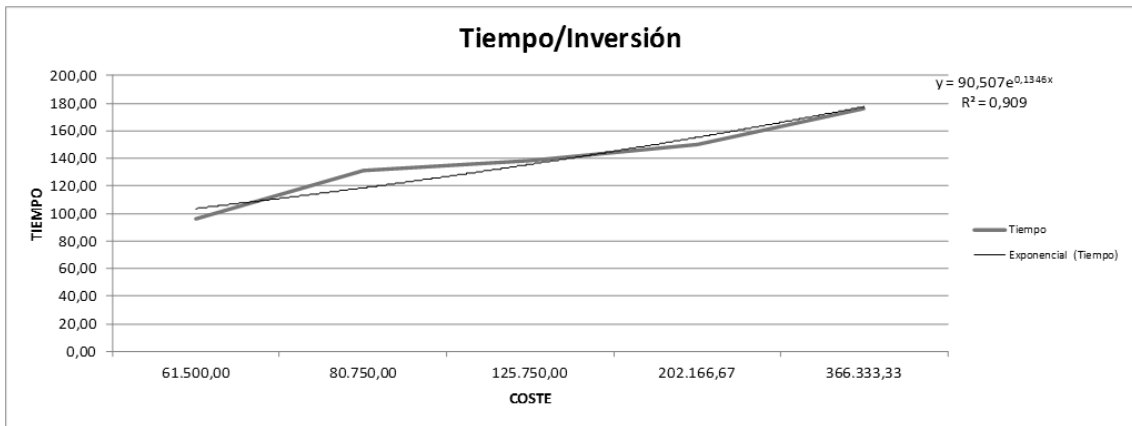


Figura Anexo 1.23 Tiempo/Inversión Escenario 23

Únicamente se ha representado la experimentación con 9 productos por referencia, al ser el resto de representaciones similares a la mostrada, no aportando mayor información que la que este gráfico ofrece. En los resultados se observa como la profundidad y altura aumentan con el número de palets diferentes. El tiempo de extracción en los escenarios estudiados con el medio de almacenamiento de las estanterías compactas viene marcado por el medio de manutención estudiado, de esta forma con la carretilla retráctil es la única opción posible. Variando el número de productos por referencia, se ha podido observar que la estantería compacta es un medio de almacenamiento para pocas referencias pero grandes cantidades de cada una de ellas.

## 24. Vigésimocuarto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías compactas con carretilla retráctil y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria  
por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Compacta
----------



Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La altura máxima está definida por el medio de manutención estudiado, en este escenario es la carretilla retráctil, por lo que la altura máxima es de 9 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	3	1	9

Tabla Anexo 1.47 Restricciones Escenario 24

Se ha variado el número de palets y se ha experimentado con 27 productos por referencia, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 24:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	53	45.193	1	33	1	3
200	68	52.458	1	67	1	3
500	89	63.602	1	68	1	6
1.000	113	82.376	1	72	2	9
2.000	141	125.956	1	111	2	9
10.000	182	742.940	4	150	3	9
100.000	182	6.065.020	32	150	3	9

Tabla Anexo 1.48 Tabla Resumen Escenario 24

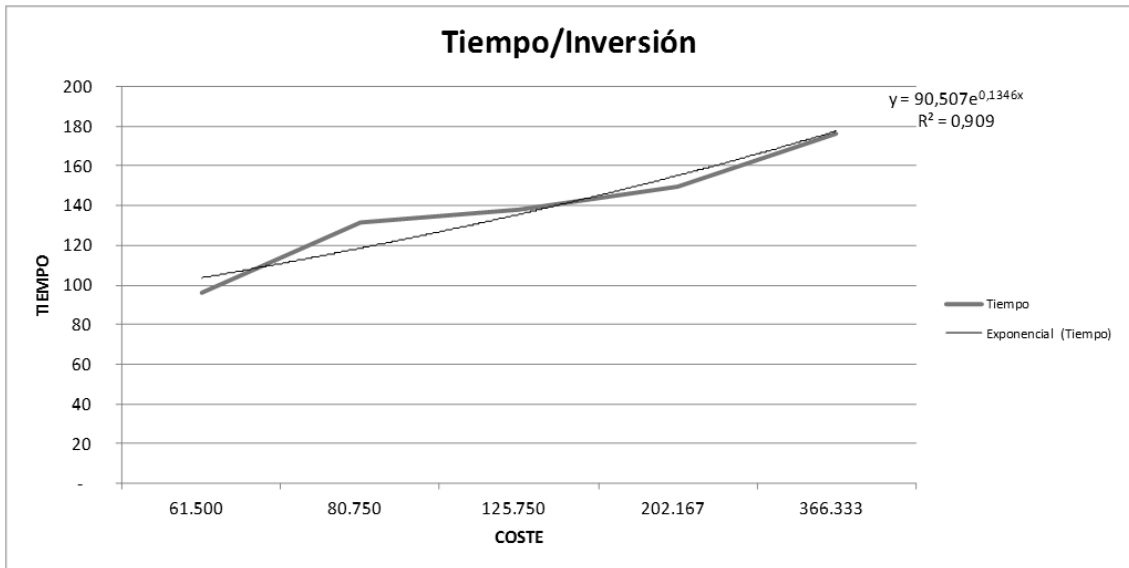


Figura Anexo 1.24 Tiempo/Inversión Escenario 24

A la vista de los resultados se observa como la profundidad y altura aumentan con el número de palets. Para bajo número de palets, entre 100 y 2000 cambia tanto la inversión como la profundidad de las estanterías en comparación con el mismo escenario pero con ubicación aleatoria. Igualmente, el comportamiento de este medio de almacenamiento con un número elevado de productos por referencia mejora notablemente respecto a un número más bajo.

## 25. Vigésimoquinto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla contrapesada. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Contrapesada
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,72
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámica
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets.

La altura máxima está definida por el medio de mantenimiento estudiado, en este escenario es la carretilla contrapesada, por lo que la altura máxima es de 3 alturas.

Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150	1	22	1	3

Tabla Anexo 1.49 Restricciones Escenario 25

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 25:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	57.193	1	33	1	3
200	62	76.387	1	61	1	3
500	92	133.967	1	97	2	3
1.000	129	229.933	1	137	2	3
2.000	180	421.867	1	150	4	3
10.000	180	1.957.333	1	150	22	3
100.000	180	22.388.129	14	150	22	3

Tabla Anexo 1.50 Tabla Resumen Escenario 25

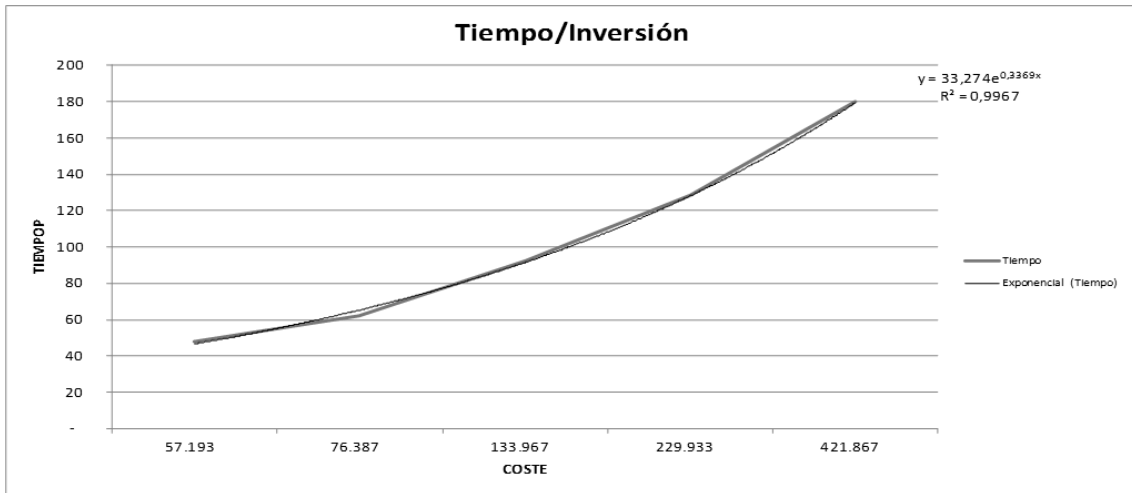


Figura Anexo 1.25 Tiempo/Inversión Escenario 25

El tiempo de extracción es rápido por la velocidad de la carretilla contrapesada. Sin embargo, para cantidades elevadas, superiores a los 2.000 palets, el tiempo aumenta considerablemente, siendo grandes las distancias a recorrer. Respecto a la inversión es elevada, dado el alto coste de este tipo de estanterías.

## 26. Vigésimosexto escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla contrapesada y con gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria  
por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Contrapesada
--------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,7
-----

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámica
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets. La altura máxima está definida por el medio de manutención estudiado, en este escenario es la carretilla contrapesada, por lo que la altura máxima es de 3 alturas.

Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	22	1	3

Tabla Anexo 1.51 Restricciones Escenario 26

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 26:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	43	57.369	1	35	1	3
200	52	76.387	1	67	1	3
500	77	133.967	1	120	1	3
1.000	104	229.933	1	150	2	3
2.000	158	421.867	1	150	4	3
10.000	158	5.731.333	1	150	22	3
100.000	158	22.678.960	14	150	22	3

Tabla Anexo 1.52 Tabla Resumen Escenario 26

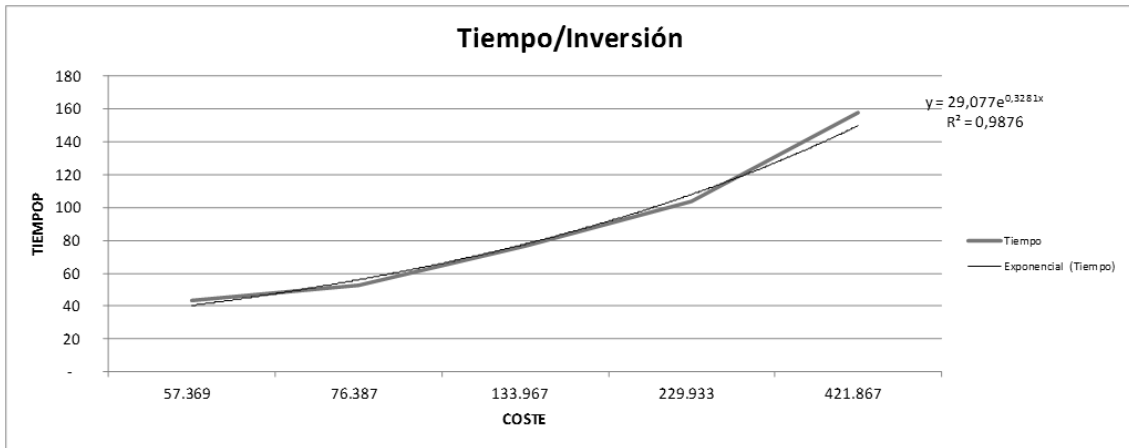


Figura Anexo 1.26 Tiempo/Inversión Escenario 26

Los resultados obtenidos en el escenario 26 son muy similares a los obtenidos en el escenario 25, aunque los tiempos son menores ya que la gestión aleatoria por zonas mejora los tiempos de extracción, como se ha comprobado en todas las experimentaciones anteriores.



## 27. Vigésimoséptimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla retráctil. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámicas
-----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets, y la altura máxima es de 9 palets. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	22	1	9

Tabla Anexo 1.53 Restricciones Escenario 27

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 27:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	61	56.445	1	27	1	4
200	76	72.993	1	38	1	5
500	103	122.196	1	51	1	7
1.000	129	202.598	1	65	2	9
2.000	164	365.956	1	89	2	9
10.000	323	1.677.778	1	150	7	9
100.000	323	20.085.700	5	150	22	9

Tabla Anexo 1.54 Tabla Resumen Escenario 27

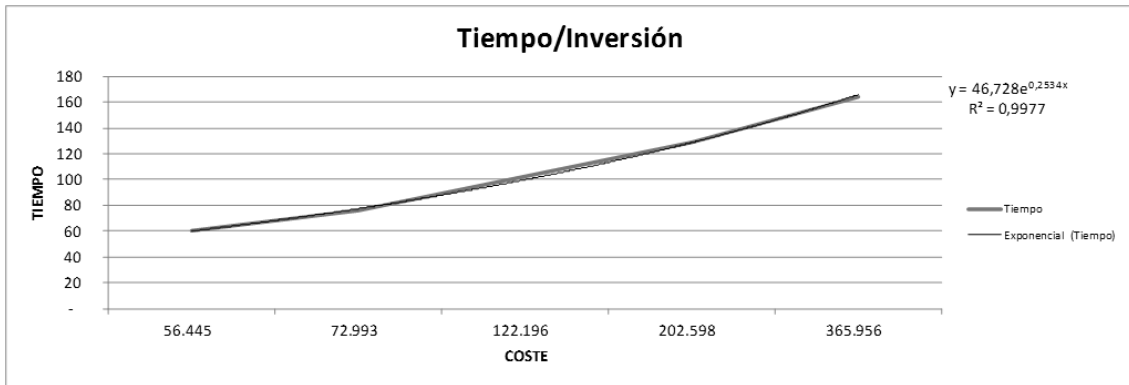


Figura Anexo 1.27 Tiempo/Inversión Escenario 27

A raíz de los datos obtenidos se puede observar que desde un número bajo de palets la altura es baja y para un número más elevado lo adecuado es alcanzar el número máximo de alturas (9 alturas). En el caso de la profundidad, interesa utilizar la máxima profundidad para un número más elevado de palets (100.000) y 2 palets de profundidad para un número de palets inferior o igual a 2.000.

## 28. Vigésimoctavo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla retráctil y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria  
por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

retráctil
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,4
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

2,7
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámicas
-----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets y la altura máxima la fija la carretilla retráctil que puede llegar hasta 9 palets. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	-	1	9

Tabla Anexo 1.55 Restricciones Escenario 28

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 28:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	54	57.265	1	34	1	3
200	66	74.032	1	48	1	4
500	89	123.602	1	68	1	6
1.000	112	204.830	1	86	2	7
2.000	141	365.956	1	111	2	9
10.000	288	1.677.778	1	150	7	9
100.000	288	20.085.700	5	150	22	9

Tabla Anexo 1.56 Tabla Resumen Escenario 28

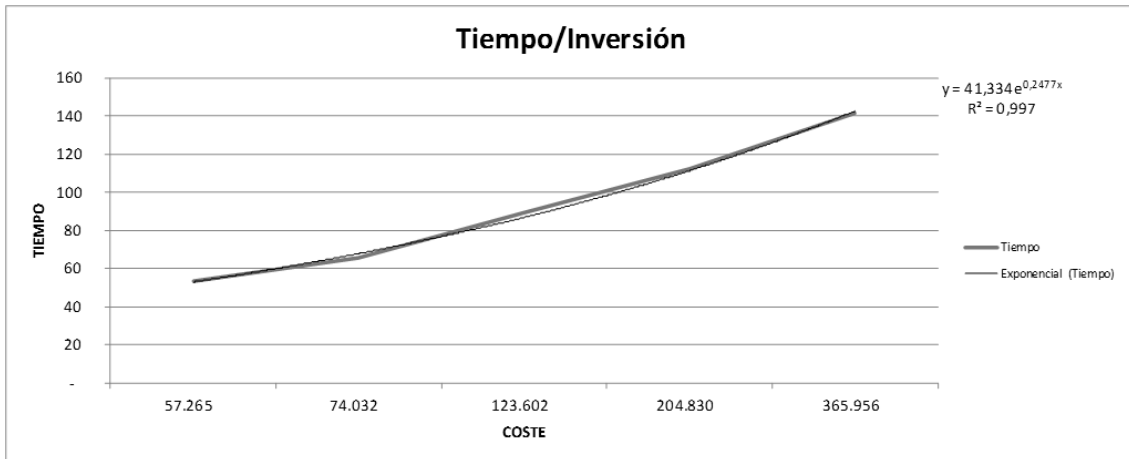


Figura Anexo 1.28 Tiempo/Inversión Escenario 28

En los datos obtenidos se puede observar que para un número bajo de palets no se alcanza la altura máxima que se alcanza a partir de 1.000 palets. En el caso de la profundidad, interesa utilizar mayor profundidad para un número más elevado de palets, a partir de 10.000. Los costes son elevados y los tiempos de extracción mínimamente por debajo de los obtenidos con el anterior escenario.

## 29. Vigésimonoveno escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla bilateral. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Bilateral
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

2,91
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámicas
-----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

<b>longitud</b>		<b>profundidad</b>		<b>altura</b>	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	22	1	6

Tabla Anexo 1.57 Restricciones Escenario 29

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en relación al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 29:**

<b>nº palets</b>	<b>Tiempo ciclo (s)</b>	<b>€</b>	<b>Nº pasillos</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>profundidad</b>	<b>altura</b>
100	96	61.500	1	100	1	1
200	131	80.750	1	150	1	1
500	138	125.750	1	150	1	3
1.000	150	202.167	1	150	1	6
2.000	176	366.333	1	150	2	6
10.000	390	1.679.667	1	150	11	6
100.000	390	20.368.000	8	150	22	6

Tabla Anexo 1.58 Tabla Resumen Escenario 29



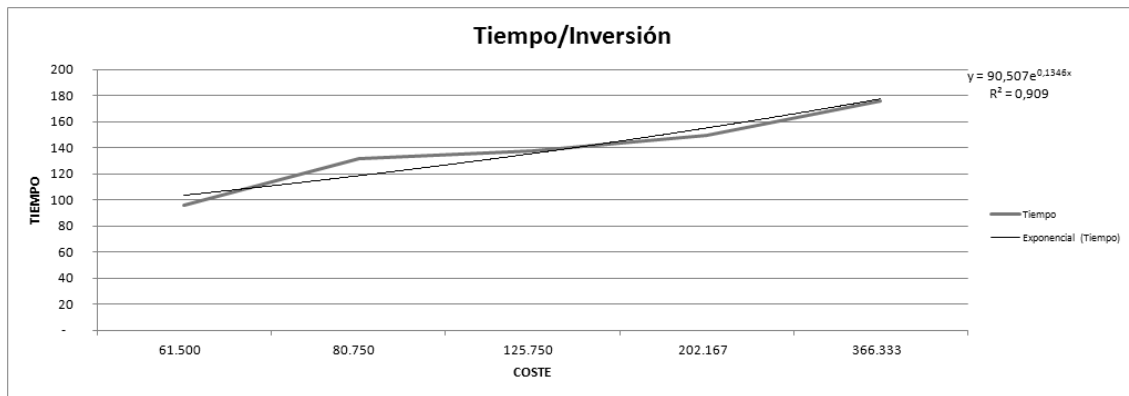


Figura Anexo 1.29 Tiempo/Inversión Escenario 29

Como se ve en los resultados, con la carretilla de bilateral el tiempo de extracción se reduce al tener velocidad más elevada. Los tiempos de extracción son mejores que con la carretilla retráctil para un número de palets por debajo de 10.000.

### 30. Trigésimo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla bilateral y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Bilateral
-----------

Velocidad horizontal (m/s):

2,91
------

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,5
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámicas
-----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	22	1	6

Tabla Anexo 1.59 Restricciones Escenario 30

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 30:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	55.320	1	27	1	4
200	59	71.281	1	39	1	5
500	80	120.083	1	67	1	6
1.000	105	202.167	1	95	2	6
2.000	140	366.333	1	134	2	6
10.000	354	1.679.667	1	150	11	6
100.000	354	20.368.000	8	150	22	9

Tabla Anexo 1.60 Tabla Resumen Escenario 30

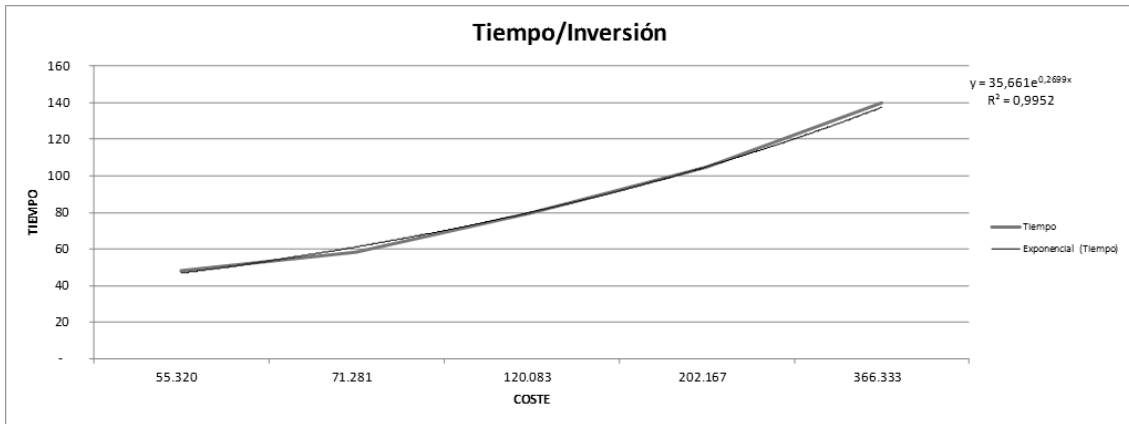


Figura Anexo 1.30 Tiempo/Inversión Escenario 30

Como se ve en los resultados, con la carretilla bilateral y la gestión aleatoria por zonas, el tiempo de extracción se reduce. Los tiempos de extracción son mejores que con la carretilla retráctil para un número de palets por debajo de 10.000. Respecto al escenario anterior, la ubicación aleatoria por zonas mejora los tiempos de extracción.

### 31. Trigésimo primer escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla trilateral. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Profundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Trilateral
------------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,8
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámica
----------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets. La carretilla bilateral puede alcanzar una altura de 6 palets. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	22	1	6

Tabla Anexo 1.61 Restricciones Escenario 31

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 31:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	54	55.129	1	22	1	4
200	66	71.173	1	33	1	6
500	93	120.933	1	55	2	6
1.000	123	203.867	1	77	2	6
2.000	166	369.733	1	110	3	6
10.000	387	1.696.667	1	150	11	6
100.000	387	20.637.280	8	150	22	6

Tabla Anexo 1.62 Tabla Resumen Escenario 31

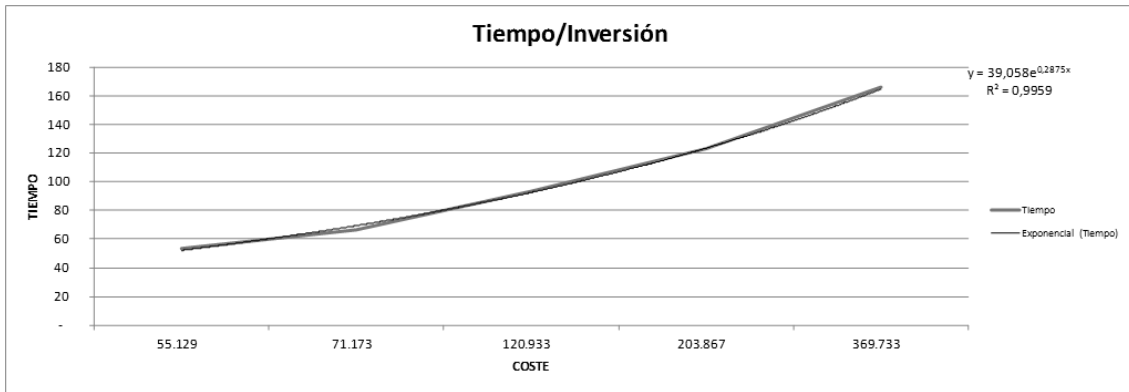


Figura Anexo 1.31 Tiempo/Inversión Escenario 31

Las tablas resumen nos muestran los resultados obtenidos en este escenario. Se comprueba que para bajo número de palets no tiene mucho sentido utilizar este tipo de combinación ya que el uso de estantería dinámica está más indicado para un número elevado de palets.

### 32. Trigésimo segundo escenario de experimentación

Descripción formal: En este escenario se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de manutención y almacenaje de estanterías dinámicas con carretilla trilateral y gestión aleatoria por zonas. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. Con todo esto se obtendrán los resultados representados en una gráfica tiempo/coste, que nos permitirá obtener la ecuación que define la tendencia de cualquier modelo en el que se varíen los parámetros de diseño, pero se mantenga la misma combinación de tecnologías. El modelo de experimentación es el siguiente:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

100-100.000
-------------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o aleatoria por zonas

Aleatoria por zonas
---------------------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Trilateral
------------

Velocidad horizontal (m/s):

3
---

Velocidad vertical (m/s):

0,6
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,8
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Dinámica
----------



Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se delimita para que el modelo adopte una solución real. La profundidad está delimitada a 22 palets. La carretilla bilateral puede alcanzar una altura de 6 palets. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

longitud		profundidad		altura	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	150 m	1	22	1	6

Tabla Anexo 1.63 Restricciones Escenario 32

Se ha variado el número de palets que se necesita almacenar, para poder realizar diferentes comparativas, obteniendo los resultados que se muestran a continuación en cuanto al tiempo de ciclo necesario y la inversión necesaria:

**TABLA RESUMEN ESCENARIO 32:**

nº palets	Tiempo ciclo (s)	€	Nº pasillos	Longitud (m)	profundidad	altura
100	48	55.635	1	28	1	4
200	58	71.727	1	39	1	5
500	79	120.933	1	68	1	6
1.000	103	203.867	1	96	2	6
2.000	138	369.733	1	136	2	6
10.000	352	1.696.667	1	150	11	6
100.000	352	20.637.280	8	150	22	6

Tabla Anexo 1.64 Tabla Resumen Escenario 32

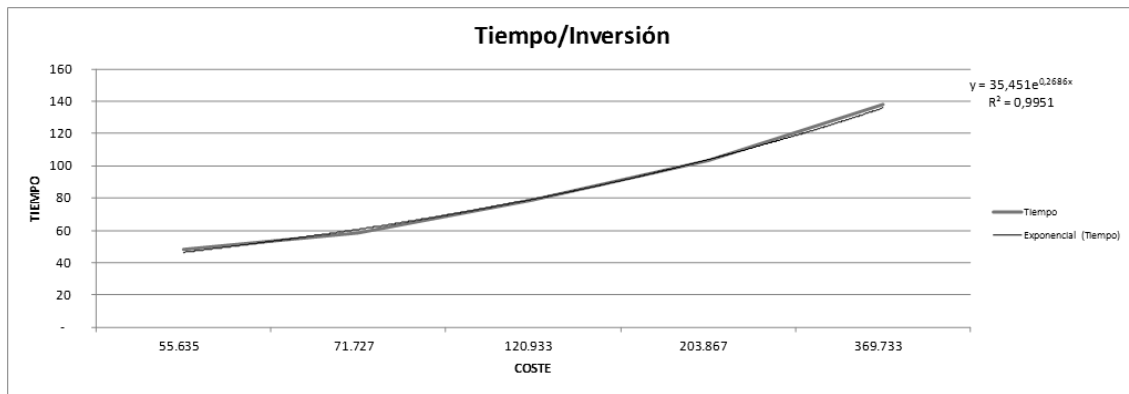


Figura Anexo 1.32 Tiempo/Inversión Escenario 32

En ubicación aleatoria por zonas, se disminuyen los tiempos de extracción, aunque para valores altos, más de 10.000 sube la inversión a realizar y la profundidad es igual o superior a 6 palets.

**ANEXO II. Datos reales analizados**

**Análisis ABC y Stocks Máximos y Mínimos**

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos	
1210	BOTA PLANA	36/41 BOTA PLANA	19.316	80,18%	207,00	54,62%	A
1211	BOTA PLANA	36/41 BOTA PLANA II	19.316				A
1212	BOTA PLANA	36/41 BOTA SPORT	19.316				A
1347	BOTA PLANA	35/41 BOTA COWBOY SP	19.316				A
1348	BOTA PLANA	36/41 BOTA SPORT NOR	19.316				A
1200	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON	19.316				A
1201	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON BASIC	19.316				A
1202	BOTA TACON	36/41*BOTA HEBILLAS	19.316				A
1203	BOTA TACON	36/41 BOTA TEJIDO	19.316				A
1205	BOTA TACON	36/41 BOTO BASIC	19.316				A
1206	BOTA TACON	36/41 BOTA SERRAJE GRABADA	19.316				A
1360	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON BASIC	19.316				A
1221	BOTIN TACON	36/41*BOTIN PICADOS	19.316				A
1222	BOTIN TACON	36/41 BOTIN PICADOS II	19.316				A
1223	BOTIN TACON	36/41 BOTIN COSTURAS	19.316				A
1224	BOTIN TACON	36/41 BOTIN BASIC	19.316				A
1225	BOTIN TACON	36/41 BOTIN ADORNO	19.316				A
1226	BOTIN TACON	36/41 BOTIN PLANO TR	19.316				A
1227	BOTIN TACON	36/41 BOTIN ANTE BASIC	19.316				A
1343	BOTIN TACON	36/41 BOTIN CUÑA PT	19.316				A
1306	CUÑAS	36/41 CUÑA VESTIR	19.316				A
1307	CUÑAS	36/41 CUÑA FLOR	19.316				A
1309	CUÑAS	36/41 CUÑA ATADA	19.316				A
1303	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO BASICO	19.316				A
1259	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO ANTIFAZ	19.316				A
1260	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO COMBINADO	19.316				A
1261	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO ANTE	19.316				A
1262	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO COMBINADO II	19.316				A
1263	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO NOBUCK	19.316				A
1339	ESCLAVA	36/41 ESCLAVA CUÑA SP	19.316				A
1341	ESCLAVA	36/41 ESCLAVA STRASS SP	19.316				A
1350	PALA/PINKY	35/41 PINKY ADORNO SP	19.316				A
1355	PALA/PINKY	35/41 PALA Y TALON BOTON MX	19.316				A
1285	SANDALIA	35/41 SANDALIA FLOR	19.316	A			
1287	SANDALIA	36/41 SANDALIA TALON	19.316	A			
1288	SANDALIA	36/41 SANDALIA TALON COMBINADA	19.316	A			
1289	SANDALIA	36/41 SANDALIA ANTE FLOR	19.316	A			

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos	
1290	SANDALIA	36/41 SANDALIA HEBILLA	19.316				A
1291	SANDALIA	36/41 SANDALIA TEJIDO ATADA	19.316				A
1292	SANDALIA	36/41 SANDALIA BORLAS	19.316				A
1300	SANDALIA	36/41 SANDALIA COCTEL	19.316				A
1301	SANDALIA	36/41 SANDALIA FIESTA	19.316				A
1340	SANDALIA	35/41 SANDALIA NOCHE ADORNO SP	19.316				A
1342	SANDALIA	36/41 SANDALIA ADORNO SP	19.316				A
1349	SANDALIA	36/41 SANDALIA TIRAS SP	19.316				A
1370	SANDALIA	36/41 SANDALIA TEJIDO ATADA	19.316				A
1399	UNIFORME	36/41 UNIFORME SEÑORA	19.316				A
1398	UNIFORME	36/41 UNIFORME ZARA SEÑORA II	19.316				A
1270	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN ANTE	19.316				A
1271	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN TACOS	19.316				A
1272	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN TACOS II	19.316				A
1273	ZAPATO PLANO	36/41 BAILARINA ANTE	19.316				A
1274	ZAPATO PLANO	36/41 SALON KIOWA	19.316				A
1275	ZAPATO PLANO	36/41 SALON TEJANO	19.316				A
1276	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN VESTIR	19.316				A
1277	ZAPATO PLANO	36/41 SALON LAZO	19.316				A
1278	ZAPATO PLANO	36/41 SALON PLANO PICADOS	19.316				A
1279	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACOS III	19.316				A
1281	ZAPATO PLANO	35/41 MOCASIN HEBILLA	19.316				A
1282	ZAPATO PLANO	36/41 SALON PLANO PICADOS II	19.316				A
1345	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN SERRAJE	19.316				A
1369	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACOS	19.316				A
1244	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN FLECOS	19.316				A
1245	ZAPATO TACON	36/41 MERCEDES TACON BOTON	19.316				A
1246	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN ANTIFAZ	19.316				A
1247	ZAPATO TACON	36/41 SALON BOTON	19.316				A
1248	ZAPATO TACON	36/41*SALON VESTIR BASIC	19.316				A
1249	ZAPATO TACON	36/41 SALON ABIERTO BASIC	19.316				A
1251	ZAPATO TACON	36/41 SALON HEBILLA	19.316				A
1252	ZAPATO TACON	36/41 SALON VESTIR BASIC	19.316				A
1254	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON FLECOS	19.316				A
1255	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON FIESTA	19.316				A
1256	ZAPATO TACON	36/41*PALA Y TALON COPETE	19.316				A
1257	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON COSTURAS	19.316				A
1258	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON PLANO	19.316				A
1374	ZAPATO TACON	36/41 SALON VESTIR BASIC	19.316				A
1428	ZAPATO TACON	36/41 SALON ROCK AND ROLL	19.316				A

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos	
1265	ZUECO	36/41 ZUECO LAZO	19.316				A
1266	ZUECO	36/41 ZUECO COSIDO	19.316				A
1356	ZUECO	36/41 ZUECO DESTALONADO MX	19.316				A
1358	ZUECO	36/41 ZUECO TACON MX	19.316				A
1006	BOTA PLANA	36/41 BOTA PLANA	13.331				A
1000	BOTA TACON	36/41 BOTA SERPIENTE	13.331				A
1002	BOTA TACON	36/41 BOTA PLATAFORMA	13.331				A
1003	BOTA TACON	36/41 BOTA PITON	13.331				A
1004	BOTA TACON	36/41*BOTA WOMAN	13.331				A
1005	BOTA TACON	36/41 BOTA BASICA	13.331				A
1007	BOTA TACON	36/41 BOTA COCO	13.331				A
1012	BOTIN TACON	36/41*BOTIN WOMAN	13.331				A
1013	BOTIN TACON	36/41 BOTIN BASICO	13.331				A
1014	BOTIN TACON	36/41*BOTIN WOMAN ANTE	13.331				A
1015	BOTIN TACON	36/41 BOTIN COCO	13.331				A
1034	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO WOMAN	13.331				A
1035	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO TACON	13.331				A
1037	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO LAZO	13.331				A
1038	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO LAZO II	13.331				A
1051	PALA/PINKY	36/41 PINKY LAZO	13.331				A
1018	SANDALIA	36/41 SANDALIA PLATAFORMA RASO	13.331				A
1052	SANDALIA	36/41 SANDALIA BASICA	13.331				A
1053	SANDALIA	36/41 PINKI TIRAS	13.331				A
1054	SANDALIA	36/41 SANDALIA HEBILLAS COCO	13.331				A
1055	SANDALIA	36/41 SANDALIA LAZO WOMAN	13.331				A
1057	SANDALIA	36/41 SANDALIA RASO	13.331				A
1058	SANDALIA	36/41 SANDALIA NOCHE PULSERA	13.331				A
1059	SANDALIA	36/41 SANDALIA PLATAFORMA ADORNO	13.331				A
1074	SANDALIA	36/41 SANDALIA NOCHE EMPEINE SP	13.331				A
1085	SANDALIA	36/41 SANDALIA NOCHE TR	13.331				A
1039	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN PUNTA ANTE	13.331				A
1040	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN PUNTA	13.331				A
1041	ZAPATO PLANO	36/41 SALON PLANO	13.331				A
1042	ZAPATO PLANO	36/41 BAILARINA BORLA	13.331				A
1043	ZAPATO PLANO	36/41 BAILARINA PICADOS	13.331				A
1044	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACON PICADOS	13.331				A
1021	ZAPATO TACON	36/41 PEEP TOE TACON	13.331				A
1022	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN TACON LAZO	13.331				A
1023	ZAPATO TACON	36/41 SALON PULSERA PICADOS	13.331				A

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos
1024	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN FESTON TACON	13.331			A
1025	ZAPATO TACON	36/41 SALON TACON ADORNO	13.331			A
1026	ZAPATO TACON	36/41 SALON WOMAN	13.331			A
1027	ZAPATO TACON	36/41 SALON WOMAN COCO	13.331			A
1028	ZAPATO TACON	36/41 SALON ABIERTO	13.331			A
1029	ZAPATO TACON	36/41 SALON VESTIR PITON	13.331			A
1030	ZAPATO TACON	36/41 SALON COPETE	13.331			A
1031	ZAPATO TACON	36/41*PALA Y TALON CALADO	13.331			A
1032	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON COMBINADO	13.331			A
1033	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON VESTIR	13.331			A
1036	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON FESTON	13.331			A
1045	ZAPATO TACON	36/41 PEEP TOE TACON LAZO	13.331			A
1406	BOTA PLANA	36/41 BOTA WINTER	10.670			A
1407	BOTA PLANA	35/41 BOTA PLANA COSTURAS	10.670			A
1408	BOTA PLANA	36/41 BOTA SERRAJE	10.670			A
1401	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON TRF	10.670			A
1402	BOTA TACON	35/41 BOTO CAMPERO	10.670			A
1403	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON SERRAJE	10.670			A
1404	BOTA TACON	36/41*BOTA SERRAJE ANILLAS	10.670			A
1405	BOTA TACON	36/41 BOTA COWBOY	10.670			A
1411	BOTIN TACON	36/41 BOTIN TRF	10.670			A
1412	BOTIN TACON	36/41 BOTIN VUELTO	10.670			A
1414	BOTIN TACON	36/41 BOTIN TACON TRF	10.670			A
1442	CUÑAS	36/41 CUÑA TRICOLOR	10.670			A
1443	CUÑAS	36/41 CUÑA BORDADA	10.670			A
1444	CUÑAS	36/41 CUÑA PULSERA TRF	10.670			A
1435	DEPORTIVO BAILARINA	36/41 BAILARINA ELASTICOS	10.670			A
1451	DEPORTIVO BAILARINA	36/41 SALON ELASTICOS SERRAJE	10.670			A
1459	DEPORTIVO BAILARINA	36/41 MERCEDES TRF	10.670			A
1452	DEPORTIVO BOTIN	36/41 BOTA DEPORTIVA	10.670			A
1453	DEPORTIVO BOTIN	36/41 BOTIN DEPORTIVO PUNTA	10.670			A
1447	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 BAMBA TENNIS	10.670			A
1454	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO CROSS	10.670			A
1455	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO PUNTA	10.670			A
1456	DEPORTIVO ZAPATO	36/41*DEPORTIVO URBANO	10.670			A
1457	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO TRF	10.670			A
1461	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO VELCRO	10.670			A
1463	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO BASICO	10.670			A
1483	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO COMIC SP	10.670			A
1427	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO TEJIDO	10.670			A

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos
1438	PALA/PINKY	36/41 PALA TEJIDO	10.670			A
1445	PALA/PINKY	36/41 PALA MADERA TACON	10.670			A
1484	PALA/PINKY	36/41 PALA TEJANA SP	10.670			A
1496	PALA/PINKY	36/41 PALA GOMA TACON TRF	10.670			A
1482	SANDALIA	36/41 SANDALIA LAZO SP	10.670			A
1432	ZAPATO PLANO	36/41 SALON GRABADO	10.670			A
1433	ZAPATO PLANO	36/41 SALON FLECOS	10.670			A
1434	ZAPATO PLANO	36/41 SALON FLOR	10.670			A
1436	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN TACOS TRF	10.670			A
1437	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACOS TRF II	10.670			A
1422	ZAPATO TACON	36/41 SALON CALADOS	10.670			A
1424	ZAPATO TACON	36/41 SALON TACON TRF	10.670			A
1425	ZAPATO TACON	36/41 MERCEDES TACON TRF	10.670			A
1426	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON PULSERA	10.670			A
3318	BOTA	32/40 BOTA ELASTICOS NIÑA	8.383			A
3319	BOTA	32/40 BOTA OXFORD NIÑA*	8.383			A
3320	BOTA	32/40 BOTA BASICA NIÑA	8.383			A
3322	BOTA	31/40 BOTA CREMALLERA NIÑA	8.383			A
3323	BOTA	31/40 BOTA ALTA CREMALLERA NIÑA	8.383			A
3324	BOTA	31/40 BOTA ALTA CREMALLERA NIÑA PAISES	8.383			A
3325	BOTA	32/40 BOTA ANILLAS NIÑAS	8.383			A
3326	BOTA	32/40 BOTA DESERT NIÑA	8.383			A
3330	BOTA	32/40 BOTA APRES SKY NIÑA	8.383			A
3331	BOTA	32/40 BOTA ELASTICOS NIÑA PAISES	8.383			A
3332	BOTA	32/40 BOTA BASICA NIÑA PAISES	8.383			A
3333	BOTA	32/40 BOTA ANILLAS NIÑA PAISES	8.383			A
3345	BOTA	32/39 BOTA COCO NIÑA	8.383			A
3359	BOTA	32/34 BOTA AGUA NIÑA MEXICO	8.383			A
3316	BOTIN	32/40 BOTIN CASUAL NIÑA	8.383			A
3310	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO TECNICO NIÑA*	8.383			A
3311	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO PIEL CHIC NIÑA	8.383			A
3312	DEPORTIVO	32/39 DEPORTIVO COLOR NIÑA	8.383			A
3313	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO BASIC NIÑA*	8.383			A
3337	HOME	32/40 ZAPATILLA CASA NIÑA*	8.383			A
3336	LLUVIA	32/36 BOTA AGUA BB NIÑA*	8.383			A
3341	SANDALIA	32/39 SANDALIA BIO NIÑA PAISES	8.383			A
3300	ZAPATO	32/40 BAILARINA SPORT NIÑA	8.383			A
3303	ZAPATO	32/36 MERCEDES BASIC NIÑA	8.383			A
3305	ZAPATO	31/40 BAILARINA CHAROL NIÑA	8.383			A

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos	
3399	ZAPATO	35/42 ZAPATO UNIFORME KC	8.383				A
3135	BASICO	24/31 BAMBA CAVAS BB NIÑA PAISES*	7.393				A
3117	BOTA	24/31 BOTA FREE BB NIÑA	7.393				A
3120	BOTA	24/31 BOTA BASICA BB NIÑA	7.393				A
3121	BOTA	24/31 BOTA KATE BB NIÑA*	7.393				A
3122	BOTA	24/31 BOTA OXFORD BB NIÑA*	7.393				A
3123	BOTA	24/31 BOTA PASADAS BB NIÑA	7.393				A
3124	BOTA	24/31 BOTA FLORES BB NIÑA	7.393				A
3125	BOTA	24/30 BOTA CREMALLERA BB NIÑA	7.393				A
3126	BOTA	24/30 BOTA COMBINADA BB NIÑA	7.393				A
3127	BOTA	24/31 BOTA APRES SKY BB NIÑA	7.393				A
3128	BOTA	24/31 BOTA BASICA BB NIÑA PAISES	7.393				A
3129	BOTA	24/31 BOTA FLORES BB NIÑA PAISES	7.393	15,01%	111	29,29%	B
3134	BOTA	24/31 BOTA CAMPERA BB NIÑA	7.393				B
3152	BOTA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑA MEXICO	7.393				B
3327	BOTA	32/39 BOTA KATE NIÑA*	7.393				B
3115	BOTIN	24/31 BOTIN LAZO BB NIÑA*	7.393				B
3116	BOTIN	24/31 BOTIN FLORES BB NIÑA*	7.393				B
3110	DEPORTIVO	MODELO NULO	7.393				B
3110	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO TECNICO BB NIÑA*	7.393				B
3111	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO PIEL CHIC BB NIÑA	7.393				B
3113	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO BASIC BB NIÑA*	7.393				B
3132	HOME	24/31 ZAPATILLA CASA BB NIÑA*	7.393				B
3130	LLUVIA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑA*	7.393				B
3136	SANDALIA	24/31 SANDALIA BIO BB NIÑA PAISES	7.393				B
3100	ZAPATO	24/31 BAILARINA SPORT BB NIÑA	7.393				B
3101	ZAPATO	24/31 BAILARINA BORLAS	7.393				B
3102	ZAPATO	24/30 BAILARINA CHAROL BB NIÑA	7.393				B
3103	ZAPATO	24/31 MERCEDES BASIC BB NIÑA	7.393				B
3060	BOTA	15/18 BOTA PANA PEUCO*	5.252				B
3064	BOTA	16/18 BOTA NAPA PICADO PEUCO	5.252				B
3067	BOTA	17/23 BOTA NAPA BABY	5.252				B
3068	BOTA	16/18 BOTA PIEL PEUCO	5.252				B
3069	BOTA	18/23 BOTA PIEL BABY	5.252				B
3072	BOTA	16/18 BOTA CREMALLERA PEUCO	5.252				B
3073	BOTA	19/23 BOTA CREMALLERA BABY	5.252				B
3074	BOTA	16/18 BOTA PIEL VELCRO PEUCO	5.252				B
3075	BOTA	18/23 BOTA PIEL VELCRO BABY	5.252				B
3077	BOTA	18/23 BOTA PIEL VELCRO BABY PAISES	5.252				B
3078	BOTA	16/18 BOTA REJILLA PEUCO	5.252				B



Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos
3079	BOTA	18/23 BOTA REJILLA BABY	5.252			B
3083	BOTA	17/23 BOTA COSTURAS BABY*	5.252			B
3095	BOTA	19/23 BOTA PRE-SKY BABY	5.252			B
3050	DEPORTIVO	16/18 DEPORTIVO REJILLA PEUCO*	5.252			B
3051	DEPORTIVO	18/23 DEPORTIVO REJILLA BABY*	5.252			B
3054	DEPORTIVO	16/18 DEPORTIVO SERRAJE PEUCO*	5.252			B
3055	DEPORTIVO	18/23 DEPORTIVO SERRAJE BABY*	5.252			B
3096	HOME	16/18 ZAPATILLA CASA LAZO PEUCO*	5.252			B
3097	HOME	16/18 CONFORT PEUCO*	5.252			B
3098	HOME	19/23 CONFORT BABY*	5.252			B
3093	LLUVIA	20/23 BOTA AGUA BABY	5.252			B
3169	BASICO	24/31 BAMBA CAVAS BB NIÑO PAISES*	4.799			B
3181	BOTA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑO MEXICO	4.799			B
3182	BOTA	24/31 BOTA NEW MOUNTAIN BB NIÑO*	4.799			B
3183	BOTA	24/31 BOTA NEW MOUNTAIN BB NIÑO 2*	4.799			B
3184	BOTA	24/31 BOTA WORKER BB NIÑO 2	4.799			B
3186	BOTA	24/31 BOTA INDUSTRIAL BB NIÑO*	4.799			B
3188	BOTA	24/31 BOTA CASUAL BB NIÑO*	4.799			B
3189	BOTA	24/31 BOTA APRES SKY BB NIÑO	4.799			B
3190	BOTA	24/31 BOTA COLLEGE BB NIÑO	4.799			B
3192	BOTA	24/30 BOTA WALK MOUNTAIN BB NIÑO	4.799			B
3194	BOTA	23/30 BOTA CUSTON BB NIÑO	4.799			B
3196	BOTA	24/31 BOTA WORKER BB NIÑO	4.799			B
3198	BOTA	24/31 BOTA RIVER BB NIÑO	4.799			B
3178	BOTIN	24/31 TRECK PIEL BB NIÑO*	4.799			B
3180	BOTIN	24/31 BOTIN NEW CONCEPT BB NIÑO*	4.799			B
3166	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO MESH BB NIÑO*	4.799			B
3167	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO FLEX BB NIÑO	4.799			B
3168	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO SOCCER BB NIÑO*	4.799			B
3172	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO CLIMBING BB NIÑO*	4.799			B
3174	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO SERRAJE BB NIÑO*	4.799			B
3199	HOME	24/31 ZAPATILLA CASA BB NIÑO*	4.799			B
3191	LLUVIA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑO*	4.799			B
3160	ZAPATO	24/31 ZAPATO COLEGIAL BB NIÑO	4.799			B
3224	BOTA	32/38 BOTA HIGH COMFORT NIÑO	4.264			B
3226	BOTA	32/40 BOTA INDUSTRIAL NIÑO*	4.264			B
3228	BOTA	32/40 BOTA CASUAL NIÑO*	4.264			B
3230	BOTA	32/38 BOTA COLLEGE NIÑO	4.264			B
3234	BOTA	32/35 BOTA RIVER NIÑO	4.264			B

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos
3235	BOTA	31/40 BOTA WALK MOUNTAIN NIÑO	4.264			B
3236	BOTA	32/40 BOTA NEW MOUNTAIN NIÑO*	4.264			B
3237	BOTA	32/40 BOTA NEW MOUNTAIN NIÑO 2*	4.264			B
3240	BOTA	36/41 BOTA APRES SKY NIÑO	4.264			B
3247	BOTA	32/36 BOTA AGUA NIÑO MEXICO	4.264			B
3218	BOTIN	32/40 TRECK PIEL NIÑO*	4.264			B
3220	BOTIN	32/40 BOTIN NEW CONCEPT NIÑO*	4.264			B
3206	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO MESH NIÑO*	4.264			B
3207	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO FLEX NIÑO	4.264			B
3208	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO SOCCER NIÑO*	4.264			B
3212	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO CLIMBING NIÑO*	4.264			B
3214	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO SERRAJE NIÑO*	4.264			B
3244	HOME	32/40 ZAPATILLA CASA NIÑO*	4.264			B
3246	LLUVIA	32/36 BOTA AGUA NIÑO*	4.264			B
3200	ZAPATO	32/40 ZAPATO COLEGIAL NIÑO	4.264			B
2070	BOTA	40/45 BOTA TREK	4.114			B
2074	BOTA	40/45 BOTA SPORT	4.114			B
2078	BOTA	40/45 BOTA AVENTURE	4.114			B
2076	BOTIN	40/45 BOTIN BILLY	4.114			B
2072	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO SPORT	4.114			B
2052	ZAPATO	40/45 MOCASIN FREE	4.114			B
2054	ZAPATO	40/45 MOCASIN SPORT	4.114			B
2056	ZAPATO	40/45 CITY DUCK	4.114			B
2058	ZAPATO	40/45 ZAPATO TECNO	4.114			B
2064	ZAPATO	40/45 KIOWA SPORT SERRAJE	4.114			B
2066	ZAPATO	40/45 KIOWA SPORT PIEL	4.114			B
2068	ZAPATO	40/45 BLUCHER SERRAJE	4.114			B
2060	ZUECO	40/45 ZUECO SLIM SERRAJE	4.114			B
2062	ZUECO	40/45 ZUECO SLIM PIEL	4.114			B
2080	ZUECO	40/45 MOCASIN NAVY	4.114			B
3024	BOTA	16/18 BOTA SERRAJE FLORES PEUCO	3.692			B
3025	BOTA	18/23 BOTA SERRAJE FLORES BABY	3.692			B
3026	BOTA	16/18 BOTA VOLANTE PEUCO	3.692			B
3027	BOTA	18/23 BOTA VOLANTE BABY	3.692			B
3029	BOTA	19/23 BOTA ONDULINA BABY	3.692			B
3030	BOTA	18/23 BOTA CHIC 2 BABY*	3.692			B
3035	BOTA	18/23 BOTA CHIC BABY PAISES	3.692			B
3037	BOTA	18/23 BOTA CHIC BABY	3.692			B
3038	BOTA	16/18 BOTA NAPA NUDO PEUCO	3.692			B
3039	BOTA	18/23 BOTA NAPA NUDO BABY	3.692			B

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos	
3040	BOTA	16/18 BOTA NAPA LAZO PEUCO	3.692				B
3042	BOTA	16/18 BOTA NAPA LAZO PEUCO PAISES	3.692				B
3076	BOTA	16/18 BOTA PIEL VELCRO PEUCO PAISES	3.692				B
3010	ZAPATO	15/18 BAILARINA ONDAS PEUCO*	3.692				B
3018	ZAPATO	16/18 MERCEDES PIEL PEUCO	3.692	4,81%	61	16,09%	C
3019	ZAPATO	18/23 MERCEDES PIEL BABY	3.692				C
3020	ZAPATO	16/18 MERCEDES SERRAJE PEUCO	3.692				C
3021	ZAPATO	18/23 MERCEDES SERRAJE BABY	3.692				C
3022	ZAPATO	16/18 MERCEDES LAZO PEUCO	3.692				C
3023	ZAPATO	18/23 MERCEDES LAZO BABY	3.692				C
2229	BAÑO/CHANCLA	41/45 CHANCLA SPORT	3.225				C
2212	BOTA	40/45 BOTA VELCRO	3.225				C
2214	BOTA	40/45 BOTA TRUCK	3.225				C
2200	DEPORTIVO	40/45 Z.JOGGING	3.225				C
2202	DEPORTIVO	40/45 DEPORTIVO LOOP	3.225				C
2227	DEPORTIVO	40/45 DEPORTIVO ROLLO	3.225				C
2204	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO URBAN	3.225				C
2205	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO URBAN	3.225				C
2206	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO VELCROS	3.225				C
2207	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO VELCROS	3.225				C
2208	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO DIRTY	3.225				C
2210	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 BOTIN DIRTY	3.225				C
2218	SANDALIA	40/45 PALA CUT	3.225				C
2224	SANDALIA	40/45 CRUZADA TEJANA	3.225				C
2226	SANDALIA	40/45 SANDALIA DEDO LONA	3.225				C
2106	BOTIN	40/45 BOTIN NEW MOSS	3.007				C
2107	BOTIN	40/45 BOTIN NEW MOSS	3.007				C
2116	BOTIN	40/45 BOTIN ARROW	3.007				C
2125	SANDALIA	40/45 SANDALIA PESPUNTES	3.007				C
2126	SANDALIA	40/45 SANDALIA CRUZADA SWEET	3.007				C
2128	SANDALIA	40/45 SANDALIA DEDO SWEET	3.007				C
2130	SANDALIA	40/45 SANDALIA ANILLA	3.007				C
2132	SANDALIA	40/45 SANDALIA VESTIR	3.007				C
2100	ZAPATO	40/45 MOCASIN SILVER	3.007				C
2102	ZAPATO	40/45 BLUCHER BASICO	3.007				C
2103	ZAPATO	40/45 BLUCHER NEW MOSS	3.007				C
2104	ZAPATO	40/45 BLUCHER NEW MOSS	3.007				C
2105	ZAPATO	40/45 BLUCHER NEW MOSS	3.007				C
2108	ZAPATO	40/45 MOCASIN STRASSE	3.007				C

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión semanal	A/B/C	Nº de productos	% de productos	
2110	ZAPATO	40/45 MOCASIN VESTIR	3.007				C
2112	ZAPATO	40/45 MOCASIN ARROW COCO	3.007				C
2114	ZAPATO	40/45 BLUCHER ARROW	3.007				C
2118	ZAPATO	40/45 INGLES PICADOS	3.007				C
2120	ZAPATO	40/45 VELCRO ROAD	3.007				C
2299	ZAPATO	40/45 UNIFORME BLUCHER NEW MOSS	3.007				C
2160	BOTA	40/45 BOTA TACOS	2.293				C
2166	BOTA	40/45 BOTA GASTADA	2.293				C
2168	BOTA	40/45 BOTA HEBILLAS	2.293				C
2170	BOTA	40/45 BOTA MODA	2.293				C
2152	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO ANILLA	2.293				C
2172	SANDALIA	40/45 CRUZADA TACHUELAS	2.293				C
2173	SANDALIA	40/45 SANDALIA TALON	2.293				C
2155	ZAPATO	40/45 MOCASIN ZUECO	2.293				C
2156	ZAPATO	40/45 KIOWA PUNTA	2.293				C
2162	ZAPATO	40/45 ZAPATO RETRO	2.293				C
2164	ZAPATO	40/45 INGLES MODA	2.293				C
2000	ZAPATO	40/45 BLUCHER CONCEPT	2.259				C
2001	ZAPATO	40/45 BLUCHER ARTESANO	2.259				C
2002	ZAPATO	40/45 BLUCHER ARTESANO = 2001/286	2.259				C
2004	ZAPATO	40/45 MOCASIN ARTESANO	2.259				C
2006	ZAPATO	40/45 BLUCHER CLASICO	2.259				C
2008	ZAPATO	40/45 MOCASIN SARTORIAL	2.259				C
2012	ZAPATO	40/45 INGLES OXFORD	2.259				C
2014	ZAPATO	40/45 INGLES VESTIR	2.259				C
2046	ZUECO	40/45 SLIPPER	2.259				C

**Agrupación por familias de artículos con perfiles de stock:**

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3135	BASICO	24/31 BAMBAMBA CAVAS BB NIÑA PAISES*	7.393	26	26	52
3169	BASICO	24/31 BAMBAMBA CAVAS BB NIÑO PAISES*	4.799	17	17	51

12.192

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3318	BOTA	32/40 BOTA ELASTICOS NIÑA	8.383	30	30	60
3319	BOTA	32/40 BOTA OXFORD NIÑA*	8.383	30	30	60
3320	BOTA	32/40 BOTA BASICA NIÑA	8.383	30	30	60
3322	BOTA	31/40 BOTA CREMALLERA NIÑA	8.383	30	30	60
3323	BOTA	31/40 BOTA ALTA CREMALLERA NIÑA	8.383	30	30	60
3324	BOTA	31/40 BOTA ALTA CREMALLERA NIÑA PAISES	8.383	30	30	60
3325	BOTA	32/40 BOTA ANILLAS NIÑAS	8.383	30	30	60
3326	BOTA	32/40 BOTA DESERT NIÑA	8.383	30	30	60
3330	BOTA	32/40 BOTA APRES SKY NIÑA	8.383	30	30	60
3331	BOTA	32/40 BOTA ELASTICOS NIÑA PAISES	8.383	30	30	60
3332	BOTA	32/40 BOTA BASICA NIÑA PAISES	8.383	30	30	60
3333	BOTA	32/40 BOTA ANILLAS NIÑA PAISES	8.383	30	30	60
3345	BOTA	32/39 BOTA COCO NIÑA	8.383	30	30	60
3359	BOTA	32/34 BOTA AGUA NIÑA MEXICO	8.383	30	30	60
3117	BOTA	24/31 BOTA FREE BB NIÑA	7.393	26	26	52
3120	BOTA	24/31 BOTA BASICA BB NIÑA	7.393	26	26	52
3121	BOTA	24/31 BOTA KATE BB NIÑA*	7.393	26	26	52
3122	BOTA	24/31 BOTA OXFORD BB NIÑA*	7.393	26	26	52
3123	BOTA	24/31 BOTA PASADAS BB NIÑA	7.393	26	26	52
3124	BOTA	24/31 BOTA FLORES BB NIÑA	7.393	26	26	52
3125	BOTA	24/30 BOTA CREMALLERA BB NIÑA	7.393	26	26	52
3126	BOTA	24/30 BOTA COMBINADA BB NIÑA	7.393	26	26	52
3127	BOTA	24/31 BOTA APRES SKY BB NIÑA	7.393	26	26	52
3128	BOTA	24/31 BOTA BASICA BB NIÑA PAISES	7.393	26	26	52
3129	BOTA	24/31 BOTA FLORES BB NIÑA PAISES	7.393	26	26	78
3134	BOTA	24/31 BOTA CAMPERA BB NIÑA	7.393	26	26	78
3152	BOTA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑA MEXICO	7.393	26	26	78
3327	BOTA	32/39 BOTA KATE NIÑA*	7.393	26	26	78
3060	BOTA	15/18 BOTA PANA PEUCO*	5.252	19	19	57
3064	BOTA	16/18 BOTA NAPA PICADO PEUCO	5.252	19	19	57
3067	BOTA	17/23 BOTA NAPA BABY	5.252	19	19	57

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3068	BOTA	16/18 BOTA PIEL PEUCO	5.252	19	19	57
3069	BOTA	18/23 BOTA PIEL BABY	5.252	19	19	57
3072	BOTA	16/18 BOTA CREMALLERA PEUCO	5.252	19	19	57
3073	BOTA	19/23 BOTA CREMALLERA BABY	5.252	19	19	57
3074	BOTA	16/18 BOTA PIEL VELCRO PEUCO	5.252	19	19	57
3075	BOTA	18/23 BOTA PIEL VELCRO BABY	5.252	19	19	57
3077	BOTA	18/23 BOTA PIEL VELCRO BABY PAISES	5.252	19	19	57
3078	BOTA	16/18 BOTA REJILLA PEUCO	5.252	19	19	57
3079	BOTA	18/23 BOTA REJILLA BABY	5.252	19	19	57
3083	BOTA	17/23 BOTA COSTURAS BABY*	5.252	19	19	57
3095	BOTA	19/23 BOTA PRE-SKY BABY	5.252	19	19	57
3181	BOTA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑO MEXICO	4.799	17	17	51
3182	BOTA	24/31 BOTA NEW MOUNTAIN BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3183	BOTA	24/31 BOTA NEW MOUNTAIN BB NIÑO 2*	4.799	17	17	51
3184	BOTA	24/31 BOTA WORKER BB NIÑO 2	4.799	17	17	51
3186	BOTA	24/31 BOTA INDUSTRIAL BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3188	BOTA	24/31 BOTA CASUAL BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3189	BOTA	24/31 BOTA APRES SKY BB NIÑO	4.799	17	17	51
3190	BOTA	24/31 BOTA COLLEGE BB NIÑO	4.799	17	17	51
3192	BOTA	24/30 BOTA WALK MOUNTAIN BB NIÑO	4.799	17	17	51
3194	BOTA	23/30 BOTA CUSTON BB NIÑO	4.799	17	17	51
3196	BOTA	24/31 BOTA WORKER BB NIÑO	4.799	17	17	51
3198	BOTA	24/31 BOTA RIVER BB NIÑO	4.799	17	17	51
3224	BOTA	32/38 BOTA HIGH COMFORT NIÑO	4.264	15	15	45
3226	BOTA	32/40 BOTA INDUSTRIAL NIÑO*	4.264	15	15	45
3228	BOTA	32/40 BOTA CASUAL NIÑO*	4.264	15	15	45
3230	BOTA	32/38 BOTA COLLEGE NIÑO	4.264	15	15	45
3234	BOTA	32/35 BOTA RIVER NIÑO	4.264	15	15	45
3235	BOTA	31/40 BOTA WALK MOUNTAIN NIÑO	4.264	15	15	45
3236	BOTA	32/40 BOTA NEW MOUNTAIN NIÑO*	4.264	15	15	45
3237	BOTA	32/40 BOTA NEW MOUNTAIN NIÑO 2*	4.264	15	15	45
3240	BOTA	36/41 BOTA APRES SKY NIÑO	4.264	15	15	45
3247	BOTA	32/36 BOTA AGUA NIÑO MEXICO	4.264	15	15	45
2070	BOTA	40/45 BOTA TREK	4.114	86	86	258
2074	BOTA	40/45 BOTA SPORT	4.114	86	86	258
2078	BOTA	40/45 BOTA AVENTURE	4.114	86	86	258
3024	BOTA	16/18 BOTA SERRAJE FLORES PEUCO	3.692	13	13	39
3025	BOTA	18/23 BOTA SERRAJE FLORES BABY	3.692	13	13	39

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3026	BOTA	16/18 BOTA VOLANTE PEUCO	3.692	13	13	39
3027	BOTA	18/23 BOTA VOLANTE BABY	3.692	13	13	39
3029	BOTA	19/23 BOTA ONDULINA BABY	3.692	13	13	39
3030	BOTA	18/23 BOTA CHIC 2 BABY*	3.692	13	13	39
3035	BOTA	18/23 BOTA CHIC BABY PAISES	3.692	13	13	39
3037	BOTA	18/23 BOTA CHIC BABY	3.692	13	13	39
3038	BOTA	16/18 BOTA NAPA NUDO PEUCO	3.692	13	13	39
3039	BOTA	18/23 BOTA NAPA NUDO BABY	3.692	13	13	39
3040	BOTA	16/18 BOTA NAPA LAZO PEUCO	3.692	13	13	39
3042	BOTA	16/18 BOTA NAPA LAZO PEUCO PAISES	3.692	13	13	39
3076	BOTA	16/18 BOTA PIEL VELCRO PEUCO PAISES	3.692	13	13	39
2212	BOTA	40/45 BOTA VELCRO	3.225	68	68	204
2214	BOTA	40/45 BOTA TRUCK	3.225	68	68	204
2160	BOTA	40/45 BOTA TACOS	2.293	48	48	144
2166	BOTA	40/45 BOTA GASTADA	2.293	48	48	144
2168	BOTA	40/45 BOTA HEBILLAS	2.293	48	48	144
2170	BOTA	40/45 BOTA MODA	2.293	48	48	144

470.580

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1210	BOTA PLANA	36/41 BOTA PLANA	19.316	403	403	806
1211	BOTA PLANA	36/41 BOTA PLANA II	19.316	403	403	806
1212	BOTA PLANA	36/41 BOTA SPORT	19.316	403	403	806
1347	BOTA PLANA	35/41 BOTA COWBOY SP	19.316	403	403	806
1348	BOTA PLANA	36/41 BOTA SPORT NOR	19.316	403	403	806
1006	BOTA PLANA	36/41 BOTA PLANA	13.331	278	278	556
1406	BOTA PLANA	36/41 BOTA WINTER	10.670	223	223	446
1407	BOTA PLANA	35/41 BOTA PLANA COSTURAS	10.670	223	223	446
1408	BOTA PLANA	36/41 BOTA SERRAJE	10.670	223	223	446
1465	BOTA PLANA	36/41 BOTA SERRAJE NORDICA	10.670	223	223	446

152.591

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1200	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON	19.316	403	403	806
1201	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON BASIC	19.316	403	403	806
1202	BOTA TACON	36/41*BOTA HEBILLAS	19.316	403	403	806
1203	BOTA TACON	36/41 BOTA TEJIDO	19.316	403	403	806

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1205	BOTA TACON	36/41 BOTO BASIC	19.316	403	403	806
1206	BOTA TACON	36/41 BOTA SERRAJE GRABADA	19.316	403	403	806
1360	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON BASIC	19.316	403	403	806
1000	BOTA TACON	36/41 BOTA SERPIENTE	13.331	278	278	556
1002	BOTA TACON	36/41 BOTA PLATAFORMA	13.331	278	278	556
1003	BOTA TACON	36/41 BOTA PITON	13.331	278	278	556
1004	BOTA TACON	36/41*BOTA WOMAN	13.331	278	278	556
1005	BOTA TACON	36/41 BOTA BASICA	13.331	278	278	556
1007	BOTA TACON	36/41 BOTA COCO	13.331	278	278	556
1401	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON TRF	10.670	223	223	446
1402	BOTA TACON	35/41 BOTO CAMPERO	10.670	223	223	446
1403	BOTA TACON	36/41 BOTA TACON SERRAJE	10.670	223	223	446
1404	BOTA TACON	36/41*BOTA SERRAJE ANILLAS	10.670	223	223	446
1405	BOTA TACON	36/41 BOTA COWBOY	10.670	223	223	446

268.548

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3316	BOTIN	32/40 BOTIN CASUAL NIÑA	8.383	30	30	60
3115	BOTIN	24/31 BOTIN LAZO BB NIÑA*	7.393	26	26	78
3116	BOTIN	24/31 BOTIN FLORES BB NIÑA*	7.393	26	26	78
3178	BOTIN	24/31 TRECK PIEL BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3180	BOTIN	24/31 BOTIN NEW CONCEPT BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3218	BOTIN	32/40 TRECK PIEL NIÑO*	4.264	15	15	45
3220	BOTIN	32/40 BOTIN NEW CONCEPT NIÑO*	4.264	15	15	45
2076	BOTIN	40/45 BOTIN BILLY	4.114	86	86	258
2106	BOTIN	40/45 BOTIN NEW MOSS	3.007	63	63	189
2107	BOTIN	40/45 BOTIN NEW MOSS	3.007	63	63	189
2116	BOTIN	40/45 BOTIN ARROW	3.007	63	63	189

54.430

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1221	BOTIN TACON	36/41*BOTIN PICADOS	19.316	403	403	806
1222	BOTIN TACON	36/41 BOTIN PICADOS II	19.316	403	403	806
1223	BOTIN TACON	36/41 BOTIN COSTURAS	19.316	403	403	806
1224	BOTIN TACON	36/41 BOTIN BASIC	19.316	403	403	806
1225	BOTIN TACON	36/41 BOTIN ADORNO	19.316	403	403	806
1226	BOTIN TACON	36/41 BOTIN PLANO TR	19.316	403	403	806



## Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1227	BOTIN TACON	36/41 BOTIN ANTE BASIC	19.316	403	403	806
1343	BOTIN TACON	36/41 BOTIN CUÑA PT	19.316	403	403	806
1012	BOTIN TACON	36/41*BOTIN WOMAN	13.331	278	278	556
1013	BOTIN TACON	36/41 BOTIN BASICO	13.331	278	278	556
1014	BOTIN TACON	36/41*BOTIN WOMAN ANTE	13.331	278	278	556
1015	BOTIN TACON	36/41 BOTIN COCO	13.331	278	278	556
1411	BOTIN TACON	36/41 BOTIN TRF	10.670	223	223	446
1412	BOTIN TACON	36/41 BOTIN VUELTO	10.670	223	223	446
1414	BOTIN TACON	36/41 BOTIN TACON TRF	10.670	223	223	446

239.862

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1306	CUÑAS	36/41 CUÑA VESTIR	19.316	403	403	806
1307	CUÑAS	36/41 CUÑA FLOR	19.316	403	403	806
1309	CUÑAS	36/41 CUÑA ATADA	19.316	403	403	806
1442	CUÑAS	36/41 CUÑA TRICOLOR	10.670	223	223	446
1443	CUÑAS	36/41 CUÑA BORDADA	10.670	223	223	446
1444	CUÑAS	36/41 CUÑA PULSERA TRF	10.670	223	223	446

89.958

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3310	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO TECNICO NIÑA*	8.383	30	30	60
3311	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO PIEL CHIC NIÑA	8.383	30	30	60
3312	DEPORTIVO	32/39 DEPORTIVO COLOR NIÑA	8.383	30	30	60
3313	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO BASIC NIÑA*	8.383	30	30	60
3110	DEPORTIVO	MODELO NULO	7.393	26	26	78
3110	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO TECNICO BB NIÑA*	7.393	26	26	78
3111	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO PIEL CHIC BB NIÑA	7.393	26	26	78
3113	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO BASIC BB NIÑA*	7.393	26	26	78
3050	DEPORTIVO	16/18 DEPORTIVO REJILLA PEUCO*	5.252	19	19	57
3051	DEPORTIVO	18/23 DEPORTIVO REJILLA BABY*	5.252	19	19	57
3054	DEPORTIVO	16/18 DEPORTIVO SERRAJE PEUCO*	5.252	19	19	57
3055	DEPORTIVO	18/23 DEPORTIVO SERRAJE BABY*	5.252	19	19	57
3166	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO MESH BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3167	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO FLEX BB NIÑO	4.799	17	17	51
3168	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO SOCCER BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3172	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO CLIMBING BB NIÑO*	4.799	17	17	51

## Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3174	DEPORTIVO	24/31 DEPORTIVO SERRAJE BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3206	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO MESH NIÑO*	4.264	15	15	45
3207	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO FLEX NIÑO	4.264	15	15	45
3208	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO SOCCER NIÑO*	4.264	15	15	45
3212	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO CLIMBING NIÑO*	4.264	15	15	45
3214	DEPORTIVO	32/40 DEPORTIVO SERRAJE NIÑO*	4.264	15	15	45
2200	DEPORTIVO	40/45 Z.JOGGING	3.225	68	68	204
2202	DEPORTIVO	40/45 DEPORTIVO LOOP	3.225	68	68	204
2227	DEPORTIVO	40/45 DEPORTIVO ROLLO	3.225	68	68	204

139.102

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1435	DEPORTIVO BAILARINA	36/41 BAILARINA ELASTICOS	10.670	223	223	446
1451	DEPORTIVO BAILARINA	36/41 SALON ELASTICOS SERRAJE	10.670	223	223	446
1459	DEPORTIVO BAILARINA	36/41 MERCEDES TRF	10.670	223	223	446

32.010

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1452	DEPORTIVO BOTIN	36/41 BOTA DEPORTIVA	10.670	223	223	446
1453	DEPORTIVO BOTIN	36/41 BOTIN DEPORTIVO PUNTA	10.670	223	223	446

21.340

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1303	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO BASICO	19.316	403	403	806
1447	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 BAMBA TENNIS	10.670	223	223	446
1454	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO CROSS	10.670	223	223	446
1455	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO PUNTA	10.670	223	223	446
1456	DEPORTIVO ZAPATO	36/41*DEPORTIVO URBANO	10.670	223	223	446
1457	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO TRF	10.670	223	223	446
1461	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO VELCRO	10.670	223	223	446
1463	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO BASICO	10.670	223	223	446
1483	DEPORTIVO ZAPATO	36/41 DEPORTIVO COMIC SP	10.670	223	223	446
2072	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO SPORT	4.114	86	86	258
2204	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO URBAN	3.225	68	68	204
2205	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO URBAN	3.225	68	68	204

## Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
2206	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO VELCROS	3.225	68	68	204
2207	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO VELCROS	3.225	68	68	204
2208	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO DIRTY	3.225	68	68	204
2210	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 BOTIN DIRTY	3.225	48	48	144
2152	DEPORTIVO ZAPATO	40/45 DEPORTIVO ANILLA	2.293	68	68	204

130.433

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1259	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO ANTIFAZ	19.316	403	403	806
1260	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO COMBINADO	19.316	403	403	806
1261	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO ANTE	19.316	403	403	806
1262	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO COMBINADO II	19.316	403	403	806
1263	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO NOBUCK	19.316	403	403	806
1034	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO WOMAN	13.331	278	278	556
1035	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO TACON	13.331	278	278	556
1037	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO LAZO	13.331	278	278	556
1038	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO LAZO II	13.331	278	278	556
1427	DESTALONADO	36/41 DESTALONADO TEJIDO	10.670	223	223	446

160.574

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1339	ESCLAVA	36/41 ESCLAVA CUÑA SP	19.316	403	403	806
1341	ESCLAVA	36/41 ESCLAVA STRASS SP	19.316	403	403	806

38.632

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3337	HOME	32/40 ZAPATILLA CASA NIÑA*	8.383	30	30	60
3132	HOME	24/31 ZAPATILLA CASA BB NIÑA*	7.393	26	26	78
3096	HOME	16/18 ZAPATILLA CASA LAZO PEUCO*	5.252	19	19	57
3097	HOME	16/18 CONFORT PEUCO*	5.252	19	19	57
3098	HOME	19/23 CONFORT BABY*	5.252	19	19	57
3199	HOME	24/31 ZAPATILLA CASA BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3244	HOME	32/40 ZAPATILLA CASA NIÑO*	4.264	15	15	45

40.595

## Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3336	LLUVIA	32/36 BOTA AGUA BB NIÑA*	8.383	30	30	60
3130	LLUVIA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑA*	7.393	26	26	78
3093	LLUVIA	20/23 BOTA AGUA BABY	5.252	19	19	57
3191	LLUVIA	24/31 BOTA AGUA BB NIÑO*	4.799	17	17	51
3246	LLUVIA	32/36 BOTA AGUA NIÑO*	4.264	15	15	45

30.091

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1350	PALA/PINKY	35/41 PINKY ADORNO SP	19.316	403	403	806
1355	PALA/PINKY	35/41 PALA Y TALON BOTON MX	19.316	403	403	806
1051	PALA/PINKY	36/41 PINKY LAZO	13.331	278	278	556
1438	PALA/PINKY	36/41 PALA TEJIDO	10.670	223	223	446
1445	PALA/PINKY	36/41 PALA MADERA TACON	10.670	223	223	446
1484	PALA/PINKY	36/41 PALA TEJANA SP	10.670	223	223	446
1496	PALA/PINKY	36/41 PALA GOMA TACON TRF	10.670	223	223	446

94.643

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1285	SANDALIA	35/41 SANDALIA FLOR	19.316	403	403	806
1287	SANDALIA	36/41 SANDALIA TALON	19.316	403	403	806
1288	SANDALIA	36/41 SANDALIA TALON COMBINADA	19.316	403	403	806
1289	SANDALIA	36/41 SANDALIA ANTE FLOR	19.316	403	403	806
1290	SANDALIA	36/41 SANDALIA HEBILLA	19.316	403	403	806
1291	SANDALIA	36/41 SANDALIA TEJIDO ATADA	19.316	403	403	806
1292	SANDALIA	36/41 SANDALIA BORLAS	19.316	403	403	806
1300	SANDALIA	36/41 SANDALIA COCTEL	19.316	403	403	806
1301	SANDALIA	36/41 SANDALIA FIESTA	19.316	403	403	806
1340	SANDALIA	35/41 SANDALIA NOCHE ADORNO SP	19.316	403	403	806
1342	SANDALIA	36/41 SANDALIA ADORNO SP	19.316	403	403	806
1349	SANDALIA	36/41 SANDALIA TIRAS SP	19.316	403	403	806
1370	SANDALIA	36/41 SANDALIA TEJIDO ATADA	19.316	403	403	806
1018	SANDALIA	36/41 SANDALIA PLATAFORMA RASO	13.331	278	278	556
1052	SANDALIA	36/41 SANDALIA BASICA	13.331	278	278	556
1053	SANDALIA	36/41 PINKI TIRAS	13.331	278	278	556
1054	SANDALIA	36/41 SANDALIA HEBILLAS COCO	13.331	278	278	556
1055	SANDALIA	36/41 SANDALIA LAZO WOMAN	13.331	278	278	556
1057	SANDALIA	36/41 SANDALIA RASO	13.331	278	278	556

## Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1058	SANDALIA	36/41 SANDALIA NOCHE PULSERA	13.331	278	278	556
1059	SANDALIA	36/41 SANDALIA PLATAFORMA ADORNO	13.331	278	278	556
1074	SANDALIA	36/41 SANDALIA NOCHE EMPEINE SP	13.331	278	278	556
1085	SANDALIA	36/41 SANDALIA NOCHE TR	13.331	278	278	556
1482	SANDALIA	36/41 SANDALIA LAZO SP	10.670	223	223	446
3341	SANDALIA	32/39 SANDALIA BIO NIÑA PAISES	8.383	30	30	60
3136	SANDALIA	24/31 SANDALIA BIO BB NIÑA PAISES	7.393	26	26	78
2218	SANDALIA	40/45 PALA CUT	3.225	68	68	204
2224	SANDALIA	40/45 CRUZADA TEJANA	3.225	68	68	204
2226	SANDALIA	40/45 SANDALIA DEDO LONA	3.225	68	68	204
2125	SANDALIA	40/45 SANDALIA PESPUNTES	3.007	63	63	189
2126	SANDALIA	40/45 SANDALIA CRUZADA SWEET	3.007	63	63	189
2128	SANDALIA	40/45 SANDALIA DEDO SWEET	3.007	63	63	189
2130	SANDALIA	40/45 SANDALIA ANILLA	3.007	63	63	189
2132	SANDALIA	40/45 SANDALIA VESTIR	3.007	63	63	189
2172	SANDALIA	40/45 CRUZADA TACHUELAS	2.293	48	48	144
2173	SANDALIA	40/45 SANDALIA TALON	2.293	48	48	144

440.160

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1399	UNIFORME	36/41 UNIFORME SEÑORA	19.316	403	403	806
1398	UNIFORME	36/41 UNIFORME ZARA SEÑORA II	19.316	403	403	806

38.632

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
3300	ZAPATO	32/40 BAILARINA SPORT NIÑA	8.383	30	30	60
3303	ZAPATO	32/36 MERCEDES BASIC NIÑA	8.383	30	30	60
3305	ZAPATO	31/40 BAILARINA CHAROL NIÑA	8.383	30	30	60
3399	ZAPATO	35/42 ZAPATO UNIFORME KC	8.383	30	30	60
3100	ZAPATO	24/31 BAILARINA SPORT BB NIÑA	7.393	26	26	78
3101	ZAPATO	24/31 BAILARINA BORLAS	7.393	26	26	78
3102	ZAPATO	24/30 BAILARINA CHAROL BB NIÑA	7.393	26	26	78
3103	ZAPATO	24/31 MERCEDES BASIC BB NIÑA	7.393	26	26	78
3160	ZAPATO	24/31 ZAPATO COLEGIAL BB NIÑO	4.799	17	17	51
3200	ZAPATO	32/40 ZAPATO COLEGIAL NIÑO	4.264	15	15	45
2052	ZAPATO	40/45 MOCASIN FREE	4.114	86	86	258
2054	ZAPATO	40/45 MOCASIN SPORT	4.114	86	86	258

## Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
2056	ZAPATO	40/45 CITY DUCK	4.114	86	86	258
2058	ZAPATO	40/45 ZAPATO TECNO	4.114	86	86	258
2064	ZAPATO	40/45 KIOWA SPORT SERRAJE	4.114	86	86	258
2066	ZAPATO	40/45 KIOWA SPORT PIEL	4.114	86	86	258
2068	ZAPATO	40/45 BLUCHER SERRAJE	4.114	86	86	258
3010	ZAPATO	15/18 BAILARINA ONDAS PEUCO*	3.692	13	13	39
3018	ZAPATO	16/18 MERCEDES PIEL PEUCO	3.692	13	13	39
3019	ZAPATO	18/23 MERCEDES PIEL BABY	3.692	13	13	39
3020	ZAPATO	16/18 MERCEDES SERRAJE PEUCO	3.692	13	13	39
3021	ZAPATO	18/23 MERCEDES SERRAJE BABY	3.692	13	13	39
3022	ZAPATO	16/18 MERCEDES LAZO PEUCO	3.692	13	13	39
3023	ZAPATO	18/23 MERCEDES LAZO BABY	3.692	13	13	39
2100	ZAPATO	40/45 MOCASIN SILVER	3.007	63	63	189
2102	ZAPATO	40/45 BLUCHER BASICO	3.007	63	63	189
2103	ZAPATO	40/45 BLUCHER NEW MOSS	3.007	63	63	189
2104	ZAPATO	40/45 BLUCHER NEW MOSS	3.007	63	63	189
2105	ZAPATO	40/45 BLUCHER NEW MOSS	3.007	63	63	189
2108	ZAPATO	40/45 MOCASIN STRASSE	3.007	63	63	189
2110	ZAPATO	40/45 MOCASIN VESTIR	3.007	63	63	189
2112	ZAPATO	40/45 MOCASIN ARROW COCO	3.007	63	63	189
2114	ZAPATO	40/45 BLUCHER ARROW	3.007	63	63	189
2118	ZAPATO	40/45 INGLES PICADOS	3.007	63	63	189
2120	ZAPATO	40/45 VELCRO ROAD	3.007	63	63	189
2299	ZAPATO	40/45 UNIFORME BLUCHER NEW MOSS	3.007	63	63	189
2155	ZAPATO	40/45 MOCASIN ZUECO	2.293	48	48	144
2156	ZAPATO	40/45 KIOWA PUNTA	2.293	48	48	144
2162	ZAPATO	40/45 ZAPATO RETRO	2.293	48	48	144
2164	ZAPATO	40/45 INGLES MODA	2.293	48	48	144
2000	ZAPATO	40/45 BLUCHER CONCEPT	2.259	48	48	144
2001	ZAPATO	40/45 BLUCHER ARTESANO	2.259	48	48	144
2002	ZAPATO	40/45 BLUCHER ARTESANO = 2001/286	2.259	48	48	144
2004	ZAPATO	40/45 MOCASIN ARTESANO	2.259	48	48	144
2006	ZAPATO	40/45 BLUCHER CLASICO	2.259	48	48	144
2008	ZAPATO	40/45 MOCASIN SARTORIAL	2.259	48	48	144
2012	ZAPATO	40/45 INGLES OXFORD	2.259	48	48	144
2014	ZAPATO	40/45 INGLES VESTIR	2.259	48	48	144

190.137

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1270	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN ANTE	19.316	403	403	806
1271	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN TACOS	19.316	403	403	806
1272	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN TACOS II	19.316	403	403	806
1273	ZAPATO PLANO	36/41 BAILARINA ANTE	19.316	403	403	806
1274	ZAPATO PLANO	36/41 SALON KIOWA	19.316	403	403	806
1275	ZAPATO PLANO	36/41 SALON TEJANO	19.316	403	403	806
1276	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN VESTIR	19.316	403	403	806
1277	ZAPATO PLANO	36/41 SALON LAZO	19.316	403	403	806
1278	ZAPATO PLANO	36/41 SALON PLANO PICADOS	19.316	403	403	806
1279	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACOS III	19.316	403	403	806
1281	ZAPATO PLANO	35/41 MOCASIN HEBILLA	19.316	403	403	806
1282	ZAPATO PLANO	36/41 SALON PLANO PICADOS II	19.316	403	403	806
1345	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN SERRAJE	19.316	403	403	806
1369	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACOS	19.316	403	403	806
1039	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN PUNTA ANTE	13.331	278	278	556
1040	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN PUNTA	13.331	278	278	556
1041	ZAPATO PLANO	36/41 SALON PLANO	13.331	278	278	556
1042	ZAPATO PLANO	36/41 BAILARINA BORLA	13.331	278	278	556
1043	ZAPATO PLANO	36/41 BAILARINA PICADOS	13.331	278	278	556
1044	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACON PICADOS	13.331	278	278	556
1432	ZAPATO PLANO	36/41 SALON GRABADO	10.670	223	223	446
1433	ZAPATO PLANO	36/41 SALON FLECOS	10.670	223	223	446
1434	ZAPATO PLANO	36/41 SALON FLOR	10.670	223	223	446
1436	ZAPATO PLANO	36/41*MOCASIN TACOS TRF	10.670	223	223	446
1437	ZAPATO PLANO	36/41 MOCASIN TACOS TRF II	10.670	223	223	446

403.760

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1244	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN FLECOS	19.316	403	403	806
1245	ZAPATO TACON	36/41 MERCEDES TACON BOTON	19.316	403	403	806
1246	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN ANTIFAZ	19.316	403	403	806
1247	ZAPATO TACON	36/41 SALON BOTON	19.316	403	403	806
1248	ZAPATO TACON	36/41*SALON VESTIR BASIC	19.316	403	403	806
1249	ZAPATO TACON	36/41 SALON ABIERTO BASIC	19.316	403	403	806
1251	ZAPATO TACON	36/41 SALON HEBILLA	19.316	403	403	806
1252	ZAPATO TACON	36/41 SALON VESTIR BASIC	19.316	403	403	806
1254	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON FLECOS	19.316	403	403	806
1255	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON FIESTA	19.316	403	403	806

Anexo II. Datos Reales analizados

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1256	ZAPATO TACON	36/41*PALA Y TALON COPETE	19.316	403	403	806
1257	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON COSTURAS	19.316	403	403	806
1258	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON PLANO	19.316	403	403	806
1374	ZAPATO TACON	36/41 SALON VESTIR BASIC	19.316	403	403	806
1428	ZAPATO TACON	36/41 SALON ROCK AND ROLL	19.316	403	403	806
1021	ZAPATO TACON	36/41 PEEP TOE TACON	13.331	278	278	556
1022	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN TACON LAZO	13.331	278	278	556
1023	ZAPATO TACON	36/41 SALON PULSERA PICADOS	13.331	278	278	556
1024	ZAPATO TACON	36/41 MOCASIN FESTON TACON	13.331	278	278	556
1025	ZAPATO TACON	36/41 SALON TACON ADORNO	13.331	278	278	556
1026	ZAPATO TACON	36/41 SALON WOMAN	13.331	278	278	556
1027	ZAPATO TACON	36/41 SALON WOMAN COCO	13.331	278	278	556
1028	ZAPATO TACON	36/41 SALON ABIERTO	13.331	278	278	556
1029	ZAPATO TACON	36/41 SALON VESTIR PITON	13.331	278	278	556
1030	ZAPATO TACON	36/41 SALON COPETE	13.331	278	278	556
1031	ZAPATO TACON	36/41*PALA Y TALON CALADO	13.331	278	278	556
1032	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON COMBINADO	13.331	278	278	556
1033	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON VESTIR	13.331	278	278	556
1036	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON FESTON	13.331	278	278	556
1045	ZAPATO TACON	36/41 PEEP TOE TACON LAZO	13.331	278	278	556
1422	ZAPATO TACON	36/41 SALON CALADOS	10.670	223	223	446
1424	ZAPATO TACON	36/41 SALON TACON TRF	10.670	223	223	446
1425	ZAPATO TACON	36/41 MERCEDES TACON TRF	10.670	223	223	446
1426	ZAPATO TACON	36/41 PALA Y TALON PULSERA	10.670	223	223	446

532.385

Modelo	FAMILIA	ARDESC	Previsión venta semanal	Palet/semana	Stock mínimo	Stock máximo
1265	ZUECO	36/41 ZUECO LAZO	19.316	403	403	806
1266	ZUECO	36/41 ZUECO COSIDO	19.316	403	403	806
1356	ZUECO	36/41 ZUECO DESTALONADO MX	19.316	403	403	806
1358	ZUECO	36/41 ZUECO TACON MX	19.316	403	403	806
2060	ZUECO	40/45 ZUECO SLIM SERRAJE	4.114	86	86	258
2062	ZUECO	40/45 ZUECO SLIM PIEL	4.114	86	86	258
2080	ZUECO	40/45 MOCASIN NAVY	4.114	86	86	258
2046	ZUECO	40/45 SLIPPER	2.259	48	48	144

62.705 62.705 131.751



### ANEXO III. Resultados Cálculo experimentación caso práctico

Descripción formal: En este escenario real se realiza la experimentación con la combinación de las tecnologías de mantenimiento y almacenaje de estanterías convencionales de pasillo estrecho con transelevadores. Para ello, se fijarán una serie de variables previa a la realización de la experimentación. Igualmente se definirán las restricciones del modelo bajo el que se realizarán las simulaciones. El modelo de experimentación es el siguiente ya definido con anterioridad en la tesis:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Z}{V_z} \right) \quad (\text{A.1})$$

A continuación se fijan las siguientes variables:

#### 1.1 Distribución en planta

1.1.1 N° de palets que se necesita almacenar

140.784
---------

#### 1.2 Tipo de ubicación

1.2.1 Aleatoria o  
aleatoria por zonas

Aleatoria
-----------

#### 1.3 Tecnologías utilizadas

1.3.1 Tipo de carretilla

Transelevador
---------------

Velocidad horizontal (m/s):

4,2
-----

Velocidad vertical (m/s):

1,1
-----

Tiempo de picking (s):

12
----

Anchura pasillo (m):

1,8
-----

1.3.2 Tipo de estanterías

Pasillo estrecho
------------------

Además de las variables expuestas, este escenario cuenta con unas restricciones en la profundidad del hueco y altura de estantería. La longitud máxima de los pasillos se

delimita al espacio disponible para la ubicación del almacén para que el modelo adopte una solución óptima. La altura máxima está definida por el medio de mantenimiento estudiado, en este escenario es el transelevador, por lo que la altura máxima es de 36 alturas. Las restricciones utilizadas en este escenario son las siguientes:

<b>longitud</b>		<b>profundidad</b>		<b>altura</b>	
Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
1	195	1	2	1	36

Tabla A3.1 Restricciones Escenario real

Con las restricciones del tamaño de la parcela que limita el espacio definido (195x 172 metros), la solución obtenida en la experimentación es la siguiente:

Nº pasillos: 14

Longitud pasillos: 195 metros

Profundidad hueco: 2

Altura estantería: 36 metros

Nº total palets: 154.440

Tiempo extracción palet: 174,04 segundos

Inversión Almacenamiento: 7.108.592 €

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**Departamento de Organización de Empresas**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**RESUMEN TESIS:**

**UNA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO ESTRATÉGICO DE ALMACENES DE RESERVA  
BASADA EN LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS Y POLÍTICAS DE GESTION**

**TESIS DOCTORAL**

**PRESENTADA POR:**

**D. SERGIO DEVIS GALLEGO**

**DIRIGIDA POR:**

**DR. D. MANUEL CARDÓS CARBONERAS**

**VALENCIA, NOVIEMBRE 2015**



## ÍNDICE

1. INTRODUCCION.....	1
2. JUSTIFICACIÓN ORIGINALIDAD TESIS.....	1
3. APORTACIONES FUNDAMENTALES.....	2
3.1 Metodología.....	2
3.2 Algoritmo de Elección de combinaciones tecnológicas.....	4
4. CONCLUSIONES .....	5

## 1. INTRODUCCION

Una parte fundamental de la cadena de suministro son los almacenes, cuyo coste, diseño y gestión incide directamente sobre el resultado de una buena práctica logística. Sin embargo, los grandes esfuerzos realizados en la mejora de los procesos operativos se han realizado en las áreas productivas, siendo pocos los autores que han dedicado su tiempo y esfuerzos en estudiar este campo tan importante. Aunque, algunos autores han realizado grandes esfuerzos por contribuir a la creación de una metodología de diseño de sistemas de almacenamiento, en la realidad la solución final adoptada se basa en la creatividad y experiencia de los diseñadores.

Es importante destacar que el diseño de sistemas de almacenamiento alcanza tres niveles diferenciados (estratégico, táctico y operativo) como define *Rouwenhorst et al. (2000)*. Las soluciones elegidas para el nivel mayor proporcionan restricciones para los niveles inferiores, es por ello que es tan compleja la definición de una metodología que resuelva el problema en los tres niveles de diseño.

No se han podido encontrar en la literatura relacionada con este campo, evidencias de la existencia de una metodología que pueda guiar en sus pasos al diseñador y le oriente en la toma de decisiones. Es por ello que la tesis que se presenta se ha centrado en los siguientes objetivos:

O1. Recopilación de las diferentes aportaciones realizadas por los diferentes autores en este campo, en torno a las metodologías de diseño, extrayendo los puntos más relevantes con el objetivo de poder utilizarlos como base futura de diseño.

O2. Propuesta de una metodología de diseño de almacenes basada en siete fases definidas.

O3. Propuesta de una herramienta de ayuda enfocada hacia la toma de decisiones relacionadas con la selección de las tecnologías de almacenamiento. Basada en la minimización de los costes operativos de extracción de paletas del almacén y de la inversión a realizar en la implementación del sistema de almacenamiento.

## 2. JUSTIFICACIÓN ORIGINALIDAD TESIS

No se han encontrado pautas claras, ni metodologías que permitan asegurar un buen diseño de los centros de almacenamiento, ajustados a las necesidades reales planteadas. Algunos autores en este campo como es el caso de *Rouwenhorst et al.*

(2000) desarrollan un **modelo de referencia** para el diseño de almacenes. Otros autores en el campo aportan **pequeñas contribuciones en algunas fases del diseño** de los sistemas de almacenamiento. Los sistemas de almacenamiento albergan una gran complejidad a la hora de determinar su diseño y operativa de funcionamiento, no solo por las exigencias de los clientes sino también por el gran número de alternativas posibles.

Estas alternativas vienen dadas por el gran número de factores a considerar y la alta interacción que tienen entre ellos. *Baker y Canessa (2007)* hacen especial énfasis en la dificultad de identificar la solución óptima de forma analítica. Analizar todas las posibles configuraciones al mismo tiempo convierte el problema de diseño en un problema no solucionable por lo que muchos autores analizan sólo algunas áreas de diseño de forma aislada.

**El desarrollo de la metodología que se propone en la presente tesis se basará en el denominador común encontrado por *Baker y Canessa (2007)* y en las principales herramientas de diseño propuestas por los diferentes autores:**

1. Definición de los requerimientos del sistema
2. Definición y obtención de los datos
3. Análisis de los datos
4. Establecimiento de cargas de datos unitarias a utilizar
5. Definición de procedimientos operativos y métodos de trabajo.
6. Consideración de tecnologías existentes.
7. Calcular capacidades y cantidades de los elementos seleccionados para el diseño del almacén.
8. Definición de servicios y operaciones secundarias.
9. Planteamiento de posibles diseños de planta
10. Evaluación
11. Identificar la solución a implantar

Es por ello que a partir de estas pautas definidas por los autores en este campo de diseño se ha desarrollado una metodología **original** que permita el diseño y definición de sistemas de almacenamiento.

### **3. APORTACIONES FUNDAMENTALES**

#### **3.1 Metodología**

Por todo lo anteriormente mencionado y con base en las diferentes aportaciones realizadas por autores en el campo de diseño que nos ocupa, se ha desarrollado la siguiente metodología de diseño de sistemas de almacenamiento. Para demostrar la

**originalidad** de la misma se ha comparado esta con la última aportación realizada a este campo por prestigiosos autores, *Baker y Canessa (2007)*:

<b>Metodología propuesta tesis</b>	<b>Aportaciones Autores</b>
1. Definición de Objetivos (Coste, plazo, Inversión y flexibilidad): <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Estrategia Empresa.</li> <li>b. Plan de Negocio.</li> </ul>	1. Definición de requerimientos del sistema. 2. Definición y obtención de los datos.
2. Definición de Escenarios en base a: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Artículos.</li> <li>b. Familias.</li> <li>c. Gestión ubicaciones.</li> <li>d. Perfiles pedido.</li> <li>e. Picking.</li> <li>f. Preparación pedidos.</li> <li>g. Condiciones conservación.</li> </ul>	
3. Análisis y organización de Información (Rotación, tamaños, pesos y condiciones).	3. Análisis de los datos.
4. Decisiones estratégicas de diseño. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Técnicas de manutención.</li> <li>b. Técnicas de almacenamiento.</li> <li>c. Gestión Sist. Almacenamiento.</li> </ul>	4. Establecimiento de cargas de datos unitarias a utilizar. 5. Definición de procedimientos operativos y métodos de trabajo. 6. Consideración de tecnologías existentes.
5. Diseño detallado: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Función Objetivo.</li> <li>b. Restricciones.</li> </ul>	7. Calcular capacidades y cantidades de los elementos seleccionados para el diseño del almacén. 8. Definición de servicios y operaciones secundarias.
	9. Planteamiento de posibles diseños de planta.
6. Evaluación.	10. Evaluación. 11. Identificar la solución a implantar.
7. Plan de implantación.	

Tabla 1: Comparativa metodología propuesta



Como se puede observar en la anterior tabla, la estructura de la metodología aportada pretende simplificar y detallar las acciones recopiladas por los diferentes autores con el objeto de poder ser utilizada en el diseño real de almacenes.

Asimismo se ha validado la presente metodología propuesta, planteando un caso real que con las acciones a seguir propuestas hasta la fecha no permitía su diseño detallado y con el método propuesto en la presente tesis sí que se ha podido realizar.

### 3.2 Algoritmo de Elección de combinaciones tecnológicas

En la fase de elección de la combinación de tecnologías óptima se utiliza un algoritmo de experimentación **desarrollado por el propio autor** que considera tanto los tiempos de extracción con las diferentes tecnologías propuestas así como los costes e inversión que suponen la utilización de las mismas. Este algoritmo utiliza la siguiente función objetivo que se pretende minimizar:

$$= [\text{Min}] T_{\text{ciclo}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productos}}{\text{referencia}} \right) * \text{Pr ofundidad} \right) + \frac{Y}{V_y} \right) \quad (1)$$

Variables de la función Objetivo del modelo:

X= longitud de estantería máxima\* n° de bloques

Y= altura de estantería máxima

V<sub>x</sub>= Velocidad horizontal del medio de manutención elegido

X= Longitud total del recorrido realizado para extraer el producto

V<sub>y</sub>= Velocidad vertical del medio de manutención elegido

Y= Altura total del recorrido realizado para extraer el producto

T<sub>Picking</sub>= Tiempo de recogida de un producto de la estantería.

Se programará la función Objetivo definida anteriormente, mediante técnicas de métodos cuantitativos de programación lineal, con las variables especificadas, fijando que el objetivo sea la minimización del valor resultante.

Asimismo la inversión que se pretende minimizar a la vez que el coste de extracción se obtendrá en base a:

$$\text{Inversión} = \text{Coste Estanterías} * \text{Coste Manutención} * \text{Coste Personal} * \text{Coste Suelo} \quad (2)$$

Definidas las restricciones y variables del modelo, se realizan las experimentaciones necesarias para determinar la elección óptima de combinaciones de tecnologías que minimice:

- Tiempo de extracción
- Inversión realizada

#### 4. CONCLUSIONES

Con todo lo expuesto con anterioridad se puede concluir que el objetivo perseguido con el presente trabajo de desarrollar una metodología de diseño de sistemas almacenamiento, se ha desarrollado con éxito ofreciendo igualmente las herramientas matemáticas necesarias para la toma de decisiones. Es por todo ello que con la presente tesis se han conseguido alcanzar los siguientes propósitos:

- 1- **Definir** una serie de **pasos a seguir en el diseño** de sistemas de almacenamiento.
- 2- En cada uno de los pasos descritos, **establecer los criterios a tener en cuenta para la toma de decisiones** que permiten avanzar en el diseño del mismo.
- 3- Determinar las **variables a tener en cuenta y como la relación entre estas mismas define las soluciones posibles alcanzadas**, de forma que de todas las posibles combinaciones posibles en el diseño de almacenes, algunas se descartan por imposibilidades físicas.
- 4- **Desarrollar herramientas matemáticas** como el algoritmo de experimentación definido en el presente trabajo **que permitan la elección de las mejores soluciones posibles**.
- 5- Determinación de **procedimientos de comprobación de que la solución adoptada corresponde con los objetivos perseguidos** y se ajusta a las restricciones establecidas.
- 6- **Validar la metodología y el algoritmo de experimentación** definidos con la aplicación a un caso práctico real, que ha permitido definir un diseño óptimo ajustado a unos objetivos y restricciones reales para satisfacer las necesidades planteadas.

De esta forma, el vacío existente en la literatura relacionada con el diseño de sistemas de almacenamiento puede ser cubierto con la aportación realizada por el presente trabajo que pueda permitir a los expertos en este campo, apoyarse en la utilización de la misma para seguir avanzando en el complejo mundo del diseño de sistemas de almacenamiento.

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**Departament d'Organització d'Empreses**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**RESUMEN TESIS:**

**UNA METODOLOGIA PER AL DISENY ESTRATÈGIC DE MAGATZEMS DE RESERVA  
BASADA EN LA SELECCIÓ DE TECNOLOGÍES I POLÍTIQUES DE GESTIÓ**

**TESIS DOCTORAL**

**PRESENTADA PER:**

**D. SERGIO DEVIS GALLEGO**

**DIRIGIDA PER:**

**DR. D. MANUEL CARDÓS CARBONERAS**

**VALÈNCIA, NOVEMBRE 2015**



## ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	1
2. JUSTIFICACIÓ ORIGINALITAT TESIS.....	1
3. APORTACIONS FUNDAMENTALS.....	2
3.1 Metodologia.....	2
3.2 Algoritme d'Elecció de combinacions tecnològiques.....	4
4. CONCLUSIONS .....	5

## 1. INTRODUCCIÓ

Una part fonamental de la cadena de subministrament són els magatzems , el cost , disseny i gestió incideix directament sobre el resultat d'una bona pràctica logística. No obstant això , els grans esforços realitzats en la millora dels processos operatius s'han realitzat en les àrees productives , sent pocs els autors que han dedicat el seu temps i esforços a estudiar aquest camp tan important . Encara que, alguns autors han realitzat grans esforços per contribuir a la creació d'una metodologia de disseny de sistemes d'emmagatzematge, en la realitat la solució final adoptada es basa en la creativitat i experiència dels dissenyadors .

És important destacar que el disseny de sistemes d'emmagatzematge arriba tres nivells diferenciats ( estratègic, tàctic i operatiu ) com defineix *Rouwenhorst et al . ( 2000 )* . Les solucions triades per al nivell més proporcionen restriccions per als nivells inferiors , és per això que és tan complexa la definició d'una metodologia que resolgui el problema en els tres nivells de disseny.

No s'han pogut trobar a la literatura relacionada amb aquest camp , evidències de l'existència d'una metodologia que pugui guiar en els seus passos al dissenyador i l'orienti en la presa de decisions . És per això que la tesi que es presenta s'ha centrat en els següents objectius :

O1 . Recull de les diferents aportacions realitzades pels diferents autors en aquest camp , al voltant de les metodologies de disseny , extraient els punts més rellevants amb l'objectiu de poder utilitzar-los com a base futura de disseny.

O2 . Proposta d'una metodologia de disseny de magatzems basada en set fases definides.

O3.Propuesta d'una eina d'ajuda enfocada cap a la presa de decisions relacionades amb la selecció de les tecnologies d'emmagatzematge. Basada en la minimització dels costos operatius d'extracció de paletes del magatzem i de la inversió a realitzar en la implementació del sistema d'emmagatzematge.

## 2. JUSTIFICACIÓN ORIGINALIDAD TESIS

No s'han trobat pautes clares, ni metodologies que permetin assegurar un bon disseny dels centres d'emmagatzematge, ajustats a les necessitats reals plantejades. Alguns autors en aquest camp com és el cas de *Rouwenhorst et al. (2000)* desenvolupen un model de referència per al disseny de magatzems. Altres autors en el camp aporten petites contribucions en algunes fases del disseny dels sistemes

d'emmagatzematge. Els sistemes d'emmagatzematge alberguen una gran complexitat a l'hora de determinar el seu disseny i operativa de funcionament, no només per les exigències dels clients sinó també pel gran nombre d'alternatives possibles.

Aquestes alternatives vénen donades pel gran nombre de factors a considerar i l'alta interacció que tenen entre ells. *Baker i Canessa (2007)* fan especial èmfasi en la dificultat d'identificar la solució òptima de forma analítica. Analitzar totes les possibles configuracions alhora converteix el problema de disseny en un problema no solucionable de manera que molts autors analitzen només algunes àrees de disseny de forma aïllada.

**El desenvolupament de la metodologia que es proposa en la present tesi es basarà en el denominador comú trobat per *Baker i Canessa (2007)* i en les principals eines de disseny proposades pels diferents autors :**

1. Definició dels requeriments del sistema
2. Definició i obtenció de les dades
3. Anàlisi de les dades
4. Establiment de càrregues de dades unitàries a utilitzar
5. Definició de procediments operatius i mètodes de treball .
6. Consideració de tecnologies existents .
7. Calcular capacitats i quantitats dels elements seleccionats per al disseny del magatzem .
8. Definició de serveis i operacions secundàries.
9. Plantejament de possibles dissenys de planta
10. Avaluació
11. Identificar la solució a implantar

És per això que a partir d'aquestes pautes definides pels autors en aquest camp de disseny s'ha desenvolupat una metodologia original que permeti el disseny i definició de sistemes d'emmagatzematge.

### **3. APORTACIONS FUNDAMENTALS**

#### **3.1 Metodologia**

Per tot l' anteriorment esmentat i amb base en les diferents aportacions realitzades per autors en el camp de disseny que ens ocupa , s'ha desenvolupat la següent metodologia de disseny de sistemes d'emmagatzematge. Per demostrar l'originalitat de la mateixa s'ha comparat aquesta amb l'última aportació feta a aquest camp per prestigiosos autors , *Baker i Canessa (2007)*

<b>Metodologia proposta tesis</b>	<b>Aportacions Autores</b>
1. Definició d'Objectius (Cost, termini, Inversió i flexibilitat): <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Estratègia Empresa.</li> <li>b. Pla de Negoci.</li> </ul>	1. Definició de requeriments del sistema. 2. Definició i obtenció de les dades.
2. Definició d'Escenaris en base a: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Articles.</li> <li>b. Famílies.</li> <li>c. Gestió ubicacions.</li> <li>d. Perfils comanda.</li> <li>e. Picking.</li> <li>f. Preparació comandes.</li> <li>g. Condicions conservació.</li> </ul>	
3. Anàlisi i organització d' Informació (Rotació, mides, pesos i condicions).	3. Anàlisi de les dades.
4. Decisions estratègiques de disseny. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Tècniques de mantenició.</li> <li>b. Tècniques de emmagatzematge</li> <li>c. Gestió Sist. emmagatzematge.</li> </ul>	4. Establiment de càrregues de dades unitàries a utilitzar. 5. Definició de procediments operatius i mètodes de treball. 6. Consideració de tecnologies existents.
5. Disseny detallat: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Funció Objectiu.</li> <li>b. Restriccions.</li> </ul>	7. Calcular capacitats i quantitats dels elements seleccionats per al disseny del magatzem. 8. Definició de servicis i operacions secundàries.
	9. Plantejament de possibles dissenys de planta.
6. Avaluació.	10. Avaluació. 11. Identificar la solució a implantar.
7. Pla d'implantació.	

Taula 1: Comparativa metodologia proposta

Com es pot observar en l'anterior taula , l'estructura de la metodologia aportada pretén simplificar i detallar les accions recopilades pels diferents autors amb l'objecte de poder ser utilitzada en el disseny real de magatzems.



Així mateix s'ha validat la present metodologia proposada , plantejant un cas real que amb les accions a seguir proposades fins ara no permetia el seu disseny detallat i amb el mètode proposat en la present tesi sí que s'ha pogut realitzar .

### 3.2 Algoritme d'Elecció de combinacions tecnològiques

En la fase d'elecció de la combinació de tecnologies òptima s'utilitza un algoritme d'experimentació desenvolupat pel propi autor que considera tant els temps d'extracció amb les diferents tecnologies proposades així com els costos i inversió que suposen la utilització de les mateixes . Aquest algoritme utilitza la següent funció objectiu que es pretén minimitzar :

$$= [\text{Min}] T_{\text{cicle}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ productes}}{\text{referència}} \right) * \text{Profunditat} \right) + \frac{Y}{V_y} \right) \quad (1)$$

Variables de la funció Objectiu del model:

X= longitud de prestatgeria màxima\* n<sup>o</sup> de blocs

Y= altura de prestatgeria màxima

V<sub>x</sub>= Velocitat horitzontal del medi de manutenció triat

X= Longitud total del recorregut realitzat per a extraure el producte

V<sub>y</sub>= Velocitat vertical del medi de manutenció triat

Y= Altura total del recorregut realitzat per a extraure el producte

T<sub>Picking</sub>= Temps de recollida d'un producte de la prestatgeria.

Es programarà la funció Objectiu definida anteriorment, mitjançant tècniques de mètodes quantitius de programació lineal , amb les variables especificades , fixant que l'objectiu sigui la minimització del valor resultant.

Així mateix la inversió que es pretén minimitzar alhora que el cost d'extracció s'obtindrà sobre la base de :

$$\text{Inversió} = \text{Cost Prestatgeries} * \text{Cost Manutenció} * \text{Cost Personal} * \text{Cost Sòl} \quad (2)$$

Definides las restriccions i variables del model, es realitzen las experimentacions necessàries per a determinar l'elecció òptima de combinacions de tecnologies que minimitzen:

- Temps d'extracció
- Inversió realitzada

#### 4. CONCLUSIONS

Amb tot l'exposat anteriorment es pot concloure que l'objectiu perseguit amb el present treball de desenvolupar una metodologia de disseny de sistemes emmagatzematge, s'ha desenvolupat amb èxit oferint igualment les eines matemàtiques necessàries per a la presa de decisions. És per tot això que amb la present tesi s'han aconseguit assolir els següents propòsits :

- 1- **Definir** una sèrie de **passos a seguir en el disseny** de sistemes de emmagatzematge.
- 2- En cada un dels passos descrits, **establir els criteris a tindre en compte per a la presa de decisions** que permeten avançar en el disseny del mateix.
- 3- Determinar les **variables a tenir en compte i com la relació entre aquestes mateixes defineix les solucions possibles aconseguides**, de manera que de totes les possibles combinacions possibles en el disseny de magatzems, algunes es descarten per impossibilitats físiques.
- 4- **Desenvolupar eines matemàtiques** com l'algoritme d'experimentació definit en el present treball que **permetin l'elecció de les millors solucions possibles**.
- 5- Determinació de **procediments de comprovació que la solució adoptada correspon amb els objectius perseguits** i s'ajusta a les restriccions establertes.
- 6- **Validar la metodologia i l'algoritme d'experimentació** definits amb l'aplicació a un cas pràctic real , que ha permès definir un disseny òptim ajustat a uns objectius i restriccions reals per satisfer les necessitats plantejades .

D'aquesta manera , el buit existent en la literatura relacionada amb el disseny de sistemes d'emmagatzematge pot ser cobert amb l'aportació realitzada pel present treball que pugui permetre als experts en aquest camp , recolzar-se en la utilització de la mateixa per seguir avançant en el complex món del disseny de sistemes d'emmagatzematge.

**POLYTECHNIC UNIVERSITY OF VALENCIA**

**Department of Management**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**THESIS SUMMARY:**

**A METHODOLOGY FOR STRATEGIC RESERVE WAREHOUSE DESIGN BASED ON THE  
SELECTION OF TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT POLICIES**

**PHD THESIS**

**PRESENTED BY:**

**D. SERGIO DEVIS GALLEGO**

**DIRECTED BY:**

**DR. D. MANUEL CARDÓS CARBONERAS**

**VALENCIA, NOVEMBER 2015**



## TABLE OF CONTENTS

1. INTRODUCTION.....	1
2. ORIGINALITY JUSTIFICATION THESIS.....	1
3. KEY CONTRIBUTIONS.....	2
3.1 Methodology.....	2
3.2 Choosing algorithm technology combinations.....	4
4. CONCLUSIONS .....	5

## 1. INTRODUCTION

A key part of the supply chain is the warehouses, the cost, design and management directly affects the outcome of a good logistics practice. However, major efforts in improving business processes were performed in productive areas, where few authors have devoted their time and effort in studying this important field. Although some authors have made great efforts to contribute to the creation of a methodology for designing storage systems, in reality the final solution adopted is based on the creativity and experience of the designers.

Importantly, the design of storage systems reaches three different levels (strategic, tactical and operational) as defined *Rouwenhorst et al. (2000)*. The solutions chosen to provide the highest level restrictions for the lower levels, which is why it is so complex the definition of a methodology to solve the problem in the three levels of design.

They have not been able to find in the literature related to this field, evidence of the existence of a methodology that can guide the designer in his footsteps and help guide you in making decisions. That is why the thesis presented has focused on the following objectives:

- O1. Compilation of different contributions from different authors in this field, around design methodologies, extracting the most important points in order to be able to use design as a future basis.
- O2. Proposing a design methodology based on seven stores defined phases.
- O3. Proposed aid of a tool focused on decisions related to the selection of storage technologies. Based on minimizing operating costs of extraction warehouse pallets and investment to be made in implementing the storage system.

## 2. ORIGINALITY JUSTIFICATION THESIS

There are not clear guidelines or methodologies to ensure good design storage centers, tailored to the real needs raised. Some authors in this field as in the case of *Rouwenhorst et al. (2000)* developed a reference model for the design of stores. Other authors in this field have giving small contributions in some phases of the design of storage systems. Storage systems contain a great complexity in determining their design and operational performance, not only by the demands of customers but also by the large number of possible alternatives.

These alternatives are given by the large number of factors to consider and the high interaction between them. *Baker and Canessa (2007)* place special emphasis on the difficulty of identifying the optimum solution analytically. They analyze all possible configurations at the same time and transform the design problem in a non- solvable problem so many authors analyze only some areas of design in isolation.

The development of the methodology proposed in this thesis is based on the common denominator found by *Baker and Canessa (2007)* and the main design tools proposed by different authors:

1. Definition of system requirements
2. Definition and data collection
3. Data Analysis
4. Establishment of unit loads data to use
5. Definition of operating procedures and working methods.
6. Consideration of existing technologies.
7. Calculate capacities and quantities selected for store design elements.
8. Definition of services and secondary operations.
9. Approach of possible plant designs
10. Evaluation
11. Identify the solution to be implemented

That is why from these guidelines defined by the authors in this field of design, this thesis has developed an original methodology for the design and definition of storage systems.

### 3. KEY CONTRIBUTIONS

#### 3.1 Methodology

In consequence, and based on the different contributions from authors in this field of design, it has been developed the following methodology for designing storage systems. To demonstrate the originality of the thesis, it has been compared with the last contribution made in this field by some prestigious authors, *Baker and Canessa (2007)*:

Methodology Thesis Proposal	Authors Contributions
1. Objectives Definitions (Cost, time, Investment and flexibility): a. Company Strategy. b. Business Plan	1. Definition of system requirements. 2. Definition and data collection.

2. Definition of Scenarios based on: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Articles</li> <li>b. Families.</li> <li>c. Location Management</li> <li>d. Profiles order</li> <li>e. Picking.</li> <li>f. Shipping preparation</li> <li>g. Conservation Conditions</li> </ul>	
3. Analysis and organization of Information (Rotation, sizes, weights and conditions).	3. Data analysis
4. Policy Design Decisions. <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Maintenance Techniques</li> <li>b. Storage Techniques.</li> <li>c. Storage management Systems.</li> </ul>	4. Establishing unit loads data to use. 5. Definition of operating procedures and working methods. 6. Consideration of existing technologies.
5. Detailed Design: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Objective Function</li> <li>b. Restrictions.</li> </ul>	7. Calculate capacities and quantities selected for store design elements. 8. Definition of services and Secondary operations.
	9. Approach to possible plant designs.
6. Evaluation.	10. Evaluation. 11. Identify the solution to be implemented.
7. Implementation Plan	

Table 1: Comparative methodology proposed

As shown in the above table, the structure of the methodology provided pretends to simplify and detail the actions by the different authors collected in order to be able to be used in the actual design of warehouses.

It has also validated this proposed methodology, with a real case with the actions to do to that with the other methodologies it cannot be designed but with the actual proposal it can.

### **3.2 Choosing algorithm technology combinations**



At the stage of choosing the optimal combination of technologies experimentation algorithm developed by the author considers both extraction times with different technologies, and investment costs involved in the use. This algorithm uses the following objective function to minimize the time cost cycle:

$$= [\text{Min}] T_{\text{cicle}} = \left( \frac{X}{V_x} + \left( T_{\text{picking}} * \left( \frac{N^{\circ} \text{ products}}{\text{reference}} \right) * \text{Depth} \right) + \frac{Y}{V_y} \right) \quad (1)$$

Objective variables depending on the model:

X= maximum shelf length\* block number

Y= maximum shelf high

V<sub>x</sub>= Horizontal speed of the maintenance vehicle selected.

X= Total length of the route taken to extract the product

V<sub>y</sub>= Vertical speed of the maintenance vehicle selected.

Y= Total high of the route taken to extract the product

TPicking= Time collecting a product off the shelf.

The objective function defined above will be programated, by techniques of quantitative methods of linear programming, with the specified variables, setting the goal of minimizing the resulting value.

Also the investment pretended to minimize both the cost of extraction is based on:

$$\text{Investment} = \text{Shelves Cost} * \text{Maintenance Cost} * \text{Personal Cost} * \text{Floor Cost} \quad (2)$$

Defined the constraints and variables of the model, the necessary experiments are performed to determine the optimal choice of combinations of technologies that minimizes:

- Extraction Time
- Investment

#### 4. CONCLUSIONS

As seen above, it can be concluded that the objective pursued with this work to develop a methodology for designing storage systems, has successfully been developed also offering the necessary mathematical tools for decision -making.

It is for these reasons that this thesis has achieved the following purposes:

**1- Define a series of steps in the design of storage systems**

2- In each of the steps, **establish the criteria to be taken** into account in making decisions that **improve the design**.

**3- Determine the variables to consider and the relationship between these that defines the possible solutions reached**, so that all possible combinations in the design of stores, some are discarded by physical impossibilities.

**4- Develop mathematical tools** such as experimental algorithm defined in this paper **that allow the choice of the best possible solutions**.

**5- Determining procedures for verifying that the solution adopted corresponds to the objectives** and followed the established restrictions.

**6- Validate the methodology and experimental algorithm** defined with the application to a real case study , which has helped define a tight optimal design goals and real constraints to meet the needs expressed .

Thus, the gap in the literature related to the design of storage systems can be covered with the contribution made by this work that may enable those skilled in this field, relying on the use of it to further advance the complex world of design storage systems.