

II. APLICACIÓN A UN CASO PRÁCTICO

9.- CASO PRÁCTICO

A continuación, se va a llevar a cabo el diseño de un almacén. Para ello se definirán una serie de datos de partida de manera aleatoria, para, a partir de ellos, llegar a una solución que si bien puede que no sea la óptima, estará cerca de ésta. Como ya se ha comentado anteriormente el diseño de un almacén conlleva distintos aspectos a tener en cuenta:

- Localización. Es un aspecto muy importante a tener en cuenta ya que influye de una forma muy importante en el presupuesto del proyecto. Un almacén tiene que colocarse básicamente en un terreno que este libre, bien comunicado y cercano a los clientes y proveedores. Ahora bien, la localización que optimiza estos parámetros puede no ser la que optimice el problema económico. Es por ello que para la resolución del problema hay que adoptar una solución de compromiso. La resolución de este problema mediante el modelado a través del modelo continuo se realizará más adelante.
- Demanda. Es necesario hacer un estudio de la demanda que vamos a tener de los productos almacenados para así poder calcular el flujo de materiales que vamos a tener. Así mismo es necesario para conocer el stock medio y máximo de cada producto que vamos a almacenar. Con este stock se puede calcular el volumen de almacén necesario.

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

- Superficie disponible. Obviamente, puede ser una de las principales restricciones del problema. Para la resolución de este caso práctico no se va a tener en cuenta ningún tipo de restricción en cuanto a superficie disponible, aunque para darle una mayor veracidad al problema siempre se intentará minimizar en lo posible el tamaño en planta del almacén.

9.1.-PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN

La localización del almacén es uno de los factores que más influye en el diseño del mismo, ya que el precio del terreno es un factor determinante. Sin embargo no es el único que restringe las posibles localizaciones. Los costes que se derivan de los transportes son muy importantes, ya que no serán un gasto puntual al comienzo, sino un gasto continuo a lo largo de toda la vida del almacén. Obviamente mientras más cerca esté el almacén de los clientes y de los proveedores, menores serán estos gastos. Por todo esto es necesario realizar un análisis de las posibles localizaciones para encontrar la solución óptima teniendo en cuenta la localización de los puntos a abastecer y de los puntos abastecedores. Estas localizaciones son datos del problema, aunque la solución que se obtendrá será una solución en ese instante, ya que no se tendría en cuenta posibles nuevos clientes o proveedores.

Otra decisión importante que se debe tener en cuenta a la hora de elegir la localización de nuestro almacén es si se va a colocar un único almacén o varios. La colocación de varios almacenes supone un mayor gasto en cuanto a la construcción de los mismos, pero unas menores distancias a recorrer debido a que se pueden asignar a cada almacén los proveedores y clientes más cercanos. Por todo esto, se debe llegar una

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

solución de equilibrio entre los dos costes. Esta solución puede observarse en la siguiente gráfica (figura 17):

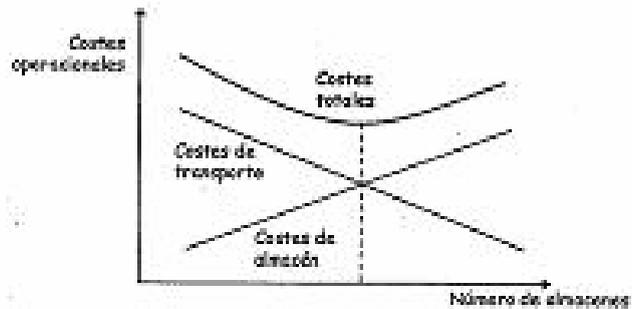


Figura 17: N° de almacenes vs. Coste transporte

En este caso práctico, se va a suponer que solamente se necesita un único almacén que suministrará los productos a todos los clientes. A continuación se estudia como hallar la localización de este almacén.

Para comenzar se debe conocer las posiciones en que se encuentran los puntos de oferta y de demanda. En este caso práctico se supondrá que se tienen 50 demandantes (clientes) y 10 ofertantes (proveedores). Cada uno de ellos tendrá una localización que podrá ser representada haciendo referencia a unos ejes cartesianos de coordenadas (tabla

1). Se suponen que estas posiciones son:

CENTRO	a	b	CENTRO	a	b
D1	5	-3	D31	5	-5
D2	4	5	D32	15	-5
D3	10	-5	D33	4	-7
D4	5	0	D34	3	-8
D5	-3	10	D35	1	-9

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

CENTRO	a	b	CENTRO	a	b
D6	12	10	D36	18	-4
D7	12	6	D37	-2	-3
D8	5	0	D38	-4	-4
D9	0	10	D39	-5	5
D10	3	4	D40	-6	4
D11	1	6	D41	-8	4
D12	5	7	D42	-9	5
D13	3	3	D43	-8	3
D14	6	4	D44	-3	5
D15	7	5	D45	-15	6
D16	3	2	D46	-10	3
D17	4	5	D47	-2	-5
D18	12	6	D48	-6	-3
D19	5	1	D49	-7	2
D20	7	12	D50	3	3
D21	5	13	O1	12	6
D22	6	14	O2	5	0
D23	5	3	O3	-1	10
D24	3	2	O4	2	4
D25	2	1	O5	12	2
D26	5	4	O6	5	-6
D27	6	6	O7	0	10
D28	7	3	O8	-10	6
D29	8	-2	O9	12	-3
D30	8	3	O10	2	-5

Tabla 1: Localización clientes y proveedores

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Como puede observarse, cada centro tiene asignado 2 coordenadas: la “a” referida al eje “x” y la “b” referida al eje “y”.

Una vez que se conoce la localización exacta de todos los puntos de oferta y demanda se debe hacer algún tipo de distinción entre ellos. Esta distinción se realiza asignándole distintos pesos a cada uno de los centros. Estos pesos dependen de la cantidad de trasportes que se realizan con cada centro en un período de tiempo, de la dificultad de las comunicaciones, del tiempo que se tarda en llevar las mercancías y, sobre todo, del coste del transporte. Normalmente en los modelos matemáticos este factor se calcula como el producto entre otros dos factores que a su vez modelan el coste del transporte, “u”, y la frecuencia de los viajes entre el centro demandante u ofertante y el almacén, “v”. Este peso se designa por “w” y es un factor decisivo en la resolución del problema.

$$w = u \cdot v$$

Para la resolución del problema dado que se desconocen los costes de transporte y la frecuencia de los mismos, se va a asignar aleatoriamente un número entre 0 y 100 a cada centro. Este será el peso con el que se va a resolver el problema (tabla 2).

CENTRO	w	CENTRO	w
D1	24	D31	10
D2	82	D32	64
D3	95	D33	78
D4	21	D34	99
D5	93	D35	37
D6	79	D36	75
D7	94	D37	7

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

CENTRO	w	CENTRO	w
D8	19	D38	81
D9	41	D39	73
D10	77	D40	66
D11	31	D41	32
D12	75	D42	42
D13	45	D43	86
D14	16	D44	57
D15	53	D45	92
D16	1	D46	41
D17	32	D47	21
D18	80	D48	33
D19	19	D49	8
D20	88	D50	12
D21	13	O1	94
D22	52	O2	60
D23	6	O3	20
D24	18	O4	14
D25	48	O5	47
D26	95	O6	18
D27	30	O7	78
D28	27	O8	84
D29	15	O9	6
D30	4	O10	89

Tabla 2: Pesos

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Para llevar acabo la resolución del problema se va a definir matemáticamente el mismo. El modelo a utilizar es el llamado modelo continuo. Este modelo parte de la base de que cualquier solución del problema matemático es posible. Esto no es cierto, ya que el emplazamiento solución puede ser inviable debido a que puede coincidir con la ubicación de un edificio, de otro almacén, de un río, una carretera... Sin embargo la solución de este problema da una idea de la zona más conveniente para la localización del almacén, es decir, da una idea de por donde empezar a buscar la posible ubicación del almacén.

El modelo matemático a resolver es el siguiente:

Denotando por “x” e “y” las coordenadas solución del problema y teniendo en cuenta los pesos (w) y coordenadas (“a” y “b”) de cada uno de los “m” (en nuestro caso 60) centros que se van a tener en cuenta se puede formular el problema como:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m w_i \left[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 \right]^{1/2}$$

donde los sumandos de la ecuación representan las distancias horizontales y verticales de la solución a obtener con respecto a cada uno de los centros de demanda o de oferta.

Dada la dificultad que supone la resolución de esta ecuación, el problema puede resolverse iterativamente. Para ello se va a partir de la solución que se obtiene de resolver el problema del centro de gravedad, cuya formulación es similar al anterior, pero con una solución mucho más sencilla. La formulación de este problema es:

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m w_i [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]$$

La solución de este problema es:

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^m w_i a_i}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^m w_i b_i}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

Volviendo al problema original, se está intentando encontrar el mínimo de una función continua de 2 variables sin restricciones. Para ello se estudiarán las derivadas parciales del problema con respecto a cada variable y se igualarán a cero para tener el mínimo. Haciendo el análisis para la variable "x" se obtiene:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \sum_{i=1}^m \left[w_i \frac{1}{2} [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{-1/2} \cdot 2(x - a_i) \right] = \sum_{i=1}^m \frac{w_i (x - a_i)}{[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{1/2}} = 0$$

“Despejando” el valor de “x”:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{w_i a_i}{[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{1/2}}}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{1/2}}}$$

Haciendo el mismo proceso para la variable “y”:

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

$$y = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{w_i b_i}{\left[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 \right]^{1/2}}}{\sum_{i=1}^m \frac{w_i}{\left[(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2 \right]^{1/2}}}$$

Introduciendo en estas ecuaciones los valores de \bar{x}^* e \bar{y}^* obtenidos al resolver el problema del centro de gravedad se obtienen unos valores de x e y que están más próximos a la solución óptima de nuestro problema. Procediendo a realizar la misma sustitución ahora con los valores obtenidos vamos acercándonos cada vez más a la solución óptima. Los resultados obtenidos al iterar 20 veces con los datos de partida del problema son (tabla 3):

Iteración	x	y
Sol. Ini.	2,71073524	2,88332758
1	3,1120819	3,17979976
2	3,27500489	3,28074951
3	3,30182174	3,37780634
4	3,32285757	3,43645555
5	3,33588704	3,47118815
6	3,34334528	3,49128434
7	3,34748356	3,50272709
8	3,34975087	3,50917857
9	3,35098752	3,51279467
10	3,35166156	3,5148145
11	3,35202937	3,51594036
12	3,35223046	3,51656713

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Iteración	x	y
13	3,35234062	3,51691576
14	3,35240111	3,51710958
15	3,35243438	3,5172173
16	3,35245271	3,51727715
17	3,35246282	3,51731039
18	3,3524684	3,51732886
19	3,35247149	3,51733911
20	3,3524732	3,51734481

Tabla 3: Solución localización

donde “Sol. Ini.” es la solución del problema del centro de gravedad. Como se observa la solución óptima para este problema sería:

$$x = 3,3524732$$

$$y = 3,51734481$$

Representando gráficamente la situación de los distintos centros ofertantes y demandantes (figura 18) así como la solución óptima del problema se obtiene:

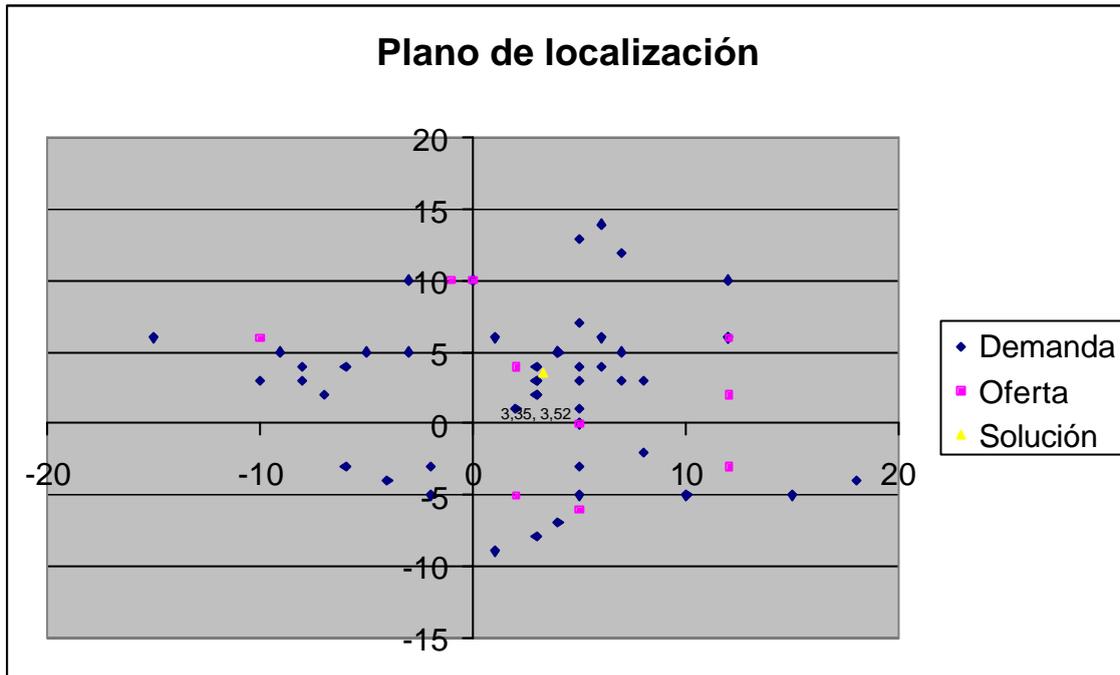


Figura 18: Solución localización

En el gráfico se puede ver que la situación de la solución es una posición más o menos centrada con respecto a las localizaciones del resto de centros, cosa que teniendo en cuenta el carácter aleatorio de los datos de partida (tanto localizaciones como pesos) es algo lógico.

9.2.- DISEÑO DE LA ZONA DE ALMACENAJE

Para comenzar, se van a fijar en 200 el número de referencias distintas en el almacén. Estos 200 productos distintos lógicamente tendrán una forma, dimensión y peso distintos, aunque se pueden agrupar en 5 categorías para poder llevar a cabo el estudio:

- pallet

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

- europallet
- caja 1
- caja 2
- suelto.

Cada uno de estos tipos de envase tiene unas características en cuanto dimensiones que se muestran en el siguiente cuadro (tabla 4):

	dimensiones (mm)			volumen (m ³)
	ancho	largo	alto	
pallet	1000	1000	1000	1
europallet	1200	800	1000	0,96
caja1	500	500	500	0,125
caja2	1000	400	400	0,16
suelto	150	150	150	0,003375

Tabla 4: Envases

Como puede observarse las dimensiones de los envases son muy diversas. Esto sucede en la gran mayoría de los almacenes. Para poder trabajar de una manera homogénea con todos los productos, los que vienen en cajas o sueltos se paletizan para así poder desplazarlos de una forma rápida y cómoda. Además, al paletizar todas las referencias es posible diseñar un almacén con huecos de igual tamaño, lo cual da una gran flexibilidad al almacén ya que no obliga a colocar ciertas mercancías en un lugar fijo. El hecho de paletizar todo el almacén hace que si se deja de comercializar

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

productos sueltos por ejemplo, no se pierda dinero en tener que cambiar estanterías pequeñas óptimas para el almacenaje de productos de tamaño reducido por estanterías mayores que puedan albergar cajas por ejemplo.

Por todo esto expuesto anteriormente, se va a definir un único tamaño de hueco del almacén. Las dimensiones de este hueco son: 1200 x 1000 x 1000 (mm). Estos huecos permiten que en cada posición del almacén se puedan alojar el siguiente número de unidades de cada referencia en función de su forma de embalado (tabla 5):

	nº elementos / posición
pallet	1
europallet	1
caja1	8
caja2	6
suelto	36

Tabla 5: N° elementos por posición

Una vez que ya se conoce como se van a almacenar los distintos tipos de productos se definen las 200 referencias distintas que serán guardadas en el almacén. Como ya se ha dicho anteriormente, estas han sido generadas de manera aleatoria para dar una mayor generalidad al problema. Así mismo, se ha calculado la demanda mensual de cada una de las referencias. Para poder calcular esta demanda hemos generado un histórico de datos. Este histórico de datos consiste en las demandas que ha habido de cada una de las referencias en los últimos 6 meses. El método utilizado para el cálculo

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

de la demanda es el método de las medias simples. Este método consiste en calcular la media de las distintas observaciones realizadas en meses anteriores:

$$D = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T d_i$$

donde:

- D es la previsión de la demanda
- T es el número de períodos
- d_i es la demanda que se ha tenido en cada uno de los períodos observados.

Representando estos cálculos en una tabla (tabla 6):

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
1	3020	2900	3040	3000	3020	3015	2999,16667	3000
2	199	202	197	201	200	200	199,8333333	200
3	25	26	25	26	26	22	25	25
4	14	16	15	15	14	15	14,83333333	15
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	5	5	4	4	5	6	4,833333333	5
7	4	5	3	3	4	4	3,833333333	4
8	51	49	48	51	52	48	49,83333333	50
9	25	24	25	25	25	24	24,6666667	25
10	4	4	4	4	4	4	4	4
11	3	2	3	3	3	3	2,833333333	3
12	3000	2999	3000	2999	2999	3000	2999,5	3000
13	1	1	1	1	1	1	1	1
14	6	6	7	7	7	7	6,6666667	7

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
15	1	1	1	1	1	1	1	1
16	4	6	5	5	4	6	5	5
17	34	35	35	37	34	34	34,83333333	35
18	378	381	382	378	379	380	379,666667	380
19	1	1	1	1	1	1	1	1
20	6	7	7	7	7	7	6,833333333	7
21	37	41	41	39	41	40	39,83333333	40
22	2999	3001	3000	3000	2998	3000	2999,66667	3000
23	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1
25	33	31	31	32	32	31	31,6666667	32
26	4	5	5	5	5	5	4,833333333	5
27	1	1	1	1	1	1	1	1
28	5	4	6	6	4	4	4,833333333	5
29	1	1	1	1	1	1	1	1
30	63	64	59	57	57	58	59,6666667	60
31	342	336	339	342	341	340	340	340
32	20	20	20	21	17	20	19,6666667	20
33	35	34	35	35	35	35	34,83333333	35
34	350	351	349	349	348	351	349,666667	350
35	4	5	5	5	5	5	4,833333333	5
36	299	300	298	301	302	298	299,666667	300
37	36	35	35	35	34	34	34,83333333	35
38	22	22	21	23	21	22	21,83333333	22
39	7	7	7	7	7	7	7	7
40	80	79	79	80	81	79	79,6666667	80

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
41	5	5	5	5	5	4	4,83333333	5
42	28	29	32	29	30	31	29,83333333	30
43	300	302	299	298	300	300	299,83333333	300
44	1	1	1	1	1	1	1	1
45	41	39	40	38	38	43	39,83333333	40
46	3499	3500	3495	3508	3496	3500	3499,66667	3500
47	4	5	3	4	3	5	4	4
48	1	1	1	1	1	1	1	1
49	362	359	358	361	360	358	359,666667	360
50	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1
52	2998	3008	2996	2998	2998	3000	2999,66667	3000
53	33	33	35	31	32	33	32,83333333	33
54	33	31	31	32	31	34	32	32
55	6	6	6	6	6	5	5,83333333	6
56	380	379	378	381	380	380	379,666667	380
57	51	50	50	51	49	48	49,83333333	50
58	3	4	4	4	4	4	3,83333333	4
59	1	1	1	1	1	1	1	1
60	359	360	358	361	360	359	359,5	360
61	45	46	44	45	44	45	44,83333333	45
62	41	38	38	41	40	40	39,6666667	40
63	42	42	42	41	43	41	41,83333333	42
64	1	1	1	1	1	1	1	1
65	0	1	1	1	1	1	0,83333333	1
66	42	42	44	42	41	40	41,83333333	42

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
67	220	221	221	218	218	221	219,8333333	220
68	6	7	7	7	7	7	6,833333333	7
69	4	4	5	5	5	6	4,833333333	5
70	5	5	6	6	6	6	5,66666667	6
71	39	40	40	40	41	38	39,6666667	40
72	44	45	45	44	46	45	44,83333333	45
73	1	1	1	1	1	1	1	1
74	6	5	6	6	6	5	5,66666667	6
75	8	7	8	8	7	8	7,66666667	8
76	3	3	3	3	3	2	2,833333333	3
77	1	1	1	1	1	1	1	1
78	5	6	6	5	7	6	5,833333333	6
79	340	342	339	335	340	341	339,5	340
80	1	1	1	1	1	1	1	1
81	1	1	1	1	1	1	1	1
82	4	5	5	5	5	5	4,833333333	5
83	380	380	379	383	379	378	379,8333333	380
84	4	4	3	4	4	4	3,833333333	4
85	362	360	357	361	362	358	360	360
86	4	5	5	5	5	5	4,833333333	5
87	6	3	6	5	5	4	4,833333333	5
88	48	51	50	50	50	49	49,6666667	50
89	25	24	25	25	24	26	24,83333333	25
90	1	1	1	1	1	1	1	1
91	220	220	221	218	220	220	219,8333333	220
92	1	1	1	0	1	1	0,833333333	1

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
93	39	40	41	41	39	38	39,6666667	40
94	298	299	300	301	299	302	299,8333333	300
95	5	5	5	6	3	4	4,6666667	5
96	3989	4005	4002	4003	4000	4000	3999,8333333	4000
97	4	3	4	3	2	2	3	3
98	7	7	7	7	7	6	6,833333333	7
99	345	335	338	340	339	341	339,6666667	340
100	360	359	360	359	364	357	359,8333333	360
101	338	341	340	342	337	340	339,6666667	340
102	41	39	39	38	40	41	39,6666667	40
103	358	363	360	360	358	360	359,8333333	360
104	33	35	34	34	34	33	33,833333333	34
105	98	103	98	100	100	100	99,833333333	100
106	13	13	12	13	12	14	12,833333333	13
107	4	5	6	5	4	5	4,833333333	5
108	36	36	37	35	35	36	35,833333333	36
109	1	1	1	1	1	1	1	1
110	3100	3097	3103	3100	3100	3099	3099,8333333	3100
111	5	3	4	3	4	4	3,833333333	4
112	5	5	5	5	5	4	4,833333333	5
113	362	356	359	361	360	360	359,6666667	360
114	60	61	60	60	59	59	59,833333333	60
115	5	7	5	6	6	6	5,833333333	6
116	7	8	7	7	6	6	6,833333333	7
117	1	1	1	1	1	1	1	1
118	4	4	5	5	5	6	4,833333333	5

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
119	348	353	348	349	350	350	349,666667	350
120	26	26	27	25	25	26	25,8333333	26
121	34	35	35	35	35	35	34,8333333	35
122	24	23	24	26	23	23	23,8333333	24
123	28	31	31	31	28	30	29,8333333	30
124	3001	2999	2999	2996	3001	3002	2999,66667	3000
125	7	7	7	7	7	7	7	7
126	20	20	20	22	21	22	20,8333333	21
127	1	1	1	1	1	1	1	1
128	5	5	5	5	5	4	4,83333333	5
129	1	1	1	1	1	1	1	1
130	24	25	24	23	24	23	23,8333333	24
131	32	31	30	30	30	31	30,6666667	31
132	28	28	28	28	27	27	27,6666667	28
133	226	224	225	224	225	225	224,833333	225
134	27	27	26	28	25	26	26,5	27
135	4	5	5	5	5	5	4,83333333	5
136	100	99	99	98	101	100	99,5	100
137	199	202	198	200	200	200	199,833333	200
138	6	6	6	6	6	6	6	6
139	289	309	305	290	300	302	299,166667	300
140	89	92	93	86	89	90	89,8333333	90
141	195	202	198	200	203	199	199,5	200
142	40	42	39	37	41	41	40	40
143	7	8	6	7	6	7	6,83333333	7
144	40	42	41	37	39	40	39,8333333	40

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
145	3	4	5	4	3	4	3,83333333	4
146	36	35	34	35	35	34	34,83333333	35
147	51	50	47	48	52	51	49,83333333	50
148	44	46	47	43	44	44	44,66666667	45
149	1	1	1	1	1	1	1	1
150	32	32	32	29	28	30	30,5	31
151	5	7	6	8	5	5	6	6
152	35	35	36	34	34	35	34,83333333	35
153	1	1	1	1	1	1	1	1
154	37	36	36	37	34	35	35,83333333	36
155	34	35	34	35	36	35	34,83333333	35
156	4017	4010	3959	4000	4000	4010	3999,333333	4000
157	3990	3995	4015	4002	3997	3999	3999,666667	4000
158	1	1	1	1	1	1	1	1
159	1	2	0	1	1	1	1	1
160	41	41	40	40	43	39	40,66666667	41
161	5	7	6	5	7	6	6	6
162	40	38	41	42	38	40	39,83333333	40
163	1	1	1	1	1	1	1	1
164	6	6	6	6	6	5	5,83333333	6
165	44	46	47	42	45	45	44,83333333	45
166	79	83	79	79	79	80	79,83333333	80
167	5	5	5	5	5	4	4,83333333	5
168	3015	3016	2970	3000	3002	2995	2999,666667	3000
169	300	296	299	301	304	298	299,666667	300
170	6	8	7	7	6	7	6,83333333	7

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
171	1	1	1	1	1	1	1	1
172	2998	3004	3002	3000	2996	2999	2999,833333	3000
173	30	30	29	27	32	31	29,83333333	30
174	1	0	0	1	1	1	0,66666667	0,7
175	38	38	34	35	36	34	35,83333333	36
176	305	302	300	290	301	300	299,666667	300
177	6	6	4	7	7	5	5,833333333	6
178	198	202	199	198	200	201	199,666667	200
179	1	1	1	1	1	1	1	1
180	4	5	6	4	5	6	5	5
181	6	6	4	7	6	5	5,66666667	6
182	210	196	198	195	200	200	199,8333333	200
183	6	6	5	7	6	5	5,833333333	6
184	2950	3020	3015	2995	3017	3001	2999,66667	3000
185	5	5	6	6	3	4	4,833333333	5
186	3	4	5	4	3	5	4	4
187	29	30	29	28	30	32	29,6666667	30
188	32	31	30	29	28	29	29,83333333	30
189	31	28	29	31	28	31	29,6666667	30
190	7	5	4	4	5	5	5	5
191	1	0	1	0	1	2	0,833333333	1
192	30	29	28	32	32	28	29,83333333	30
193	1	1	1	1	1	1	1	1
194	26	32	30	28	28	29	28,83333333	29
195	1	0	0	2	1	1	0,833333333	1
196	8	7	9	7	8	8	7,833333333	8

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

referencia	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	media	demanda mensual
197	3524	3500	3410	3570	3515	3480	3499,83333	3500
198	4	4	5	4	3	4	4	4
199	7	6	6	5	6	6	6	6
200	3550	3420	3495	3550	3490	3495	3500	3500

Tabla 6: Histórico de demandas

Para calcular el número de posiciones necesarias para cada una de las referencias es necesario conocer la tasa de rotación de cada producto. Esta tasa de rotación indica el número de veces que salen todos los productos almacenados por unidad de tiempo. En este caso la unidad de tiempo es el mes. Dado que no se va a entrar en cómo calcular el stock de seguridad para cada producto, se hará el estudio para un stock medio supuesto. También se ha supuesto que este stock medio que se precisa será el número de huecos necesario para poder almacenar cada una de las referencias. Es suficiente con reservar ese espacio ya que cuando unas referencias se encuentren en su punto de stock máximo otras estarán en su stock mínimo, por lo que siempre habrá espacio suficiente para todos los productos. Con estos parámetros de partida obtenemos (tabla 7):

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
1	690	pallet	690	690	A	3000	4,34782609
2	142,5	europallet	142,5	143	A	200	1,3986014
3	22,5	europallet	22,5	23	C	25	1,08695652

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
4	15	pallet	15	15	C	15	1
5	15	suelto	0,416666667	1	C	1	1
6	22,5	caja1	2,8125	3	C	5	1,66666667
7	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
8	30	europallet	30	30	B	50	1,66666667
9	142,5	caja1	17,8125	18	C	25	1,38888889
10	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
11	15	caja1	1,875	2	C	3	1,5
12	600	pallet	600	600	A	3000	5
13	15	suelto	0,416666667	1	C	1	1
14	30	caja2	5	5	C	7	1,4
15	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
16	30	caja1	3,75	4	C	5	1,25
17	22,5	pallet	22,5	23	C	35	1,52173913
18	142,5	pallet	142,5	143	A	380	2,65734266
19	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
20	30	caja2	5	5	C	7	1,4
21	30	pallet	30	30	B	40	1,33333333
22	630	pallet	630	630	A	3000	4,76190476
23	30	suelto	0,833333333	1	C	1	1
24	30	suelto	0,833333333	1	C	1	1
25	22,5	pallet	22,5	23	C	32	1,39130435
26	135	suelto	3,75	4	C	5	1,25
27	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
28	22,5	caja2	3,75	4	C	5	1,25
29	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
30	22,5	pallet	22,5	23	C	60	2,60869565
31	127,5	pallet	127,5	128	B	340	2,65625
32	15	europallet	15	15	C	20	1,33333333
33	22,5	europallet	22,5	23	C	35	1,52173913
34	622,5	caja2	103,75	104	B	350	3,36538462
35	22,5	caja2	3,75	4	C	5	1,25
36	772,5	caja1	96,5625	97	B	300	3,09278351
37	22,5	pallet	22,5	23	C	35	1,52173913
38	135	caja1	16,875	17	C	22	1,29411765
39	30	caja2	5	5	C	7	1,4
40	30	pallet	30	30	B	80	2,66666667
41	30	caja1	3,75	4	C	5	1,25
42	120	caja2	20	20	C	30	1,5
43	682,5	caja2	113,75	114	B	300	2,63157895
44	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
45	30	pallet	30	30	B	40	1,33333333
46	742,5	pallet	742,5	743	A	3500	4,71063257
47	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
48	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
49	135	pallet	135	135	B	360	2,66666667
50	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
51	15	suelto	0,416666667	1	C	1	1

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
52	682,5	europallet	682,5	683	A	3000	4,39238653
53	22,5	europallet	22,5	23	C	33	1,43478261
54	22,5	pallet	22,5	23	C	32	1,39130435
55	30	caja1	3,75	4	C	6	1,5
56	142,5	europallet	142,5	143	A	380	2,65734266
57	30	europallet	30	30	B	50	1,66666667
58	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
59	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
60	135	europallet	135	135	B	360	2,66666667
61	30	pallet	30	30	B	45	1,5
62	30	pallet	30	30	B	40	1,33333333
63	30	pallet	30	30	B	42	1,4
64	30	suelto	0,83333333	1	C	1	1
65	30	suelto	0,83333333	1	C	1	1
66	30	europallet	30	30	B	42	1,4
67	682,5	caja2	113,75	114	B	220	1,92982456
68	30	caja2	5	5	C	7	1,4
69	135	suelto	3,75	4	C	5	1,25
70	30	caja1	3,75	4	C	6	1,5
71	30	pallet	30	30	B	40	1,33333333
72	30	europallet	30	30	B	45	1,5
73	30	suelto	0,83333333	1	C	1	1
74	142,5	suelto	3,95833333	4	C	6	1,5
75	30	caja2	5	5	C	8	1,6

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
76	15	caja1	1,875	2	C	3	1,5
77	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
78	120	suelto	3,3333333333	4	C	6	1,5
79	127,5	pallet	127,5	128	B	340	2,65625
80	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
81	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
82	15	caja2	2,5	3	C	5	1,66666667
83	142,5	europallet	142,5	143	A	380	2,65734266
84	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,333333333
85	135	pallet	135	135	B	360	2,66666667
86	22,5	caja2	3,75	4	C	5	1,25
87	30	caja1	3,75	4	C	5	1,25
88	30	pallet	30	30	B	50	1,66666667
89	120	caja2	20	20	C	25	1,25
90	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
91	142,5	pallet	142,5	143	A	220	1,53846154
92	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
93	22,5	pallet	22,5	23	C	40	1,73913043
94	712,5	caja2	118,75	119	B	300	2,5210084
95	22,5	caja2	3,75	4	C	5	1,25
96	697,5	pallet	697,5	698	A	4000	5,73065903
97	15	caja1	1,875	2	C	3	1,5
98	30	caja2	5	5	C	7	1,4
99	127,5	europallet	127,5	128	B	340	2,65625

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
100	135	europallet	135	135	B	360	2,66666667
101	127,5	europallet	127,5	128	B	340	2,65625
102	22,5	pallet	22,5	23	C	40	1,73913043
103	135	pallet	135	135	B	360	2,66666667
104	22,5	europallet	22,5	23	C	34	1,47826087
105	615	caja1	76,875	77	B	100	1,2987013
106	7,5	pallet	7,5	8	C	13	1,625
107	142,5	suelto	3,958333333	4	C	5	1,25
108	22,5	pallet	22,5	23	C	36	1,56521739
109	15	suelto	0,416666667	1	C	1	1
110	637,5	europallet	637,5	638	A	3100	4,85893417
111	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
112	22,5	caja1	2,8125	3	C	5	1,66666667
113	135	europallet	135	135	B	360	2,66666667
114	22,5	pallet	22,5	23	C	60	2,60869565
115	22,5	caja2	3,75	4	C	6	1,5
116	112,5	suelto	3,125	4	C	7	1,75
117	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
118	22,5	caja2	3,75	4	C	5	1,25
119	127,5	pallet	127,5	128	B	350	2,734375
120	120	caja1	15	15	C	26	1,73333333
121	22,5	pallet	22,5	23	C	35	1,52173913
122	127,5	caja2	21,25	22	C	24	1,09090909
123	22,5	europallet	22,5	23	C	30	1,30434783

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
124	577,5	europallet	577,5	578	A	3000	5,19031142
125	30	caja2	5	5	C	7	1,4
126	570	suelto	15,83333333	16	C	21	1,3125
127	30	suelto	0,833333333	1	C	1	1
128	142,5	suelto	3,958333333	4	C	5	1,25
129	30	suelto	0,833333333	1	C	1	1
130	142,5	caja1	17,8125	18	C	24	1,33333333
131	30	pallet	30	30	B	31	1,03333333
132	22,5	europallet	22,5	23	C	28	1,2173913
133	682,5	caja2	113,75	114	B	225	1,97368421
134	585	suelto	16,25	17	C	27	1,58823529
135	30	caja1	3,75	4	C	5	1,25
136	570	caja1	71,25	72	B	100	1,38888889
137	142,5	europallet	142,5	143	A	200	1,3986014
138	30	caja2	5	5	C	6	1,2
139	127,5	europallet	127,5	128	B	300	2,34375
140	585	caja1	73,125	74	B	90	1,21621622
141	135	pallet	135	135	B	200	1,48148148
142	22,5	pallet	22,5	23	C	40	1,73913043
143	30	caja2	5	5	C	7	1,4
144	30	pallet	30	30	B	40	1,33333333
145	142,5	suelto	3,958333333	4	C	4	1
146	135	caja2	22,5	23	C	35	1,52173913
147	30	pallet	30	30	B	50	1,66666667

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
148	30	europallet	30	30	B	45	1,5
149	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
150	135	caja2	22,5	23	C	31	1,34782609
151	30	caja2	5	5	C	6	1,2
152	22,5	europallet	22,5	23	C	35	1,52173913
153	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
154	22,5	pallet	22,5	23	C	36	1,56521739
155	22,5	europallet	22,5	23	C	35	1,52173913
156	607,5	europallet	607,5	608	A	4000	6,57894737
157	652,5	pallet	652,5	653	A	4000	6,12557427
158	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
159	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
160	30	europallet	30	30	B	41	1,36666667
161	30	caja2	5	5	C	6	1,2
162	30	pallet	30	30	B	40	1,33333333
163	30	suelto	0,8333333333	1	C	1	1
164	30	caja1	3,75	4	C	6	1,5
165	30	pallet	30	30	B	45	1,5
166	577,5	caja1	72,1875	73	B	80	1,09589041
167	30	caja1	3,75	4	C	5	1,25
168	585	pallet	585	585	A	3000	5,12820513
169	135	europallet	135	135	B	300	2,22222222
170	30	caja2	5	5	C	7	1,4
171	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
172	622,5	europallet	622,5	623	A	3000	4,81540931
173	22,5	europallet	22,5	23	C	30	1,30434783
174	22,5	suelto	0,625	1	C	0,7	0,7
175	22,5	europallet	22,5	23	C	36	1,56521739
176	825	caja2	137,5	138	B	300	2,17391304
177	22,5	caja2	3,75	4	C	6	1,5
178	712,5	caja1	89,0625	90	B	200	2,22222222
179	30	suelto	0,833333333	1	C	1	1
180	22,5	caja2	3,75	4	C	5	1,25
181	30	caja1	3,75	4	C	6	1,5
182	660	caja1	82,5	83	B	200	2,40963855
183	22,5	caja2	3,75	4	C	6	1,5
184	667,5	pallet	667,5	668	A	3000	4,49101796
185	22,5	caja1	2,8125	3	C	5	1,66666667
186	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
187	22,5	pallet	22,5	23	C	30	1,30434783
188	22,5	europallet	22,5	23	C	30	1,30434783
189	22,5	europallet	22,5	23	C	30	1,30434783
190	30	caja1	3,75	4	C	5	1,25
191	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
192	22,5	pallet	22,5	23	C	30	1,30434783
193	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1
194	22,5	europallet	22,5	23	C	29	1,26086957
195	22,5	suelto	0,625	1	C	1	1

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	stock diseño	tipo continente	nº posiciones teóricas necesarias	nº posiciones reales necesarias	clasificación ABC	demanda mensual	tasa de rotación
196	30	caja2	5	5	C	8	1,6
197	675	pallet	675	675	A	3500	5,18518519
198	22,5	caja1	2,8125	3	C	4	1,33333333
199	30	caja2	5	5	C	6	1,2
200	645	europallet	645	645	A	3500	5,42635659

Tabla 7: Datos de las referencias

Como ya se había comentado anteriormente, en la tabla anterior se puede encontrar el número de huecos del almacén que son necesarios destinar a cada producto. Este número de posiciones reales se ha obtenido redondeando al alza el número de posiciones teóricas necesarias. De aquí se obtiene el número de huecos mínimo que debe tener el almacén para poder albergar todo el stock. En este caso se necesitarán 15386 posiciones distintas. También se ha representado la tasa de rotación de cada producto, obtenida a través de la experiencia de los últimos meses. La demanda se refiere al número de pallets que salen del almacén durante un mes, ya que como se había dicho, todos los productos se encuentran paletizados. Esto no implica que todos los productos salgan del almacén paletizados, sino que simplemente es una forma de poder comparar el número de movimientos de las distintas referencias dentro del almacén homogeneizando las unidades de manipulación.

Así mismo, también se ha realizado una clasificación ABC de los productos. Esta ha sido realizada en función del volumen de stock de cada una de las referencias y del

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

número de referencias. Como ya se explicó en el apartado 8.1, las referencias tipo A son las que más stock necesitan tener dentro del almacén, siendo las de tipo C las que menos. Con esta ordenación se consigue clasificar las distintas referencias pudiendo otorgar una mayor importancia a las que necesitan un mayor número de huecos.

Como cuadro resumen de dicha clasificación (tabla 8):

	A	B	C
nº referencias	21	46	133
% (nº referencias)	10,5	23	66,5
stock	10575	3687	1124
% (stock)	68,7	24,0	7,3

Tabla 8: Clasificación ABC

Como se puede ver, la clasificación de los productos se aproxima bastante a lo que dice la Ley de Pareto.

Una vez que se han definido el número de posiciones mínimo que debe tener la zona de reserva se va a pasar a estudiar distintas configuraciones posibles. Para comenzar, se descarta la configuración que consistiría en colocar todos los pallets en el suelo a una sola altura. Esta configuración daría una superficie de almacén muy grande y obviamente no sería la distribución óptima. Dicho esto surge una nueva cuestión: ¿qué altura máxima se debe alcanzar en el almacenamiento? Como regla práctica se puede decir que se puede almacenar 1 metro de altura por cada 10 metros de longitud tenga el almacén en su dirección mayor. Dicho esto, también se debe tener en cuenta que es mucho más fácil y rápido sacar un pallet que se encuentra a ras de suelo que uno que se

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

encuentra almacenado a varios metros de altura. Normalmente, las naves que se utilizan para almacenaje suelen tener una altura de 6, 8 ó 10 metros.

9.2.1.- DISEÑO CON ESTANTERÍAS CONVENCIONALES Y CARRETILLAS CONTRAPESADAS

Como ya se expuso anteriormente, las carretillas contrapesadas permiten trabajar hasta una altura de unos 5 ó 6 metros como máximo. Teniendo en cuenta la altura de los pallets, que se han supuesto de un metro y el espacio necesario para poder manipular la carga, que se supone de 30 centímetros, se necesitan 1,3 metros por pallet. Esto implica que se podría almacenar a 5 niveles como máximo: el primero a ras de suelo; el segundo a una altura de 1.3 metros (1 metro de altura de la carga, 0.15 de la altura del pallet y 0.15 de holgura para manejar la carga); el tercero a 2.6 metros; el cuarto a 3.9 metros y el quinto a 5.2 metros.

Dado que se necesitan 15386 huecos para poder almacenar todo el stock necesario son imprescindibles para esta configuración 3078 posiciones por planta como mínimo. Teniendo en cuenta que cada posición ocupa 1.2 metros cuadrados de superficie, esto origina una superficie de almacenamiento sin tener en cuenta la superficie de los pasillos de 3700 metros cuadrados. Distribuyendo esta superficie de forma cuadrada para hacernos una idea de la longitud que tendría el almacén, se obtendría un lado de 61 metros aproximadamente.

Los pasillos necesarios para poder utilizar las carretillas contrapesadas deben de tener una anchura de entre 3.5 y 4 metros. Teniendo en cuenta que la anchura de las estanterías es de dos metros (se colocarían en bloque de dos en dos una a la espalda de

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

la otra), la superficie del almacén será al menos el doble de la calculada anteriormente sin haber tenido en cuenta los pasillos. Por tanto, la altura de almacenamiento no parece la óptima, ya que la longitud de lado que resultaría nos invita a almacenar a una mayor altura, por lo menos de 8 ó 9 metros. Por este motivo se descarta el uso de carretillas contrapesadas, ya que nos ocasionaría tener que contar con una superficie muy grande y no aprovechada en altura, y dado el precio del suelo vamos a intentar, como ya dijimos al comienzo de este caso práctico, minimizar la superficie del almacén. Como ejemplo de esta configuración se muestra la figura 19 que supone una superficie de 114 x 108 metros.

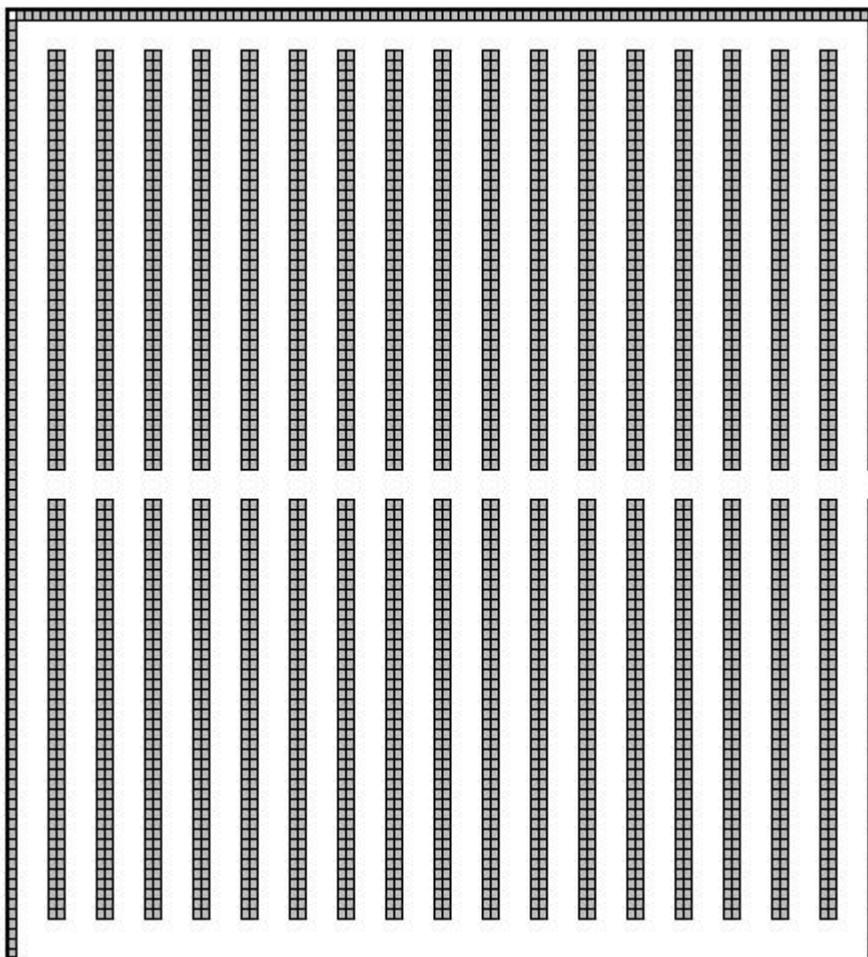


Figura 19: Plano estanterías convencionales y carretillas contrapesadas

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Para intentar paliar este problema, podemos intentar usar otro tipo de carretilla que nos permita acceder a pallets almacenados a una altura mayor. Por ello proponemos el uso de carretillas retráctiles como posible solución.

9.2.2.- DISEÑO CON ESTANTERÍAS CONVENCIONALES Y CARRETILLAS RETRÁCTILES

Dado que las carretillas convencionales no permiten almacenar hasta la altura deseada, se va a realizar el estudio para carretillas retráctiles, que permiten almacenar carga hasta una altura de unos 10 metros como máximo. Esto permitirá almacenar hasta a 8 niveles como máximo. Este tipo de carretillas necesita una anchura de pasillo de unos 3 metros aproximadamente.

Repitiendo el análisis realizado anteriormente se observa que se necesitan al menos 1924 posiciones por planta que ocuparían una superficie de 2310 metros cuadrados aproximadamente, sin tener en cuenta los pasillos. Las estanterías estarían colocadas una a la espalda de otra, agrupadas de 2 en 2. Teniendo en cuenta que la anchura de los pasillos es mayor que el ancho de dos estanterías juntas podemos estimar que la superficie total será mayor que el doble de la útil. Sin embargo se va a estimar la superficie total como el doble de la útil en primera aproximación. Por eso se obtiene una zona de almacenaje de unos 4600 metros cuadrados aproximadamente. Estos supondrían un cuadrado de 68 metros de lado. Como se observa, la altura de almacenaje parece un poco grande para esa dimensión de almacén, por lo que se va a estudiar que ocurriría si se almacenara a 7 niveles.

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Con sólo 7 niveles de altura se necesitarían 2200 posiciones por planta y una superficie sin pasillos de 2640 metros cuadrados aproximadamente. Volviendo a estimar la superficie con pasillos como el doble de la calculada anteriormente, es decir, 5300 metros cuadrados aproximadamente, se obtendría un cuadrado de 73 metros de lado. Esta dimensión está más acorde con la altura de diseño, aunque esta aún resulta un poco elevada. Por eso se va a estudiar que ocurriría si se almacenara a 6 niveles.

Con 6 niveles se necesitarían 2565 posiciones por planta y una superficie sin pasillos de 3080 metros cuadrados aproximadamente. Haciendo la misma suposición que antes se observa que se necesitan una superficie de 6160 metros cuadrados aproximadamente que equivalen a un cuadrado de 78.5 metros de lado. Teniendo en cuenta que la parte superior del último pallet almacenado queda a 7.6 metros aproximadamente, parece que es una solución acertada, siempre teniendo en cuenta la suposición de que la superficie total será el doble de la útil.

Una vez dicho esto, analizamos una posible configuración en planta del almacén para así estudiar más a fondo este caso. Representando gráficamente una posible representación en planta (figura 20):

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

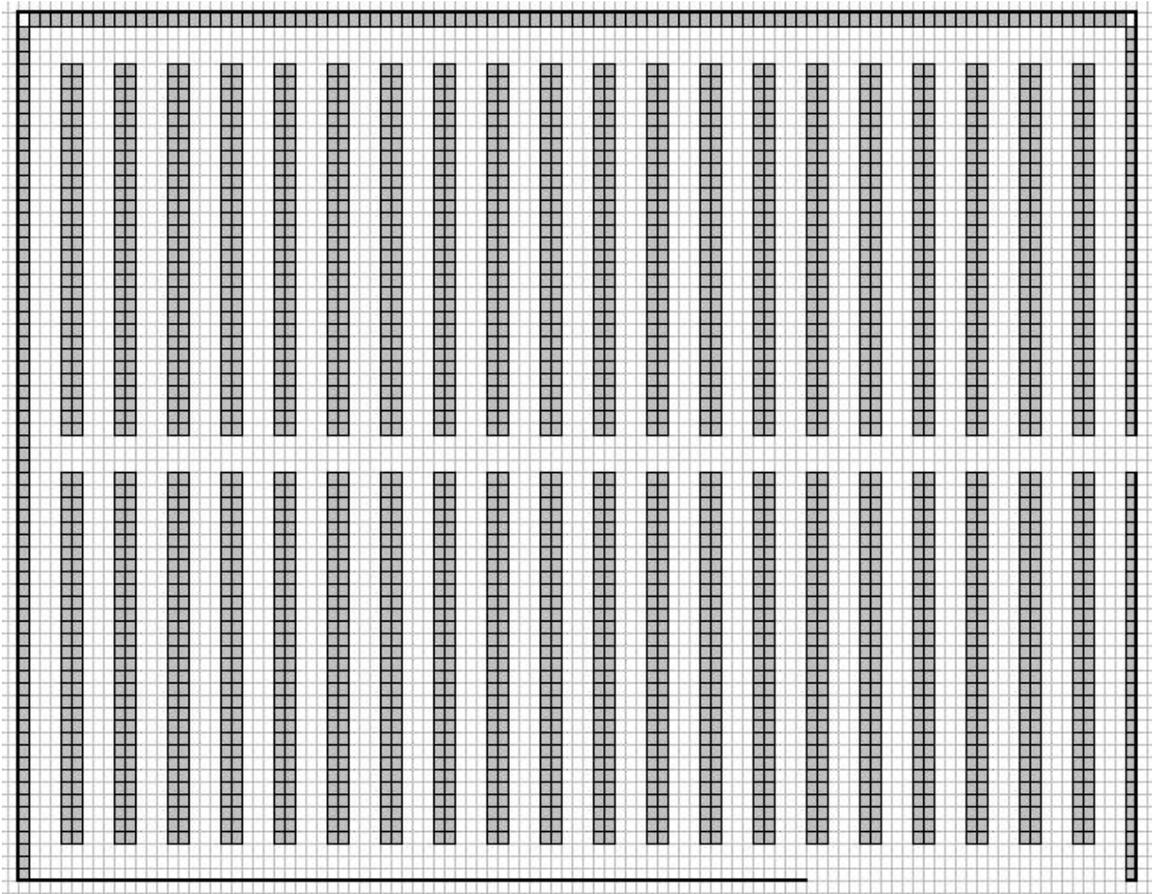


Figura 20: Plano estanterías convencionales

Como puede verse se aprovechan las paredes de la nave para colocar estanterías y así aprovechar mejor el espacio. También se ha dejado un pasillo central para facilitar los traslados por el interior del almacén. Los pasillos tienen una anchura de 3 metros para que las carretillas puedan transitar cómodamente. Esta configuración tiene 2638 posiciones por planta que permiten albergar todo el stock necesario y distribuyéndola de esta forma tiene una superpie de 105 x 82.2 metros, es decir, 8630 metros cuadrados aproximadamente.

Esta puede ser una posible solución, aunque existen otras posibilidades como puede ser la utilización de estanterías dobles para reducir el número de pasillos dentro del

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

almacén. Esta posibilidad, manteniendo el uso de carretillas retráctiles para poder almacenar a grandes alturas, se estudia a continuación.

9.2.3.- DISEÑO CON ESTANTERÍAS DOBLES

Esta es una configuración muy utilizada por su simplicidad y el ahorro de espacio que conlleva. Estas estanterías son iguales que las convencionales con la salvedad que acumulo 2 pallets por estantería, uno detrás de otro. Esto origina algunos problemas para la gestión FIFO del almacén, aunque al ser sólo a 2 profundidades puede solucionarse sin mucha pérdida de tiempo para los productos que así lo requirieran. Al disponer de esta manera los productos, reducimos el número de pasillos a la mitad, con el consiguiente ahorro de espacio.

Para el análisis se va a suponer 6 niveles de almacenaje, que, como ya se indicó suponen al menos 2565 posiciones por planta. Representando una posible configuración de este tipo obtenemos (figura 21):

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

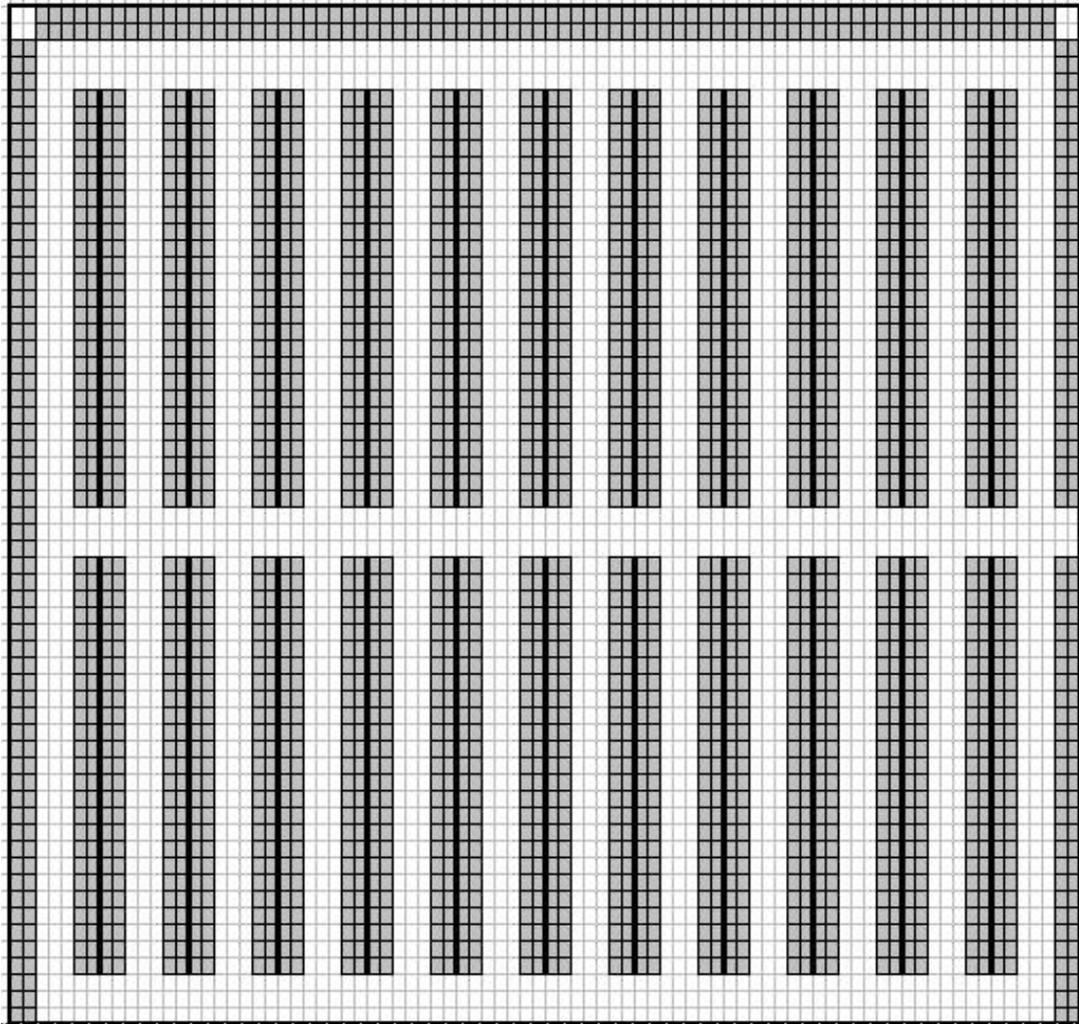


Figura 21: Plano estantería dobles

Como puede verse se aprovechan las paredes de la nave para colocar estanterías y así aprovechar mejor el espacio. También se ha dejado un pasillo central para facilitar los traslados por el interior del almacén. Los pasillos tienen una anchura de 3 metros para que las carretillas puedan transitar cómodamente. Esta configuración contiene 2590 posiciones por planta y supone un rectángulo de 84 x 71.4 metros, que origina una superficie de 6000 metros cuadrados aproximadamente. Teniendo en cuenta que la superficie útil es de 3110 metros cuadrados se ve que se aprovecha el 50 % del espacio disponible. En el supuesto anterior de uso de estanterías convencionales sólo se

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

aprovechaba el 37 % de la superficie utilizada. Por eso, esta configuración es mucho más recomendable que la solución obtenida en la suposición anterior en cuanto a aprovechamiento de la superficie.

Sin embargo se sigue viendo que la mitad de la superficie construida es desaprovechada en los pasillos. Esto lleva a pensar en otra posible configuración que aproveche aún más el espacio disponible, como puede ser el uso de estanterías compactas.

9.2.4.- DISEÑO CON ESTANTERÍAS COMPACTAS

Con el objetivo de ahorrar espacio, se podrían instalar estanterías compactas. Siguiendo la misma lógica aplicada para los casos anteriores, se necesitarían utilizar carretillas retráctiles para almacenar a 6 niveles. Como ya se calculó anteriormente, se necesitarían 2565 posiciones por planta. Ahora bien, con esta configuración surge un gran problema: como almacenar las distintas referencias. Al ser las estanterías compactas se necesitarían una estantería para cada referencia. Esto supondría unas 100 estanterías (se diseñaría para poder entrar tanto por delante como por detrás para poder albergar dos referencias distintas y que se pudiera acceder a ambas). Dado que la gran mayoría de las referencias tipo C no requieren más de 5 ó 10 huecos, el espacio que quedaría sin aprovechar sería muy grande. Por este motivo se rechaza la utilización de este tipo de estanterías.

9.2.5.- DISEÑO CON ESTANTERÍAS MÓVILES

Un diseño con este tipo de estanterías originaría un ahorro de espacio casi tan grande como el que se obtendría con las estanterías compactas (sólo dejaríamos hueco para un pasillo) y además permitiría tener acceso a cualquier referencia que se quisiera simplemente moviendo las estanterías. Se podría gestionar el almacén siguiendo una metodología FIFO sin ningún tipo de problema.

Dividiendo la zona de reserva en cuatro partes iguales, para permitir que se pueda trabajar simultáneamente en distintas partes del almacén y dejando pasillos de 3 metros de ancho tanto para los fijos como para los móviles obtendríamos un diseño del tipo (figura 22):

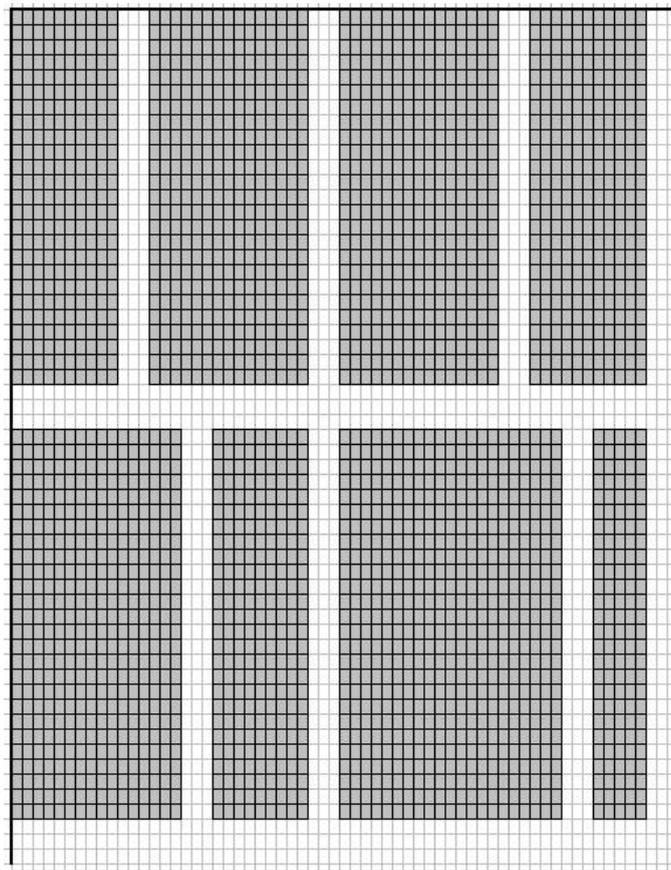


Figura 22: Plano estanterías móviles

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Como se puede observar a simple vista comparando las representaciones de las dos distribuciones, en esta última el espacio se aprovecha de una mejor manera. En esta configuración la zona de almacenaje tiene forma rectangular de dimensiones 63 x 67.2 metros.

Sin embargo, aunque se haya reducido casi al máximo la superficie necesaria, puede que esta solución no sea la óptima debido al alto coste que supone la instalación y el mantenimiento de este tipo de estanterías.

Todo este estudio ha sido realizado suponiendo que vamos a almacenar sin tener asignada una referencia a cada hueco del almacén de forma fija. Pero ¿qué ocurriría si se almacenara de una forma ordenada asignando una serie de posiciones fijas para cada referencia? Se necesitarían muchos más huecos para poder tener espacio para el stock máximo de cada referencia (recordemos que el estudio anterior está hecho para stocks medios). No parece una idea acertada, pero puede ser que si se almacenara ordenadamente las referencias que más posiciones necesitan en estanterías compactas y el resto las almacenamos en estanterías convencionales dobles sea necesaria una superficie menor.

9.2.6.- DISEÑO CON ESTANTERÍAS COMPACTAS Y DOBLES

Del listado original de referencias se pueden obtener un listado de 15 referencias que ocupan la mayor parte del almacén. Considerando que el stock máximo de estas referencias va a ser algo mayor que el medio obtenemos (tabla 9):

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	demanda	stock máximo	tipo continente	nº	nº	clasificación ABC
				posiciones teóricas necesarias	posiciones reales necesarias	
1	3000	782	pallet	782	782	A
12	3000	680	pallet	680	680	A
22	3000	714	pallet	714	714	A
46	3500	841,5	pallet	841,5	842	A
52	3000	773,5	europallet	773,5	774	A
96	4000	790,5	pallet	790,5	791	A
110	3100	722,5	europallet	722,5	723	A
124	3000	654,5	europallet	654,5	655	A
156	4000	688,5	europallet	688,5	689	A
157	4000	739,5	pallet	739,5	740	A
168	3000	663	pallet	663	663	A
172	3000	705,5	europallet	705,5	706	A
184	3000	756,5	pallet	756,5	757	A
197	3500	765	pallet	765	765	A
200	3500	731	europallet	731	731	A

Tabla 9: Referencias con más posiciones

El número de huecos necesarios para las estanterías compactas sería de 11012. El número de huecos que se necesitarían para llevar a cabo el almacenamiento caótico del resto de las referencias es de 5670, que distribuidas a 6 niveles suponen un total de 945 huecos por nivel aproximadamente. Representando una posible distribución en planta (figura 23):

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

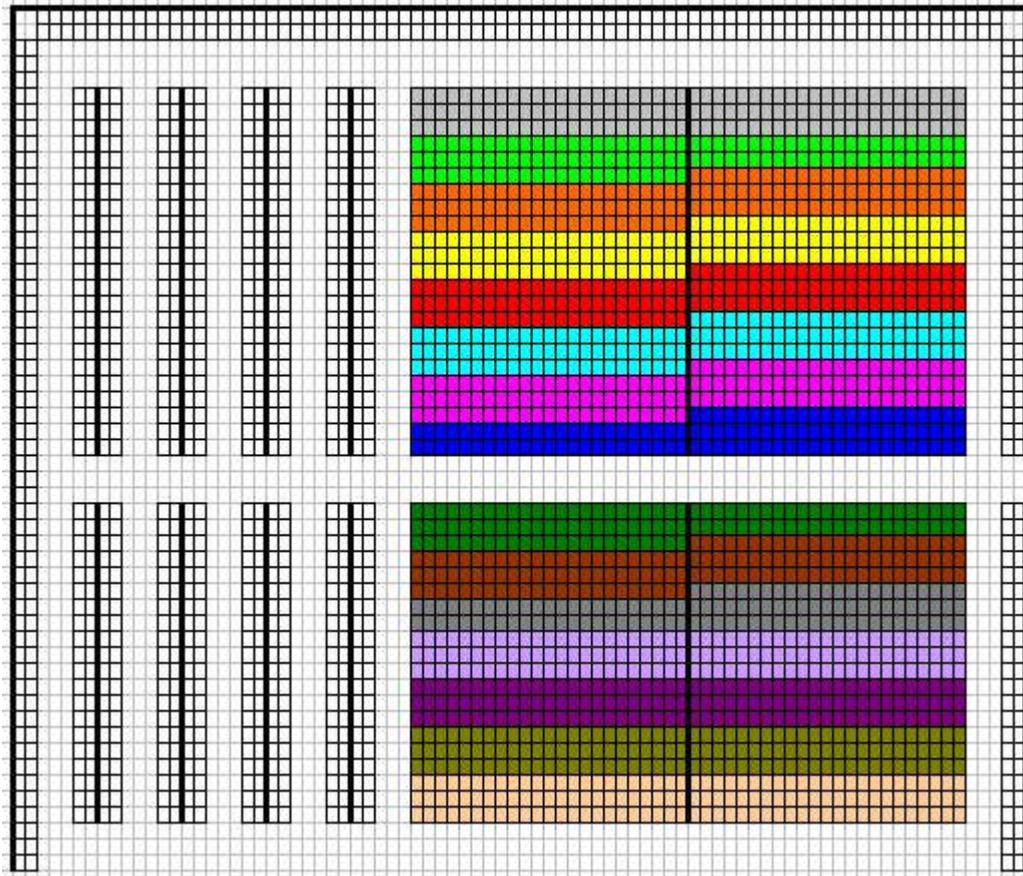


Figura 23: Plano estanterías compactas y dobles

En este plano se tienen 6300 posiciones para almacenar ordenadamente representadas en blanco y cada una de las referencias almacenadas en estanterías compactas representadas con el siguiente código de colores (tabla 10):

referencia
1
12
22
46

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

52
96
110
124
156
157
168
172
184
197
200

Tabla 10: Referencias estanterías compactas (1)

La zona de almacenaje en este caso sería rectangular de dimensiones 64.8 x 84 metros. Como se ve, el ahorro de espacio que se consigue con respecto al almacenamiento en estanterías dobles no es muy grande, debido al hecho de tener que diseñar para stocks máximos en vez de para stocks medio. Sin embargo, dado el precio del suelo, esta diferencia podría ser significativa. De hecho este último diseño tiene una superficie de 5443,2 m², mientras que el diseño con estanterías dobles únicamente tiene una superficie de 5997,6 m². Esta diferencia (554,4 m²) será contemplada más adelante cuando se valore la diferencia de costes entre los diseños.

Para poder calcular los costes de manipulación (nº de operarios) de cada uno de los diseños es necesario llevar a cabo la ubicación de todas las referencias dentro del almacén para así poder calcular las distancias medias a recorrer dentro del mismo.

9.3.- UBICACIÓN DE LAS REFERENCIAS EN EL ALMACÉN

9.3.1 DISEÑO CON ESTANTERÍAS CONVENCIONALES

A continuación se estudia como se ubicarían cada una de las referencias en el almacén. Se va a asignar a cada hueco una referencia. Esta asignación, como ya se explicó en el apartado 7, se realiza en función de la tasa de rotación de cada producto. Esta tasa de rotación ya ha sido mostrada para cada producto en la tabla 6 del apartado anterior.

Para poder comenzar a asignar referencias a cada uno de los huecos se necesitan identificar cada una de las estanterías del diseño realizado para así poder identificar los huecos (figura 24):

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

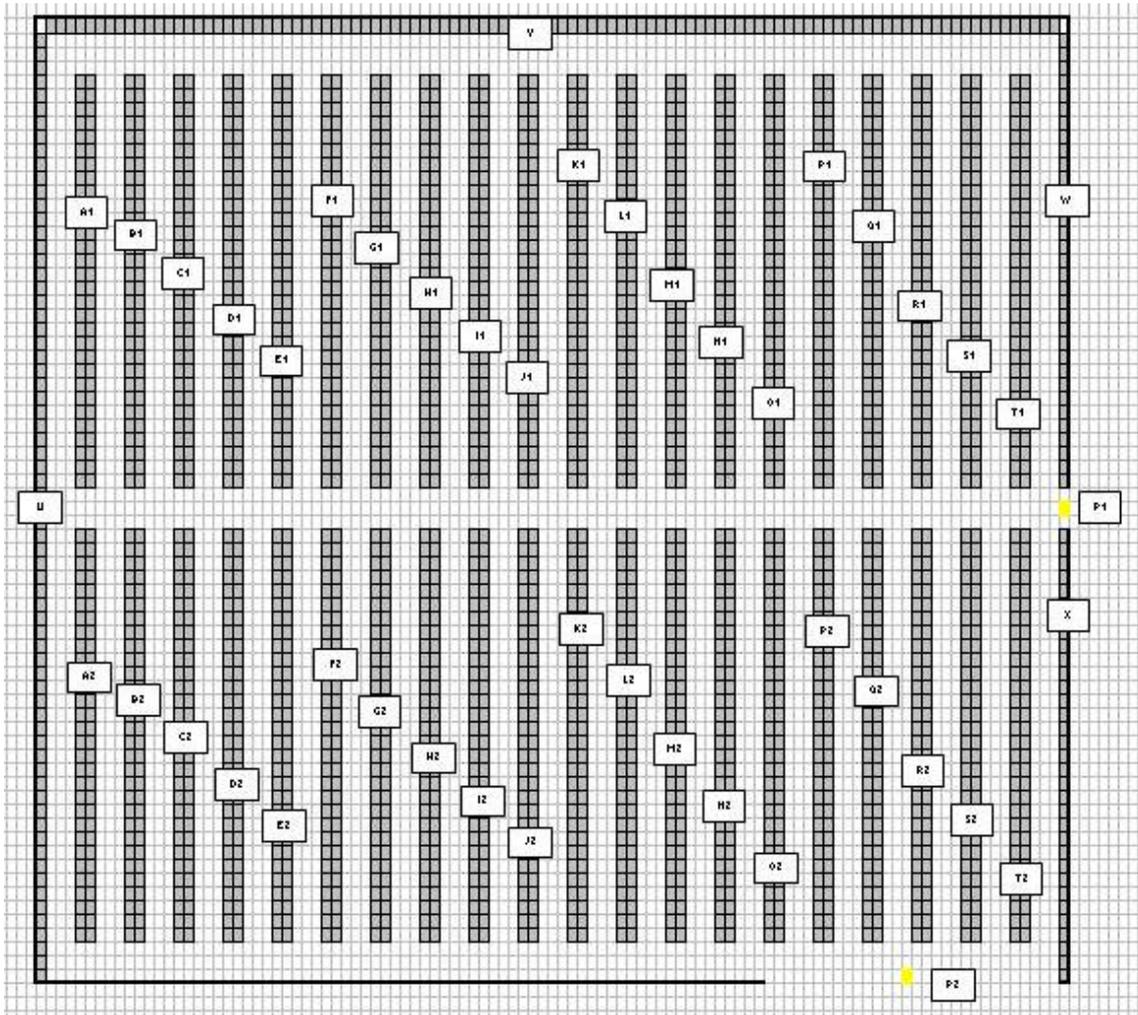


Figura 24: Plano estanterías convencionales identificadas

Una vez que se tienen identificadas todas las estanterías, se va a nombrar cada uno de los huecos de forma que todos queden perfectamente identificados y así puedan ser diferenciados unos de otros. Para ello se usará una codificación basada en números en función de la profundidad y altura del hueco:

- Todos los huecos van identificados con una letra correspondiente a la estantería en la que se encuentra.
- A continuación le acompañará un número que será o bien 1 o bien 2 que indicará la columna vista en planta en la que se encuentra el hueco, siendo la

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

número 1 la que se encuentre más a la izquierda y la número 2 la que se encuentre más a la derecha. En las estanterías de las paredes esta numeración sólo podrá ser 1.

- Luego vendrá un número del 1 al 6 que indica la altura a la que va almacenado el producto, siendo la 1 la que está a ras de suelo.
- A continuación irá un número del 1 al 30 indicando la posición a lo largo de la estantería, comenzando desde abajo visto en el plano. En las estanterías de las paredes el número de huecos es mayor, por lo que el número podrá exceder de 30.

También se va a considerar que la estantería “v” está girada, por lo que en este caso el primer número será siempre el 1 y representará la fila (vista en planta) y el último número la columna.

A modo de ejemplo y representando un hueco que está en la planta baja a ras de suelo tendríamos (figura 25):

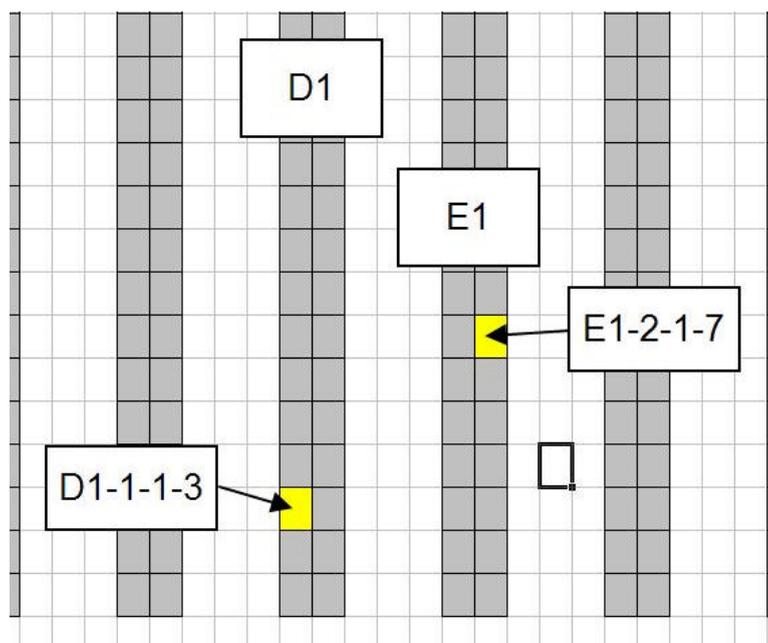


Figura 25: Identificación huecos estanterías convencionales

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Una vez que queda clara la codificación a utilizar, se va a definir los parámetros que se necesitan para poder asignar un valor a cada referencia y a cada hueco para así poder ordenarlos.

Como ya se dijo anteriormente, para poder comenzar se necesita ordenar las referencias que se van a tener en el almacén en función de su frecuencia de entrada (demanda mensual) y en función del número de huecos que se necesiten para almacenarla. Es importante recordar que esta demanda está expresada en número de pallets mensuales, para unificar las unidades de manipulación de todas las referencias que vamos a almacenar. Al cociente de ambos valores descritos anteriormente se le denomina tasa de rotación. Los productos se ordenarán en función esta tasa (T/S) (Tabla 11):

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
156	608	4000	6,57894737
157	653	4000	6,12557427
96	698	4000	5,73065903
200	645	3500	5,42635659
124	578	3000	5,19031142
197	675	3500	5,18518519
168	585	3000	5,12820513
12	600	3000	5
110	638	3100	4,85893417
172	623	3000	4,81540931
22	630	3000	4,76190476

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
46	743	3500	4,71063257
184	668	3000	4,49101796
52	683	3000	4,39238653
1	690	3000	4,34782609
34	104	350	3,36538462
36	97	300	3,09278351
119	128	350	2,734375
40	30	80	2,66666667
49	135	360	2,66666667
60	135	360	2,66666667
85	135	360	2,66666667
100	135	360	2,66666667
103	135	360	2,66666667
113	135	360	2,66666667
18	143	380	2,65734266
56	143	380	2,65734266
83	143	380	2,65734266
31	128	340	2,65625
79	128	340	2,65625
99	128	340	2,65625
101	128	340	2,65625
43	114	300	2,63157895
30	23	60	2,60869565
114	23	60	2,60869565
94	119	300	2,5210084

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
182	83	200	2,40963855
139	128	300	2,34375
169	135	300	2,22222222
178	90	200	2,22222222
176	138	300	2,17391304
133	114	225	1,97368421
67	114	220	1,92982456
116	4	7	1,75
93	23	40	1,73913043
102	23	40	1,73913043
142	23	40	1,73913043
120	15	26	1,73333333
6	3	5	1,66666667
8	30	50	1,66666667
57	30	50	1,66666667
82	3	5	1,66666667
88	30	50	1,66666667
112	3	5	1,66666667
147	30	50	1,66666667
185	3	5	1,66666667
106	8	13	1,625
75	5	8	1,6
196	5	8	1,6
134	17	27	1,58823529
108	23	36	1,56521739

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
154	23	36	1,56521739
175	23	36	1,56521739
91	143	220	1,53846154
17	23	35	1,52173913
33	23	35	1,52173913
37	23	35	1,52173913
121	23	35	1,52173913
146	23	35	1,52173913
152	23	35	1,52173913
155	23	35	1,52173913
11	2	3	1,5
42	20	30	1,5
55	4	6	1,5
61	30	45	1,5
70	4	6	1,5
72	30	45	1,5
74	4	6	1,5
76	2	3	1,5
78	4	6	1,5
97	2	3	1,5
115	4	6	1,5
148	30	45	1,5
164	4	6	1,5
165	30	45	1,5
177	4	6	1,5

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
181	4	6	1,5
183	4	6	1,5
141	135	200	1,48148148
104	23	34	1,47826087
53	23	33	1,43478261
14	5	7	1,4
20	5	7	1,4
39	5	7	1,4
63	30	42	1,4
66	30	42	1,4
68	5	7	1,4
98	5	7	1,4
125	5	7	1,4
143	5	7	1,4
170	5	7	1,4
2	143	200	1,3986014
137	143	200	1,3986014
25	23	32	1,39130435
54	23	32	1,39130435
9	18	25	1,38888889
136	72	100	1,38888889
160	30	41	1,36666667
150	23	31	1,34782609
7	3	4	1,33333333
10	3	4	1,33333333

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
21	30	40	1,33333333
32	15	20	1,33333333
45	30	40	1,33333333
47	3	4	1,33333333
58	3	4	1,33333333
62	30	40	1,33333333
71	30	40	1,33333333
84	3	4	1,33333333
111	3	4	1,33333333
130	18	24	1,33333333
144	30	40	1,33333333
162	30	40	1,33333333
186	3	4	1,33333333
198	3	4	1,33333333
126	16	21	1,3125
123	23	30	1,30434783
173	23	30	1,30434783
187	23	30	1,30434783
188	23	30	1,30434783
189	23	30	1,30434783
192	23	30	1,30434783
105	77	100	1,2987013
38	17	22	1,29411765
194	23	29	1,26086957
16	4	5	1,25

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
26	4	5	1,25
28	4	5	1,25
35	4	5	1,25
41	4	5	1,25
69	4	5	1,25
86	4	5	1,25
87	4	5	1,25
89	20	25	1,25
95	4	5	1,25
107	4	5	1,25
118	4	5	1,25
128	4	5	1,25
135	4	5	1,25
167	4	5	1,25
180	4	5	1,25
190	4	5	1,25
132	23	28	1,2173913
140	74	90	1,21621622
138	5	6	1,2
151	5	6	1,2
161	5	6	1,2
199	5	6	1,2
166	73	80	1,09589041
122	22	24	1,09090909
3	23	25	1,08695652

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
131	30	31	1,03333333
4	15	15	1
5	1	1	1
13	1	1	1
15	1	1	1
19	1	1	1
23	1	1	1
24	1	1	1
27	1	1	1
29	1	1	1
44	1	1	1
48	1	1	1
50	1	1	1
51	1	1	1
59	1	1	1
64	1	1	1
65	1	1	1
73	1	1	1
77	1	1	1
80	1	1	1
81	1	1	1
90	1	1	1
92	1	1	1
109	1	1	1
117	1	1	1

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

referencia	nº posiciones reales necesarias (S)	Demanda /mes (T)	T/S
127	1	1	1
129	1	1	1
145	4	4	1
149	1	1	1
153	1	1	1
158	1	1	1
159	1	1	1
163	1	1	1
171	1	1	1
179	1	1	1
191	1	1	1
193	1	1	1
195	1	1	1
174	1	0,7	0,7

Tabla 11: Referencias ordenadas por tasa de rotación

A continuación, se necesita calcular la distancia entre cada hueco y cada una de las puertas. Las distancias se han tomado desde el centro de las puertas y hasta estar de frente al hueco para poder cargar o descargar el pallet.

Se va a presentar una tabla en la que se muestran las posiciones con menor distancia media a las puertas. Para cada posición ha sido calculada la distancia a cada una de las puertas, así como la función “f” que simplemente es el promedio de ambas distancias, ya que se ha considerado que todos los productos entran por una puerta y

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

salen por la otra. Para el cálculo de las distancias se ha tenido en cuenta que las distancias verticales se recorren de forma mucho más lenta que las horizontales. De hecho, se ha supuesto que los movimientos verticales se realizan 10 veces más lentos que los horizontales, motivo por el cual las distancias verticales han sido mayoradas multiplicándolas por 10. Una vez calculada esta función “f” se han ordenado los huecos de menor a mayor valor de “f” y se le ha asignado a cada hueco una referencia siguiendo el orden obtenido en la tabla anterior (tabla 12). Esta tabla se encuentra completa en el anexo I.

HUECO	DISTANCIA P1	DISTANCIA P2	f	referencia asignada
X-1-1-01	44,1	16,2	30,15	156
X-1-1-02	42,9	17,4	30,15	156
X-1-1-03	41,7	18,6	30,15	156
X-1-1-04	40,5	19,8	30,15	156
X-1-1-05	39,3	21	30,15	156
X-1-1-06	38,1	22,2	30,15	156
X-1-1-07	36,9	23,4	30,15	156
X-1-1-08	35,7	24,6	30,15	156
X-1-1-09	34,5	25,8	30,15	156
X-1-1-10	33,3	27	30,15	156
X-1-1-11	32,1	28,2	30,15	156
X-1-1-12	30,9	29,4	30,15	156
X-1-1-13	29,7	30,6	30,15	156
X-1-1-14	28,5	31,8	30,15	156
X-1-1-15	27,3	33	30,15	156
X-1-1-16	26,1	34,2	30,15	156

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

HUECO	DISTANCIA P1	DISTANCIA P2	f	referencia asignada
X-1-1-17	24,9	35,4	30,15	156
X-1-1-18	23,7	36,6	30,15	156
X-1-1-19	22,5	37,8	30,15	156
X-1-1-20	21,3	39	30,15	156
X-1-1-21	20,1	40,2	30,15	156
X-1-1-22	18,9	41,4	30,15	156
X-1-1-23	17,7	42,6	30,15	156
X-1-1-24	16,5	43,8	30,15	156
X-1-1-25	15,3	45	30,15	156
X-1-1-26	14,1	46,2	30,15	156
X-1-1-27	12,9	47,4	30,15	156
X-1-1-28	11,7	48,6	30,15	156

Tabla 12: Extracto anexo I

De esta asignación hay varios aspectos destacables:

- No todos los huecos están ocupados. Esto es debido a que las estanterías tienen unas dimensiones y no tiene sentido dejar una estantería con sólo 5 niveles para ahorrar 60 posiciones. Es más, este exceso de huecos es aconsejable para tener una cierta flexibilidad en el almacén ante posibles incrementos de demanda. En este sentido se observa que la pared contigua a P2 puede ser también aprovechada colocando estanterías sobre ella.
- Esta asignación de huecos es flexible, ya que todas las posiciones son del mismo tamaño. Gracias a esto las ubicaciones pueden cambiar de sitio en

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

función de posibles cambios de demanda. Un producto puede pasar a necesitar menos huecos y estos pueden pasar a otra referencia que los necesite. Simplemente hay que llevar un registro actualizado de que referencia va en cada ubicación.

Una vez ubicadas todas las referencias es necesario calcular el número de carretillas necesarias para poder manejar las mercancías. Como ya se explicó anteriormente es necesario calcular la distancia total a recorrer dentro del almacén en un período de tiempo. En este caso se va a tomar un mes como unidad temporal, ya que a esa unidad es a la que tenemos referida la demanda. Sustituyendo los datos en la ecuación y teniendo en cuenta que vamos a operar en ciclo simple y que tenemos un pallet por posición obtenemos:

$$d_k = dT_k \cdot n \cdot \frac{n^\circ \text{ pallets}}{\text{posición}} \cdot \text{Tasa rotación}_k$$

$$D = \sum_{k=1}^m d_k = 23333772,8 \text{ metros}$$

Pasamos a calcular la capacidad de una carretilla, para lo cual suponemos que se trabajan 20 días al mes a razón de dos turnos de 6 horas útiles al día:

$$\text{Capacidad carretilla} = \frac{20 \cdot \text{días}}{\text{mes}} \cdot \frac{2 \cdot \text{turnos}}{\text{día}} \cdot \frac{6 \cdot \text{horas}}{\text{turno}} \cdot \frac{3600 \cdot \text{segundos}}{\text{hora}} = 864000 \text{ segundos/mes}$$

Considerando que la velocidad media de las carretillas es de 5 m/s, el tiempo que necesitamos para las operaciones de introducción y extracción de los materiales es de:

$$t = \frac{D}{v} = 4666754,5 \text{ segundos}$$

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Realizando el cociente entre este tiempo y la capacidad de una carretilla obtenemos el número de carretillas necesarias. Con estos resultados se ve que se necesitan un mínimo de 5,4 carretillas, es decir, 6.

9.3.2 DISEÑO CON ESTANTERÍAS DOBLES

A continuación se va a estudiar como colocaríamos cada referencia en este almacén, es decir, se va a llevar a cabo la asignación de huecos de forma ordenada en vez de caótica. Para ello se va a nombrar cada una de las estanterías para así poder identificar cada hueco (figura 26).

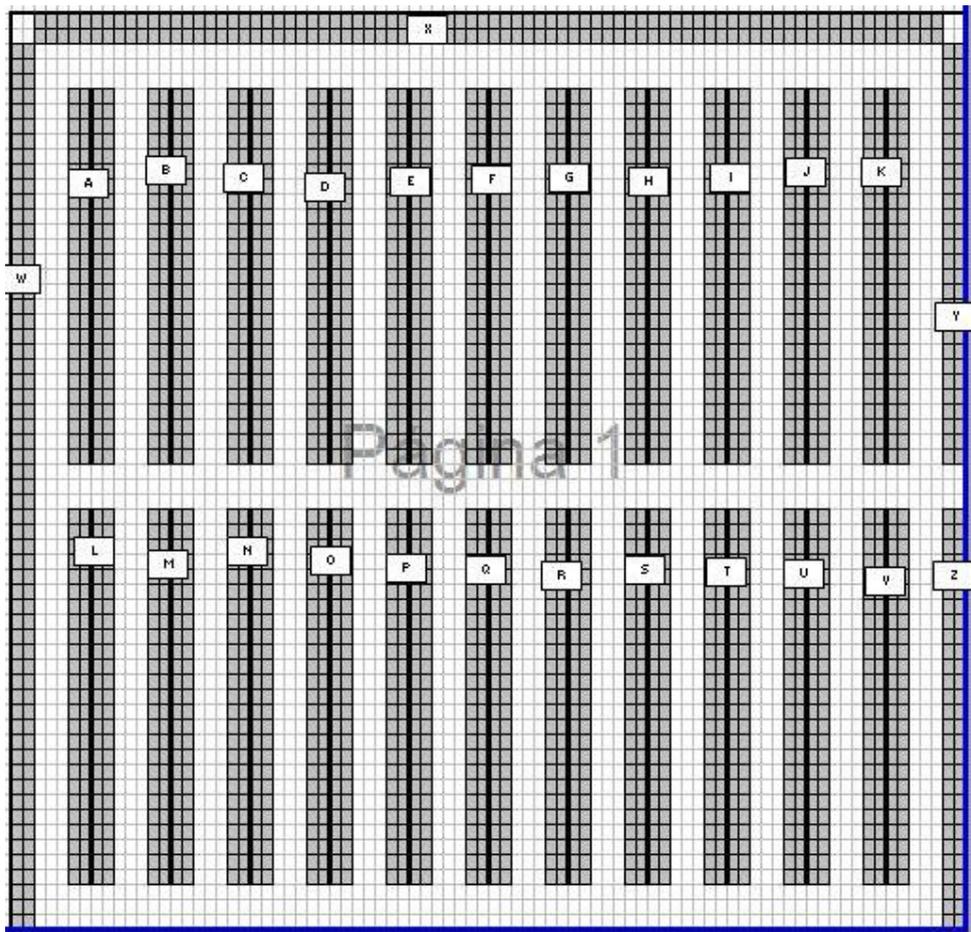


Figura 26: Plano estanterías dobles identificadas

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Una vez que tenemos identificadas todas las estanterías, se va a nombrar cada uno de los huecos de forma que todos queden perfectamente identificados. Para ello se usará una codificación basada en números en función de la profundidad y altura del hueco:

- Todos los huecos van identificados con una letra correspondiente a la estantería en la que se encuentra.
- A continuación le acompañará un número del 1 al 4 que indicará la columna vista en planta en la que se encuentra el hueco, siendo la número 1 la que se encuentre más a la izquierda y la número 4 la que se encuentre más a la derecha. En las estanterías de las paredes esta numeración sólo podrá ser 1 ó 2.
- Luego vendrá un número del 1 al 6 que indica la altura a la que va almacenado el producto, siendo la 1 la que está a ras de suelo.
- A continuación irá un número del 1 al 25 indicando la posición a lo largo de la estantería, comenzando desde abajo visto en el plano. En las estanterías de las paredes el número de huecos es mayor, por lo que el número podrá exceder de 25.

También se va a considerar que la estantería “x” está girada, por lo que en este caso el primer número será la fila (vista en planta) y el último número la columna.

A modo de ejemplo y representando un hueco que está en la planta baja a ras de suelo tendríamos (figura 27):

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

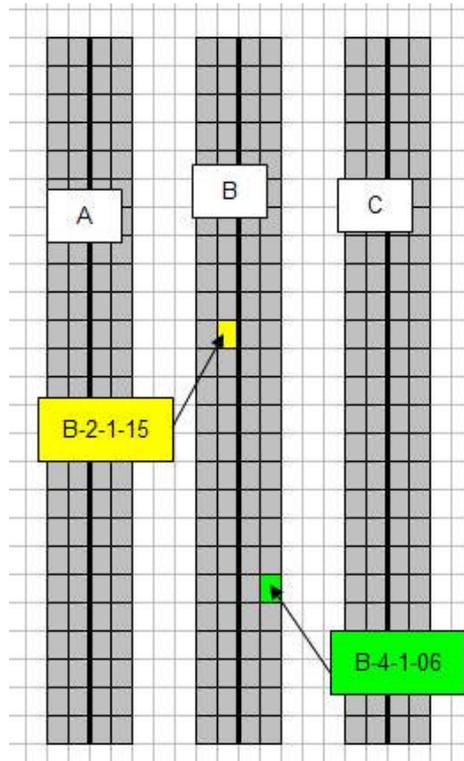


Figura 27: Identificación huecos estanterías dobles

Una vez que queda clara la codificación a utilizar, se van a definir los parámetros necesarios para poder asignar un valor a cada referencia y a cada hueco para así poder ordenarlos.

Como ya se dijo anteriormente, para poder comenzar se necesitan ordenar las referencias que se van a tener en el almacén en función de su frecuencia de entrada (demanda mensual) y en función del número de huecos que necesitamos para almacenarla. Al cociente de ambos valores se le denomina tasa de rotación. La tabla con los productos ordenados se encuentra en el apartado anterior (tabla 11).

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

A continuación, se necesita calcular la distancia entre cada hueco y cada una de las puertas. Las distancias se han tomado desde el centro de las puertas y hasta estar de frente al hueco para poder cargar o descargar el pallet (figura 28).

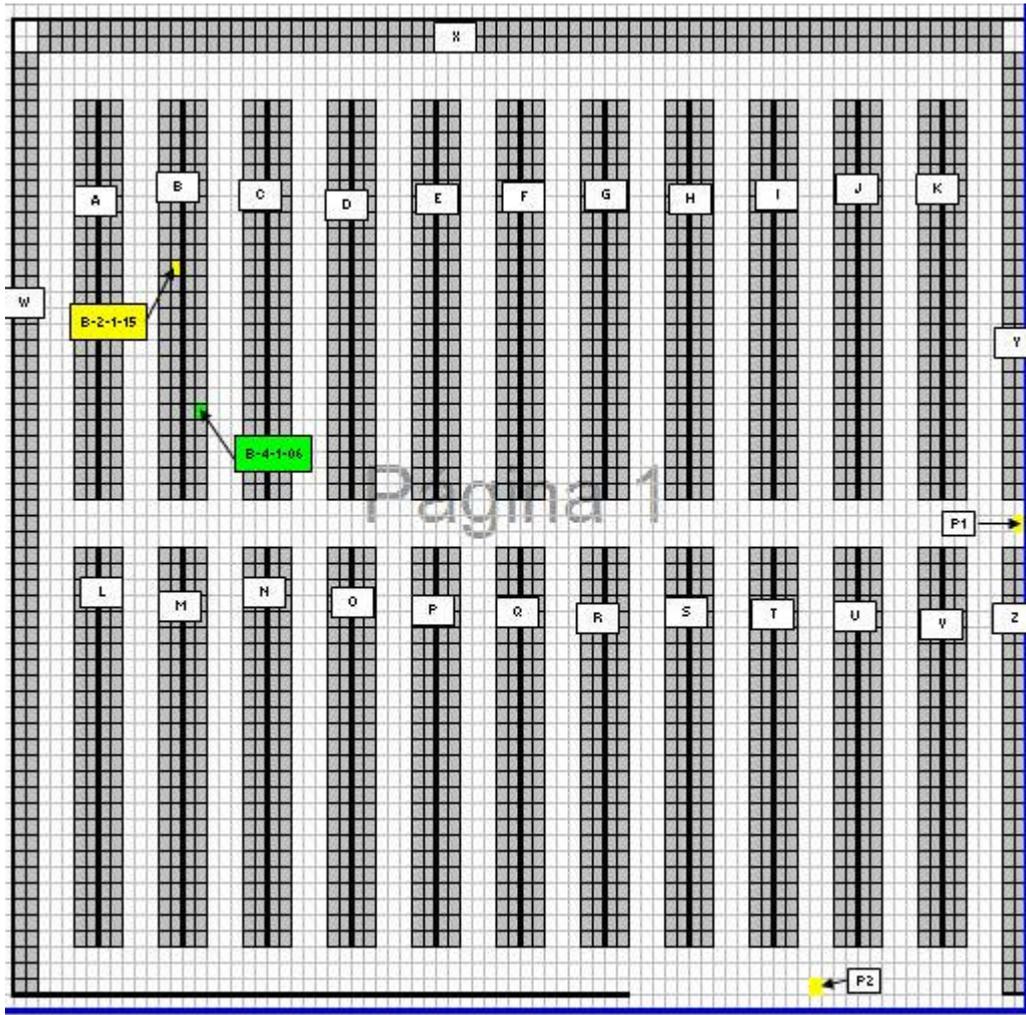


Figura 28: Plano estanterías dobles con puertas

A continuación se va a presentar una tabla en la que se muestran las posiciones con menor distancia media a las puertas. Para cada posición ha sido calculada la distancia a cada una de las puertas, así como la función “f” que simplemente es el

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

promedio de ambas distancias, ya que se consideran que todos los productos entran por una puerta y salen por la otra. Para el cálculo de las distancias se ha tenido en cuenta que las distancias verticales se recorren de forma mucho más lenta que las horizontales. De nuevo, se ha supuesto que los movimientos verticales se realizan 10 veces más lentos que los horizontales, motivo por el cual las distancias verticales han sido mayoradas multiplicándolas por 10. También se ha tenido en cuenta que hay una serie de pallets que se encuentran tapados por otros. Esto implica que para sacar el pallet de atrás es necesario quitar previamente el que se encuentra delante. Además el movimiento horizontal dentro de la estantería para retirar el pallet del fondo también es más lento. Por todo ello se ha mayorado la distancia vertical de estos huecos multiplicándola por dos. Una vez calculada esta función “f” se han ordenado los huecos de menor a mayor valor de “f” y se le ha asignado a cada hueco una referencia siguiendo el orden obtenido en la tabla anterior (tabla 13). Esta tabla se encuentra completa en el anexo II.

hueco	distancia P1	distancia P2	f	referencia asignada
Z-1-1-01	36,6	17,2	26,9	156
Z-1-1-02	35,4	18,4	26,9	156
Z-1-1-03	34,2	19,6	26,9	156
Z-1-1-04	33	20,8	26,9	156
Z-1-1-05	31,8	22	26,9	156
Z-1-1-06	30,6	23,2	26,9	156
Z-1-1-07	29,4	24,4	26,9	156
Z-1-1-08	28,2	25,6	26,9	156

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

hueco	distancia P1	distancia P2	f	referencia asignada
Z-1-1-09	27	26,8	26,9	156
Z-1-1-10	25,8	28	26,9	156
Z-1-1-11	24,6	29,2	26,9	156
Z-1-1-12	23,4	30,4	26,9	156
Z-1-1-13	22,2	31,6	26,9	156
Z-1-1-14	21	32,8	26,9	156
Z-1-1-15	19,8	34	26,9	156
Z-1-1-16	18,6	35,2	26,9	156
Z-1-1-17	17,4	36,4	26,9	156
Z-1-1-18	16,2	37,6	26,9	156
Z-1-1-19	15	38,8	26,9	156
Z-1-1-20	13,8	40	26,9	156
Z-1-1-21	12,6	41,2	26,9	156
Z-1-1-22	11,4	42,4	26,9	156
Z-1-1-23	10,2	43,6	26,9	156
Z-1-1-24	9	44,8	26,9	156
Z-1-1-25	7,8	46	26,9	156
Z-1-1-26	6,6	47,2	26,9	156
Z-1-1-27	5,4	48,4	26,9	156
Z-1-1-28	4,2	49,6	26,9	156
T-4-1-01	49	6,2	27,6	156
T-4-1-02	47,8	7,4	27,6	156

Tabla 13: Extracto anexo II

De esta asignación hay varios aspectos destacables:

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

- No todos los huecos están ocupados. Esto es debido a que las estanterías tienen unas dimensiones y no tiene sentido dejar una estantería con sólo 5 niveles para ahorrar 100 posiciones. Es más, como ya se comentó anteriormente, este exceso de huecos es aconsejable para tener una cierta flexibilidad en el almacén ante posibles incrementos de demanda. En este sentido se observa que la pared contigua a P2 puede ser también aprovechada colocando estanterías sobre ella.
- Al igual que en el caso anterior, se puede ver que esta asignación de huecos es flexible, ya que todas las posiciones son del mismo tamaño. Gracias a esto las ubicaciones pueden cambiar de sitio en función de posibles cambios de demanda. Un producto puede pasar a necesitar menos huecos y estos pueden pasar a otra referencia que los necesite. Simplemente hay que llevar un registro actualizado de que referencia va en cada ubicación.

Una vez ubicadas todas las referencias es necesario calcular el número de carretillas necesarias para poder manejar las mercancías. Como ya se explicó anteriormente es necesario calcular la distancia total a recorrer dentro del almacén en un período de tiempo. En este caso se va a tomar un mes como unidad temporal, ya que a esa unidad es a la que tenemos referida la demanda. Sustituyendo los datos en la ecuación y teniendo en cuenta de nuevo que se va a operar en ciclo simple y que tenemos un pallet por posición se obtiene:

$$d_k = dT_k \cdot n \cdot \frac{n^\circ \text{ pallets}}{\text{posición}} \cdot \text{Tasa rotación}_k$$

$$D = \sum_{k=1}^m d_k = 23519037,5 \text{ metros}$$

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Pasamos a calcular la capacidad de una carretilla, para lo cual se supone que se trabajan 20 días al mes a razón de dos turnos de 6 horas útiles al día:

$$Capacidad\ carretilla = \frac{20 \cdot días}{mes} \cdot \frac{2 \cdot turnos}{día} \cdot \frac{6 \cdot horas}{turno} \cdot \frac{3600 \cdot segundos}{hora} = 864000\ segundos/mes$$

Como se puede observar la capacidad de la carretilla es la misma que en apartado anterior ya que la configuración del almacén no influye en este parámetro.

Considerando que la velocidad media de las carretillas es de 5 m/s, el tiempo que necesitamos para las operaciones de introducción y extracción de los materiales es de 4703807,5 segundos. Con estos resultados vemos que necesitamos un mínimo de 5,44 carretillas, es decir, 6.

Puede observarse que hemos obtenido el mismo número de carretillas para este diseño que para el diseño anterior.

9.3.3 DISEÑO CON ESTANTERÍAS COMPACTAS Y DOBLES

Como ya se dijo anteriormente, en este diseño se va a almacenar una serie de referencias, que son las que más huecos necesitan, en estanterías compactas y el resto en estanterías dobles. Análogamente al caso anterior, se va a identificar cada una de las estanterías (figura 29):

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

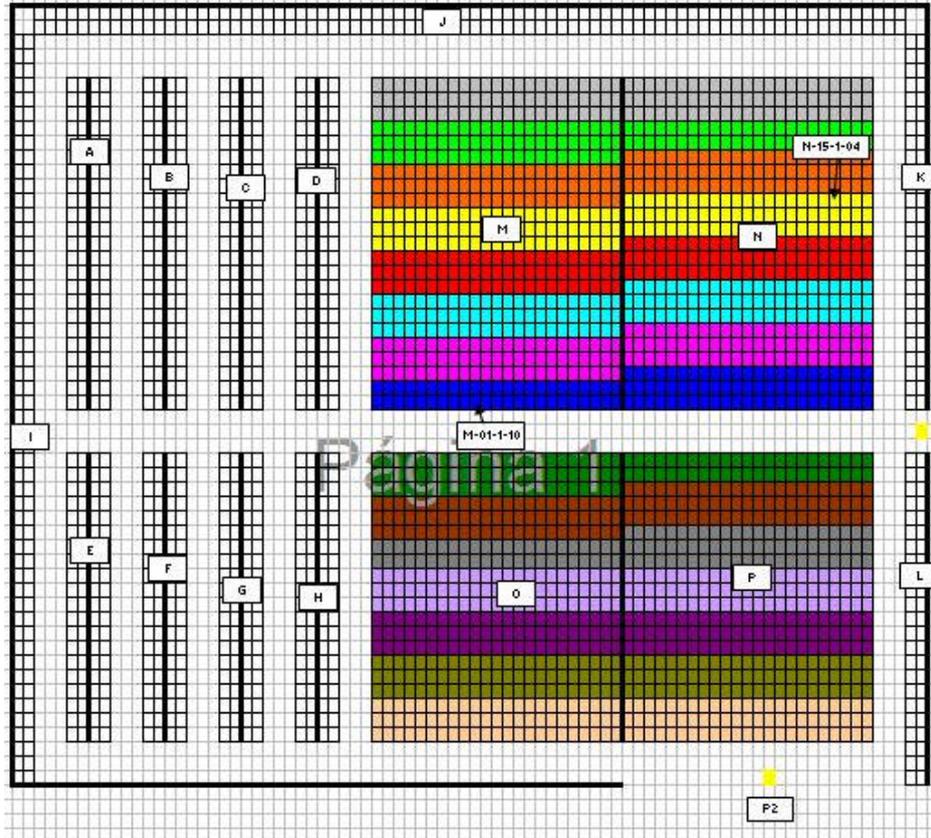


Figura 29: Plano estanterías compactas y dobles identificadas

La forma de identificar los huecos es la misma que en el caso anterior. Para asignar una referencia a cada hueco hay que tener en cuenta que los huecos de las estanterías compactas ya tienen asignados producto según el siguiente código de colores (tabla 14):

referencia
1
12
22
46
52
96

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

110
124
156
157
168
172
184
197
200

Tabla 14: Referencias estanterías compactas (2)

El resto de las referencias se ordenan de la misma manera que antes. Al igual que en el caso anterior, vamos a representar en una tabla las distancias a cada uno de los huecos de las estanterías dobles y vamos a asignarle a cada hueco una referencia. Las distancias han sido calculadas de igual forma que en el apartado anterior. En la tabla 15 se encuentran los de menor distancia, pudiéndose encontrar todos en el anexo III.

hueco	distancia P1	distancia P2	f	referencia asignada
L-1-1-01	37,1	13	25,05	34
L-1-1-02	35,9	14,2	25,05	34
L-1-1-03	34,7	15,4	25,05	34
L-1-1-04	33,5	16,6	25,05	34
L-1-1-05	32,3	17,8	25,05	34
L-1-1-06	31,1	19	25,05	34
L-1-1-07	29,9	20,2	25,05	34

Proyecto Fin de Carrera.
 Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
 Memoria
 Emilio Hidalgo Casati

hueco	distancia P1	distancia P2	f	referencia asignada
L-1-1-08	28,7	21,4	25,05	34
L-1-1-09	27,5	22,6	25,05	34
L-1-1-10	26,3	23,8	25,05	34
L-1-1-11	25,1	25	25,05	34
L-1-1-12	23,9	26,2	25,05	34
L-1-1-13	22,7	27,4	25,05	34
L-1-1-14	21,5	28,6	25,05	34
L-1-1-15	20,3	29,8	25,05	34
L-1-1-16	19,1	31	25,05	34
L-1-1-17	17,9	32,2	25,05	34
L-1-1-18	16,7	33,4	25,05	34
L-1-1-19	15,5	34,6	25,05	34
L-1-1-20	14,3	35,8	25,05	34
L-1-1-21	13,1	37	25,05	34
L-1-1-22	11,9	38,2	25,05	34
L-1-1-23	10,7	39,4	25,05	34
K-1-1-01	10,7	44,2	27,45	34
K-1-1-02	11,9	45,4	28,65	34
K-1-1-03	13,1	46,6	29,85	34
K-1-1-04	14,3	47,8	31,05	34
K-1-1-05	15,5	49	32,25	34
K-1-1-06	16,7	50,2	33,45	34
K-1-1-07	17,9	51,4	34,65	34
K-1-1-08	19,1	52,6	35,85	34

Tabla 15: Extracto anexo III

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Al igual que en los casos anteriores, cabe destacar la flexibilidad de la zona de estanterías dobles, pero no así la de las estanterías compactas. También existen una serie de huecos libres (los más lejanos desde las puertas) para poder hacer frente a posibles aumentos de demanda o a nuevos productos.

Procediendo de la misma manera que en el caso anterior, se va a calcular la distancia a recorrer dentro de la zona de reserva. Para ello se ha tenido en cuenta que dentro de las estanterías compactas la velocidad de las carretillas es menor. De hecho se ha considerado que es la mitad, duplicando las distancias a recorrer dentro de las mismas. En este caso la distancia mensual que obtenemos es de 31093662,6 metros. Con esta distancia y considerando la misma velocidad y capacidad para las carretillas se obtiene que se necesitan 7,2 carretillas, es decir, 8.

Puede verse que en este diseño se necesita un mayor número de carretillas que en los casos anteriores.

9.4.- ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez que se ha calculado la superficie y el número de operarios necesarios para cada una de las opciones, se va a hacer un análisis para ver cuál es la óptima. Para ello se supone que el número de trabajadores de oficina, encargados de mantenimiento y operarios de la zona de picking y de preparación de pedidos es el mismo debido a que el número de entradas y salidas del almacén es el mismo. Por este motivo, el estudio se reduce al ahorro económico que se pueda obtener en el coste del terreno y en el número de operarios que manejan las carretillas.

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Los datos referentes al precio del suelo logístico y al salario medio de los encargados del manejo de las carretillas se han tomado de los datos del Warehousing Education and Research Council, y corresponden al año 2006 en Estados Unidos. Según este estudio, el precio medio del metro cuadrado de suelo logístico es de 1022,6 dólares y el salario medio de dichos trabajadores asciende a 1440 dólares mensuales.

Con estos datos se pueden observar que la inversión inicial en el terreno es menor para el diseño con estanterías compactas. Sin embargo, a largo plazo, los costes de tener 2 trabajadores más por turno en este diseño, originan un coste total mayor que en el diseño con estanterías dobles únicamente. Los costes del diseño con estanterías convencionales son mucho mayores debido a que la superficie es mucho mayor. Representándolo gráficamente (figura 30) se ve que el coste de los diseños con estanterías dobles y estanterías de dos tipos se iguala aproximadamente a los 9 años de la inversión inicial.

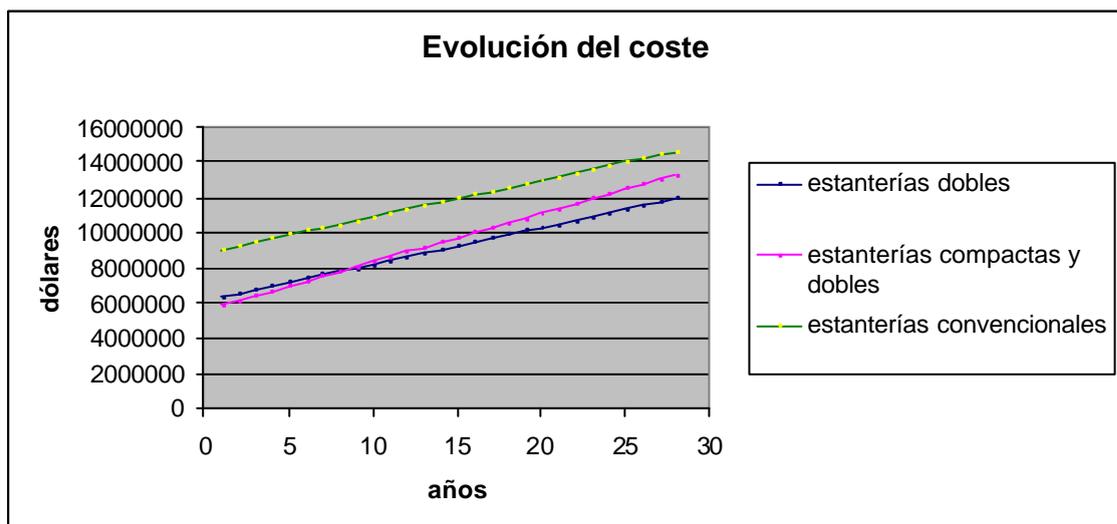


Figura 30: Evolución del coste (compra)

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Dado que es de esperar que la vida del almacén sea superior a los 10 años, la opción más recomendable es el diseño con estanterías dobles.

Todo este estudio ha sido realizado suponiendo que se adquiere el terreno en propiedad. Si se opta por el alquiler del terreno podemos obtener un resultado similar. Tomando como precio se alquiler de suelo logístico en Sevilla 60 euros por metro cuadrado y año, dato tomado del Proyecto Fin de Carrera *Mejoras en la expansión de un grupo logístico*, de Pablo Arbona Palancar, obtenemos (figura 31):

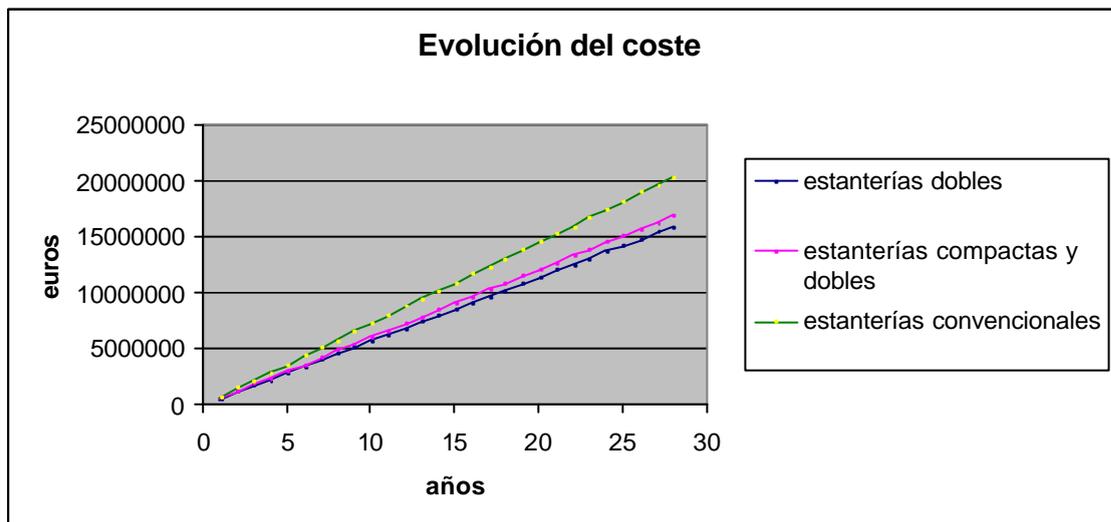


Figura 31: Evolución del coste (alquiler)

Como puede observarse el resultado obtenido es similar al anterior. Por ello el diseño con estanterías dobles sigue siendo el más rentable.

9.5.- DISEÑO DE LAS ZONAS DE PICKING, DE PREPARACIÓN DE PEDIDOS Y ZONAS AUXILIARES

La zona de picking del almacén va a estar situada al lado de la puerta P1. Esta zona se caracteriza por tener una serie de huecos en los que vamos a encontrar un pallet de cada referencia. Dado que existen una serie de productos que entran y salen del almacén siempre paletizados, estos no dispondrán de un hueco en la zona de picking.

En esta zona todas las posiciones se van a encontrar a ras de suelo, para que los operarios puedan acceder a los productos fácilmente y sin ayuda de ningún tipo de equipo. El número de huecos necesario es de 116, que son las referencias que vienen en cajas o sueltas.

La zona de picking ocupa una superficie rectangular de 21 x 24 metros, que suponen una superficie de 504 metros cuadrados.

Detrás de la zona de picking vamos a colocar una zona donde almacenar pallets vacíos, ya sean útiles o no. Este espacio es importante tenerlo en cuenta porque los pallets que no se están utilizando ocupan una superficie no despreciable. Esta zona también puede ser utilizada para almacenar la basura, ya que es la zona más alejada de la entrada y, en condiciones normales, los clientes no tienen acceso a ella. Para esta zona se ha reservado un rectángulo de 12 x 21 metros, que suponen una superficie de 252 metros cuadrados.

Delante de la zona de picking va un espacio que va a ser utilizado como zona de preparación de pedidos. En esta zona se controla lo que se lleva cada cliente, así como se le organizan los productos. Se embalan los pedidos para facilitar su posterior

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

transporte y distribución. Aquí trabajarán varios operarios para que puedan entrar y salir todas las mercancías y no se acumulen a la espera de ser preparadas. Se ha reservado una zona de 33,6 x 21 metros, de forma rectangular que supone una superficie de 705,6 metros cuadrados.

Otras zonas de interés son la zona de oficinas, el cuarto de mantenimiento y los vestuarios. Dentro de estos últimos se encuentran los aseos y zona de descanso. Así mismo, existen unas zonas de entrada y salida para poder cargar y descargar las mercancías cómodamente. En las puertas de estas zonas es donde paran los camiones para la carga y descarga. Son zonas diáfanas donde poder colocar las mercancías recibidas a la espera de ser inspeccionadas y donde esperan los pedidos preparados para su salida. Resumiendo todas estas zonas en una tabla (tabla 16):

Zona	Superficie (m ²)
Reserva	6148,8
Picking	504
Almacén pallets	252
Zona preparación de pedidos	705,6
Mantenimiento	120
Vestuarios	168
Oficina	324
Entrada	396
Salida	252
Total	8870,4

Tabla 16: Superficies

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Haciendo una representación completa del almacén obtenemos (figura 32):

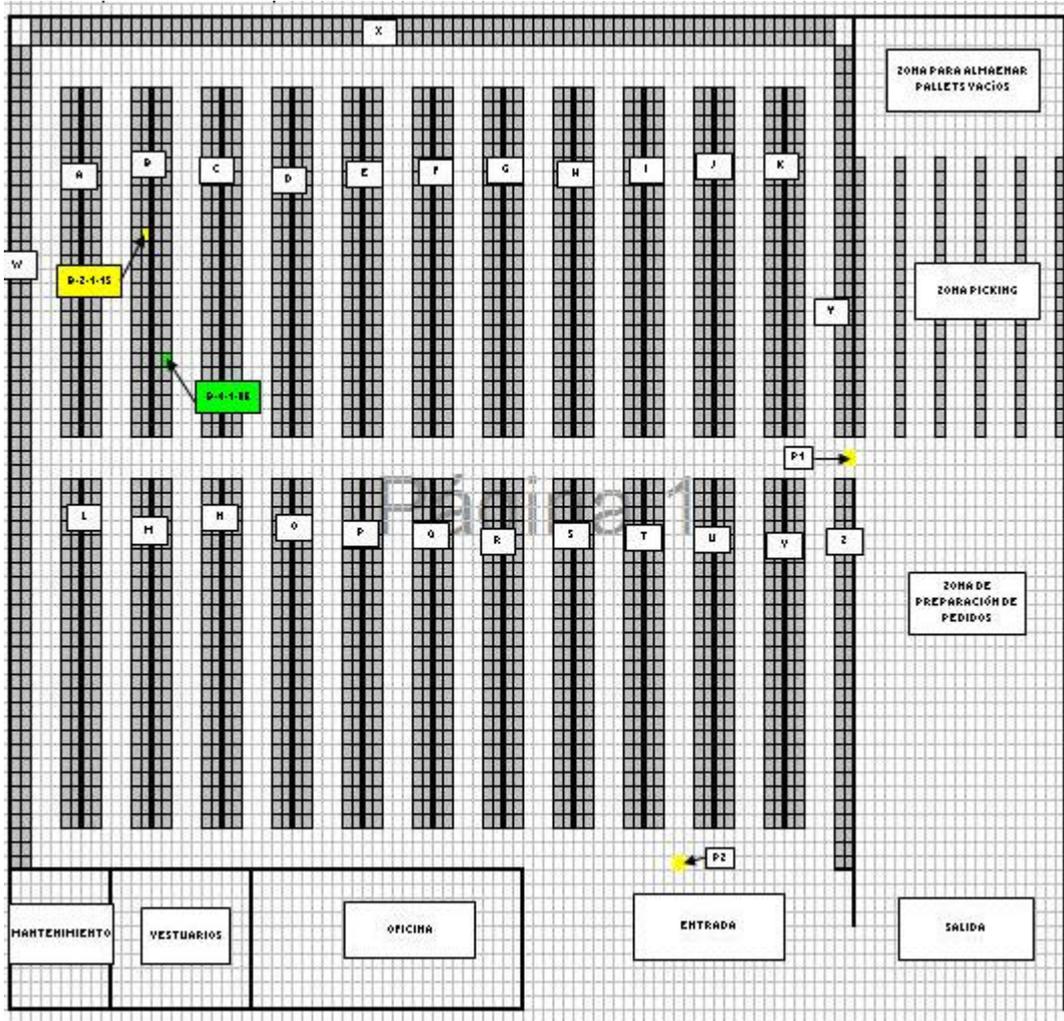


Figura 32: Plano final

10.- CONCLUSIONES

Como conclusión a este proyecto, puede indicarse que se han analizado los distintos factores que influyen en el diseño de un almacén, como es la localización, el tipo de gestión (FIFO o LIFO). También se han analizado los distintos tipos de almacenamiento en función del tipo de estanterías y de los elementos de manipulación utilizados.

También es destacable la aplicación de toda esta teoría a un caso práctico generado aleatoriamente, en el que se han estudiado diversas configuraciones y se ha simulado el proceso real de diseño de un almacén.

11.- BIBLIOGRAFÍA

- Albero Hernández, Jordi Vincent. *La gestión de almacén. Tipos de almacenes. Métodos de valoración de existencias. Cálculo del stock óptimo y mínimo. Utilización de aplicaciones informáticas específicas: prestaciones, funciones y procedimientos de uso.* Instituto Valenciano de Educación Profesional.
- Arbona Palancar, Pablo. *Mejoras en la expansión de un grupo logístico.* Proyecto Fin de Carrera. Escuela Superior de Ingenieros Universidad de Sevilla. 2006.
- Escudero, Escrivá y Clar. *Operaciones de Almacenaje.* McGraw-Hill. 2002.
- Mauleón Torres, Mikel. *Sistemas de almacenaje y picking.* Ed. Díaz de Santos, D.L. Madrid 2003.
- Napolitano, Maida. *Using modeling to solve warehousing problems. A collection of decision-making tools for warehouse planning and design.* Gross & Associates. Warehousing Education and Research Council. 1998.
- Phillips, E.J. *Manufacturing Plant Layout.* SME, 1997.
- Tompkins, White et al. *Facilities Planning.* John Wiley and Sons, 2002
- Urzelai Inza, Aitor. *Manual básico de logística integral.* Ed. Díaz de Santos, D.L. Madrid 2006.
- *Warehousing salaries and Wages. 2006 Data.* Warehousing Education and Research Council. 2006.

12.- ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pallet	13
Figura 2: Almacenamiento en bloque	15
Figura 3: Estanterías	17
Figura 4: Estanterías cantilever	18
Figura 5: Estanterías compactas	21
Figura 6: Estanterías móviles	23
Figura 7: Estanterías dinámicas	25
Figura 8: Transpaleta manual	31
Figura 9: Transpaleta eléctrica	32
Figura 10: Apilador	33
Figura 11: Carretilla contrapesada	34
Figura 12: Carretilla retráctil	35
Figura 13: Carretilla trilateral	36
Figura 14: Transelevador	37
Figura 15: AGV	38
Figura 16: Diagrama de Pareto	43
Figura 17: N° de almacenes vs. Coste transporte	49
Figura 18: Solución localización	57
Figura 19: Plano estanterías convencionales y carretillas contrapesadas	80
Figura 20: Plano estanterías convencionales	83
Figura 21: Plano estanterías dobles	85
Figura 22: Plano estanterías móviles	87
Figura 23: Plano estanterías compactas y dobles	90
Figura 24: Plano estanterías convencionales identificadas	93
Figura 25: Identificación huecos estanterías convencionales	94
Figura 26: Plano estanterías dobles identificadas	107
Figura 27: Identificación huecos estanterías dobles	109

Proyecto Fin de Carrera.
Diseño de un almacén a partir de datos de demanda e inventario.
Memoria
Emilio Hidalgo Casati

Figura 28: Plano estanterías dobles con puertas	110
Figura 29: Plano estanterías compactas y dobles identificadas	115
Figura 30: Evolución del coste (compra)	119
Figura 31: Evolución del coste (alquiler)	120
Figura 32: Plano final	123

13.- ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Localización clientes y proveedores	49
Tabla 2: Pesos	51
Tabla 3: Solución localización	55
Tabla 4: Envases	58
Tabla 5: N° elementos por posición	59
Tabla 6: Histórico de demandas	60
Tabla 7: Datos de las referencias	68
Tabla 8: Clasificación ABC	78
Tabla 9: Referencias con más posiciones	89
Tabla 10: Referencias estanterías compactas (1)	90
Tabla 11: Referencias ordenadas por tasa de rotación	95
Tabla 12: Extracto anexo I	104
Tabla 13: Extracto anexo II	111
Tabla 14: Referencias estanterías compactas (2)	115
Tabla 15: Extracto anexo III	116
Tabla 16: Superficies	122