

RECURSOS INFORMÁTICOS PARA PALETIZAR



IRMA NOEMI NO

Índice General

Contenidos

Índice General.....	1
Figuras y Tablas	2
Capítulo 1	8
Descripción del Problema.....	8
1.1. Introducción	8
1.2. Planteo del problema de investigación.....	9
1.3. Justificación.....	10
1.4. Objetivos	12
1.5. Marco técnico-metodológico.....	13
1.6. Modalidad y Metodología	16
Capítulo 2	24
Definiciones operativas e Informatización	24
2.1. El Pallet	24
2.2. Cajas de cartón corrugado.....	27
2.3. Introducción a la distribución.....	29
2.4. Simulación de paletizado	33
2.5. Orientación del trabajo	47
Capítulo 3	50
Análisis Estadístico y Estudio de Riesgos.....	50
3.1. Descripción del procedimiento de recolección de datos	50
3.2. Análisis estadístico.....	55
3.2.1. TESTEO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN COMPARATIVO	55
3.2.2. ESTUDIO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	59
3.2.3. ANÁLISIS CORRELACIONAL	75
3.2.4. SÍNTESIS DE LAS CONCLUSIONES ESTADÍSTICAS.....	82
3.3. Análisis de Riesgos	85
3.3.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	87
3.3.2. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS	90
3.3.3. RELACIÓN DISTRIBUCIÓN – RIESGOS.....	96
Capítulo 4	101
Paletización en R y Conclusiones.....	101
4.1. Delimitación del problema	101
4.2. Introducción de datos e Interfaz usuario	104

4.3. Generación de Distribuciones y salidas.....	109
4.3.1. DISTRIBUCIÓN “C”	110
4.3.2. DISTRIBUCIÓN “D”	113
4.3.3. DISTRIBUCIÓN “B”	117
4.3.4. DISTRIBUCIÓN “T”	122
4.4. Recursos de simulación para la optimización de la eficiencia de área en paletizado.....	127
4.4.1. IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS HEURÍSTICOS	128
4.4.2. METAHEURÍSTICAS	138
4.5. Conclusiones y trabajos futuros.....	139
Bibliografía.....	146
Anexos	152
Capítulo 3	153
Anexo 1	153
Anexo 1 (Continuación)	154
Anexo 2	155
Caso-Respuesta al formulario.....	155

Irma Noemi No

Figuras y Tablas

Ilustración 1. Niveles de estudio del problema	18
Ilustración 2 - Tabla Variables nivel contexto	18
Ilustración 3 - Tabla Variables nivel anclaje.....	19
Ilustración 4 - Tabla - Variables nivel interno.....	20
Ilustración 5-Diagrama de pez, causa-efecto.....	21
Ilustración 6- Relación Robustez-durabilidad en soluciones/decisiones bajo incertidumbre (Ben-Haim, 2001, pp.80)	21
Ilustración 7-Niveles de multicriterio en paletizado	22
Ilustración 8 - Tabla Ejemplo ahorro de tiempos en manipulación de cargas.....	24
Ilustración 9 - Tabla Pallets de interés en los programas según normas ISO.....	25
Ilustración 10 -Tipos de pallet y sus tolerancias (Giovannetti 2000, pág. 179)	26
Ilustración 11- Tabla Clasificación de Pallets	26
Ilustración 12 - Tipos de ondas (extraído de Giovannetti 2000, pág. 28)	27

Ilustración 13 - Cajas de dimensiones convenientes para el paletizado (extraído de Giovannetti 2000, pág. 182)	28
Ilustración 14 – Desviaciones en la unidad de carga (Por asentamiento, compresión e irregularidad) – ISO 3676	29
Ilustración 15 - Distribución con total eficiencia espacial (Extraída de CCL (2003) pág. 15).....	29
Ilustración 16 - Tabla Medidas combinadas sugeridas para cajas de 600 mm x 400mm.....	30
Ilustración 17 - Distribución combinada extraída de CCL (2003) pág. 15	30
Ilustración 18 - Arista sin apoyo – Extraída de IRAM 6736 – pag.8.....	31
Ilustración 19 - Consumidores de Volumen en paletizado – CCL 2003, pag. 15..	31
Ilustración 20- Pérdida de Resistencia vertical por trabado basal – CENPACK 2003- pag. 57	32
Ilustración 21 - Recomendaciones para una correcta estiba – CCL (2003)– pág. 12 y 13	32
Ilustración 22 - Configuración de Caja con TOPS	35
Ilustración 23 - Configuración del Pallet en TOPS	36
Ilustración 24 - Selección de opciones de patrón de paletizado en TOPS	37
Ilustración 25 - Tabla Salidas gráficas de TOPS – Unidad de carga paletizada ...	38
Ilustración 26 - Posibles distribuciones de paletizado y sus indicadores en TOPS	38
Ilustración 27 - Informe TOPS de distribución de Carga.....	39
Ilustración 28 - Definición de parámetros de embalaje en StackBuilder	41
Ilustración 29 - Definición características del Pallet en StackBuilder	42
Ilustración 30 - Configuración del análisis de distribución en StackBuilder	43
Ilustración 31 - Salida del análisis de paletizado generado por StackBuilder.....	44
Ilustración 32 - Informe de salida exportable StackBuilder	46
Ilustración 33 - Calculadora BCT de StackBuilder	46
Ilustración 34 -Estrategias de optimización espacial.....	47
Ilustración 35- Tabla Fórmulas de resistencia a cargas de interés en la paletización	48
Ilustración 36 - Tabla de variables y sus niveles/valores para nuestro estudio	53
Ilustración 37- Denominación de variables en la planilla de datos Excel para estudio estadístico.....	54

Ilustración 38 - Vista planilla Excel con datos de muestras tomadas en nuestros programas	54
Ilustración 39- Error del sistema de medición (extraído de Prieto-Redchuk, 2016-4))	56
Ilustración 40 - Rerporte R&R del sistema de medición en Minitab para los programas	57
Ilustración 41 - Recorte del diagrama causa-efecto	59
Ilustración 42 - Distribuciones de frecuencias de las distribuciones en los programas	60
Ilustración 43 - Test Chi-Cuadrado dep/indep. Distribución-Programa	61
Ilustración 44 - Contingencias Programa-Distribución	61
Ilustración 45 - Test de igualdad de medias de eficiencia de área en TOPs y PLMStack Builder	62
Ilustración 46 - BoxPlot eficiencia de área en TOPs y PLMStack Builder.....	62
Ilustración 47 - Gráfico test igualdad de varianzas de eficiencia de área de los programas	63
Ilustración 48 - Gráfico testeo de normalidad eficiencia de área TOPs	63
Ilustración 49 - Gráficos de ajuste a estadísticos de la eficiencia de área de TOPs	64
Ilustración 50 - Efectos principales para la eficiencia de área en TOPs	65
Ilustración 51 - Tabla de efectos principales para la eficiencia por distribución en TOPs	65
Ilustración 52 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en TOPs	66
Ilustración 53 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en TOPs vista detallada.....	66
Ilustración 54 -Gráfico testeo de normalidad eficiencia de área en StackBuilder .	67
Ilustración 55 - Gráficos de ajuste a estadísticos de la eficiencia de área en StackBuilder	68
Ilustración 56 - Efectos principales para la eficiencia de área en StackBuilder.....	69
Ilustración 57 - Tabla de efectos principales para la eficiencia por distribución en StackBuilder	69
Ilustración 58 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en StackBuilder.....	70
Ilustración 59 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en StackBuilder vista detallada.....	70
Ilustración 60 - Eficiencia de áreas por distribución en TOPs	71

Ilustración 61- Tabla testeo de normalidad de la eficiencia de área por distribución en TOPs	71
Ilustración 62 - Testeo de igualdad de varianzas de eficiencia de área por distribución en TOPS	72
Ilustración 63 - Eficiencia de áreas por distribución en StackBuilder	73
Ilustración 64 - Tabla testeo de normalidad de la eficiencia de área por distribución en StackBuilder	74
Ilustración 65 - Testeo de igualdad de varianzas de eficiencia de área por distribución en StackBuilder	74
Ilustración 66 - Gráficos de Interacción Ef. de área por factores en SateckBuilder	76
Ilustración 67 - Gráficos de Interacción Ef. de área por factores en TOPs	76
Ilustración 68 - Gráficos de Residuos para ef. de área en TOPs	77
Ilustración 69 - Gráficos de Residuos para ef. de área en StackBuilder	77
Ilustración 70 - Scree Plot variabilidad de componentes principales en TOPs.....	79
Ilustración 71 - Score Plot primeras dos componentes principales en TOPs	79
Ilustración 72 - Biplot vectorial componentes principales TOPs	80
Ilustración 73 - Scree Plot variabilidad de componentes principales en StackBuilder	81
Ilustración 74 - Score Plot primeras dos componentes principales en StackBuilder	82
Ilustración 75 - Biplot vectorial componentes principales StackBuilder	82
Ilustración 76 - Tabla con síntesis de conclusiones de los estudios estadísticos sobre los programas.....	85
Ilustración 77 - Entorno de Decisión del Ingeniero en Packaging	86
Ilustración 78 . Niveles de multicriterio en paletizado.....	87
Ilustración 79 - Tabla de riesgos definidos para el proceso de paletizado	88
Ilustración 80 - Tabla de escala de probabilidad de riesgos en paletizado.....	90
Ilustración 81 - Escala de impacto de los riesgos en procesos de paletizado.....	91
Ilustración 82 - Tabla definiciones de las valoraciones de verosimilitud e impacto	91
Ilustración 83 - Tabla de puntajes obtenidos por encuesta.....	93
Ilustración 84 - Verosimilitud / Impacto de riesgos en paletizado.....	94
Ilustración 85 - Gráfico relación pérdida-frecuencia de los riesgos en paletizado.	95

Ilustración 86 - Gráfico de barras en la relación distribución de paletizado - incidentes.....	97
Ilustración 87 - Tabla de respuestas sobre riesgos por distribución de paletizado.	98
Ilustración 88 - Gráfico porcentual de preferencias por distribuciones de paletizado	99
Ilustración 89- Planteo de la función objetivo y las restricciones de no superposición de la etapa bidimensional (extraído de Kocjan, 2008).....	102
Ilustración 90 - Tabla de identificación de pallets en la programación.....	103
Ilustración 91- Tabla de identificación de cajas en la programación	103
Ilustración 92 - Ilustraciones de distribuciones tipo.....	104
Ilustración 93 - Vista VBA Excel para elección del Pallet	105
Ilustración 94- Ingreso de datos VBA Excel para elección del Pallet.....	105
Ilustración 95 – Otros botones VBA Excel para elección del Pallet.....	106
Ilustración 96 - Carga automática de dimensiones en planilla Excel	106
Ilustración 97 - Dos posibilidades de distribución "C"	111
Ilustración 98 - Vista de pantalla primer código y salida encolumnada en R	112
Ilustración 99 - Salida StackBuilder distribución "C".....	112
Ilustración 100 - Lógica de la distribución programada "D".....	114
Ilustración 101 - Tabla de Vistas posibles distribuciones "D"	114
Ilustración 102 - Vista salida del programa en R para la distribución "D"	115
Ilustración 103 - Salida en StackBuilder para la distribución "D"	116
Ilustración 104 - Solución agregada por el programa en R.....	117
Ilustración 105 - Tabla de posibles vistas distribución "B" en TOPs.....	118
Ilustración 106 - Lógica de la programación para la distribución "B"	118
Ilustración 107 - Tabla de posibles vistas de distribución "B" en StackBuilder ..	119
Ilustración 108 - Vista de salida del programa en R para la distribución "B"	120
Ilustración 109 - Salida de StackBuilder para la distribución "B"	120
Ilustración 110 - Vista de salida agregada por el programa en R coincidente con TOPs	121
Ilustración 111 - Salida de TOPs para todas las distribuciones.....	122
Ilustración 112 - Vista apilamiento en forma de distribución "T"	123
Ilustración 113 - Esquema de la lógica de programación distribución "T"	123
Ilustración 114 - Salida del programa en R para la distribución "T"	124
Ilustración 115 - Salida de StackBuilder para la distribución "T"	124

Ilustración 116 - Vista de distribución "T" agregada por R que coincide con TOPs	125
Ilustración 117 - Vista de distribución "T" del programa TOPs que no sigue el concepto de encolumnado	125
Ilustración 118 - Salida de R para todas las distribuciones	126
Ilustración 119 - Salida de TOPs todas las distribuciones con parámetros anteriores	126
Ilustración 120 - Gráfico de variación del largo de la caja.....	129
Ilustración 121 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden lexicográfico	130
Ilustración 122 -Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden lexicográf. 1000 corridas	131
Ilustración 123 - Vista de ingreso de datos en el programa de R . Error! Bookmark not defined.	
Ilustración 124 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden lexicográfico inverso	133
Ilustración 125 - Vector aleatorio de elección de distribución.....	134
Ilustración 126 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden aleatorio	135
Ilustración 127 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" con otro orden aleatorio.....	136
Ilustración 128 - Vista de salida del programa en R como Data frame.....	137
Ilustración 129 - Sentencias a incorporar para calcular medias en el programa ..	138
Ilustración 130 - Recorrido de enfoques al tratamiento de los problemas de paletizado (Zúñiga 2016, pp. 74, tabla 1).....	141

Capítulo 1

Descripción del Problema

1.1. Introducción

Dentro de la cadena de distribución de cualquier producto de consumo masivo las decisiones en su empaque constituyen un elemento operativo de importancia. La elección y distribución de los embalajes en los medios de transporte impactan directamente en el campo de la logística, en términos de dimensiones, costos, aseguramiento de la calidad e impacto ambiental.

La ingeniería en empaque es un ámbito profesional en continuo desarrollo, involucrando tareas que comprenden:

- El diseño: Mediante la selección de materiales, tamaño y forma (a través de ensayos químicos de compatibilidad contenido/medio, estudios mecánicos de esfuerzos y resistencias, y finalidad última del envase (uso)).
- Las especificaciones: Formulaciones técnicas y procesos que sirven de marco a proveedores y técnicos responsables del aseguramiento de la calidad.
- Los procesos: Respaldar la operatividad del proceso de envasado y empaque final para su expedición.
- El Seguimiento: Realizar las tareas de reingeniería y rediseño necesarias según los resultados de performance observados en el mercado.

Dentro de las tareas concernientes a los procesos operativos mencionados anteriormente nos enfocaremos en las decisiones involucradas en la disposición de empaques para su paletizado.

1.2. Planteo del problema de investigación

La selección del empaque y disposición del mismo en pallets es un problema matemático que involucra variables dimensionales bajo restricciones geométricas reales y parámetros de optimización contextuales (características mecánicas del empaque y propias del producto). Existen diversos paquetes informáticos que ofrecen un conjunto de soluciones factibles a los diversos planteos ingresados. Los parámetros dimensionales y de estructura estandarizados, son parte del menú disponible en los programas, también variables de entrada propias de un planteo personalizado pueden ser ingresadas por el usuario; con estos datos los utilitarios determinan un conjunto de soluciones (de eficiencia aceptable) para el problema de optimización “disposición de empaques en pallet” determinado por las restricciones expresadas.

En el mercado informático existen utilitarios de acceso libre y gratuito, aplicaciones de código abierto, y programas comerciales de pago, que ofrecen el tratamiento de la problemática. De todos los programas disponibles se han seleccionado dos de ellos: PLMPack StackBuilder software gratuito y de código abierto (registrado por TreeDim), y TOPS Pro software pago (propiedad de TOPS Software Corporation – Topseng) ofreciendo, éste último, una alternativa mucho más completa para la investigación y el desarrollo de empaque.

Nuestro problema se remite a analizar la eficiencia que otorgan las salidas de estos programas con respecto a las propuestas de paletizado en formatos estandarizados de cajas. La eficiencia es una medida relacional de dos tipos: superficie cubierta/superficie pallet y volumen ocupado/volumen teórico. Estudiaremos la eficiencia de estos indicadores y su correlación con los datos ingresados, siguiendo metodologías de análisis factorial estadístico para la calidad. (Redchuk, 2016), (Redchuk, 2012), (Myers, 1999).

También sabemos que los programas no ofrecen una solución óptima final, sino un conjunto de posibilidades entre las cuales se seleccionará la más apta para el problema particular. Esta decisión sigue en general criterios basados en la experiencia de un ingeniero en empaque, dichas experiencias serán resumidas en un conocimiento a priori de la situación, plausible de ser incorporado a un análisis bayesiano que nos ayude a

elaborar una toma de decisión de respaldo teórico. (Efremov, 2016), (Rios Insua, 2001), (Arsham, 2015).

Por último, hemos observado que el programa/lenguaje R , carece de un paquete destinado a problemáticas de paletizado o empaque, por lo cual crearemos un humilde código de programación destinado a ofrecer una salida similar a las ofrecidas por los programas mencionados anteriormente, utilizando simulación heurística. (Verzani, 2005) (Redchuk , 2012) (Correa, 2002) (Cano, 2015)

1.3. Justificación

El proceso de paletizado actualmente se realiza de tres maneras: manual, semiautomático, o totalmente automatizado; en los tres casos las instrucciones de la disposición de las cajas en los pallets , así como la determinación de las dimensiones de las mismas son responsabilidad de los ingenieros de I+D en empaque.

Las herramientas informáticas han empoderado a los profesionales del área proveyéndoles de cálculos y visualizaciones simuladas a una gran velocidad, sirviendo de soporte para la toma de decisiones. Actualmente se consideraría ineficiente, costoso y altamente falaz realizar un análisis de ensayos real de distribución de cajas en pallets para optimizar el almacenamiento y logística de los productos, en empresas de consumo masivo.

Las herramientas informáticas disponibles para estas tareas de simulación están ampliamente probadas, y en particular, hemos seleccionado los dos programas mencionados por los siguientes motivos:

- Compatibilidad con utilitarios informáticos de uso corriente (paquete office y adobe acrobat) para la importación y exportación de datos, y la elaboración de informes.
- Librerías comunes y flexibilidad de cambios.
- Facilidad de uso.
- Visualización final del paletizado de rápida interpretación.

- Necesidad de comparar la versatilidad de los servicios de pago versus herramientas gratuitas open source.

La búsqueda de soluciones óptimas para el paletizado se enmarca en una visión de “producción ajustada” (Carretero, 2000), (Krafcik, 1988), como parte de una logística interna de almacenamiento y distribución.

La conveniencia de un análisis estadístico factorial encuentra su justificación en un control de calidad que aspira a satisfacer los preceptos del sistema seis-sigma (Ishikawa, 1994), (Redchuk, 2016).

Enfocamos nuestro problema hacia la realización de mediciones, con el objetivo de analizar métodos y resultados para controlar la eficiencia de la paletización como subproceso del almacenamiento de productos (Prieto, 2006). El marco seis sigma justifica las etapas del trabajo que sintéticamente son: acotación del proceso de paletizado y determinación de su capacidad, descubrimiento de fuentes de variación, relaciones causa-efecto y posterior validación controlada (Redchuk, 2016). El cliente es en nuestro caso un cliente interno, el ingeniero en empaque que debe tomar decisiones que atañen al proceso de paletizado la calidad lograda afectará los resultados en cuanto a la eficiencia acumulada del proceso productivo y logístico.

Consideramos de importancia la incorporación de un análisis de decisión de base bayesiano para la elección de la distribución final de cajas en el proceso de paletizado, para ello las teorías de decisión (Arsham, 2015), (Ben-Haim, 2001) acuerdan en la relevancia de incorporar las probabilidades condicionadas según las experiencias atesoradas por los responsables/expertos en el tema, que conformarán un conocimiento a posteriori en vistas a una mejora de proceso (French, 2000), (Rios Insua, 2001), pudiéndose además (realizando un muestreo adecuado), distinguirse perfiles de riesgo (aversión, neutral o afición) de los mismos según las decisiones tomadas (Chung, 2008), (Efremov, 2016). Los riesgos que en general son considerados para la toma de decisiones en el área de paletizado son múltiples, destacándose entre los más importantes: desmoronamientos, derrumbes y caídas, deterioro de cajas y productos, pandeos y compresiones, desplazamientos no deseados y excesos de carga o altura; siendo éstos, factores de impacto directo sobre la calidad del proceso logístico y comercial de nuestro

producto, por lo tanto se encuentra ampliamente justificado el análisis de riesgos propuesto (Arsham, 2015), (Ben-Haim , 2001), (Chung, 2008).

Como anticipáramos en párrafos anteriores, resultan ineficientes estrategias de ensayo/error para la búsqueda de un óptimo en problemas de paletizado, considerando oportuna la incorporación de estrategias de simulación heurística para la búsqueda de soluciones de alta calidad en un marco de elevada confianza estadística, y coste computacional aceptable. (Martí, 2001), (Cano, 2016).

Para desarrollar el algoritmo heurístico apropiado a la problemática se utiliza el lenguaje R, dado sus características de gratuidad, código abierto y velocidad de expansión en el ámbito académico y empresarial. También justifica nuestra elección la no existencia de librerías y paquetes en R que generen soluciones a problemas de paletizado como los mencionados en nuestro planteo. (Correa, 2002), (Redchuk , 2012), (Verzani, 2005)

1.4. Objetivos

El objetivo principal que inspira este trabajo es el acercamiento a la lógica de optimización que respalda a los programas de paletizado PLMPack StackBuilder y TOPS Pro, como formadores de criterio de calidad en las tomas de decisión en empaque, para la generación de un algoritmo similar ejecutable en el entorno “R”.

Como objetivos secundarios podemos mencionar:

- Recorrido estadístico de las variables intervinientes en el paletizado asistido por programas de simulación.
- Análisis de factores principales para aseguramiento de la calidad en los ítems referidos al diseño/distribución de cajas en pallets.
- Delimitación de impactos y verosimilitudes en riesgos asociados al proceso de paletización.
- Generación de estrategias de simulación para llegar a soluciones alternativas, de elevada performance, con costes computacionales aceptables.

1.5. Marco técnico-metodológico

El enfoque de este trabajo sigue criterios heurísticos de interpretación estadístico-matemática sobre los resultados obtenidos a partir del uso de los programas en la temática del paletizado, restringiendo los parámetros de entrada para acotar el marco de las consecuencias observacionales a un rango adecuado para su estudio. El fundamento de este enfoque se puede basar en la definición del matemático George Pólya quien asegura que “*la heurística está en la experiencia de resolver problemas y en ver cómo otros lo hacen*”¹.(Pólya, 1945)

En el ámbito de la ingeniería de empaque muchas veces no es posible seguir el curso de la lógica clásica mediante un encadenamiento de razonamientos deductivos que indefectiblemente conduzcan a una conclusión válida, es un terreno en el cual los resultados inesperados empujan la investigación al uso de un pensamiento abductivo, en el cual primero se observa el caso y se procede inmediatamente a la búsqueda de la regla de la cual el caso (a priori injustificado) es sólo un resultado, entre otros posibles.

Se utilizarán entonces las observaciones como “detonadores abductivos”, en palabras de Soler Toscano:

*“El mismo Peirce, en la caracterización de la abducción, considera el carácter sorprendente de la observación que despierta en la mente la **duda**, y con ella el **impulso** a explicarla.”* (Soler Toscano, 2012 pag. 7)

Esta curiosidad insatisfecha en la práctica de la ingeniería en empaque da lugar a la intuición (“musement”)² y a la racionalidad, las cuales, combinadas en un marco de sentido común y experticia, justifican las decisiones en un marco de incertidumbre multicriterio.(Ben-Haim , 2001), (Von Furstenberg, G. M. (1990))

Como se expresará en el apartado metodológico, se realizará el estudio de la toma de decisión en el marco del análisis de riesgos (Cano, 2016), (Chung, 2008), (Efremov,

¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Heur%C3%ADstica>

² Musment vocablo introducido por Pierce, ver

2016) y el mantenimiento de un estándar de calidad en el proceso de paletizado. (Ishikawa, 1994), (Redchuk, 2016)

Las definiciones de los elementos y las operaciones que componen nuestro problema se ajustan a las normativas IRAM³ (Instituto (Argentino de Normalización y Certificación) de Racionalización de Materiales) vigentes en nuestro país, y concordantes con las normas internacionales en uso. En particular tendremos como referencia las normas:

- IRAM 6733 - Envases y embalajes. Envases y embalajes de expedición completos y llenos, y unidades de carga. Guía para la selección y uso de ensayos de desempeño.
- IRAM 6736 -Envases y embalajes. Cajas de cartón corrugado Lineamientos para el desarrollo, optimización y consolidación de las cargas unitarias de expedición.
- IRAM 10011 - Pallets para manipulación y transporte de mercancías. Medidas principales.
- IRAM 10014 - Pallets para manipulación y transporte de mercancías. Cargas máximas de trabajo.
- IRAM 10040 - Pallets para manipulación y transporte de mercancías. Reparación de pallets planos de madera.

Las indicaciones expresadas por las normas (elaboradas en base a criterios de seguridad) nos servirán de guía y marco técnico a los efectos de seleccionar una disposición determinada de las cajas en el proceso de paletizado. En particular lo expresado en el punto 4.3.1 de la norma IRAM 6736:

“El diseño estructural de una caja es función del producto a contener y del sistema de distribución física en el que se la utiliza. Los factores preponderantes del sistema de distribución que se deben considerar son:

a) proceso de embalado;

³ <http://www.iram.org.ar/>

- b) armado de la carga paletizada;*
- c) altura de la estiba;*
- d) duración de la estiba;*
- e) condiciones ambientales (temperatura, humedad y presión atmosférica);*
- f) operaciones de manipuleo;*
- g) tipo de transporte (terrestre, marítimo o aéreo);*
- h) operaciones de carga y descarga.”*

También es de utilidad el apartado 5.2 de la norma IRAM 6736 que realiza recomendaciones sobre la distribución de las cajas de cartón corrugado sobre los pallets resaltamos las indicaciones que nos serán útiles:

“Se debe evitar que la caja se ubique de manera que una arista inferior se sitúe entre la separación de las tablas del pallet”;

“Las cajas se deben colocar alineadas, con su corrugación en disposición vertical, evitando sobresalientes”, “deben evitarse sobresalientes del contorno de la superficie superior del pallet”;

“El apilado conveniente de las cajas en el pallets aquel que dispone las cajas en forma alineada y vertical, haciendo coincidir sus cuatro esquinas, es decir, sin trabarlas”;

Asimismo, para asegurar la estabilidad del apilado, se recomienda en el mismo punto de la norma proceder:

a) “Mediante trabado de las cajas. Por ejemplo, en un apilado de cinco filas, se apilan las primeras tres o cuatro filas en columna, haciendo coincidir verticalmente las esquinas de las cajas, y luego se traba la última o las dos últimas filas”;

b) “intercalando un accesorio entre pilas. Por ejemplo, una hoja de cartulina gruesa o cartón corrugado después de la segunda fila, y luego cada dos filas siguientes para asegurar las columnas.

c) “mediante encastrado. Para cajas con aletas y orificios de encastre, en donde se debe verificar el correcto encastrado entre las cajas apiladas”.

Todas estas indicaciones nos servirán para realizar un primer análisis de adecuación. Esta adecuación sumada a las experiencias previas de expertos nos proveerá de probabilidades condicionadas de ocurrencia de fallos en la parte del proceso de paletización que nos ocupa.

1.6. Modalidad y Metodología

Un primer acercamiento a la problemática del paletizado en el área del consumo masivo nos propone conocer los elementos constitutivos del proceso y sus interrelaciones. Para ello se realizará un recorrido general con posterior recorte a las características de los parámetros que serán parte de nuestro problema concreto (ver más adelante “variables”).

Se hará una descripción -orientada a nuestros objetivos- de los programas a utilizar, PLMPack StackBuilder y TOPS PRO: su uso y la interpretación de sus salidas e informes generados, resaltando aquellas fortalezas que nos sean de utilidad. Se generarán muestras de dos tipos:

- 1- Dentro del mismo programa variando los parámetros de ingreso para conocer la sensibilidad de cada uno de ellos con respecto a las salidas generadas para cada caso.
- 2- Muestras generadas con los mismos valores de entrada en ambos programas realizando un análisis comparativo de respuestas (outputs).

Se realizará un análisis factorial sobre las variables trabajadas para detectar situaciones de correlación y reducción a factores principales sobre los procesos de paletizado (García, 2006) (Redchuk, 2016). Utilizaremos los programas Minitab, SPSS y R (indistintamente) para estas tareas estadísticas. (García, 2006), (Myers, 1999)

Las principales “variables” que formarán parte de nuestra estadística paletizada son:

- Destino: Limitación de altura (racks-estanterías), limitación transportación (camión).
- Base: Tipo de Pallet (denominación ~ dimensiones, material)
- Caja: Características (geometría relacionada con las dimensiones).
- Disposición: Diagonal, por bloques, multicapa, multisuperficie, escalonado, etc.
- Eficiencia: Superficie (cubierta/ disponible), volumen (ocupado/ total).

Nos detendremos sólo en algunas de las variables que intervienen en el problema de paletizado, dado que planteamos un enfoque geométrico, algunas restricciones físicas (como el peso) se mantendrán constantes, para que no alteren la obtención una distribución final de cajas en el pallet (pensada como eficiencia espacial).

Podemos definir el perfil de las matrices de datos, las cuales contendrán la descripción de los elementos de la investigación, siguiendo el carácter triádico propuesto por Samaja (Samaja 2010):

- La matriz supraunitaria N_{+1} (matriz de los contextos de la matriz de anclaje) se construye considerando como unidades de análisis: las restricciones espaciales, las propiedades físicas del destino y la Base de almacenamiento.
- La matriz de anclaje o central N_a (que es el nivel desde el cual se decidió recorrer la investigación), contendrá como unidades de análisis: la disposición de las cajas en los pallets .
- La matriz subunitaria N_{-1} , formada por las componentes correspondientes a los elementos de la matriz de anclaje (de interés para la investigación), incluirá como unidades de análisis: las cajas (a disponer sobre el pallet).

Esquemáticamente (visión de niveles):

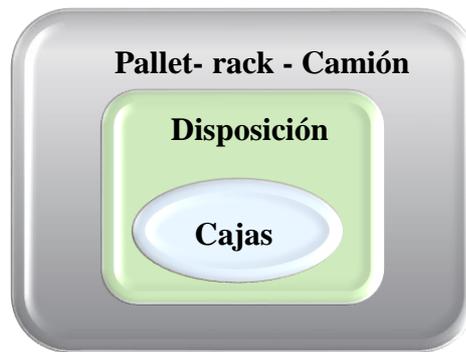


Ilustración 1. Niveles de estudio del problema

Estadísticamente se realizará un análisis univariado (descriptivo con medidas de tendencia central), bivariado (de dependencia – correlación) y factorial para explicar posibles comportamientos observados a través de un número menor (y en algún sentido más significativo) de variables, que posibilitan una reagrupación de los datos siguiendo estas nuevas dimensiones detectadas. Si corresponde se realizarán pruebas no paramétricas multilaterales y bilaterales: contrastándose las distribuciones correspondientes a diferentes resultados, para analizar la semejanza o diferencia de sus comportamientos, así como el estudio cualitativo de correlaciones y concordancias (pruebas H de Kruskal-Wallis, de Kolmogorov-Smirnov, y/o test de Kendall) (García, 2006) (García, R. 2006).

Nivel Supraunitario					
U. de Análisis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Escalas	Valores
Destino	Container Camión Estantería	Altura	Definición de destino	De intervalo	Reales positivos.
	Pallet	Material	Definición del pallet	Nominal	Madera, plástico.
		Medidas	Alto	De intervalo	Reales positivos.
			Largo	De intervalo	Reales positivos.
			Ancho	De intervalo	Reales positivos.

Ilustración 2 - Tabla Variables nivel contexto

Nivel de Anclaje					
U. de Análisis	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Escalas	Valores
Distribución	Arreglo	Encaje	Definición desde menú y visualización gráfica	Nominal	Encolumnado, Intercalado, Intercalado simétricamente, Entrelazado, Diagonal, Espiralado.
		Capas (Layers)	Permiso o denegación	Nominal	Alineada, Alternada.
		Dirección de apoyo	Selección de eje de altura	Nominal	X, Y, Z
	Eficiencia	Espacial	Volumen ocupado/volumen disponible	De razón	Porcentuales
		Superficial	Superficie cubierta/superficie disponible	De razón	Porcentuales
	Informe	Escrito	Salida rankeada según eficiencia	Ordinal	1°, 2°, 3°
		Gráfico	Visualización de salida seleccionada	Ordinal	1°, 2°, 3°

Ilustración 3 - Tabla Variables nivel anclaje

Nivel Subunitario					
U. de Análisis	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALAS	VALORES
Cajas	Medidas	Altura	Definición manual	De intervalo	Reales positivos.
		Largo	Definición manual	De intervalo	Reales positivos.
		Ancho	Definición manual	De intervalo	Reales positivos.

Ilustración 4 - Tabla - Variables nivel interno

Los análisis estadísticos son parte e insumo de un análisis de calidad del proceso, considerando que las etapas del proceso seis-sigma aplicados a nuestro problema son (Prieto, 2006), (Redchuk, 2016):

- Acotar el proceso: delimitando el campo de estudio a un número reducido de casos.
- Determinar la capacidad del proceso: Según los estándares de materiales y métodos del procedimiento de paletizado.
- Descubrir las fuentes de variación: Específicamente explorando dimensiones y restricciones del problema.
- Determinar las relaciones causa-efecto: Mediante un análisis estadístico de las variables definidas con relación a la eficiencia lograda.
- Vigilar la variación de las causas.

Un diagrama de causa-efecto en nuestro problema es:

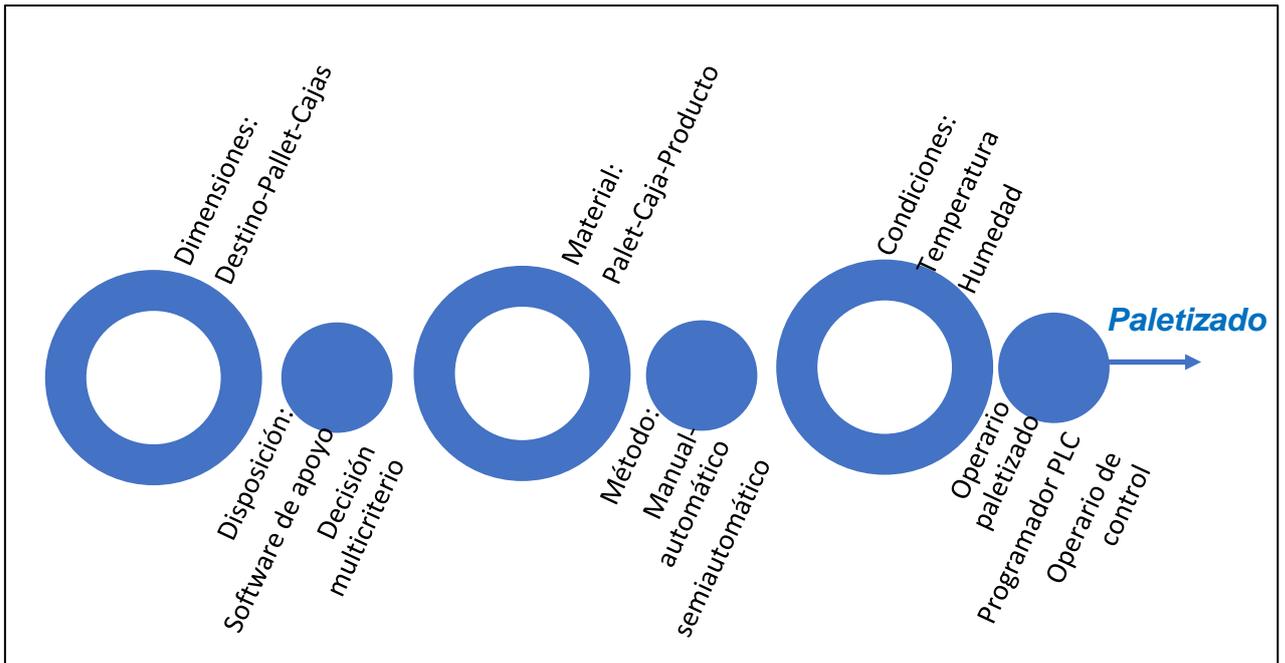


Ilustración 5-Diagrama de pez, causa-efecto

Considerando la experiencia previa de los ingenieros de empaque y la problemática de paletizado ya descrita, se puede establecer una relación causa-efecto bayesiana sobre los riesgos de fracasos o éxitos del proceso según las decisiones tomadas. Asumimos que este es un sector de la ingeniería en el cual existe incertidumbre, y se procede mediante métodos analógicos y esporádicamente abductivos (Ambrosini, 2015) siempre entendiendo que la robustez es inversa a la eficiencia (en términos de coste) y que aún ante la mayor robustez de la solución planteada, la durabilidad (en términos de tiempo) decrecerá (por motivos tecnológicos) (Ben-Haim , 2001).

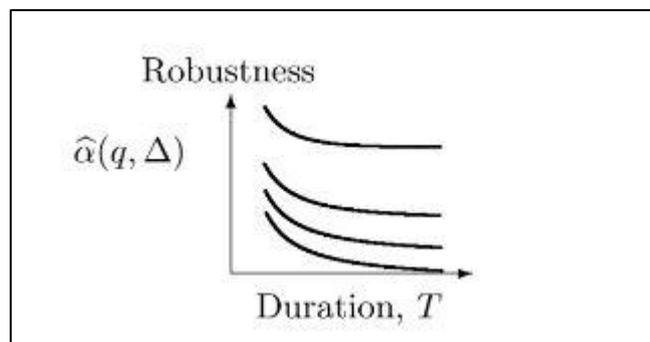


Ilustración 6- Relación Robustez-durabilidad en soluciones/decisiones bajo incertidumbre (Ben-Haim, 2001, pp.80)

Consideramos entonces que puede extenderse el análisis un poco más allá del ámbito de la calidad para ingresar en el campo de la “inclinación al riesgo”, según las salidas ofrezcan soluciones de aversión, afición o neutralidad en cuanto a la sensibilidad ante condiciones de incertidumbre (Efremov, 2016).

Nos encontramos en un marco de decisión multicriterio, en el cual un sistema de soporte a la decisión (DDS) puede ser un proceso analítico-jerárquico (AHP) como el disponible bajo la denominación Web-HIPRE (Hierarchical Preference analysis on the world wide WEB)⁴. Un primer acercamiento al estudio de nuestro problema en estos términos puede observarse en la siguiente Ilustración.

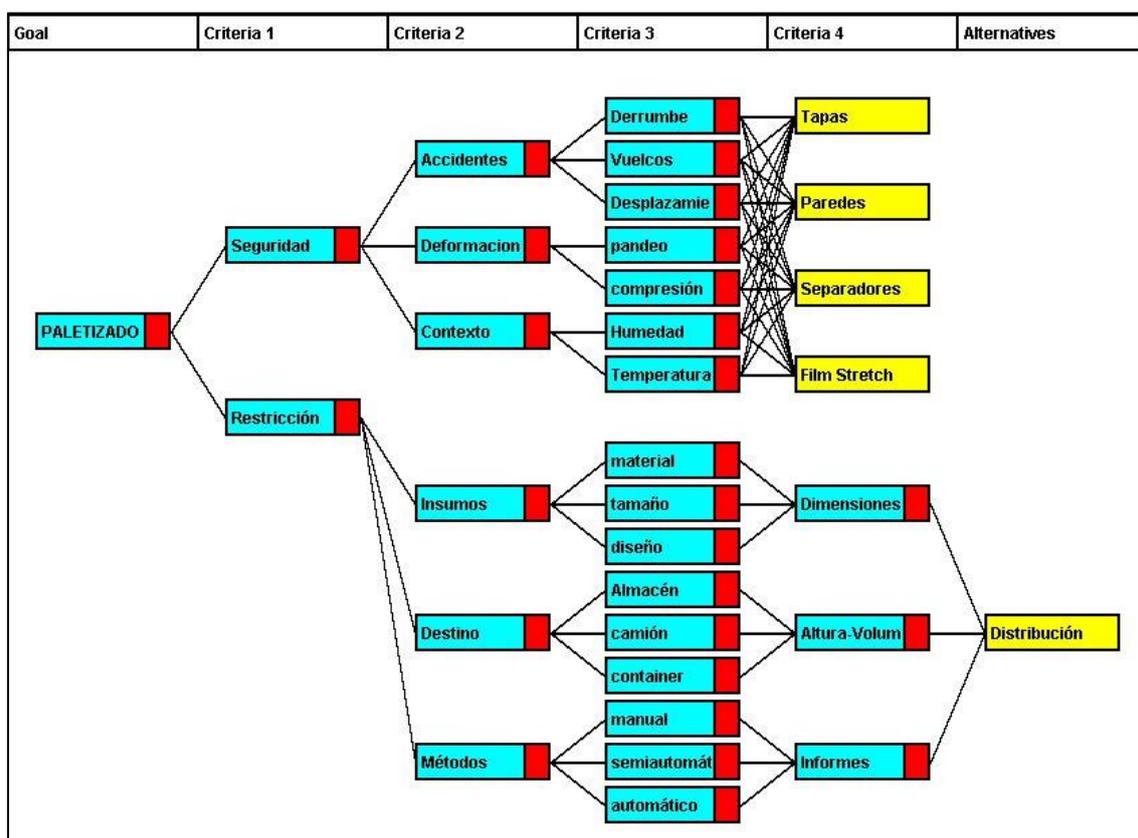


Ilustración 7-Niveles de multicriterio en paletizado

⁴ <http://hipre.aalto.fi/>

Nuestro enfoque se dirige sólo al estudio físico-geométrico del problema de paletizado, por tal motivo no se han considerado criterios de costos⁵ ni tiempos ni otros de interés para la logística total del producto.

Obsérvese que sí es importante el informe final producido sobre la distribución, dado que el método de paletizado influye en la forma de comunicación de la distribución al personal o máquina, es decir, si el paletizado es manual se preferirá una distribución sencilla y será comunicada gráficamente (para facilitar la comprensión de los operarios). En cambio, si el paletizado es automático se informará al programador de PLC sobre la distribución que hemos seleccionado para ingresar a la máquina.

Por último, se generará un código heurístico en el entorno de programación R (Correa, 2002), (Cano, 2015), con semilla aleatoria y mediante simulación computacional (Baanks, 2000), (Martí, 2001), (Cano, 2016) con vistas a cotejar el ajuste de la salida obtenida por este medio con las respuestas obtenidas por los programas analizados anteriormente para los mismos valores de entrada.

Finalizaremos el trabajo con un último capítulo destinado a recoger las conclusiones obtenidas a lo largo del recorrido de la investigación sobre la problemática propuesta.

⁵ Sólo se consideran costes de eficiencia espacial.

Capítulo 2

Definiciones operativas e Informatización

2.1. El Pallet

Considerando los objetivos del presente trabajo, fijamos algunas definiciones operativas que facilitarán la delimitación del universo a un número apropiado de posibilidades métricas y operacionales, siguiendo además los estándares de mercado. Sabemos que un Pallet (también conocido como Tarima y Paleta), “*es una estructura o plataforma generalmente de madera, que permite ser manejada y movida por medios mecánicos como una unidad única, la cual se utiliza para colocar (estibar) sobre ella los embalajes con los productos, o bien mercancías no embaladas o sueltas*”. (CCL, 2003, pp3-4). Dentro de la cadena logística la incorporación del proceso de paletización es considerado como un facilitador de las actividades de carga, transporte, descarga y almacenamiento de productos, pues reduce el esfuerzo de movilización en coste temporario al trabajar con un conjunto de unidades a la vez, llamada “unidad de carga”, cuya distribución es el objeto de estudio de este trabajo.

Podemos citar como ejemplo del beneficio que genera la paletización en ahorro de tiempos el caso citado por CCL (2003), sin considerar la posibilidad de robotización total del proceso, para la descarga de 2000 paquetes:

Método	Hombres	Tiempo/hombre (hs)	Total (hs)
A granel	3	2	6
Paletizado, transpaleta más grúa horquilla	2	½	1
Paletizado con carga directa	1	½	½

Ilustración 8 - Tabla Ejemplo ahorro de tiempos en manipulación de cargas.

Existen numerosos modelos de pallets , nosotros nos enfocaremos en pallets de madera cuyas dimensiones estén disponibles dentro del menú de los programas

StackBuilder y TOPS, pues deseamos además de realizar un estudio comparado, cumplir con los requerimientos de mercado: “Las dimensiones de las unidades de carga responden a medidas modulares que resultan prácticamente obligatorias en muchas zonas del mercado internacional; éstas han sido calculadas con base en los tamaños de las estanterías en depósitos, góndolas de almacenes y supermercados y los diversos medios de transporte, con el objeto de permitir el ensamble correcto, y garantizar una manipulación, almacenamiento y transporte ágil y de buen rendimiento”. (CENPACK, 2003, pp. 45). En este sentido la norma ISO 3394 (2012) recomienda para el transporte de empaques rígidos “rectangulares” (definidos en la norma ISO 3676:2012 de 600 mm × 400 mm, 600 mm × 500 mm and 550 mm × 366 mm), las dimensiones de pallets : 1219 mm × 1016 mm, 1200 mm × 1000 mm, 1200 mm × 800 mm, 1100 mm × 1100 mm. ⁶

Dentro de cada programa los pallets dimensionados recibirán denominaciones específicas:

Programa	Medidas (mm) (largo, ancho, altura)	Denominación
TOPS	1200x1000x142,20	ARLOG GMA (Metric-Block) LRP PALLET UK UK PALLET
	1200x800x142,20	EUROPALLET
	1200x1200x142,20	PHILIPPINES
StackBuilder	1200x1000x150,00	Block – UK Standard
	1219,20x1016x120,65	GMA (North America)
	1200x1000x162,00	CHEP - NZ
	1200x800x144,00	EUR – EPAL EUR2 EUR3

Ilustración 9 - Tabla Pallets de interés en los programas según normas ISO

⁶ www.iso.org

Las medidas expuestas anteriormente en general admiten una tolerancia práctica de +/- 3 mm en largo y ancho y +/- 7 mm en altura, sin cambiar su prestación técnica, aunque en Giovannetti (2000) se observan otras tolerancias (Ilustración 5).

Hay tres tipos de tarimas de acuerdo a sus dimensiones:

TIPO I	120 X 80 X 14 cm
TIPO II	120 X 100 X 14 cm
TIPO III	120 X 120 X 14 cm

Estas medidas pueden tener límites de tolerancia, que son los siguientes:

	LARGO	ANCHO	ALTURA
Tipo I	+ 20 mm	+ 13 mm	+ 5 mm
Tipo II	+ 20 mm	+ 16 mm	+ 5 mm
Tipo III	+ 20 mm	+ 20 mm	+ 5 mm

Ilustración 10 -Tipos de pallet y sus tolerancias (Giovannetti 2000, pág. 179)

Las diversas denominaciones para las mismas medidas de cada programa se deben a diferencias en el diseño en cuanto al trazado de sus tablas/tirantes en la relación cantidad-separación, la cantidad de tacos-entradas y la variación en peso del pallet, todas estas variables no se abordarán en este trabajo.

Criterio	Clasificación del Pallet ⁷
Medidas	Tipos I, II, III (vistos en la figura anterior)
Destino	Descartables (de exportación) Retornables
Cantidad de entradas (para su manipulación)	Dos entradas Cuatro entradas
Diseño de piso y cubierta	Una cubierta Dos plataformas diferenciadas Estibas reversibles
Manipulación	Tipo caja Con aletas

Ilustración 11- Tabla Clasificación de Pallets

⁷ Se pueden ver imágenes en <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/log%C3%ADstica/paletizaci%C3%B3n/>

Debemos destacar que existen otros modelos, así como la posibilidad de crear un pallet de medidas personalizadas, todas opciones que no se trabajarán aquí.

2.2. Cajas de cartón corrugado

El cartón corrugado está conformado básicamente por dos elementos estructurales: el liner y el material de flauta (también llamado médium u onda), siendo éste último el principal responsable de su aspecto “corrugado”.

Los materiales que conforman el liner son: fibra virgen de pino o fibras reprocessadas. El ondulado medio es producto de materiales reciclados y según su composición puede ser corrugado triple, doble, una cara o sencillo.

Los tipos de onda (flauta) responden a cuatro denominaciones básicas A, B, C y E⁸. La resistencia de la caja dependerá de varios factores, entre los cuales se destacan el tipo de papel y el tipo de onda. Nosotros trabajaremos con el tipo de onda “C”.

TIPO DE FLAUTA	VISTA FRONTAL	GROSOR mm	No. DE FLAUTAS en un m
A		4.76	118
B		3.17	167
C		3.97	138
E		1.58	315

Ilustración 12 - Tipos de ondas (extraído de Giovannetti 2000, pág. 28)

Para el proceso de paletizado de nuestro trabajo ha sido seleccionado el cartón corrugado como material para las cajas por presentar una óptima relación resistencia-

⁸ Existen otras clasificaciones y denominaciones (microcorrugado, etc.)

costo. En general estas cajas se diseñan teniendo en cuenta el tipo de llenado, el tipo de producto y su destino logístico.

Si bien el diseño estructural de la caja será decisivo para su efectividad protectora, el esquema dimensional óptimo en cuanto a costos y eficiencia espacial es el cuboide de tipo 2:1:2, es decir, aquél en el cual el largo es dos veces el ancho, pero igual al alto (dado que es el que minimiza la cantidad de cartón corrugado a utilizar para un volumen dado).

En este trabajo se realizarán estudios sobre variaciones de las medidas de las cajas, siempre manteniendo el material, y siguiendo el esquema de submúltiplos (de las dimensiones del pallet) que se detallará más adelante.

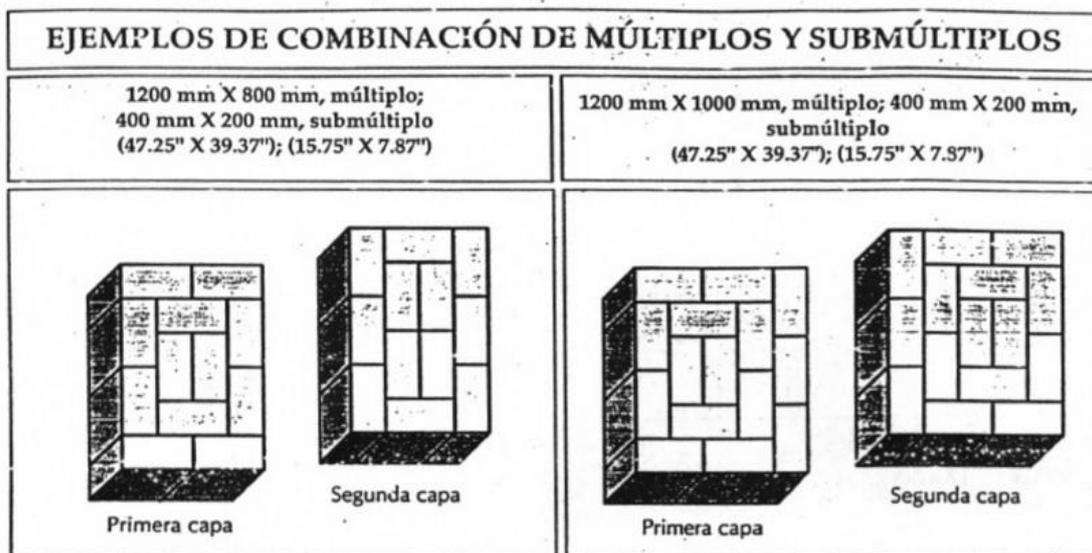


Ilustración 13 - Cajas de dimensiones convenientes para el paletizado (extraído de Giovannetti 2000, pág. 182)

2.3. Introducción a la distribución

Las especificaciones de distribución de cajas en pallets sostienen la necesidad de no sobrepasar la base, ni de provocar desfasajes entre capas (layers), pues los esfuerzos provocados por el peso del encolumnado provocaría el colapso del sostén, como podemos apreciar gráficamente en la ilustración 8:

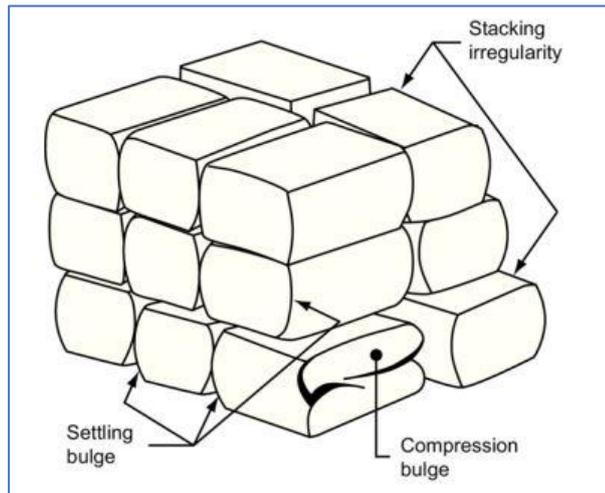


Ilustración 14 – Desviaciones en la unidad de carga (Por asentamiento, compresión e irregularidad) – ISO 3676

Para evitar las consecuencias adversas de posibles desvíos se intenta cubrir la mayor cantidad de superficie del pallets in salientes (excedentes). Una posible distribución de cajas en un pallet, según las dimensiones recomendadas por las normas citadas en el punto anterior, se muestra a continuación:

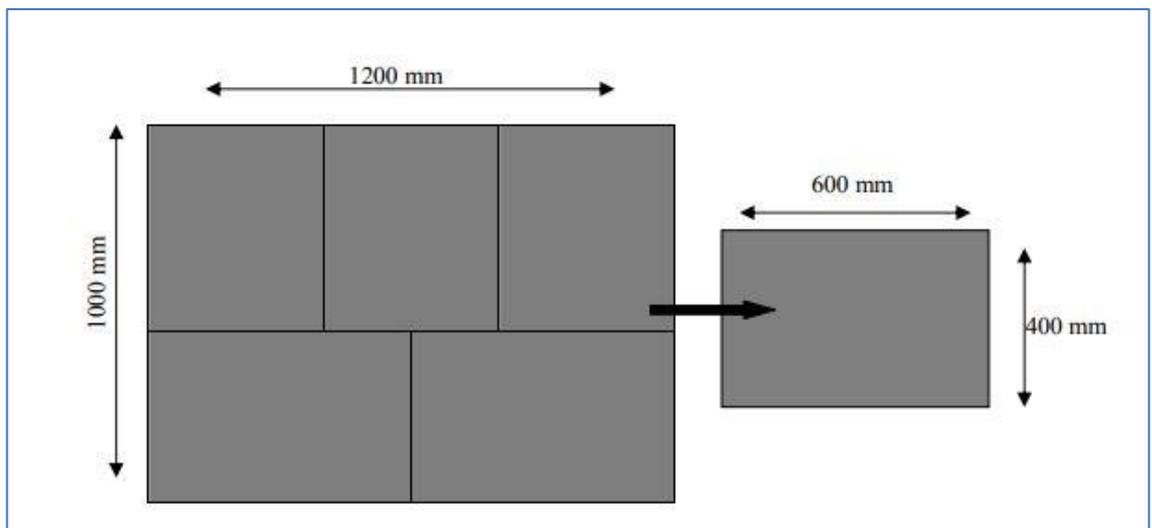


Ilustración 15 - Distribución con total eficiencia espacial (Extraída de CCL (2003) pág. 15)

A su vez, para generar este tipo de ajuste sobre la base de las medidas sugeridas para el pallet, se establece un conjunto de posibilidades sobre las cajas, que matemáticamente se corresponden con un subconjunto de divisores (submúltiplos) de 600 y 400 mm. (ISO 3394)

De esta manera son útiles para el módulo patrón (caja) de 600 mm x 400 mm, las siguientes medidas supletorias o complementarias en el pallet, sin llegar a un límite de capacidad demasiado pequeño:

600 mm	300	200	150	600	300	200	150
400 mm	400	400	400	200	200	200	200

Ilustración 16 - Tabla Medidas combinadas sugeridas para cajas de 600 mm x 400mm

Esquemáticamente, una posible distribución combinada se observa en la Ilustración 7:

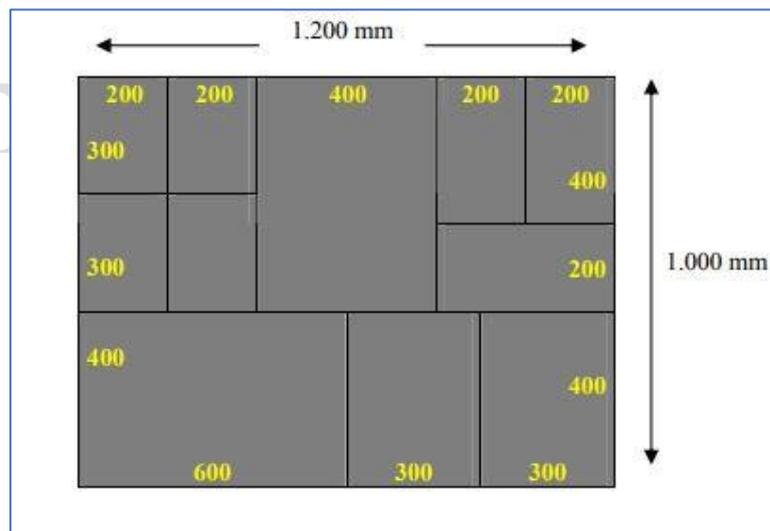


Ilustración 17 - Distribución combinada extraída de CCL (2003) pág. 15

Mencionamos a continuación otras recomendaciones para la tarea de paletización, que poseen respaldo en leyes teóricas sobre esfuerzos y estabilidades, e influyen en la tarea de distribución de cajas que nos ocupa:

- 1- Se debe evitar que la caja se ubique de manera que una arista inferior se sitúe entre la separación de las tablas del pallet. (IRAM 6736) (Ilustración 8)

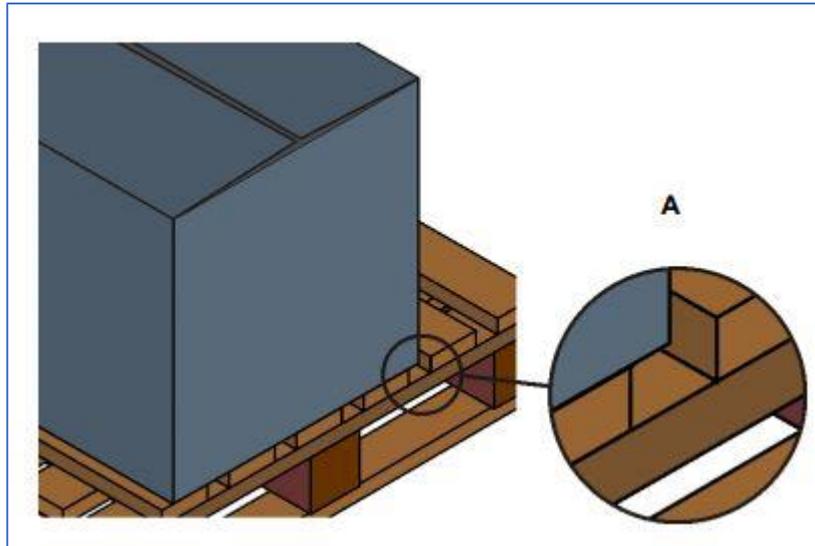


Ilustración 18 - Arista sin apoyo – Extraída de IRAM 6736 – pag.8

- 2- Evitar los “consumidores de volumen” - cavernas, chimeneas, pasillos, bolsas y fuertes adentramientos – los cuales, además de reducir la eficacia en la manipulación, almacenaje y transporte, perjudican a menudo la estabilidad de la carga. (CCL, 2003)

Irma Noemi No

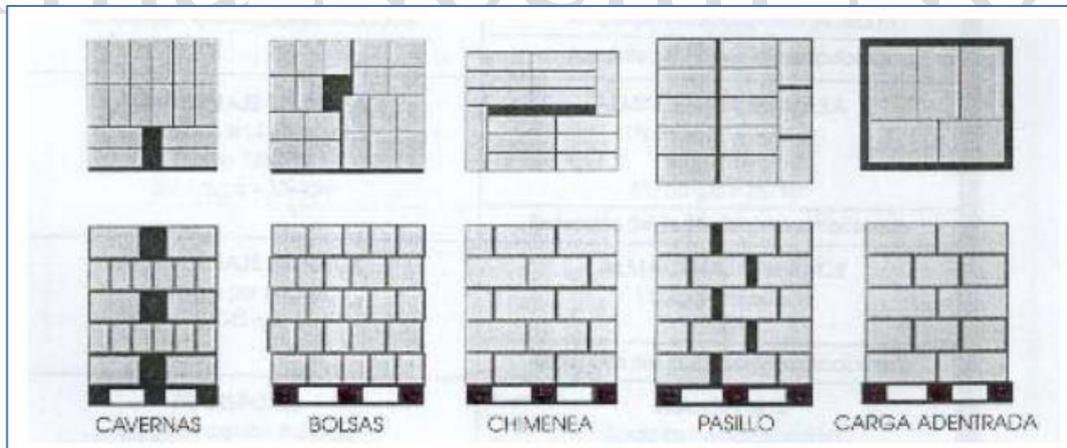


Ilustración 19 - Consumidores de Volumen en paletizado – CCL 2003, pag. 15

- 3- En las unidades de carga conformadas por cajas de cartón, estas deben alinearse preferiblemente en forma vertical, haciendo coincidir sus cuatro esquinas; es decir, sin trabarlas. La no coincidencia de aristas provoca la pérdida de hasta un 45% de resistencia vertical y generalmente provoca

cargas adentradas. Con el encolumnado basal (de las tres primeras capas (layers)) se aprovechará al máximo la resistencia vertical de las cajas.

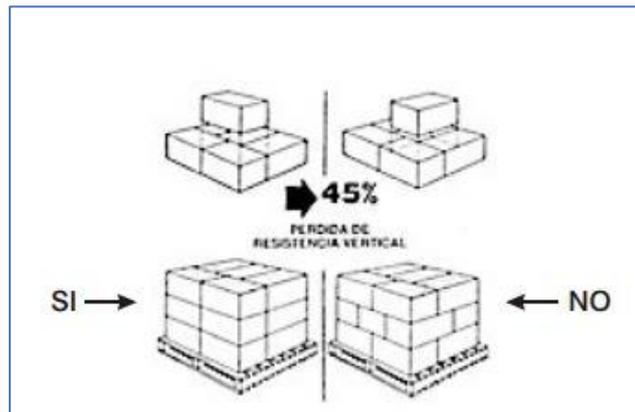


Ilustración 20- Pérdida de Resistencia vertical por trabado basal – CENPACK 2003- pag. 57

4- Siguiendo las recomendaciones anteriores y simplificando la cantidad de posibilidades, en CCL (2003) se proponen dos métodos básicos como técnicas para estibar la unidad de carga en el proceso de paletizado, según se muestra a continuación:

- Método # 1:**
 Acomode los primeros tres o cuatro tendidos de cajas en columnas, haciendo coincidir verticalmente las esquinas de las cajas. Para finalizar la carga, trabe el último o los dos últimos tendidos de cajas.

- Método # 2:**
 Acomode las cajas en columnas haciendo coincidir las esquinas e intercale cada dos tendidos (filas) una hoja de cartón corrugado y así sucesivamente cada dos filas.

Ilustración 21 - Recomendaciones para una correcta estiba – CCL (2003)– pág. 12 y 13

2.4. Simulación de paletizado

Como hemos referido en nuestro capítulo introducción nos enfocaremos en la utilización de dos programas informáticos para la simulación del trabajo de paletización de cajas de cartón corrugado.

TOPS y StackBuilder son utilitarios informáticos que poseen una lógica de programación con algunas características compartidas y otras diferenciales. Sin hacer un recorrido total de las potencialidades de cada uno de estos programas –dado que no es un objetivo específico del presente trabajo- señalaremos los recursos que nos permitirán construir las variables, y las bases de datos que conformarán nuestras muestras de estudio.

2.4.1. PROGRAMA TOPS

TOPS Pro es un software diseñado para la optimización del proceso logístico de empaque, enfocado a la creación y manipulación de embalajes y su paletizado para su posterior almacenamiento o traslado.

El programa TOPS posibilita:

- Diseño personalizado del envase, del embalaje, del pallet y del contenedor, incluyendo la creación de contenedores intermodales.
- Simulación de embalaje, distribución y carga en tareas de empaque.
- Análisis de resistencia y compresión.
- Optimización del transporte de mercancías con consolidación de la carga.
- Eficiencia de las pruebas de carga.
- Optimización del tamaño del producto.
- Editor de geometrías 3D, geometrías personalizadas, y generador de formas.
- Software de paletización incluyendo generador de patrones, paletización, paletas mixtas, cargas mixtas, visualización carga de pallets y optimización del espacio de carga.

- Optimización en el uso de cajas permitiendo el diseño de la caja, bandejas mixtas, carga de cajas, corrugado, embalaje ondulado, uso de RSC⁹, carga de caja, apilamiento y creación de patrones de apilamiento.
- Simulación de transportes de carga: vagón de ferrocarril, contenedor marítimo, camiones de carga.
- Estudio de cargas: cálculo de carga consolidada, creación de carga, comprobación de patrones de unidad de carga, prueba de esfuerzo ECR¹⁰ y ECT¹¹, creación de carga modular, planificación de la carga.

En este trabajo nos enfocamos a la optimización del espacio de carga de cajas en pallets, siguiendo las recomendaciones de las normas mencionadas en el apartado anterior (2.2.).

En la pantalla de TOPS podemos observar los detalles de selección en la caja a utilizar para su paletizado:

- Las medidas externas (que luego iremos variando *–excepto la altura–* para desarrollar el análisis estadístico propuesto en el capítulo I, según los valores expuestos en la Tabla 8), en la Ilustración 15 la caja posee: Largo 600 mm, ancho 400 mm y alto 400 mm. El mantenimiento del valor de la altura se corresponde con la decisión de estudiar la optimización superficial de la distribución en el pallet. Tampoco nos interesa limitar las distribuciones por esfuerzos de carga, por lo cual el peso de la caja se mantiene en cero.
- Nos inclinamos además por mantener parámetros estándar en las características estructurales y materiales de la caja, conservando

⁹ RSC: En referencia a pallets=Contenedor ranurado regular. (Cuando se refiere a cajas significa caja de aletas regulares).

¹⁰ ECR: Ensayo continuo de resistencia al apilamiento.

¹¹ ECT: Prueba de aplastamiento de borde (Edge Crush Test).

los valores de “cartón corrugado”, onda del corrugado tipo “C”, estilo “RSC” (“caja de aletas regulares”).

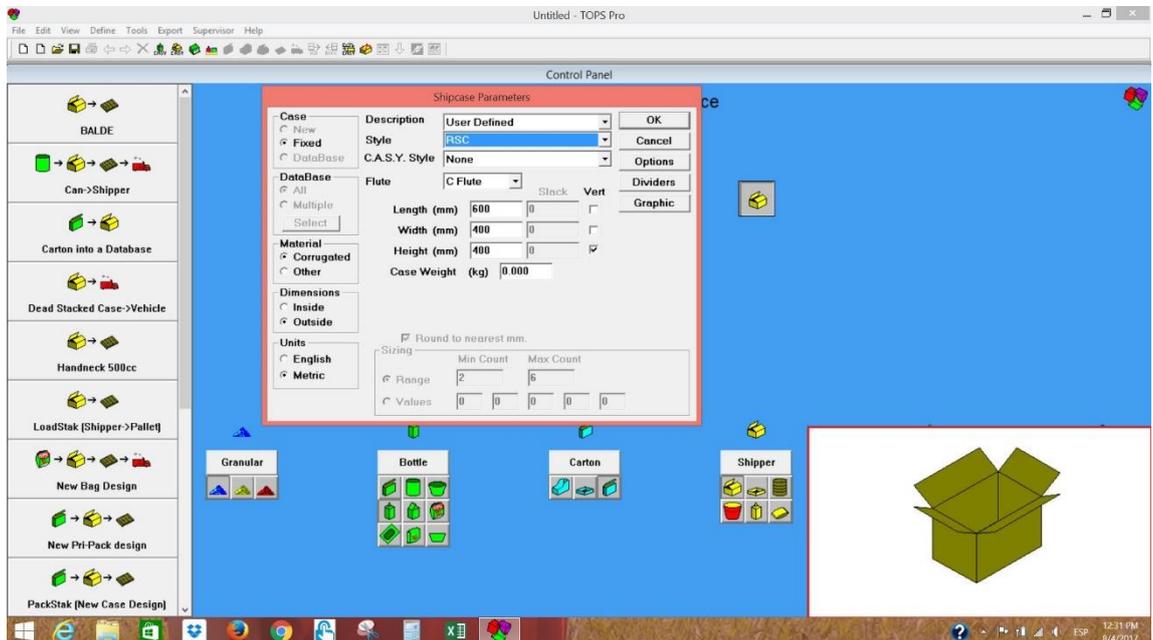


Ilustración 22 - Configuración de Caja con TOPS

Irma Noemi No

En el caso del pallet, siguiendo las características sugeridas por las normas citadas anteriormente, hemos configurado el menú de selección de TOPS como se muestra en la Ilustración 16:

- Tipo de pallet: Se selecciona según las medidas detalladas en la Tabla 6, en este caso el pallet de medidas 1200 x 1000 mm (la altura dependerá del estilo, en esta imagen es un UK PALET de altura igual a 163 mm). Estas medidas y estilos variarán para generar nuestras muestras de estudio, pero siempre dentro de la especificación de la Tabla 6.
- El Peso máximo y la altura máxima se han dejado invariantes por defecto pues no deseamos que influyan como condiciones de restricción en nuestro problema de optimización geométrico-superficial. También hemos mantenido la cantidad máxima de capas igual a cuatro, siguiendo el mismo criterio de invariancia.
- Según las normas no debe distribuirse la carga generando salientes, por lo cual el maximum overhang lo elegimos nulo. También

hemos decidido mantener fijo el margen perimetral entrante en el valor máximo estándar de 381 mm (el cual no genera un índice significativo de adentración de cargas).

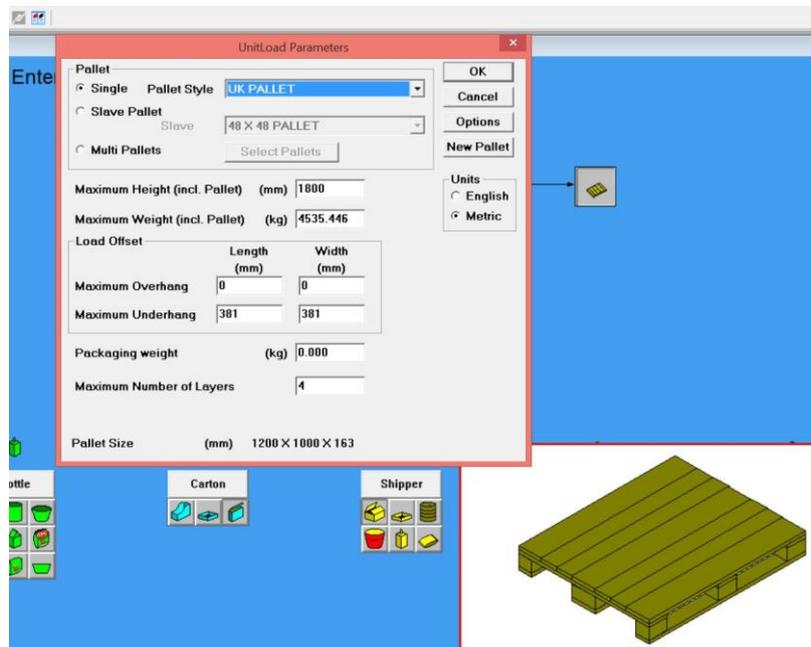


Ilustración 23 - Configuración del Pallet en TOPS

A continuación de la selección del pallet y sus características, se establecen las opciones de paletizado, en cuanto a la permisividad (o no) del cálculo de distribución de las cajas en el pallet siguiendo diferentes patrones. En nuestro problema hemos permitido las distribuciones de hasta cuatro orientaciones: 1 Block (=encolumnado), 2 Block, 3 Block, 4 Block, el formato diagonal (que opone orientaciones en esquinas, generando un efecto espiralado) y el encajado/entrelazado (Soldiered).

Formatos como el multi-dim (distribución de cajas de diferentes dimensiones en el mismo pallet) y otros no son aplicables o significativos para nuestro problema.

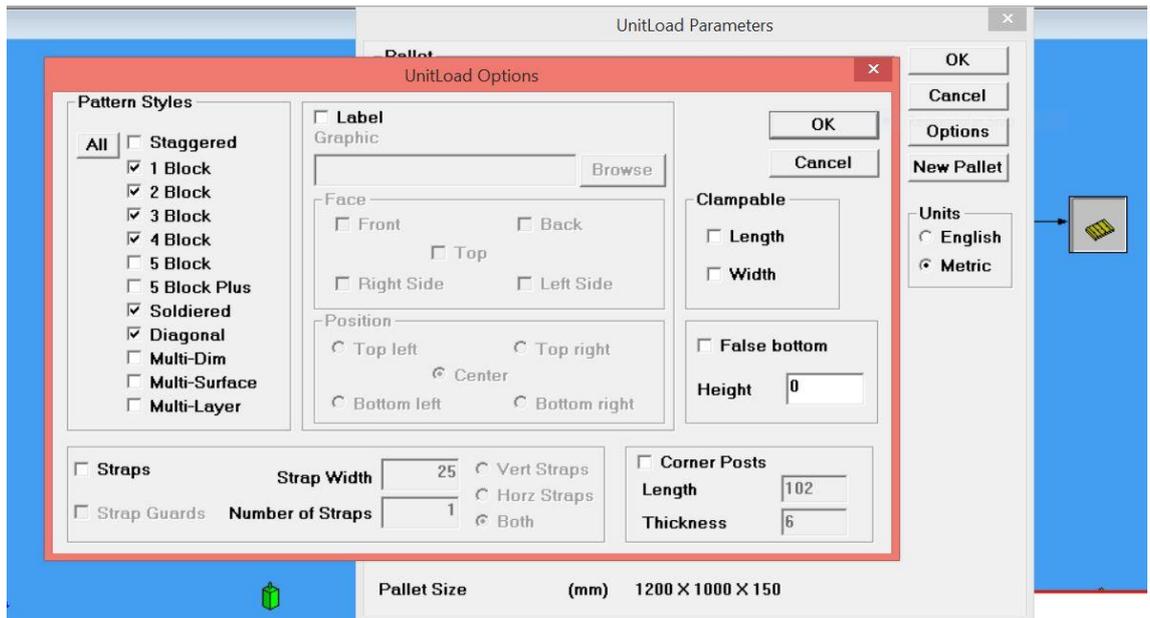
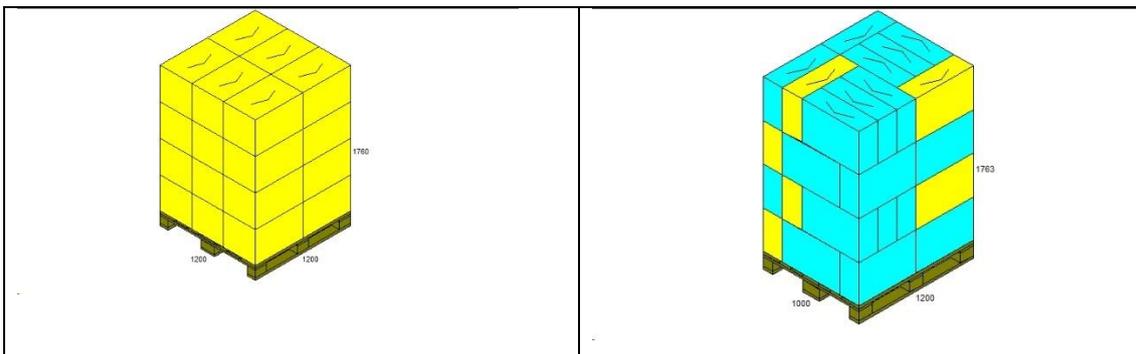


Ilustración 24 - Selección de opciones de patrón de paletizado en TOPS

Se podrían configurar parámetros para el transporte de la carga, pero no es el objetivo del presente trabajo por lo cual se procede a ordenar el cálculo de la distribución del paletizado según los valores ingresados.

Irma Noemi No

El programa TOPS ofrece una salida en tres formatos: Gráfico, Planilla, y Texto. El Gráfico que detalla la distribución de las cajas distingue con colores grupos de cajas con orientación equivalente, como ejemplos mostramos los siguientes:



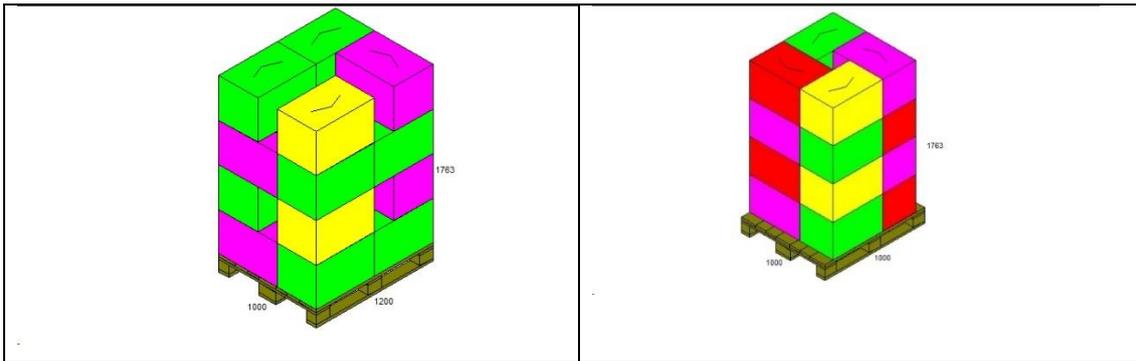


Ilustración 25 - Tabla Salidas gráficas de TOPS – Unidad de carga paletizada

La planilla lista todas las distribuciones creadas con los parámetros introducidos, detallando el formato de distribución, las dimensiones de ocupación de la unidad de carga (largo, ancho, alto), la cantidad de cajas por capa (layer), la cantidad de capas, el total de cajas y los porcentajes de eficiencia de área y volumen (ocupado sobre disponible), entre otros datos de salida disponibles.

IRMA_1_OV_0 - UnitLoad List														
Sol	Case Wgt	Vol (ID)	Board Area	Dim Vert	Len	UL Wid	UL Hgt	UL Wgt	Ptn Type	Cases /Layer	Layers /UL	Cases /UL	Area Eff	Cubic Eff
1	0.000	0.0892	1.600	H	1200	1000	1763	30.0	S	3	4	20	100.00%	97.74%
2	0.000	0.0892	1.600	H	1200	1000	1763	30.0	B	5	4	20	100.00%	97.74%
3	0.000	0.0892	1.600	H	1000	1000	1763	30.0	W	4	4	16	80.00%	78.19%
4	0.000	0.0892	1.600	H	1200	1000	1763	30.0	T	4	4	16	80.00%	78.19%
5	0.000	0.0892	1.600	H	1200	1000	1763	30.0	T	4	4	16	80.00%	78.19%
6	0.000	0.0892	1.600	H	1200	1000	1763	30.0	T	4	4	16	80.00%	78.19%
7	0.000	0.0892	1.600	H	1200	800	1763	30.0	C	4	4	16	80.00%	78.19%
8	0.000	0.0892	1.600	H	1200	600	1763	30.0	C	3	4	12	60.00%	58.64%
9	0.000	0.0892	1.600	H	1000	800	1763	30.0	B	3	4	12	60.00%	58.64%

Ilustración 26 - Posibles distribuciones de paletizado y sus indicadores en TOPS

Los patrones de paletizado se identifican con: “S” encajado, “B” 2 Block, “T” 3 Block, “W” 4 Block, “C” encolumnado (1 Block), “D” diagonal. La cantidad de cajas por unidad de carga se obtiene como la cantidad de cajas por capa, multiplicada por la cantidad de capas (excepto por la distribución tipo encajado que utiliza el concepto de construcción).

La salida se muestra en orden de ranking, privilegiando la distribución que optimiza la eficiencia área y espacial, y colocando en los primeros lugares las distribuciones más eficientes según este criterio (es decir, el programa genera un listado en orden decreciente).

La salida en formato texto, detalla la definición del problema, los resultados de cálculos realizados y permite la emisión de informes. Cada distribución sugerida en el listado mencionado anteriormente genera un informe textual que puede ser guardado como archivo PDF (Ilustración 19).

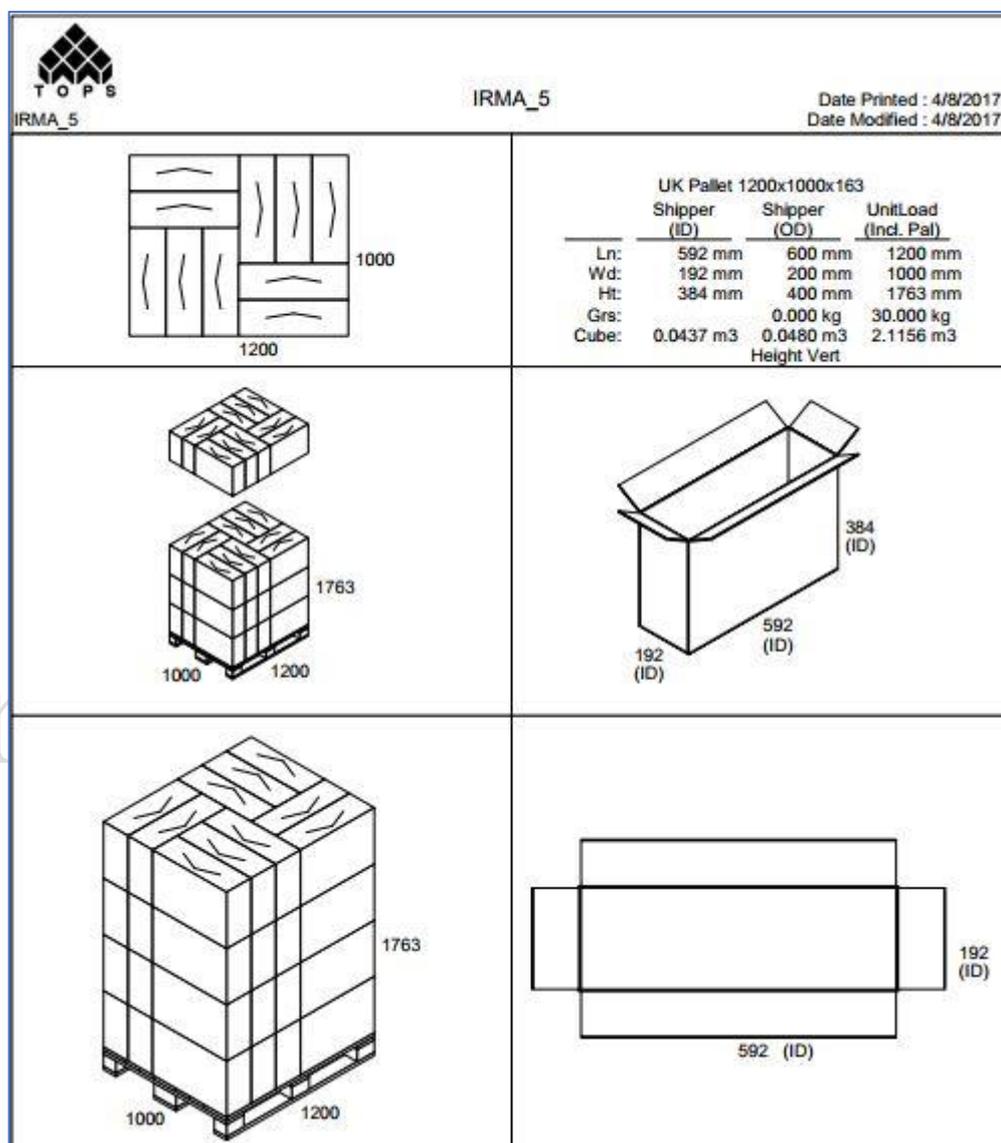


Ilustración 27 - Informe TOPS de distribución de Carga

2.4.2. PROGRAMA PLMPACK STACKBUILDER

StackBuilder es un software de simulación para el cálculo y visualización de soluciones de empaque, que se presenta como facilitador de la logística de embalajes. Posee la característica de ser un software libre y de código abierto, ha

sido desarrollado por la firma TreeDim, y sus prestaciones se desarrollan principalmente en tres ejes:

- Diseño y optimización de embalaje: artículo / caja.
- Ofrecer soluciones de paletizado: distribuciones caja/pallet.
- Generar soluciones de envío: pallets /camiones.

La característica de código abierto de StackBuilder es lo que permite su amplia difusión y continuo crecimiento colaborativo, siendo además complementado por otros productos (de tipo pago) ofrecidos por la empresa TreeDim. En este trabajo se utilizará la versión 2.0.30.0 (estado estable) existiendo versiones más recientes en constante adecuación colaborativa (estado beta).

La sigla PLM (Product Lifecycle Management) responde a la visión de la firma TreeDim orientada al ecodiseño estructurado de embalajes y la optimización de su puesta en mercado:

"Nuestro objetivo es proporcionar herramientas adaptadas a las necesidades de todos los actores de la cadena de envasado y permitir la colaboración para el desarrollo de envases eco-diseñado al tiempo que reduce el time-to-market" ¹²

Las principales prestaciones del software StackBuilder son:

- Creación de casos de Paletización.
- Calcular el sistema de embalaje óptimo: caja / embalaje / pallet.
- Disponibilidad de creación/uso de bases de datos de las soluciones.
- Paletización de cilindros o paquetes (bultos).

¹² <https://www.treedim.com/es/>

- Añadir capas intermedias (separadores), esquinas, película (film) y tapa.
- Análisis de distribución en camiones.
- Generación de Informes de análisis exportables.
- Cálculo BCT (Box Compression Test).

Para iniciar un análisis de distribución en StackBuilder, la primera opción que despliega el menú del programa es el producto “cajas”; nosotros nos enfocamos al concepto de “cajas” como embalaje a paletizar, por lo tanto, saltamos el “producto” y dimensionamos el embalaje deseado según los valores de la Tabla 8, manteniendo una altura de 400 mm, tal como propusimos en el uso del programa TOPS.

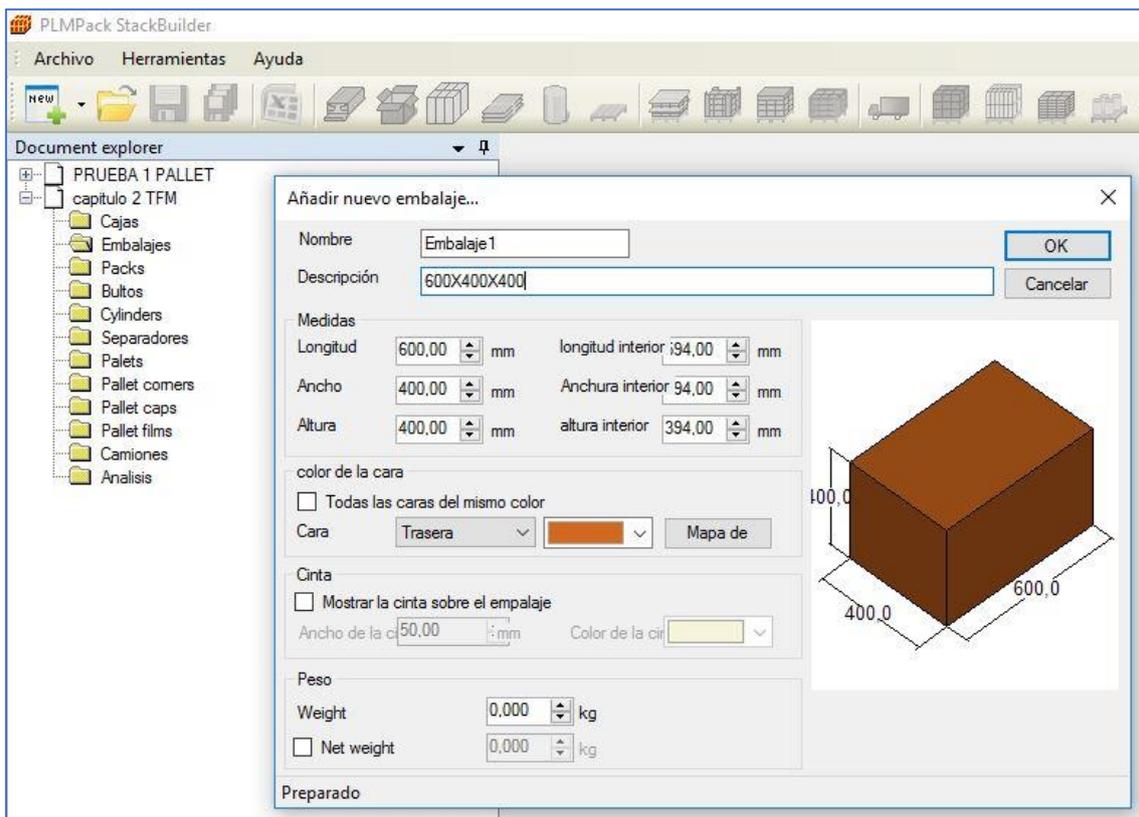


Ilustración 28 - Definición de parámetros de embalaje en StackBuilder

Las medidas internas las determina automáticamente el programa según el estándar del embalaje de cartón corrugado. En este caso se ha elegido dejar la caja en forma elemental, aunque muchas veces favorece la visibilidad de la

distribución en el pallet, el uso de colores diferenciados por cara, y el uso de la cinta embaladora de cierre.

También se ha seleccionado un peso nulo para no afectar las limitaciones de las distribuciones por kilaje de unidad de carga de paletizado, pues nuestro objetivo es meramente espacial.

En la configuración del Pallets y utilizarán los parámetros expresados en la Tabla 6. No se utilizarán laterales, separadores ni films en la paletización, dado que no son variables que influyan en nuestra problemática de distribución.

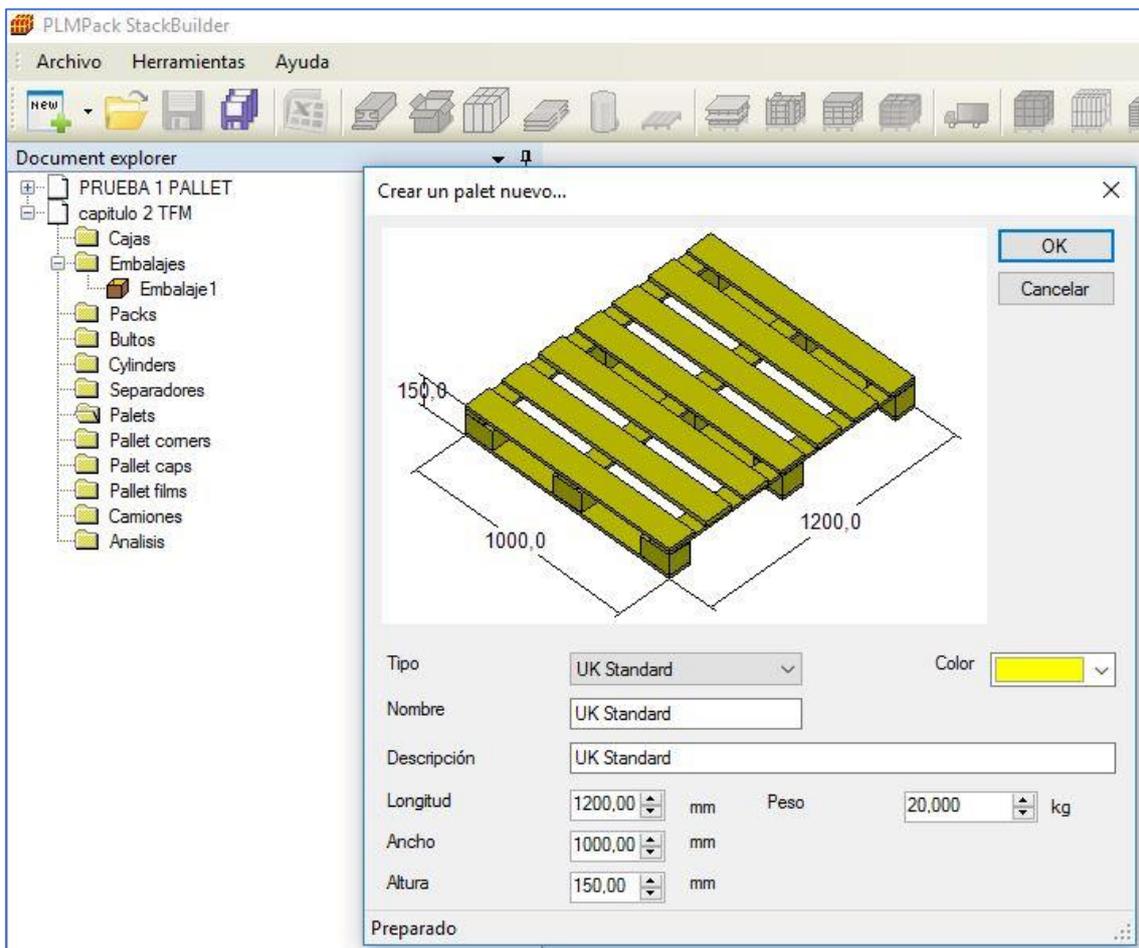


Ilustración 29 - Definición características del Pallet en StackBuilder

A continuación podemos solicitar al programa StackBuilder crear un nuevo análisis embalaje/pallet, en el cual se seleccionarán los siguientes parámetros:

- El embalaje y el pallet definidos anteriormente.
- Permitimos la distribución encolumnada (capa alineada), y también el entrecruzamiento (trabado o capas alternas).
- Solicitamos que las cajas mantengan su posición vertical (selección del eje z).
- Para que los resultados sean comparables con los obtenidos con el programa TOPS, solicitamos una altura máxima que admita cuatro layers (capas), -opción no explícita en StackBuilder-, eligiendo como altura límite 1800 mm (siguiendo la altura media estándar en racks y apilando embalajes de 400 mm).
- Los formatos de distribución admitidos (por adecuación) son: encolumnado, entrecruzado, trabado, diagonal y espiralado.

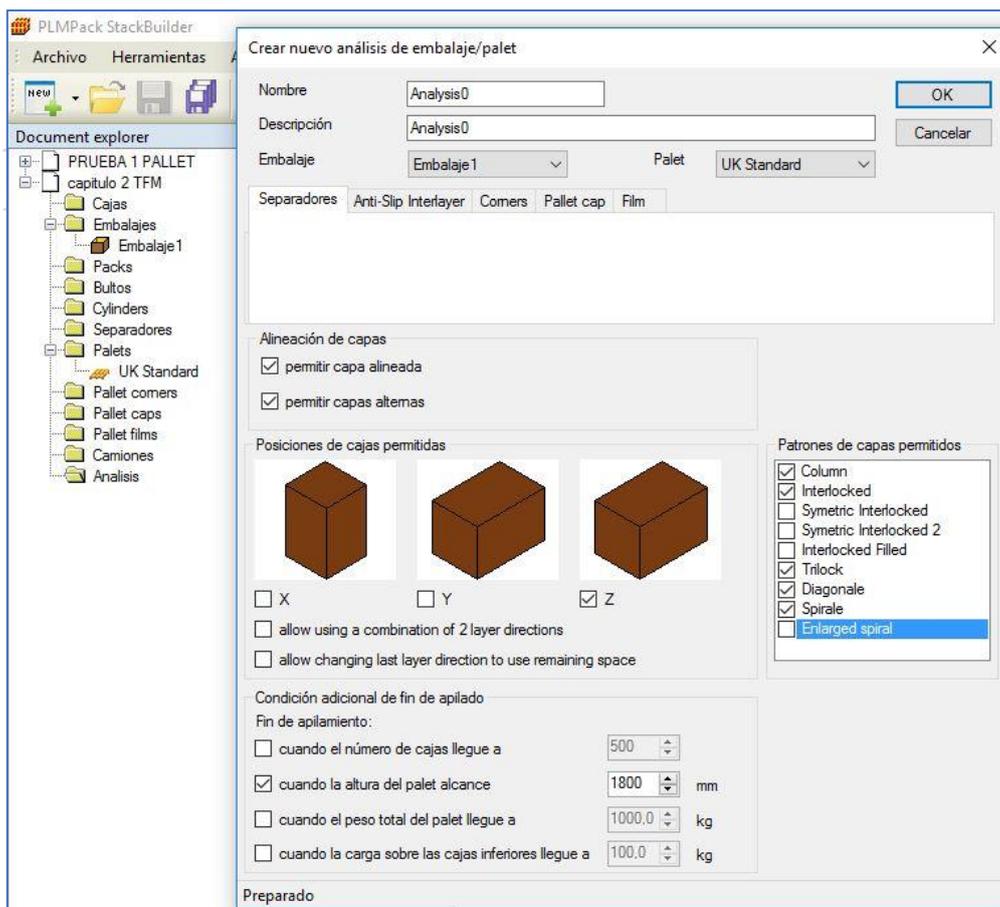


Ilustración 30 - Configuración del análisis de distribución en StackBuilder

La salida obtenida por la simulación del programa se observa en la Ilustración 23. Se obtiene un listado de distribuciones que cumplen con las configuraciones paramétricas determinadas, en un orden decreciente de eficiencia espacial, y generando una vista gráfica tridimensional de la distribución seleccionada.

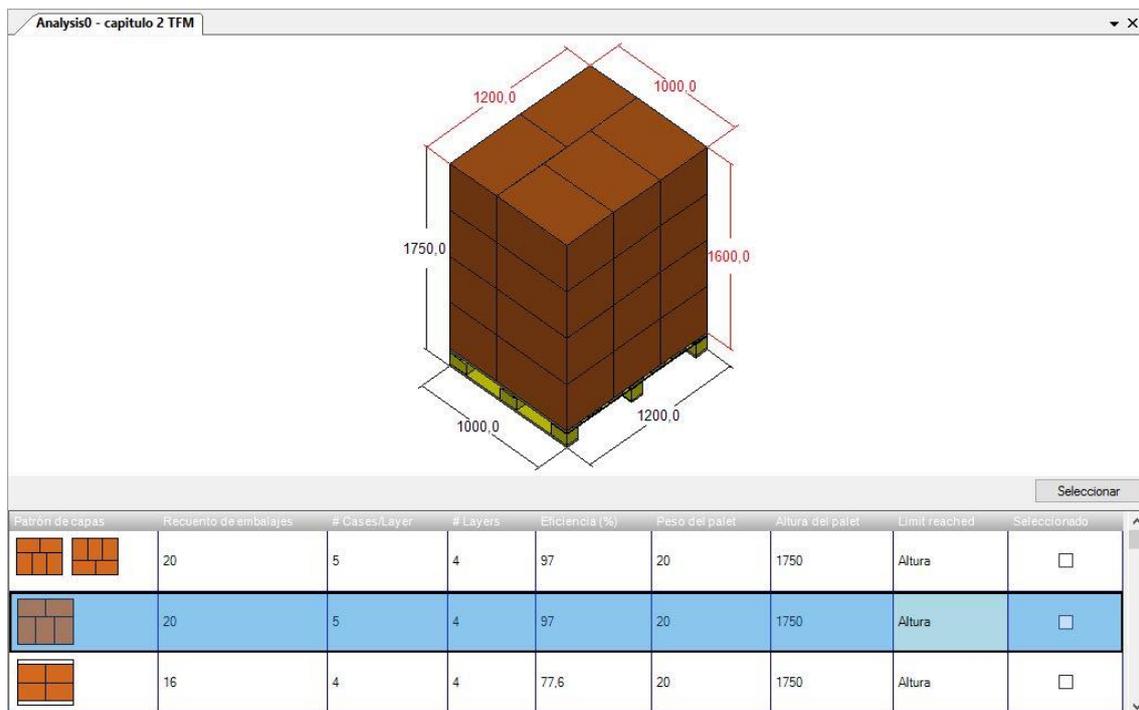


Ilustración 31 - Salida del análisis de paletizado generado por StackBuilder

En cada distribución propuesta se puede observar:

- Cantidad total de embalajes por unidad de carga (paletizado).
- Cantidad de embalajes por capa (layer).
- Cantidad de capas (layers).
- Eficiencia espacial porcentual (espacio ocupado/espacio disponible %).
- El peso y la altura de la unidad de carga (paletizado).
- El criterio de restricción para detener la estiba (altura en este caso).

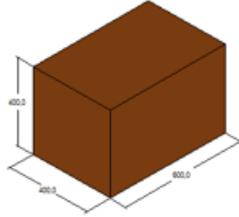
El programa StackBuilder permite la exportación de los detalles de la distribución seleccionada en archivos de formato Word o HTML, obteniéndose un informe del análisis realizado, como puede observarse en la Ilustración 24.

Date	14/08/2017	Author	irma
------	------------	--------	------

Pallet analysis

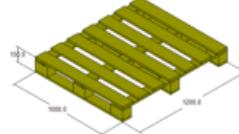
Case

Name	Embalaje1
Description	800X400X400
Length (mm)	800
Width (mm)	400
Height (mm)	400
Weight (kg)	0



Pallet

Name	UK Standard
Description	UK Standard
Length (mm)	1200
Width (mm)	1000
Height (mm)	150
Weight (kg)	20
(kg)	0

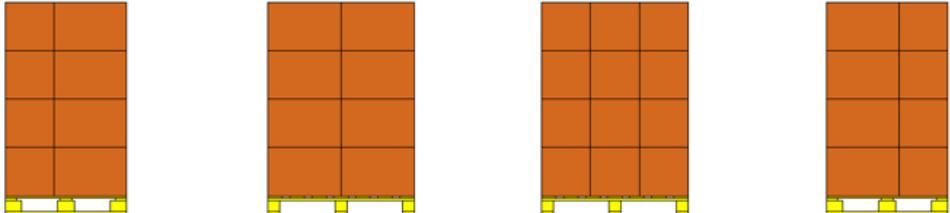


Constraint set

Overhang Length / Width (mm)	0 / 0
Maximum pallet height (mm)	1800
Allowed ortho axes	ZP
Allow aligned layers	True
Allow alternate layers	True

Selected solution

Title	Interlocked-Z-aligned-1-swapped
Number of cases	20
Pallet weight (kg)	20
Pallet height (mm)	1750
Efficiency (%)	98,97



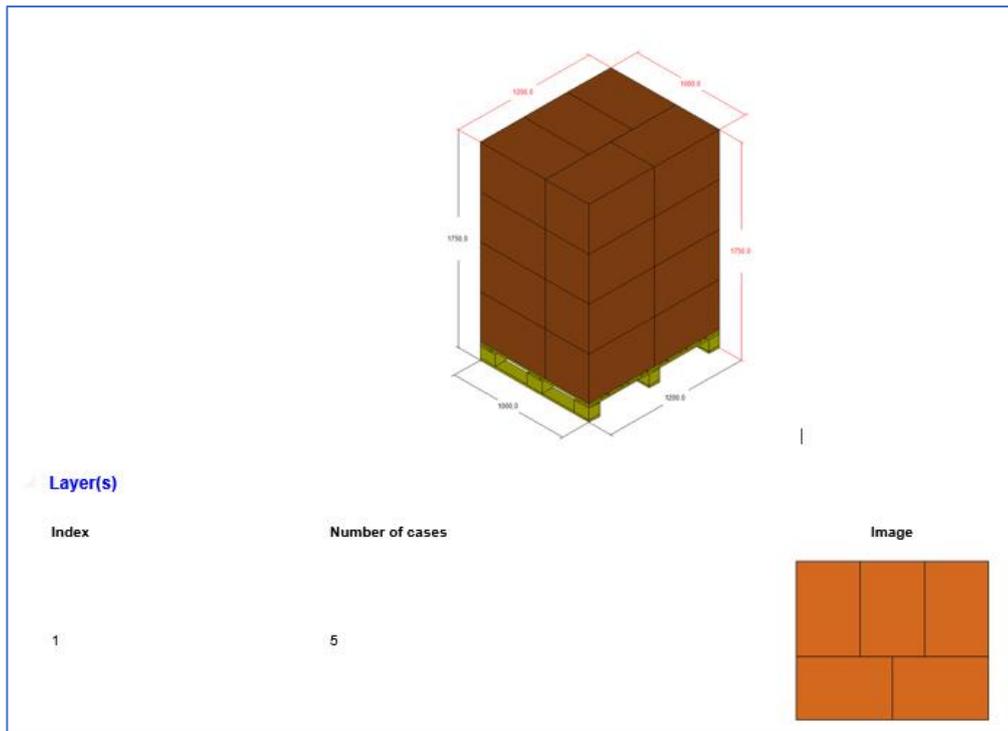


Ilustración 32 - Informe de salida exportable StackBuilder

El programa incluye una calculadora de BCT, disponible para el cálculo automático del “Box Compression Test”, lo cual, si bien no alude al núcleo de nuestro análisis, es un agregado importante siendo éste un programa abierto y gratuito.

Cartón		Embalaje				
Tipo de cartón	B_125 Grade-459 g/m2 - 2.87 mm	Tipo de embalaje	American case			
Derecha	2.87 mm	Superficie impresa	Simple			
Rigidez X	4.53 N.m	Formula McKee				
Rigidez Y	2.38 N.m	<input checked="" type="radio"/> Clásica (usa coeficiente ECT) <input type="radio"/> Mejorado (utiliza la rigidez del cartón)				
Coefficiente ECT	6.77 kN/m					
Resultados						
BCT estático	292.16 daN					
BTC dinámico (daN) (ratio humedad / tiempo de almacenaje)						
Humidity (%)/Storage	0-45%	46-55%	56-65%	66-75%	76-85%	86-100%
0 day	321.37	292.16	262.94	233.73	204.51	146.08
1-3 days	224.96	204.51	184.06	163.61	143.16	102.26
4-10 days	208.89	189.90	170.91	151.92	132.93	94.95
11-30 days	192.82	175.30	157.77	140.24	122.71	87.65
1-3 months	176.76	160.69	144.62	128.55	112.48	80.34
3-4 months	160.69	146.08	131.47	116.86	102.26	73.04
more than 4 months	144.62	131.47	118.32	105.18	92.03	65.74

Ilustración 33 - Calculadora BCT de StackBuilder

2.5. Orientación del trabajo

Siguiendo los objetivos propuestos en el capítulo I, se utilizarán las salidas de los programas anteriormente descritos para generar las bases de datos que se analizarán para detectar posibles condicionamientos entre las variables de distribución y la eficiencia de la estiba en paletizado.

Según lo desarrollado en el presente capítulo, la optimización en los procesos de paletización en términos de eficiencia espacial y sin considerar posibles cambios en el diseño, admite dos niveles de acción bajo el aspecto geo-distributivo de los embalajes en cada unidad de carga.

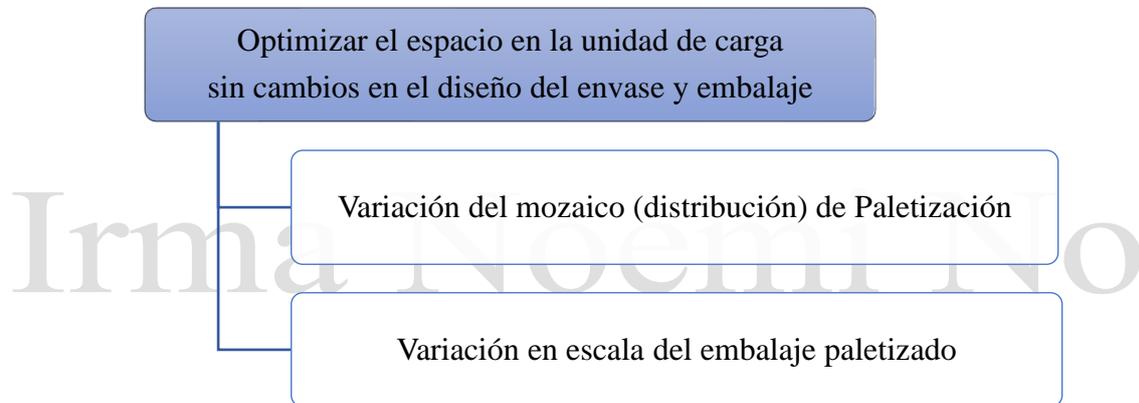


Ilustración 34 -Estrategias de optimización espacial

En el capítulo siguiente se procederá entonces a describir estadísticamente los comportamientos distribucionales de las unidades de carga de paletizado, así como los riesgos asociados en la toma de decisiones por la elección de una metodología de estiba por sobre otras.

También resultan de interés empírico los parámetros de los tests de rotura mencionados: box crushing test y su participativo edge crushing test, relacionados por la muy extendida y utilizada expresión de McKee (Rodríguez Tarango 2010) (Rodríguez Tarango 2013), siendo en general decisión del ingeniero en empaque la utilización de estas fórmulas en su versión estándar o la formulación de un ensayo específico para el caso particular¹³. Por su utilidad, agregaremos sentencias de cálculo al último capítulo

¹³ Por ejemplo, no es recomendada para cajas cuya profundidad es menor a 1/7 de su perímetro.

de este trabajo. Una ejemplificación sencilla que logra anticipar el formato de estas fórmulas se muestra a continuación (Fibre Box Association 2005).

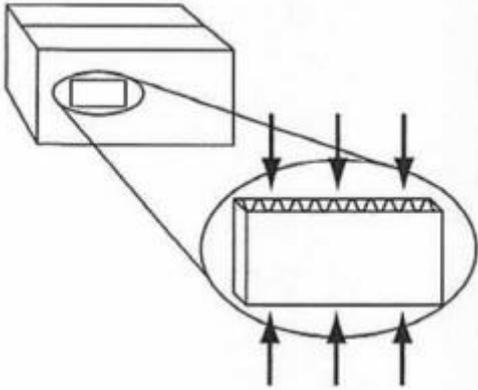
<p>BCT = Carga estática * Factores ambientales.</p> <p>La carga estática se calcula en base al apilamiento a realizar y los factores ambientales son parámetros a consultar con el proveedor de la caja (de acuerdo al contexto particular de almacenamiento).</p>	<p><u>Ejemplo:</u></p> <p>Elementos de carga estática:</p> <p>Peso de caja= 25 libras</p> <p>Cajas por capa= 10</p> <p>Peso del pallet= 75 libras</p> <p>Capas por pallet=5</p> <p>Pallets en alto= 2</p> <p>Carga estática= (25*(5*2-1))+(75:10)= 232,5 libras</p> <p>Factores ambientales:</p> <p>Factor distribución encolumnada= 1,17</p> <p>Factor Humedad relativa 85% = 1,63</p> <p>Factor tiempo estiba 270 días = 2</p> <p>Factor ambiental = 1,17*1,63*2=3,8142</p> <p>BCT = 232,5*3,8142 ~ 887 libras</p>
<p>ECT se expresa en fuerza por unidades de longitud = libras/pulgadas o Newtons/metro</p> 	<p><u>Fórmula de McKee</u> →</p> $ECT = \frac{BCT}{5,87 * Calibre^{0,508} * Perímetro^{0,492}}$ <p><u>Formulación McKee simplificada</u> →</p> $BCT = 5,87 * ECT * \sqrt{Calibre * Perímetro}$ <p><u>Donde:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Calibre responde al parámetro tipo de flauta. ▪ Perímetro es el perímetro de la caja ▪ 5,87 es un factor constante.

Ilustración 35- Tabla Fórmulas de resistencia a cargas de interés en la paletización

Finalizaremos en el capítulo 4 con la confección de un programa que otorgue posibilidades de distribución de paletizado con detalles similares a los ofrecidos por los programas vistos.

Irma Noemi No

Capítulo 3

Análisis Estadístico y Estudio de Riesgos

3.1. Descripción del procedimiento de recolección de datos

En este capítulo se trabajarán estadísticamente los resultados observados a través de las diferentes propuestas de paletización que ofrecen los programas, surgidos a partir de diferentes condiciones iniciales (variación en la valuación de variables de ingreso).

Siguiendo el esquema de trabajo propuesto en el capítulo I, nuestro núcleo de análisis se centra en la matriz de anclaje, pensada en ubicar a la distribución del paletizado como unidad de análisis, cuyas principales variables son el tipo de arreglo (“dibujo de la distribución”), el informe final y dentro de éste, la eficiencia lograda. En este sentido debemos observar que el tipo de arreglo es una variable de entrada, y las otras dos anteriormente mencionadas son variables de salida, muy diferentes entre sí, dado que el informe final es de formato preestablecido para cualquier respuesta de cada programa, y la eficiencia es un valor altamente variable según los valores de entrada.

Otras variables de entrada se observan en los niveles de contexto (destino) y subunitario (cajas), nuevamente con muy diferente protagonismo según el enfoque que le hemos otorgado al planteo de nuestra problemática para el estudio de la eficiencia en procesos de paletización.

Recordamos las definiciones introductorias:

- La matriz supraunitaria N_{+1} (matriz de los contextos de la matriz de anclaje) se construye considerando como unidades de análisis: las restricciones espaciales, las propiedades físicas del destino y la Base de almacenamiento.

Nivel Supraunitario					
U. de Análisis	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALAS	VALORES
Destino	Container Camión Estantería	Altura	Definición de destino	De intervalo	Reales positivos.
	Pallet	Material	Definición del pallet	Nominal	Madera, plástico.
		Medidas	Alto	De intervalo	Reales positivos.
			Largo	De intervalo	Reales positivos.
			Ancho	De intervalo	Reales positivos.

- La matriz de anclaje o central N_a (que es el nivel desde el cual se decidió recorrer la investigación), contendrá como unidades de análisis: la disposición de las cajas en los pallets .

Nivel de Anclaje					
U. de Análisis	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALAS	VALORES
Distribución	Arreglo	Encaje	Definición desde menú y visualización gráfica	Nominal	Encolumnado, Intercalado, Intercalado simétricamente, Entrelazado, Diagonal, Espiralado.
		Capas (Layers)	Permiso o denegación	Nominal	Alineada, Alternada.
		Dirección de apoyo	Selección de eje de altura	Nominal	X, Y, Z

	Eficiencia	Espacial	Volumen ocupado/volumen disponible	De razón	Porcentuales
		Superficial	Superficie cubierta/superficie disponible	De razón	Porcentuales
	Informe	Escrito	Salida rankeada según eficiencia	Ordinal	1°, 2°, 3°
		Gráfico	Visualización de salida seleccionada	Ordinal	1°, 2°, 3°

- La matriz subunitaria N₋₁, formada por las componentes correspondientes a los elementos de la matriz de anclaje (de interés para la investigación), incluirá como unidades de análisis: las cajas (a disponer sobre el pallet).

Nivel Subunitario					
U. de Análisis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Escalas	Valores
Cajas	Medidas	Altura	Definición manual	De intervalo	Reales positivos.
		Largo	Definición manual	De intervalo	Reales positivos.
		Ancho	Definición manual	De intervalo	Reales positivos.

Como se anticipó en el capítulo I nuestro objetivo principal es el acercamiento a la lógica subyacente a las propuestas de paletizado en los programas TOPS y PLM StackBuilder, según la valoración de eficiencia que estos mismos programas otorgan a sus soluciones. Nuestro planteo descriptivo responde a una hipótesis de atribución (Ynoub 2014), que se convierte operativa a través de un trabajo de recorrido estadístico orientado a la calidad del proceso de paletizado.

Para describir estadísticamente las unidades de análisis en las dimensiones de los programas seleccionados y analizar la correlación o concomitancia entre distribuciones – eficiencia y programas, utilizamos el recorrido total de los valores observados para los

pallets y cajas que se detallan en la siguiente tabla, reformulando las variables detalladas en los niveles de análisis supra, subunitario y de anclaje mencionados anteriormente.

Variables		Niveles
De Salida - Respuesta (VCPO) ¹⁴	Eficiencia porcentual de área	-----
	Ranking del informe final	-----
De entrada - Factores (VCPI) ¹⁵	Arreglo o Patrón de la distribución	Encolumnado, Intercalado-Entrelazado Tribloque Diagonal - Espiralado.
	Pallet– TOPS (2 niveles)	1200x1000x142,20 ¹⁶ (en mm)
		1200x800x142,20
	Pallet– StackBuilder (2 niveles)	1200x1000x150,00
		1200x800x144,00
	Cajas (8 niveles)	Largo 600, 300, 200 y 150 (mm) Ancho 400, 200 mm Altura única 400 mm
Altura destino	Único 1800 mm	

Ilustración 36 - Tabla de variables y sus niveles/valores para nuestro estudio

Para realizar una comparación de las salidas en eficiencia porcentual de área que proporcionan ambos programas, debemos realizar una conversión, utilizando el output de eficiencia porcentual volumétrica de StackBuilder a través del factor {(altura disponible)/(altura ocupada)}

$$100 * \frac{(largo * ancho * altura) ocupados}{(largo * ancho * altura) disponibles} * \frac{altura disponible}{altura ocupada} = \text{Eficiencia \% de Área}$$



¹⁴ VCPO= Variables Clave Proceso Output

¹⁵ VCPI = Variables Clave Proceso Input

¹⁶ Se han seleccionado algunas de las medidas de Pallet descritas en el capítulo 2, dentro del rango recomendado por ISO 3394 (2012)

Las siglas e índices que se utilizan son cargados en una planilla Excel, en la cual se volcarán el total de los datos de la muestra:

	CAJAS	DIST-tops	DIST-Stack		PALLET	ALTURA PALLETS TACK
1	600X400	C-1Block	Colum	1	1200x1000	150
2	300x400	B-2Block	InterBlock	2	1200x800	144
3	200x400	T-3Block	Triblock			
4	150x400	D-Diagonal	D-Espiral			
5	600X200					
6	300x200					
7	200x200					
8	150x200					
DENOMINACIONES:						
		Pallet1=ARLOG			<u>Factor de conversión</u>	
	tops	Pallet2=Europallet			<u>StackBuilder</u>	
		Pallet1=Uk standard		1	1,028571429	
	Stack	Pallet2=EUR		2	1,032110092	

Ilustración 37- Denominación de variables en la planilla de datos Excel para estudio estadístico

La base de datos recogida en la planilla Excel tiene la forma:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1			stackbuilder					TOPS			
2	caja	palet	dist	ef_area	ef_vol	OBSERV.	caja	palet	dist	ef_area	ef_vol
3	1	1 C		79,81714	77,6		1	1 B		100	97,74
4	1	1 C		59,86286	58,2		1	1 T		80	78,19
5	1	1 B		99,77143	97		1	1 T		80	78,19
6	1	1 B		59,86286	58,2		1	1 T		80	78,19
7	1	1 T		79,81714	77,6		1	1 C		80	78,19
8	1	1 T		79,81714	77,6		1	1 C		60	58,64
9	1	1 T		79,81714	77,6		1	1 B		60	58,64
10	1	1 D		79,81714	77,6		1	2 C		100	93,87
11	1	2 C		99,70183	96,6		1	2 C		75	70,4
12	1	2 C		74,82798	72,5		1	2 B		75	70,4
13	1	2 B		74,82798	72,5		2	1 B		100	97,74
14	2	1 C		89,79429	87,3		2	1 T		90	87,97

Ilustración 38 - Vista planilla Excel con datos de muestras tomadas en nuestros programas

La planilla se exporta a Minitab programa en el cual se operativizará el análisis estadístico. También se guarda en formato .cvs por su posible utilización en el entorno del lenguaje R.

3.2.Análisis estadístico

Una primera mirada a nuestra base de datos permite advertir, la existencia de valores de eficiencia repetidos aún ante la conservación de la misma terna (caja, pallet, distribución) ante situaciones de simetría o mediante la permisividad de capas alternas. Esta situación deja en claro la necesidad de una intervención decisora externa al sólo cálculo matemático, como se verá en el apartado de análisis de riesgos.

3.2.1. TESTEO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN COMPARATIVO

En general al realizar un análisis estadístico sobre un proceso en el cual se involucran tareas de medición es necesario testear la eficiencia del sistema utilizado, con la finalidad de detectar posibles fuentes de variación en los resultados observados.

Los procesos industriales actualmente se orientan al uso del sistema de calidad seis-sigma el cual involucra la utilización del método R&R (repetibilidad y reproductibilidad) para testear la eficiencia de un sistema de medición. Intentaremos reproducir este esquema de “sistema de medición” para comparar el funcionamiento de los programas TOPS y StackBuilder, con su respuesta “eficiencia porcentual de área”. Conocemos los obstáculos de inconsistencia que enfrentará nuestro intento, dado que nuestro objeto de estudio posee características determinísticas y no se corresponde con un proceso asociado directamente a defectos a subsanar.

En el sistema de medición que estamos “ensayando”, los “operarios” (encargados de medir) están representados por un código de programa informático (TOPS y StackBuilder respectivamente) , y los objetos involucrados son los embalajes, sus contenedores (pallets) y las posibles distribuciones de los embalajes en los pallets (C, B,

T, y D), generando una respuesta-salida o “medida” que es la eficiencia en términos de área ocupada / área disponible por ciento.

Este planteamiento es al menos inquietante pues, este tipo de medición conserva rasgos *determinísticos no aleatorios*, generando las mismas respuestas ante los mismos estímulos (la “eficiencia medida” es la salida de un conjunto de sentencias informáticas invariantes).

Siguiendo esta línea de pensamiento la función “valor de medición” que depende de las variables “sistema de medición” y “objeto”, quedará definida de la siguiente manera:

$$\text{Medida de eficiencia} = F(\text{programa}, \{\text{embalaje}, \text{palet}, \text{distribución}\})$$

Dadas las particulares características de invariancia dentro de cada programa (ejecutándose siempre las mismas sentencias con idénticas “semillas” en el caso de simulación, y conservando el “objeto” de la medición) alguno de los términos involucrados en la composición del error de cualquier sistema de medición, en el campo informático será nulo.

$$\sigma^2_{\text{Sistema de Medición}} = \sigma^2_{\text{Reproducibilidad}} + \sigma^2_{\text{Repetibilidad}} + \sigma^2_{\text{Error}}$$

Ilustración 39- Error del sistema de medición (extraído de Prieto-Redchuk, 2016-4)

Las interpretaciones tradicionales involucradas en la fórmula anterior son: El sigma cuadrado (varianza) correspondiente a la reproductibilidad es la variación resultante cuando se utilizan diferentes condiciones para medir la misma característica (diferentes instrumentos, ajustes u operarios), la varianza correspondiente a la repetibilidad se origina en diferencias inherentes propiamente al sistema de medición (acontecidas al tomar varias medidas en igualdad de condiciones), y el sigma cuadrado error es el desvío provocado por la parte en sí. (Prieto-Redchuk 2016-4)

El procedimiento utilizado para generar una planilla de tipo G&G en Minitab ha sido proponer como operarios a los programas (TOPS, StackBuilder), como partes a las

distribuciones (prototipos C, B, T, D) y como repeticiones el número 16 considerando que existen 8 tipos de caja y 2 pallets . Las cifras de eficiencia que se han copiado desde la planilla de mediciones originales han sido los valores máximos observados en cada programa para cada objeto embalaje-pallet-distribución, por lo cual el total de mediciones es de 128.

Observemos además que la necesidad de hacer mediciones en orden aleatorio por parte de cada operario automática (programa) no es significativa.

Copiamos el informe generado por Minitab para el sistema de medición creado y descrito anteriormente:

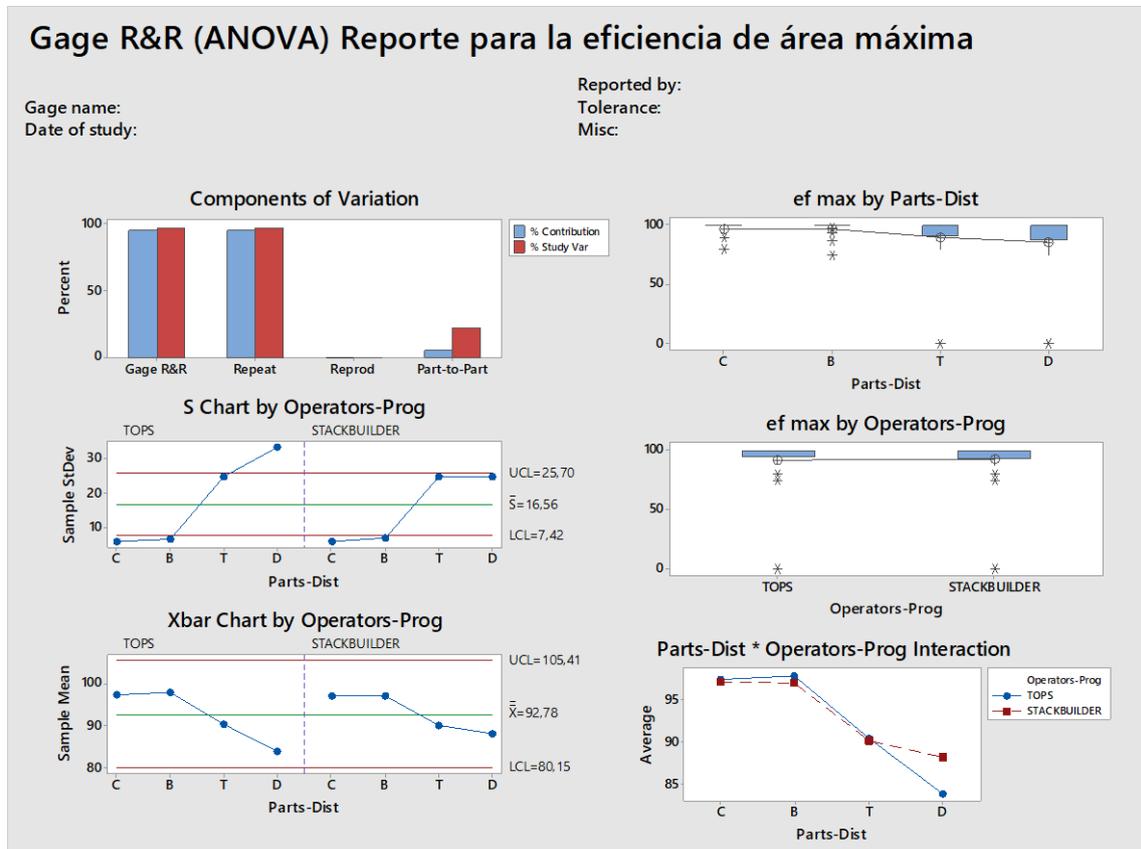


Ilustración 40 - Reporte R&R del sistema de medición en Minitab para los programas

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	381,079	95,12	→ MUY ELEVADO (Mayor a 10%)

Repeatability	381,079	95,12	
Reproducibility	0,000	0,00	→ Caso especial (informático)
Operators-Pr	0,000	0,00	
Part-To-Part	19,532	4,88	
Total Variation	400,612	100,00	

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	19,5213	117,128	97,53
Repeatability	19,5213	117,128	97,53
Reproducibility	0,0000	0,000	0,00
Operators-Pr	0,0000	0,000	0,00
Part-To-Part	4,4195	26,517	22,08
Total Variation	20,0153	120,092	100,00

Number of Distinct Categories = 1

→ Debería ser mayor a 4 ⁽¹⁷⁾

Irma Noemi No

Observamos que el sistema de medida creado es *muy pobre (inadecuado)*, y todas las partes (distribuciones) parecen ser la misma (son indistinguibles entre sí según el sistema, por pertenecer todas a una única categoría). R&R no ha logrado desagregar diferentes fuentes de variación de medidas (sólo se logra observar algún tipo de interacción entre los programas (operarios) y el tipo de distribución “D” (parte)).

No aplica un análisis de capacidad de producción en el problema estudiado. Desde el enfoque de la mensurabilidad del sistema de medición propuesto no llegamos a detectar posibles causas-efectos de productividad en la eficiencia de salida para el paletizado. Por lo cual mantendremos el diagrama propuesto en el capítulo I, inspirado en la práctica profesional del proceso de paletización aplicado por usuarios experimentados, con especial énfasis en la primera parte del mismo.

¹⁷ Deberían ser 5 o más categorías. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/gage-study/crossed-gage-r-r-study/before-you-start/example/>

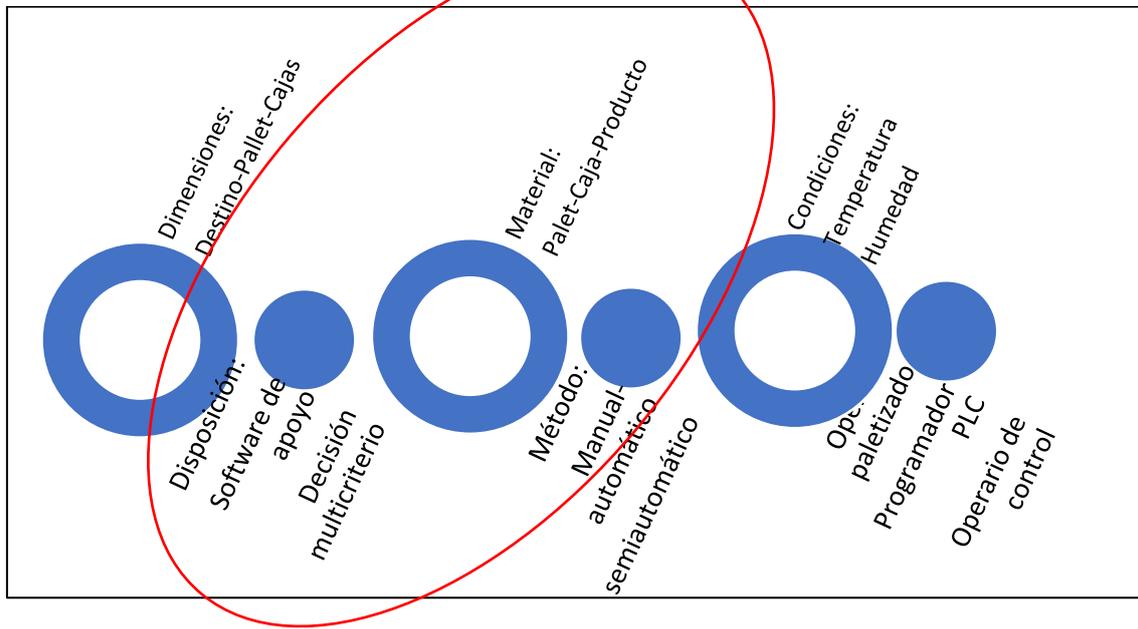


Ilustración 41 - Recorte del diagrama causa-efecto

Irma Noemi No

Procedemos a realizar un estudio estadístico tradicional para recorrer las características de las variables involucradas y sus posibles relaciones en el problema de paletizado.

3.2.2. ESTUDIO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Realizaremos un breve recorrido descriptivo de las variables involucradas en el trabajo, para dar paso a interrogantes de tipo correlacional no causal entre variables, finalizando con un análisis de factores principales (ACP). El principal objetivo estadístico del trabajo es determinar la participación de los diferentes factores que importen a la toma de decisión en cuanto a la elección de una distribución determinada en el proceso de paletizado, para lograr una eficiencia en el uso espacial (optimización de ocupación de área de paletizado)

Frecuencias de distribuciones propuestas por tipo de programa:

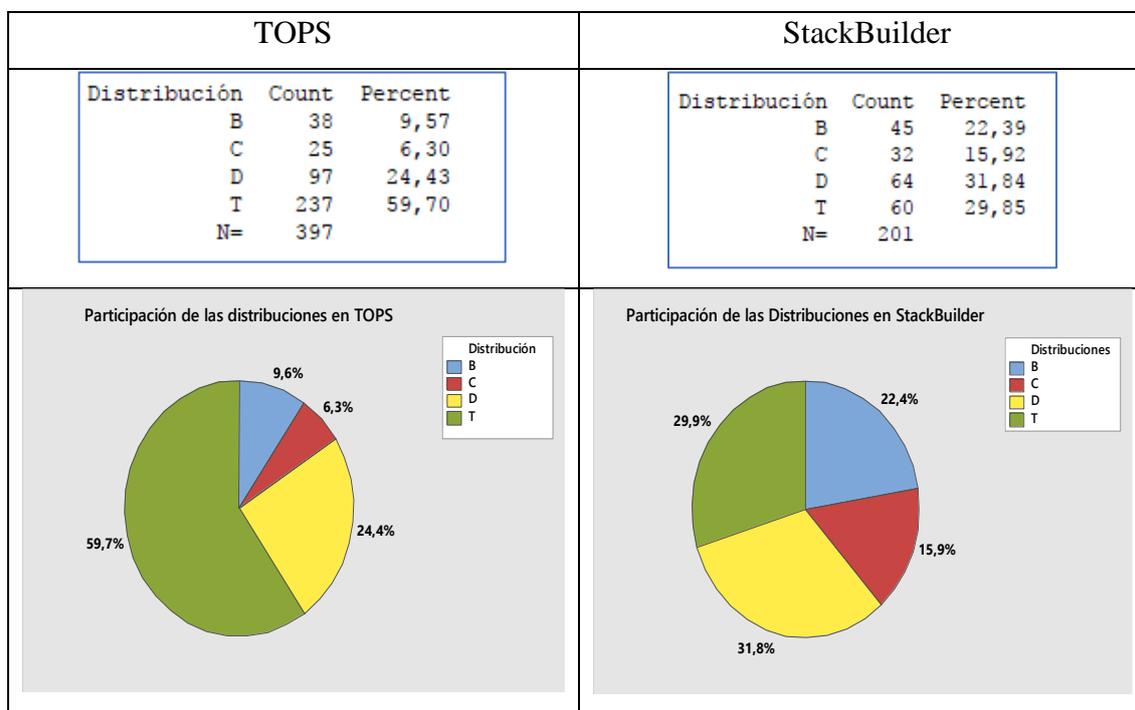


Ilustración 42 - Distribuciones de frecuencias de las distribuciones en los programas

Observamos que el programa TOPS ofrece casi el doble de soluciones de distribución con respecto al programa StackBuilder para el mismo planteo de paletizado (391 versus 201). También distinguimos una importante diferencia en la proporción de soluciones que corresponden a cada una de las distribuciones comparando ambos programas.

Utilizamos entonces el test Chi-cuadrado para analizar la asociación *Programa-Distribución* en los paletizados realizados, obteniendo un p-valor inferior a 0,05 por lo cual se rechaza la hipótesis nula de independencia, corroborando la *significatividad de la asociación* entre dichas variables:

	B	C	D	T	ALL
1	38	25	97	237	397
TOPS	55,10	37,84	106,88	197,17	
2	45	32	64	60	201
STACK	27,90	19,16	54,12	99,83	
ALL	83	57	161	297	598

Pearson Chi-Square = 55,411; DF = 3; P-Value = 0,000
 Likelihood Ratio Chi-Square = 55,656; DF = 3; P-Value = 0,000

Ilustración 43 - Test Chi-Cuadrado dep/indep. Distribución-Programa

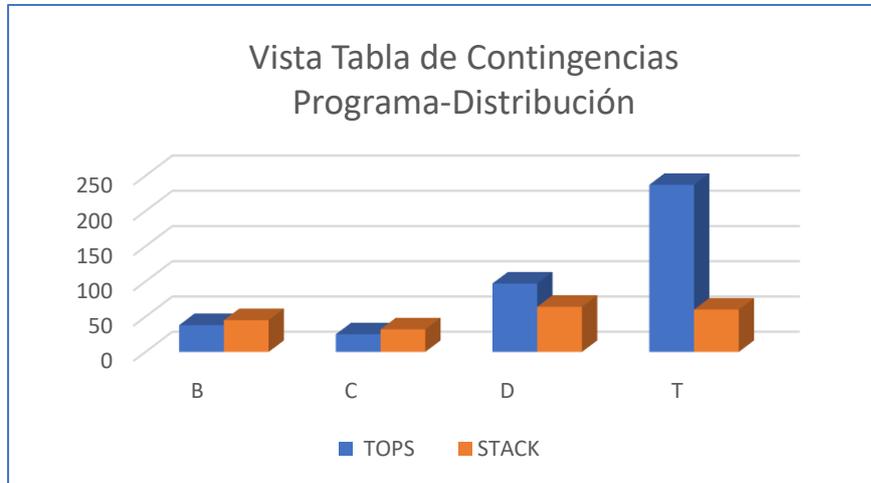


Ilustración 44 - Contingencias Programa-Distribución

Eficiencias generadas por programa

Irma Noemi No

StackBuilder:

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ef. área	201	0	89,371	0,881	12,496	49,851	79,817	93,509	99,702	99,771

TOPS

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ef. área	397	0	89,501	0,575	11,465	40,000	85,000	93,330	98,750	100,000

Testeamos la *igualdad de medias* correspondientes a la *eficiencia de área* observada en cada programa:

H₀: media de eficiencia de área en TOPS = media de eficiencia de área en StackBuilder. ($\mu_1 = \mu_2$).

H_a: $\mu_1 \neq \mu_2$.

```

Two-sample T for Ef. área

programa      N   Mean  StDev  SE Mean
TOPS          397  89,5   11,5   0,58
StackBuilder  201  89,4   12,5   0,88

Difference =  $\mu$  (1) -  $\mu$  (2)
Estimate for difference: 0,13
95% CI for difference: (-1,94; 2,20)
T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = 0,12  P-Value = 0,902  DF = 372

```

Ilustración 45 - Test de igualdad de medias de eficiencia de área en TOPs y PLMStack Builder

El elevado p-valor obtenido nos sugiere una *alta probabilidad de obtención de nuestros resultados si la hipótesis nula es verdadera*, así como también la presencia del valor cero en el intervalo de confianza generado. Se puede visualizar la *similitud de medias de eficiencia de área* en el Box-plot generado.

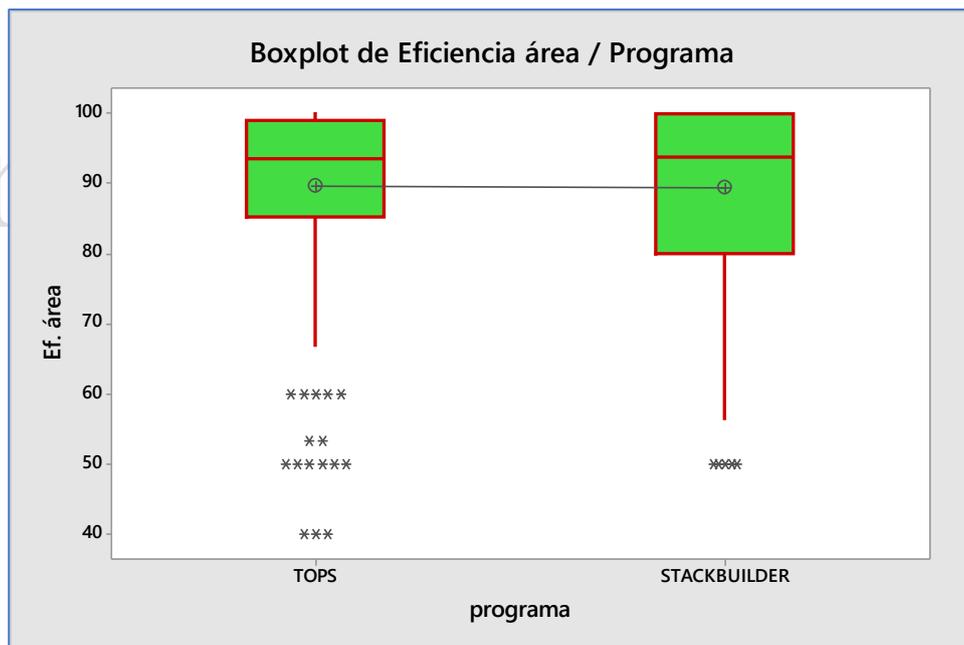


Ilustración 46 - BoxPlot eficiencia de área en TOPs y PLMStack Builder

Como observación mencionaremos que el resultado anterior se obtuvo indicando en el cuadro de diálogo la igualdad de varianzas entre las muestras (p-valor mayor a 0,05 y barras en parte superpuestas, en el test graficado a continuación).

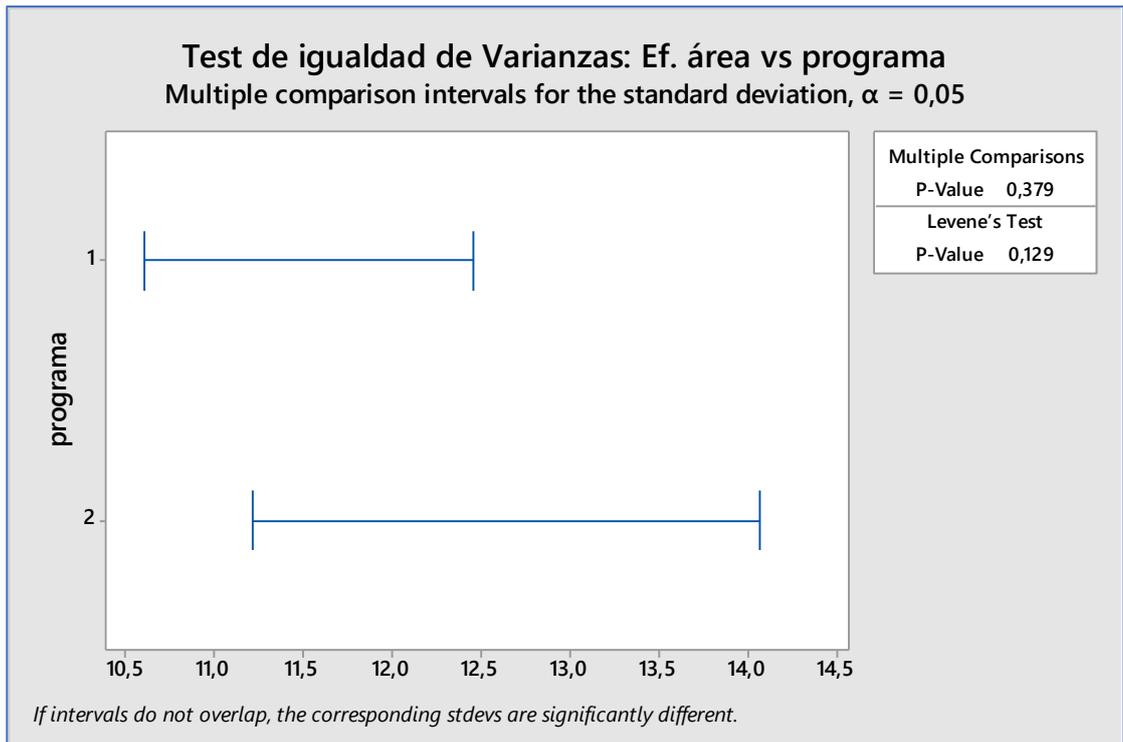


Ilustración 47 - Gráfico test igualdad de varianzas de eficiencia de área de los programas

Testeo de normalidad de eficiencia porcentual de área en el programa TOPS

Deseamos determinar si la naturaleza de nuestra distribución de valores de la variable eficiencia porcentual de área de paletizado en el programa TOPS se corresponde con una distribución normal.

Para ello primeramente testeamos la salida gráfica de Minitab y el p-valor obtenido. De acuerdo a lo observado (gráfica no concordante y p-valor menor a 0,05), debemos rechazar la hipótesis de normalidad de la distribución de esta variable.

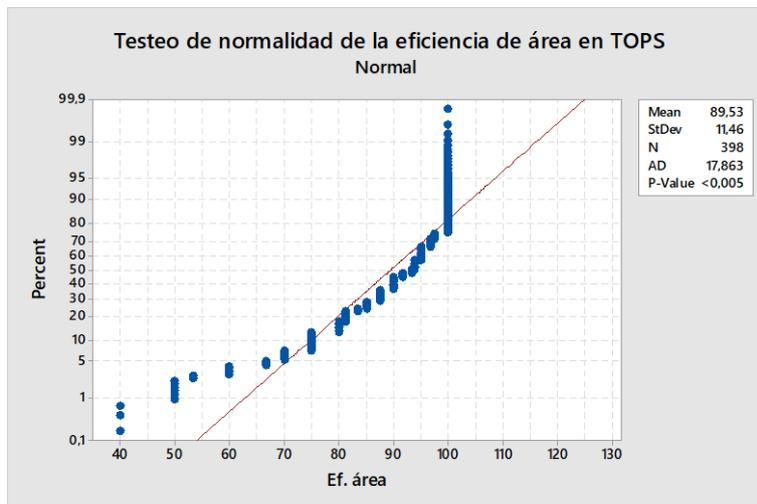


Ilustración 48 - Gráfico testeo de normalidad eficiencia de área TOPS

A través del estadístico de Anderson-Darling la bondad de ajuste gráfico parece indicar que la variable eficiencia de área podría responder a una distribución de tipo Weibull, con un parámetro $K > 1$, según su comportamiento de crecimiento porcentual.¹⁸

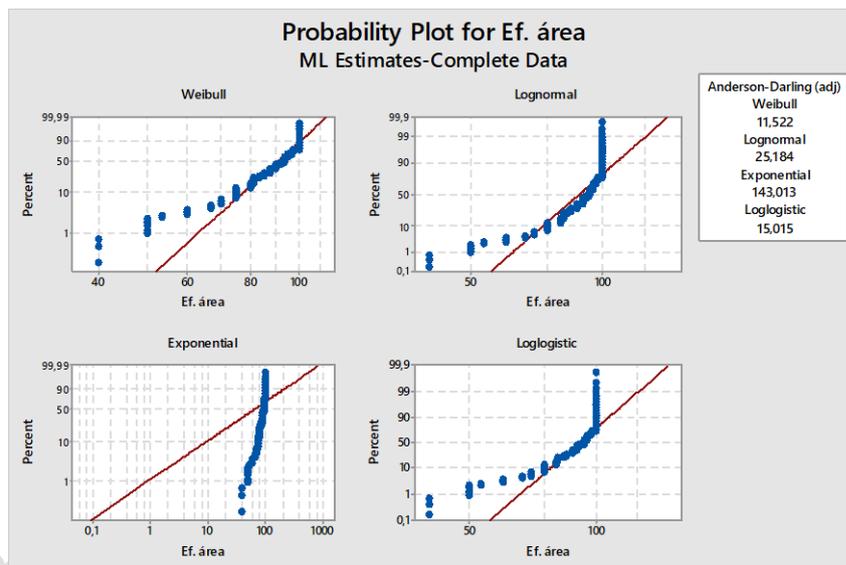


Ilustración 49 - Gráficos de ajuste a estadísticos de la eficiencia de área de TOPs

Analizamos si los datos generales de la eficiencia de área pueden entonces ser estratificados, utilizando un testeo ANOVA (muestra de gran tamaño) de efectos principales (las variables Caja_1, Palet_1 y Distribución_1, representan las ocho medidas de cajas, dos medidas de pallets y cuatro de distribuciones respectivamente).

¹⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Weibull

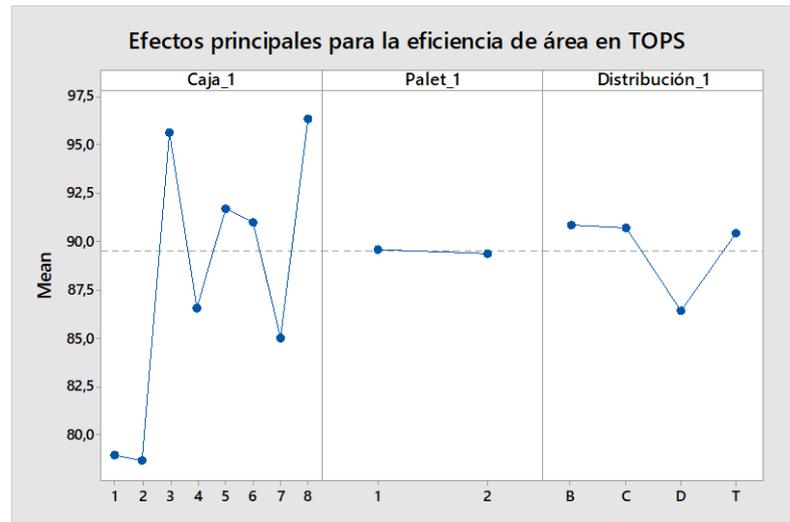


Ilustración 50 - Efectos principales para la eficiencia de área en TOPS

Las cajas 1 y,2 (las más grandes) y 8 (la más pequeña), y la distribución D parecen influir en la falta de normalidad de la eficiencia de área en TOPS. Si realizamos el diagrama de efectos principales para cada distribución, reafirmamos las influencias mencionadas y distinguimos nuevas interacciones (como la caja 5 en la distribución C).

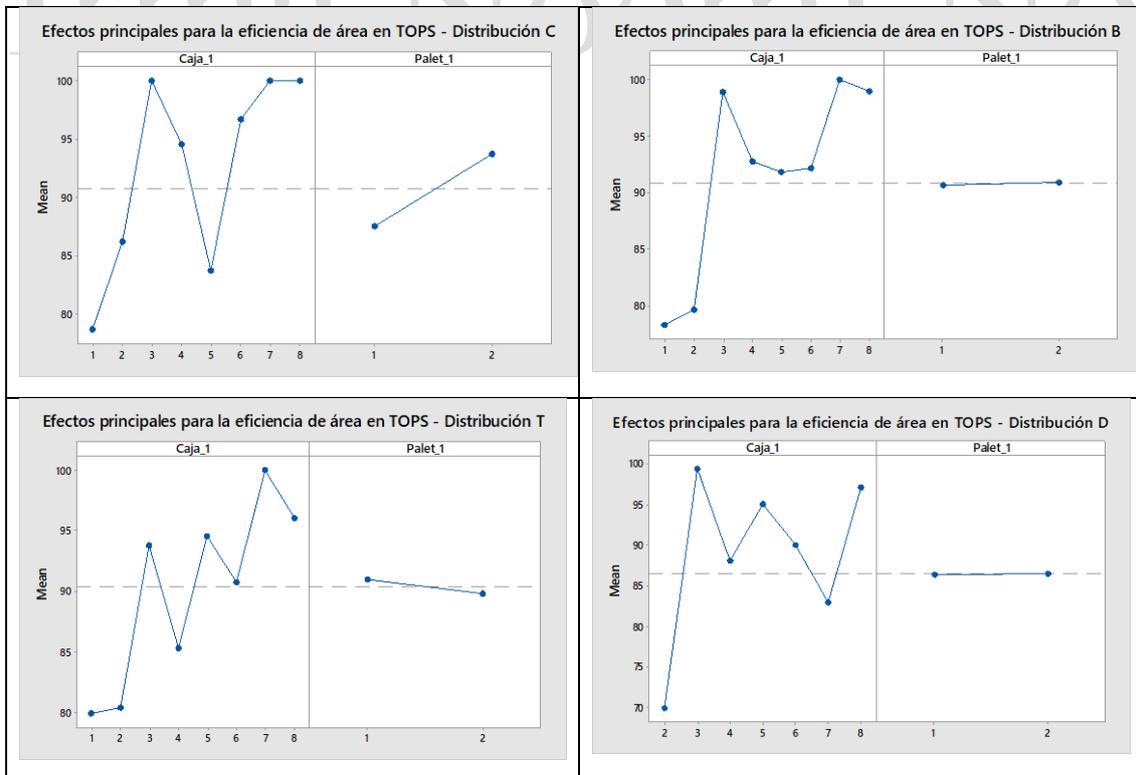


Ilustración 51 - Tabla de efectos principales para la eficiencia por distribución en TOPS

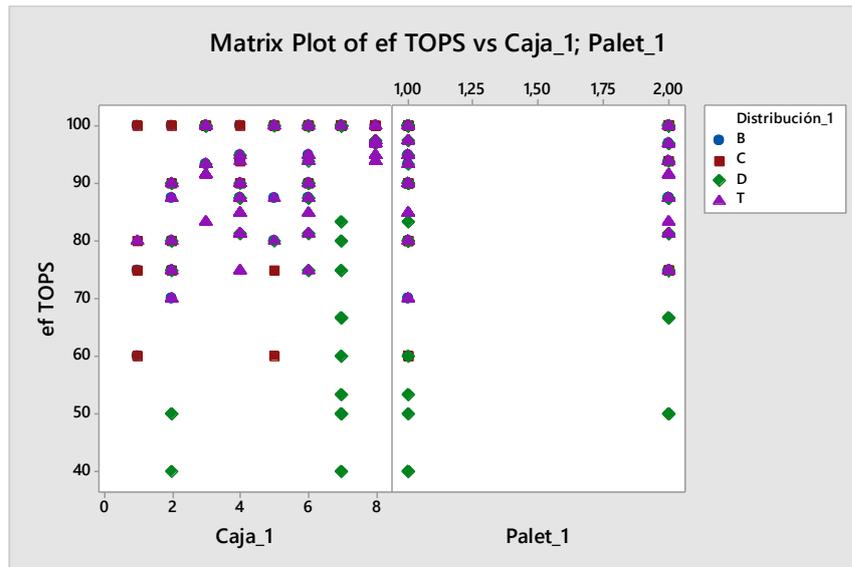


Ilustración 52 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en TOPS

La distribución D provoca eficiencias diferenciadas (amplio rango de variabilidad). Las cajas 2 y 7 presentan un importante rango de variación (por presencia de la distribución D), mientras que la caja 8 (que es el más pequeño de los embalajes) posee un rango pequeño de oscilación (incluyendo sólo elevados altos de la variable eficiencia). La distribución B no aporta valores novedosos de eficiencia.

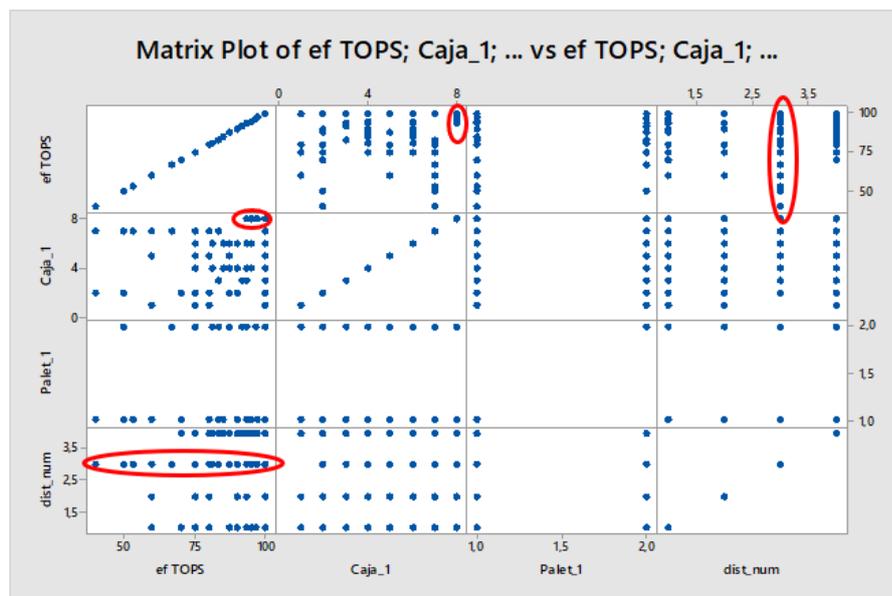


Ilustración 53 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en TOPS vista detallada

En el gráfico matriz anterior, se observa la interacción (en el programa TOPS) de la caja 8 con la eficiencia de área (elevada) y el amplio recorrido de los valores de eficiencia observados en la distribución D, corroborando visualmente las observaciones anteriores. En la gráfica hemos referido a las distribuciones con formato número según la siguiente nomenclatura:

B	C	D	T
1	2	3	4

Luego de variados intentos de exclusión selectiva de ítems en los cuales se han observado comportamientos sesgados, los valores de la eficiencia de área en el programa TOPS no ha logrado aplicar a una distribución normal (manteniendo en todos los testeos un p-valor inferior a 0.05).

Testeo de normalidad de eficiencia porcentual de área en el programa StackBuilder

Los valores de eficiencia de área recogidos en la muestra correspondiente a las ocho cajas, dos pallets y cuatro distribuciones se alejan de una distribución normal según se observa en la siguiente salida de Minitab.

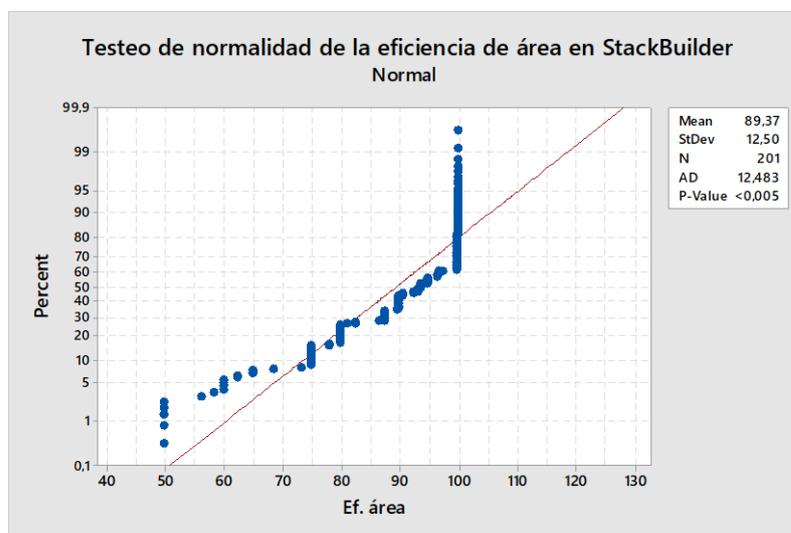


Ilustración 54 -Gráfico testeo de normalidad eficiencia de área en StackBuilder

A diferencia de lo que sucedía con el programa TOPS, a través del estadístico de Anderson-Darling la bondad de ajuste gráfico parece indicar que la variable eficiencia de área en StackBuilder podría responder a una distribución de tipo Weibull, con un parámetro $K > 1$ o bien a una distribución log-logística (dado el gran crecimiento valores en una fase, comparado con otras tasas de crecimiento más estables)¹⁹. Esta diferencia puede deberse al mayor tamaño de muestra del programa TOPS, si restringimos el tamaño de la muestra de TOPS, éste también demostrará un comportamiento log-logístico.

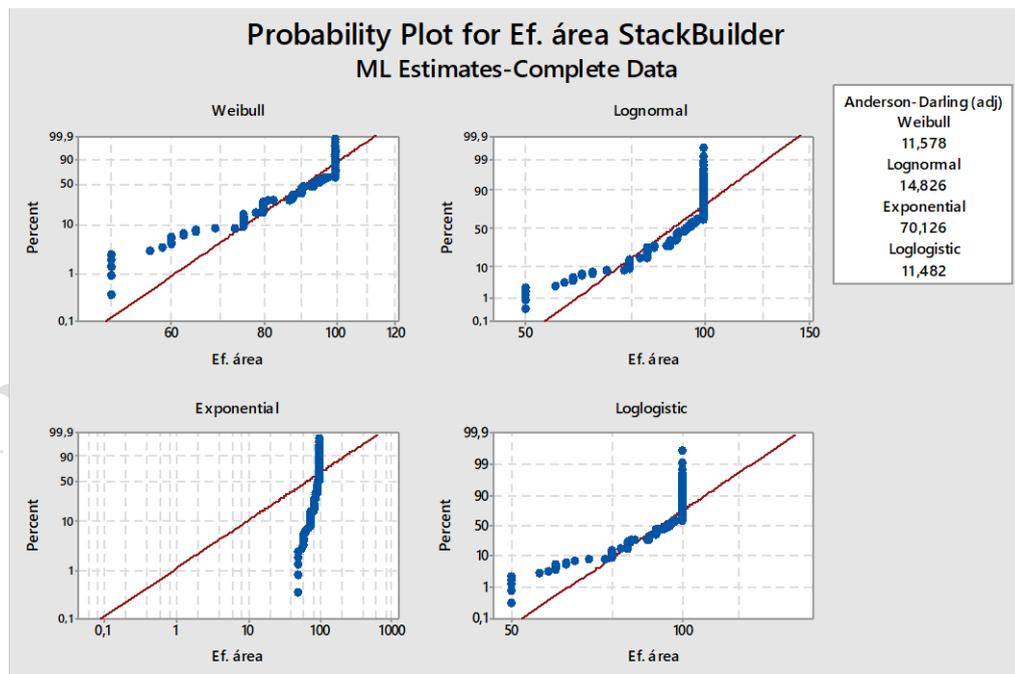


Ilustración 55 - Gráficos de ajuste a estadísticos de la eficiencia de área en StackBuilder

La siguiente visualización de efectos principales según el análisis ANOVA (muestra de gran tamaño), distingue a las cajas 1, 2, 7 y 8 (las más grandes y las más pequeñas) y a la distribución D como generadores de variación en la eficiencia de área en el programa StackBuilder.

¹⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Log-logistic_distribution

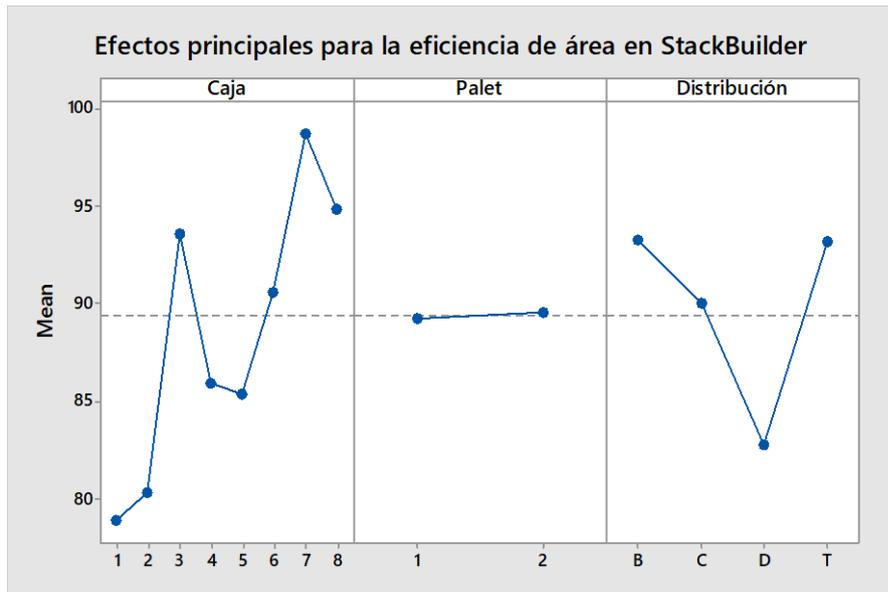


Ilustración 56 - Efectos principales para la eficiencia de área en StackBuilder

Desagregamos a continuación el estudio de las causas de la variación enfocándonos en cada distribución, para intentar una estratificación de los datos.

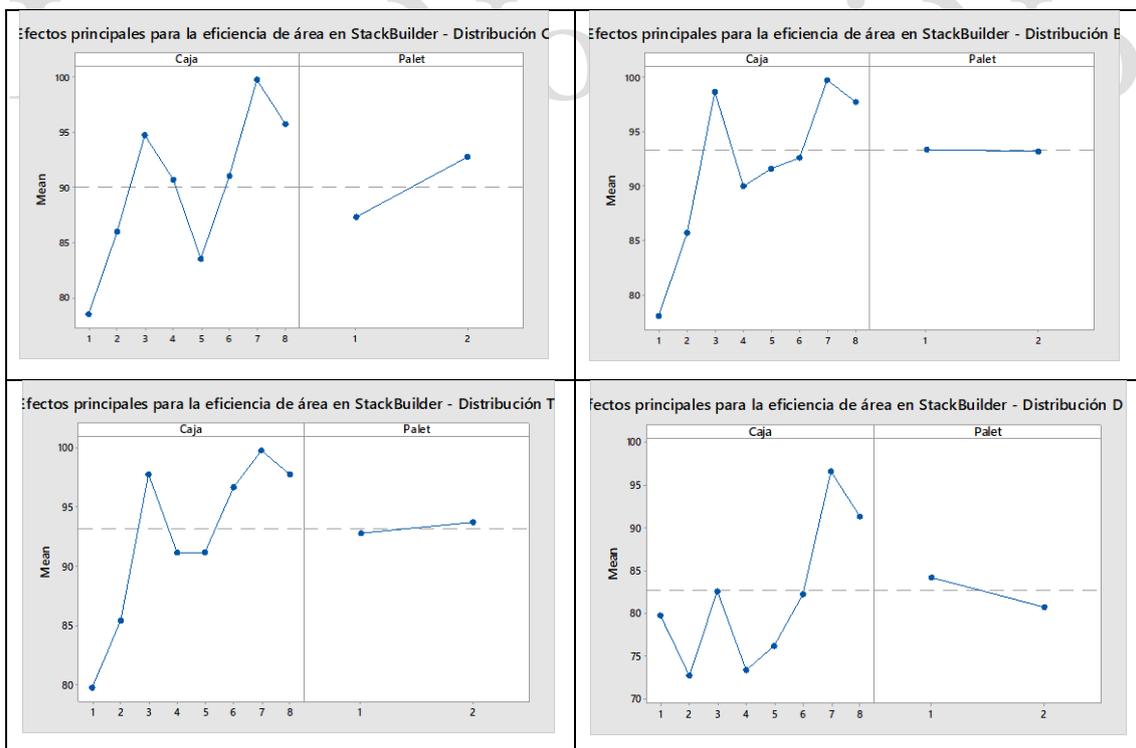


Ilustración 57 - Tabla de efectos principales para la eficiencia por distribución en StackBuilder

En el diagrama anterior se refuerzan nuestras observaciones sobre la afectación de la variable eficiencia en el caso de las cajas de tamaños límites y la distribución D, y también se incorpora como factor la distribución C.

Generamos nuevas gráficas para corroborar las observaciones anteriores.

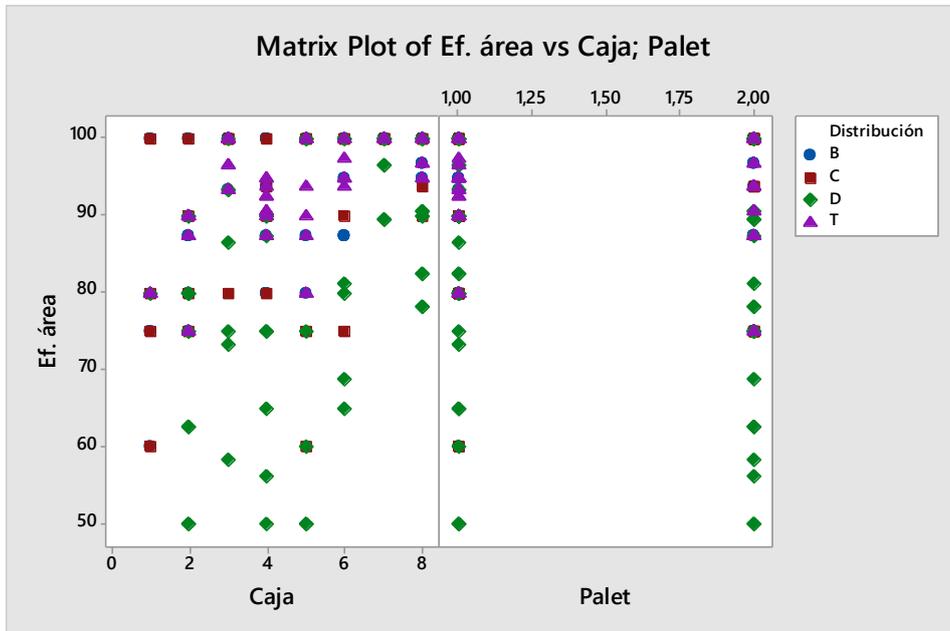


Ilustración 58 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en StackBuilder

Se siguen observando elevadas concentraciones en las cajas tipo 7 - 8, y una eficiencia de área diferenciada y dispersa en la distribución D, con respecto al resto de las distribuciones.

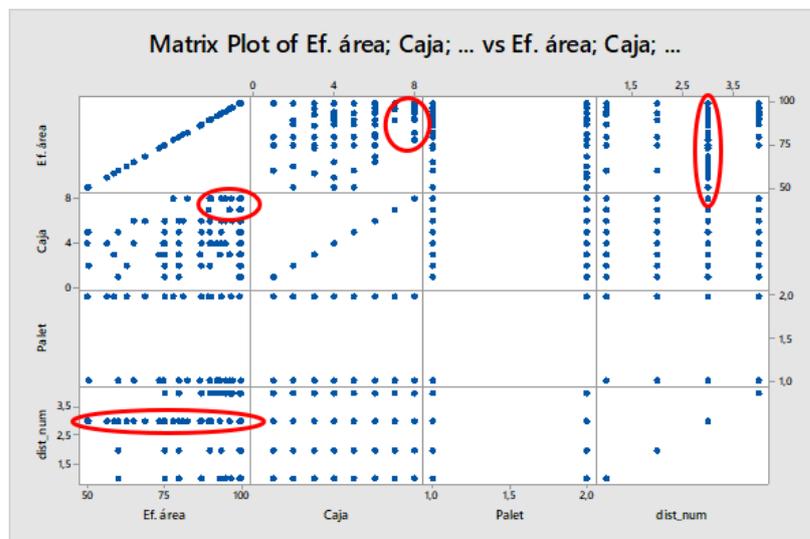


Ilustración 59 - Matrix Plot de la eficiencia versus factores en StackBuilder vista detallada

Eficiencias de área generadas por cada distribución – Programa TOPS:

Variable	Distribución	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Ef. área	B	38	0	90,83	1,75	10,80	60,00	87,50	94,38	100,00
	C	25	0	90,75	2,61	13,03	60,00	80,00	100,00	100,00
	D	97	0	86,45	1,78	17,48	40,00	80,00	95,00	100,00
	T	237	0	90,406	0,484	7,454	70,000	85,000	93,330	95,000

Variable	Distribución	Maximum
Ef. área	B	100,00
	C	100,00
	D	100,00
	T	100,000

Ilustración 60 - Eficiencia de áreas por distribución en TOPs

Intentamos realizar un test ANOVA tradicional para detectar la perturbación o influencia del factor distribución en la media de eficiencia porcentual de área, pero las distribuciones dentro de cada subgrupo no cumplen la hipótesis de normalidad (esto sucedió aun restringiendo el estudio a los prototipos que demostraron mayor estabilidad anteriormente: cajas 3, 4 y 6). (Observar p-valor inferior a 0,05)

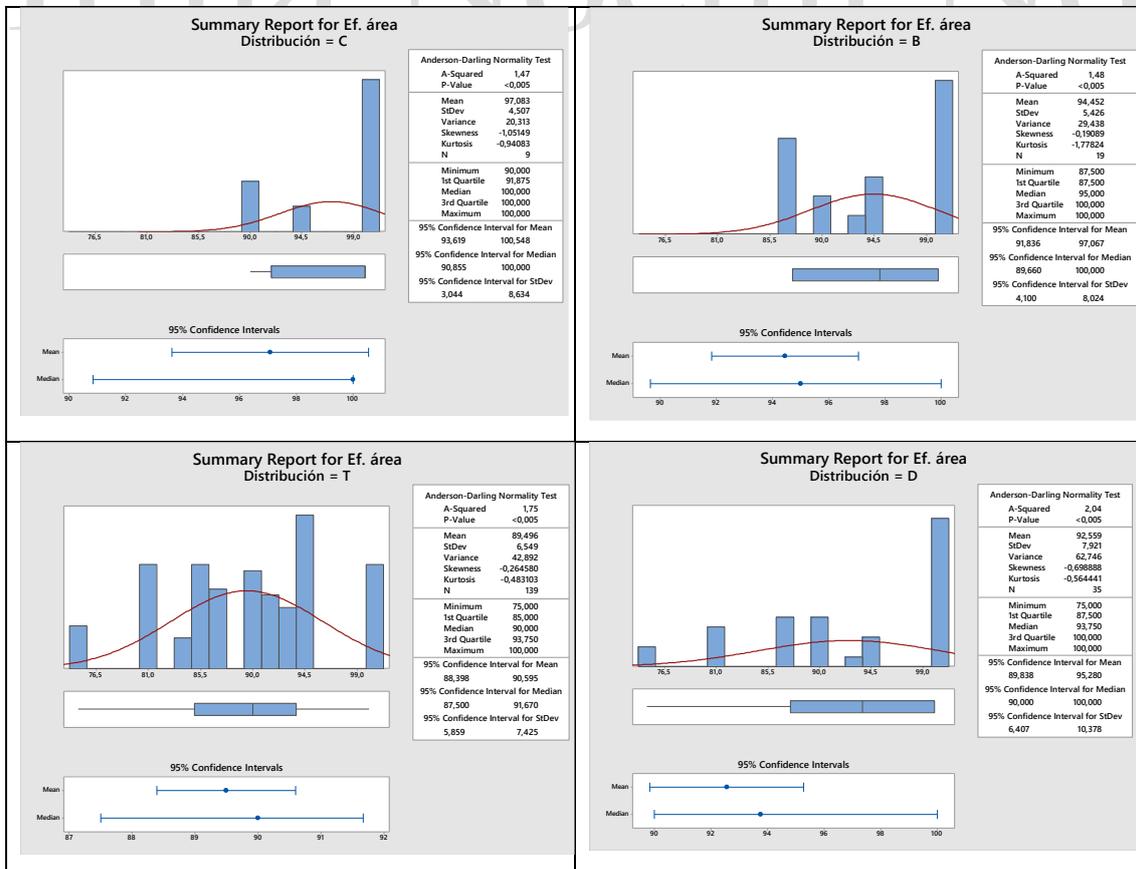


Ilustración 61- Tabla testeo de normalidad de la eficiencia de área por distribución en TOPs

En condiciones de no-normalidad testeamos la similitud de Varianzas por Levenne, y la similitud de medianas por Kruskal-Wallis.

En el caso de las varianzas observamos en la siguiente salida de Minitab que la varianza de la distribución T difiere significativamente del resto y también pueden observarse diferencias (corrimientos) en la distribución D.

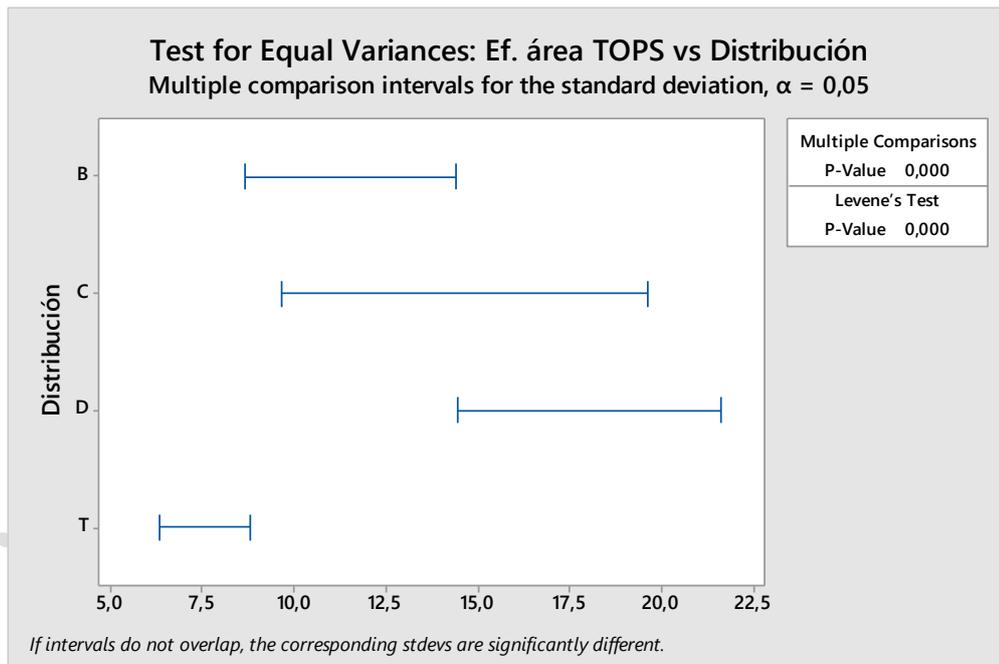


Ilustración 62 - Testeo de igualdad de varianzas de eficiencia de área por distribución en TOPS

Comparamos las medianas mediante el test no paramétrico Kruskal-Wallis²⁰.

Kruskal-Wallis Test: Ef. área TOPS versus Distribución

Kruskal-Wallis Test on Ef. área

Distribución	N	Median	Ave Rank	Z
B	38	94,38	217,8	1,03
C	25	100,00	233,7	1,54
D	98	95,00	206,9	0,73
T	237	93,33	189,9	-2,02

²⁰ <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/what-to-do-with-nonnormal-data/>

Overall	398	199,5
H = 5,23	DF = 3	P = 0,156
H = 5,33	DF = 3	P = 0,149 (adjusted for ties)

Los p-valores observados anteriormente (superiores a 0,05) no infieren diferencia significativa correspondiente a una distribución en particular. (Observar que el valor diferencial de T puede remitirse a su importante diferencia en frecuencia de aparición).

Se ha ensayado Kruskal -Wallis con las otras variables disponibles (cajas y pallets) llegando a la misma conclusión que con la distribución (sin mediaciones significativas sobre la eficiencia de área en TOPS).

Eficiencias de área generadas por cada distribución - Programa StackBuilder:

Variable	Distribución	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Ef. área	B	45	0	93,27	1,39	9,31	59,86	87,21	99,70	99,77
	C	32	0	90,00	2,17	12,30	59,86	79,82	96,61	99,70
	D	64	0	82,74	1,96	15,70	49,85	74,83	86,81	99,70
	T	60	0	93,189	0,892	6,911	74,828	89,794	94,731	99,702
Variable	Distribución	Maximum								
Ef. área	B	99,77								
	C	99,77								
	D	99,77								
	T	99,771								

Ilustración 63 - Eficiencia de áreas por distribución en StackBuilder

También en StackBuilder intentamos realizar un test ANOVA tradicional para detectar la perturbación o influencia del factor distribución en la media de eficiencia porcentual de área, pero las distribuciones dentro de cada subgrupo no cumplen la hipótesis de normalidad.

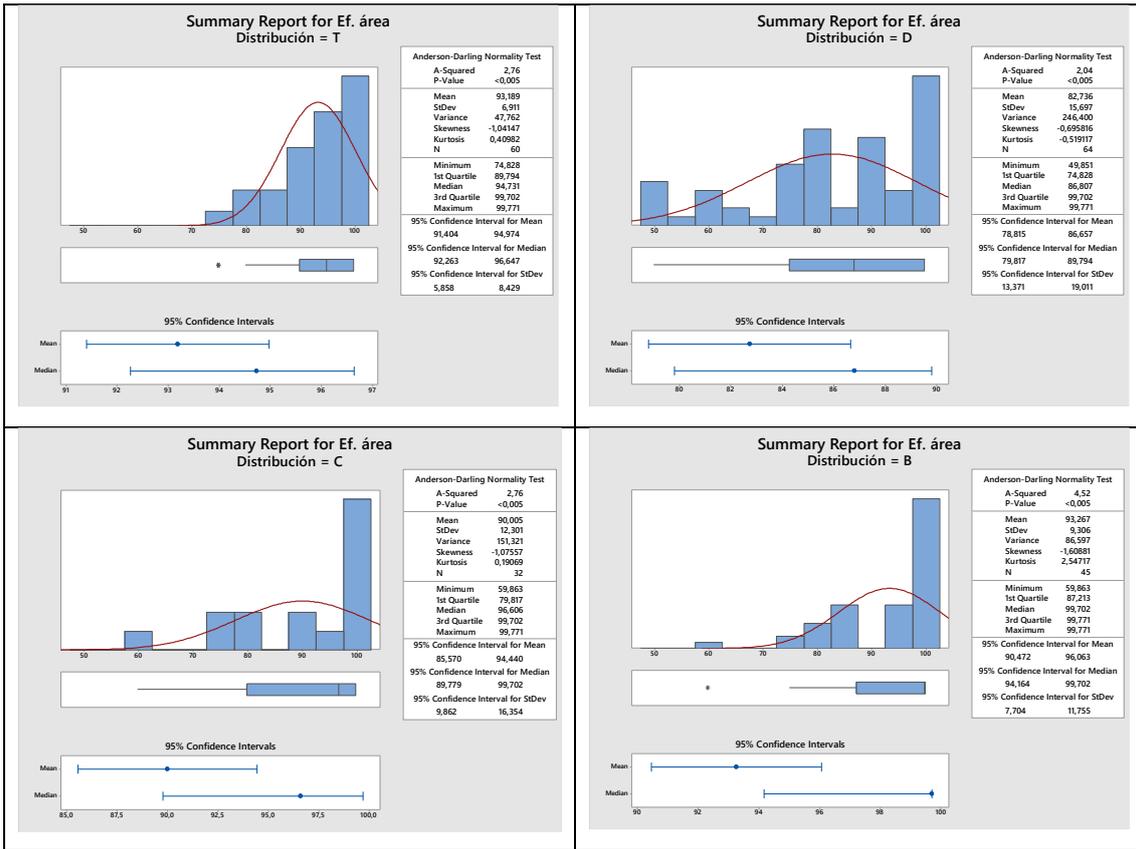


Ilustración 64 - Tabla testeo de normalidad de la eficiencia de área por distribución en StackBuilder

El testeo de semejanza de varianzas por el test de Levene, arroja alguna diferencia en las distribuciones D y T, como puede observarse a continuación (desplazamiento de intervalo y p-valor menor a 0,05).

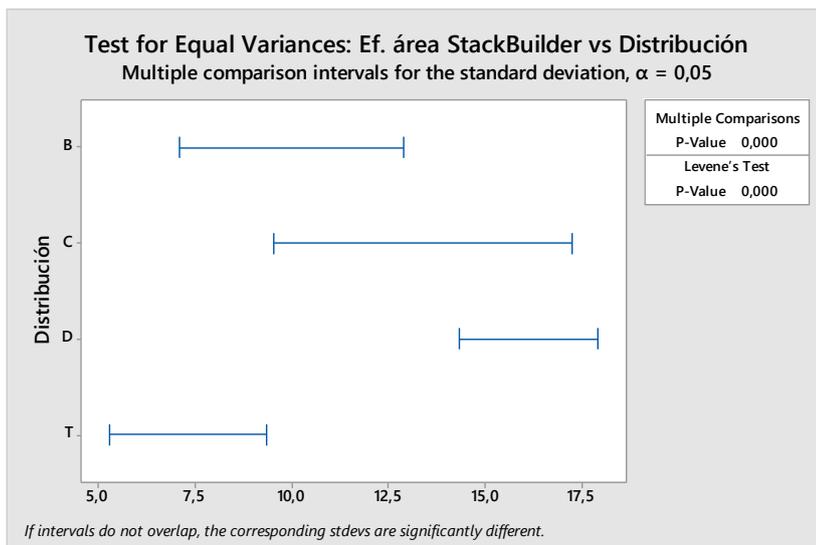


Ilustración 65 - Testeo de igualdad de varianzas de eficiencia de área por distribución en StackBuilder

Al aplicar el test de Kruskal -Wallis, se observa un p-valor inferior a 0,05 por lo cual al menos una de las medianas difiere en el grupo de distribuciones. Según los valores observados a continuación inferimos que la distribución D se distancia en comportamiento del resto de las distribuciones en cuanto a la variable eficiencia de área en StackBuilder.

Kruskal-Wallis Test: Ef. Área StackBuilder versus Distribución				
Kruskal-Wallis Test on Ef. área				
Distribución	N	Median	Ave Rank	Z
B	45	99,70	120,1	2,50
C	32	96,61	104,8	0,40
D	64	86,81	76,6	-4,07
T	60	94,73	110,7	1,54
Overall	201		101,0	
H = 17,98 DF = 3 P = 0,000				
H = 18,28 DF = 3 P = 0,000 (adjusted for ties)				

3.2.3. ANÁLISIS CORRELACIONAL

DOE interacción de factores con los programas TOPS y StackBuilder

Con los anteriores análisis gráficos y analíticos se diseñará un experimento que involucre las variables estudiadas para analizar su aportación como factores interactuantes de significación en el resultado final de eficiencia de área (objetivo barrido), a través de sus diferentes niveles valorativos.

Pegamos a continuación los gráficos obtenidos en Minitab.

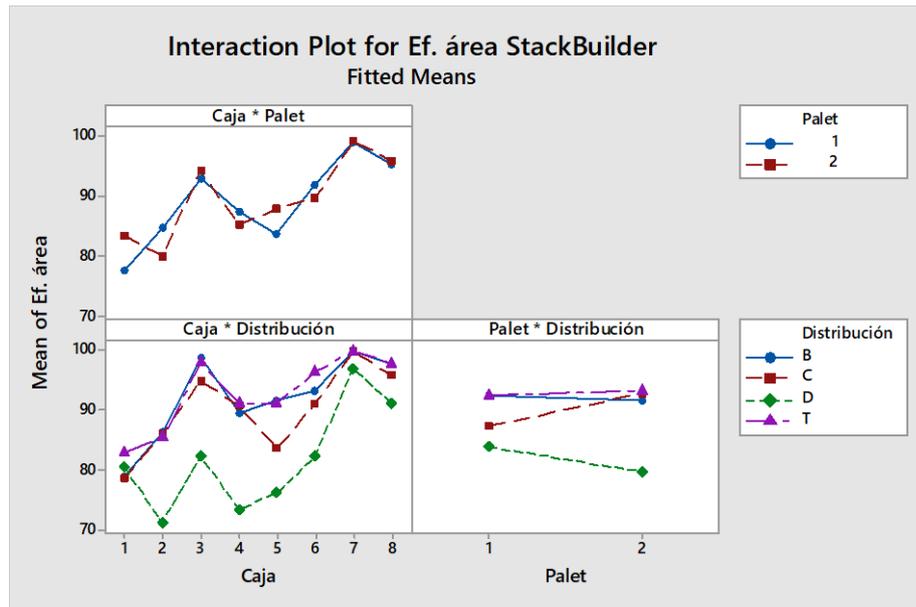


Ilustración 66 - Gráficos de Interacción Ef. de área por factores en SackBuilder

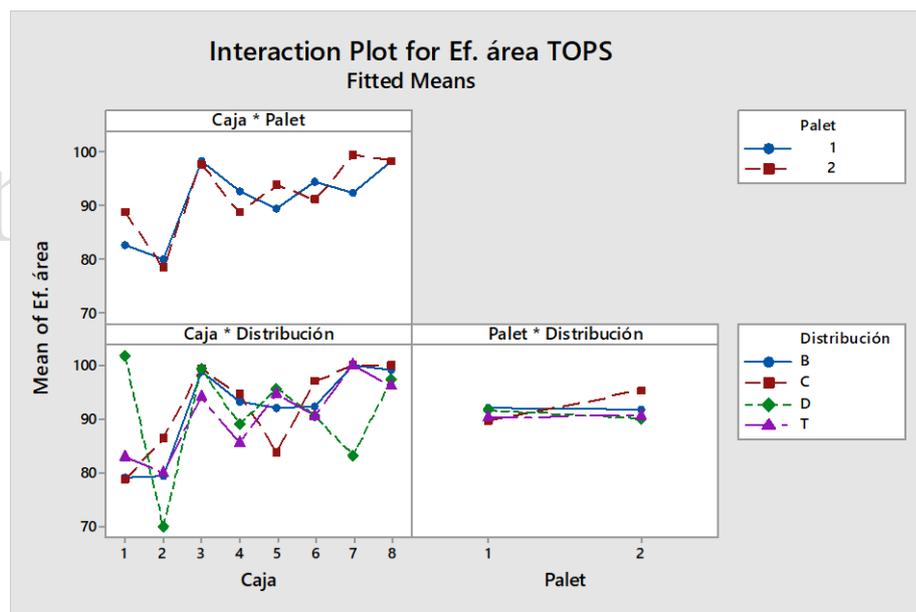


Ilustración 67 - Gráficos de Interacción Ef. de área por factores en TOPS

Según los gráficos expuestos podemos concluir la distribución D interactúa con los elementos del proceso de paletizado (caja-pallet) influyendo en los valores de la variable resultado eficiencia de área.

El análisis de residuos realizado indica que no sería adecuado utilizar un modelo de predicción regresivo según los factores considerados (observar la ausencia de aleatoriedad con tendencias: de “megáfono” en ajuste y de estabilización a media en orden “ciclos”).

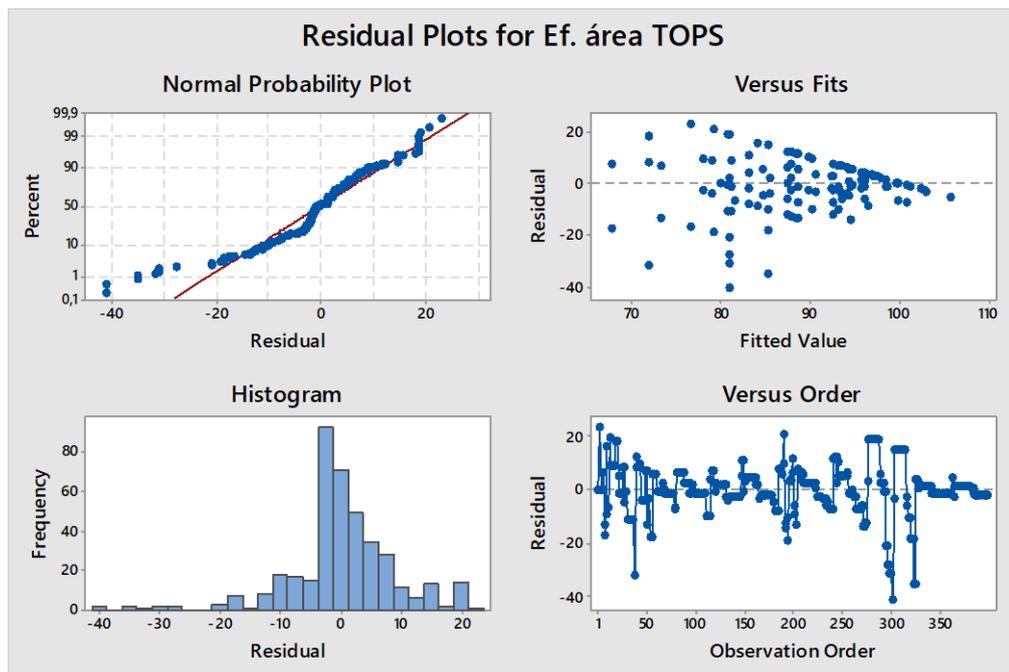


Ilustración 68 - Gráficos de Residuos para ef. de área en TOPs

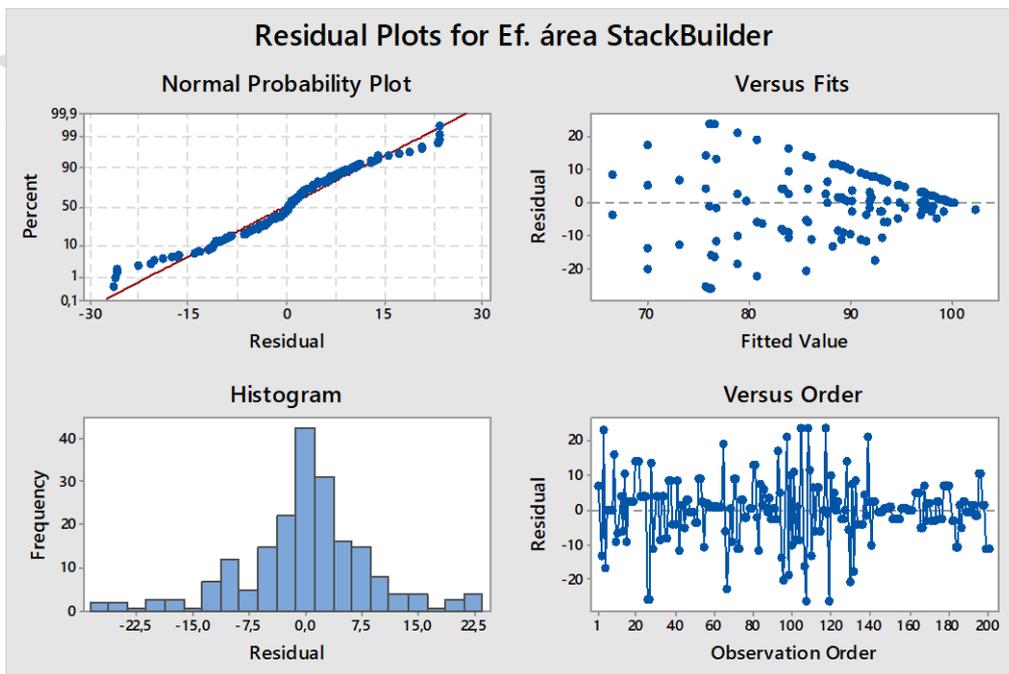


Ilustración 69 - Gráficos de Residuos para ef. de área en StackBuilder

Análisis Multivariado PCA

Programa TOPS

Realizando un análisis multivariado de componentes principales observamos que la primera componente explica con mayor grado, la variabilidad de la muestra

(recordemos que los autovalores de la matriz de correlación coinciden con las varianzas del análisis de factores principales de la matriz de correlación, los cuales dan cuenta de la variabilidad estadística). La segunda y tercera componente explican casi en igual medida. Nos enfocaremos en dos componentes principales pues, la consideración de más componentes explicativas aumenta el parámetro de complejidad (cp)²¹ de manera no deseada.

Principal Component Analysis: Caja; Palet; Ef. área; dist_num TOPS

Eigenanalysis of the Correlation Matrix

Eigenvalue	1,2820	1,0022	0,9858	0,7300
Proportion	0,321	0,251	0,246	0,183
Cumulative	0,321	0,571	0,817	1,000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Caja	0,698	-0,038	0,051	-0,713
Pallet	0,014	-0,981	0,178	0,079
Ef. área	0,638	0,133	0,397	0,646
dist_num	0,324	-0,138	-0,899	0,260

Principal Component Factor Analysis of the Correlation Matrix

Variance	1,2820	1,0022	0,9858	0,7300	4,0000
% Var	0,321	0,251	0,246	0,183	1,000

²¹ Se intenta establecer un equilibrio beneficioso complejidad-error de ajuste.

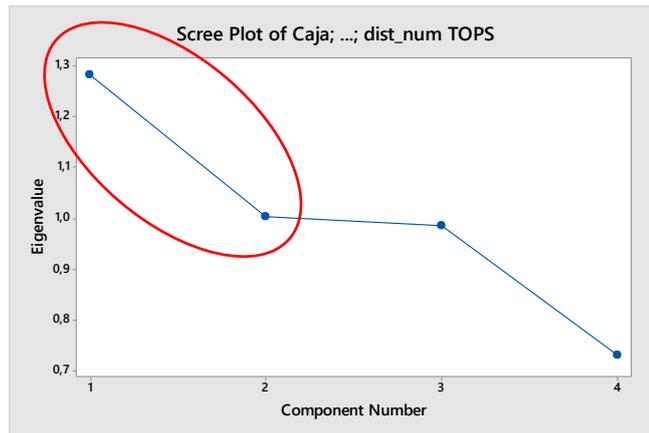


Ilustración 70 - Scree Plot variabilidad de componentes principales en TOPs

La distribución de las observaciones en el Score Plot en torno a las componentes principales demuestra simetría polarizada a extremo con respecto a la segunda componente (dirección en la cual se mueve la variable binaria pallet -ver biplot vectorial). También se distingue una concentración a derecha de la primera componente (dirección en la cual se explican el resto de las variables en biplot vectorial). Observar además la gran dispersión gráfica del valor de distribución “D” (ya mencionado en los estudios anteriores por su comportamiento diferencial).

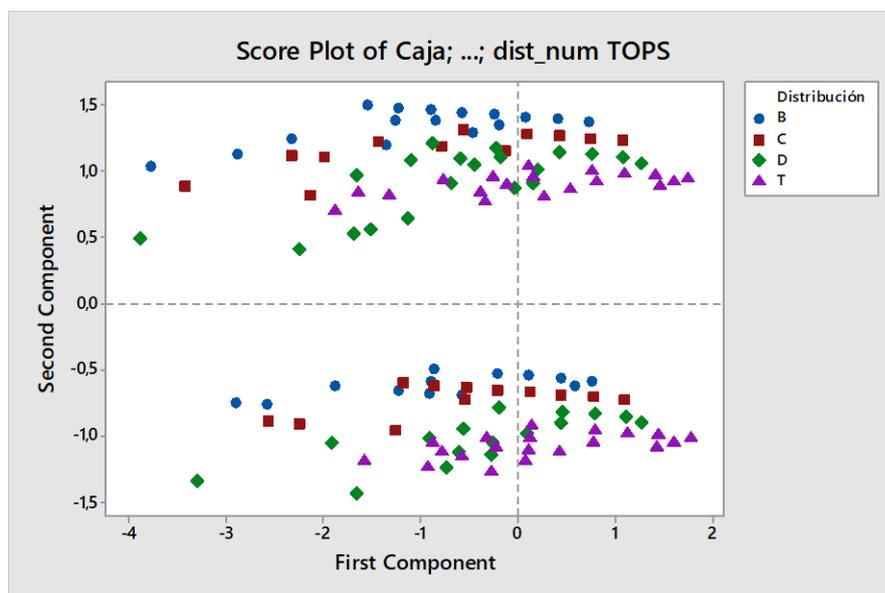


Ilustración 71 - Score Plot primeras dos componentes principales en TOPs

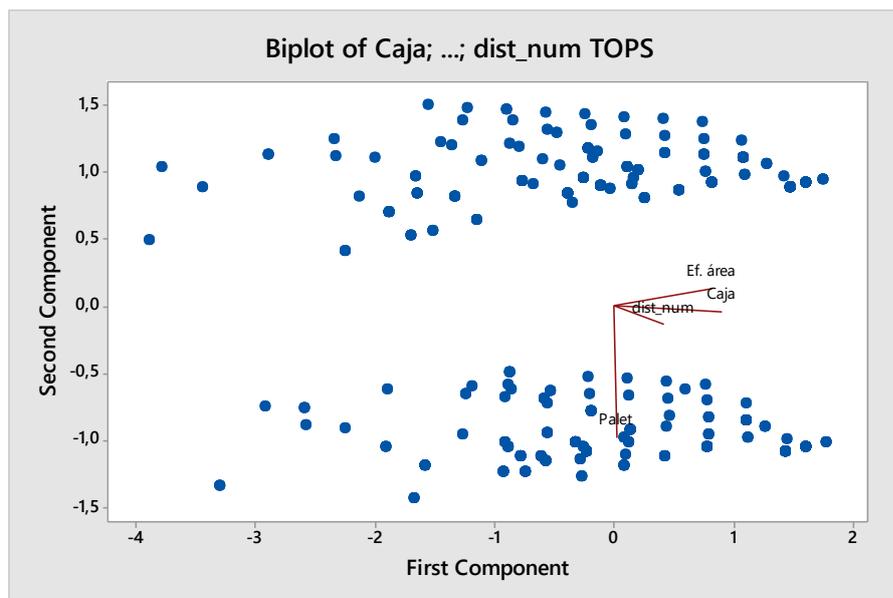


Ilustración 72 - Biplot vectorial componentes principales TOPs

Programa StackBuilder

Nuevamente observamos cierta falta de distanciamiento entre los valores de variabilidad entre segunda y tercera componente principal, considerándose un rasgo común con TOPS. Algunas diferencias entre los programas utilizados se detectarán en los gráficos Score y Biplot correspondientes.

Principal Component Analysis: Caja; Palet; Ef. área; dist_num StackBuilder

Eigenanalysis of the Correlation Matrix

Eigenvalue	1,4142	1,0448	0,9392	0,6019
Proportion	0,354	0,261	0,235	0,150
Cumulative	0,354	0,615	0,850	1,000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Caja	0,691	0,131	0,084	-0,706
Pallet	0,170	-0,700	0,684	0,118

Ef. área	0,681	0,211	-0,074	0,697
dist_num	-0,172	0,670	0,721	0,042

Principal Component Factor Analysis of the Correlation Matrix

Variance	1,4142	1,0448	0,9392	0,6019	4,0000
% Var	0,354	0,261	0,235	0,150	1,000

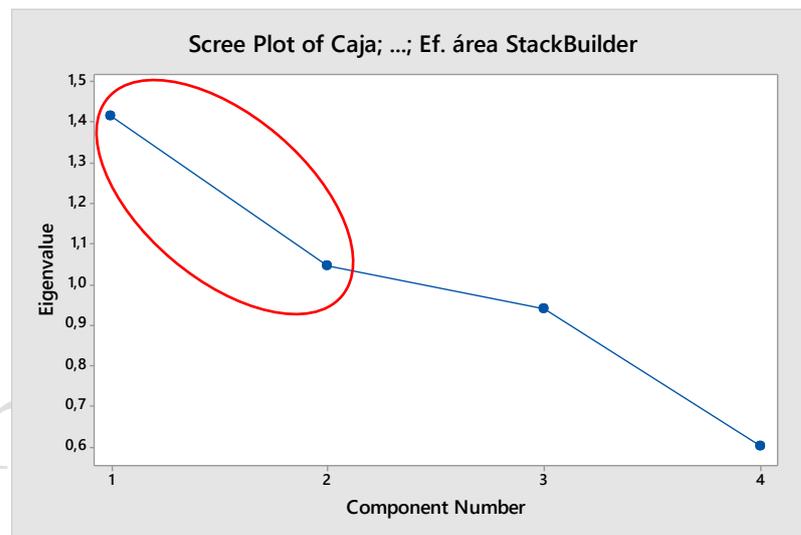


Ilustración 73 - Scree Plot variabilidad de componentes principales en StackBuilder

Las bandas “duplicadas” paralelas en sentido de la segunda componente principal observadas en el siguiente gráfico Score, dan cuenta del proceso de paletización en dos posibles medidas de pallet (observar gráfico biplot vectorial), y de la variación de las distribuciones en este sentido (distribuidas sin polarización) con homogeneidad dada la similitud de longitud de los vectores pallet y distribución). Con respecto a la dispersión en sentido de la primera componente nuevamente observamos mayor concentración a derecha dirección en la cual se orientan los vectores de eficiencia y caja en el Biplot vectorial.

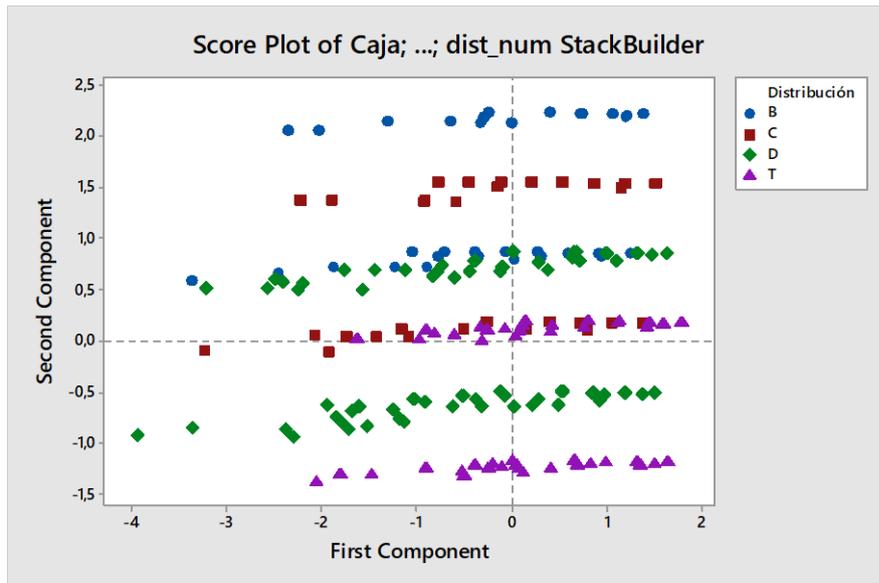


Ilustración 74 - Score Plot primeras dos componentes principales en StackBuilder

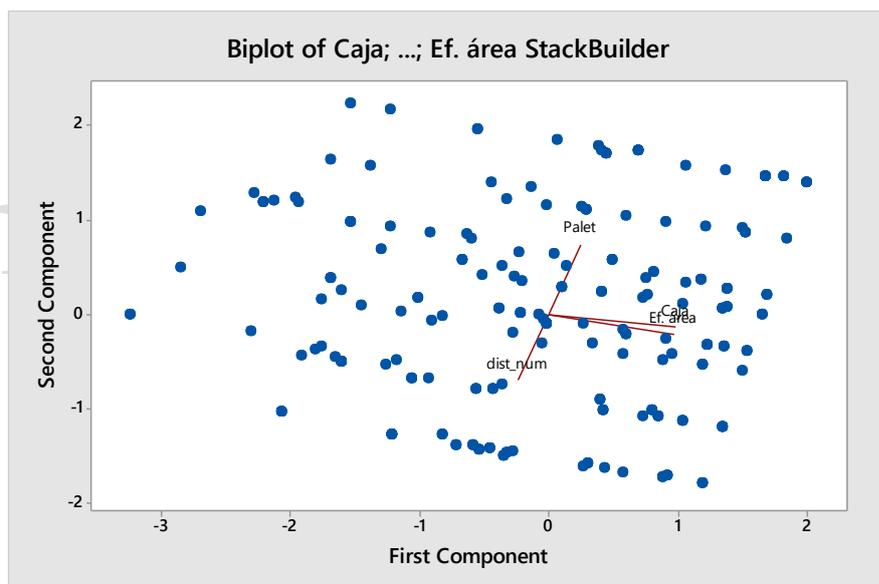


Ilustración 75 - Biplot vectorial componentes principales StackBuilder

3.2.4. SÍNTESIS DE LAS CONCLUSIONES ESTADÍSTICAS

A continuación, enumeramos los resultados observados luego del trabajo estadístico recorrido:

Ítem	TOPS	StackBuilder
Sistema R&R	Sistema inconsistente para detectar características y factores relevantes de diferenciación y similitud, así como áreas de mejoras. R&R no ha logrado desagregar diferentes fuentes de variación de medidas (sólo se logra observar algún tipo de interacción entre los programas (operarios) y el tipo de distribución “D” (parte)).	
Análisis descriptivo e inferencial.	TOPS ofrece casi el doble de soluciones de distribución con respecto al programa StackBuilder.	
	Importante diferencia en la proporción de soluciones que corresponden a cada una de las distribuciones de paletizado (B, D, T, C) comparando ambos programas.	
	Significatividad de la asociación entre las variables distribución de paletizado-programa informático.	
	Testeada la <i>igualdad de medias</i> correspondientes a la <i>eficiencia de área</i> de cada programa no se rechaza la hipótesis de igualdad. (<i>similitud de medias de eficiencia de área</i> en cada programa). También se sostiene la <i>igualdad de varianzas</i> .	
	La distribución de la variable eficiencia de área en ambos programas no corresponde a una distribución de tipo normal.	
	La variable eficiencia de área podría responder a una distribución de tipo Weibull, con un parámetro $K > 1$	La variable eficiencia de área en StackBuilder podría responder a una distribución de tipo Weibull, con un parámetro $K > 1$ o bien a una distribución log-logística

	<p>Los principales factores que influyen en la ausencia de normalización son:</p> <p>La distribución “D” provoca eficiencias diferenciadas (amplio rango de variabilidad) y los tamaños extremos de las cajas (muy pequeños o muy grandes) influyen, en particular la caja “8” (la más pequeña) genera eficiencias muy elevadas. (En el programa StackBuilder también se observan afectaciones provocadas por influencia de la distribución “C”).</p>	
	<p>Los subgrupos de las variables consideradas no verifican las hipótesis de normalidad.</p>	
	<p>El test de Levene indica que al menos una varianza difiere (correspondiente a la distribución “T”).</p>	
	<p>El test de Kruskal-Wallis no rechaza la igualdad de medianas de la variable eficiencia de área a través de los diferentes factores (distribución, cajas, pallets).</p>	<p>El test de Kruskal-Wallis <i>rechaza</i> la igualdad de medianas de la variable eficiencia de área (con influencia de la distribución de paletizado “D”).</p>
<p>Análisis correlacional</p>	<p>La distribución D interactúa con los elementos del proceso de paletizado (caja-pallet) influyendo en los valores de la variable resultado eficiencia de área (análisis DOE). El análisis de residuos realizado indica que no sería adecuado utilizar un modelo de predicción regresivo según los factores considerados.</p>	
	<p>PCA: Distribución polarizada a extremo con respecto a la segunda componente (dirección en la cual se mueve la variable binaria pallet). También se distingue una</p>	<p>PCA: Las bandas “duplicadas” paralelas en sentido de la segunda componente principal dan cuenta del proceso de paletización en dos posibles medidas de pallet</p>

	<p>concentración a derecha de la primera componente (dirección en la cual se explican el resto de las variables). Gran dispersión gráfica del valor de distribución “D”</p>	<p>sumadas a la variación de las distribuciones de paletizado en este sentido. Son similares las longitudes de los vectores pallet y distribución. Con respecto a la dispersión en sentido de la primera componente nuevamente observamos mayor concentración a derecha dirección en la cual se orientan los vectores de eficiencia y caja.</p>
--	---	---

Ilustración 76 - Tabla con síntesis de conclusiones de los estudios estadísticos sobre los programas

Irma Noemi No

3.3. Análisis de Riesgos

La utilización de los programas de paletizado obedece a la finalidad de facilitar la generación de un número de soluciones asociadas a un indicador de eficiencia en la distribución de los embalajes (índice de eficiencia ocupacional). Es nuestra intención acompañar a la decisión del ingeniero en empaque con un análisis de riesgos asociado a las distintas soluciones de paletización en uso.

Como hemos anticipado en nuestro capítulo introductorio²² para realizar este análisis se utilizará la experiencia previa de los ingenieros de empaque consultados aplicada a la problemática de paletizado ya descrita, estableciéndose una relación causa-efecto bayesiana sobre los riesgos de fracasos o éxitos propios del proceso.

²² Capítulo I del presente trabajo.

Consultados sobre la metodología de selección utilizada para la toma de decisión en las distribuciones adecuadas para la paletización de productos, los profesionales del área nos comentan la importancia de los protocolos internos (políticas de paletizado acordes a las normas vigentes) los cuales se constituyen en estándares de procedimientos (OPS (Operate Procedures Standards)).

A partir de lo mencionado, podemos detectar razonamientos analógicos y abductivos (Ambrosini, 2015) para la solución de problemáticas particulares y nuevas, generando soluciones únicas que constituirán futuros estándares procedimentales para los productos/situaciones similares.



Ilustración 77 - Entorno de Decisión del Ingeniero en Packaging

Nos encontramos en un marco de decisión multicriterio, en el cual un sistema de soporte a la decisión (DDS) (Efremov, 2016) puede ser un proceso analítico-jerárquico (AHP) como el disponible bajo la denominación Web-HIPRE (Hierachical PReference analysis on the world wide WEB)²³. Un primer acercamiento al estudio de nuestro problema en estos términos puede observarse en la ilustración siguiente:

²³ <http://hipre.aalto.fi/>

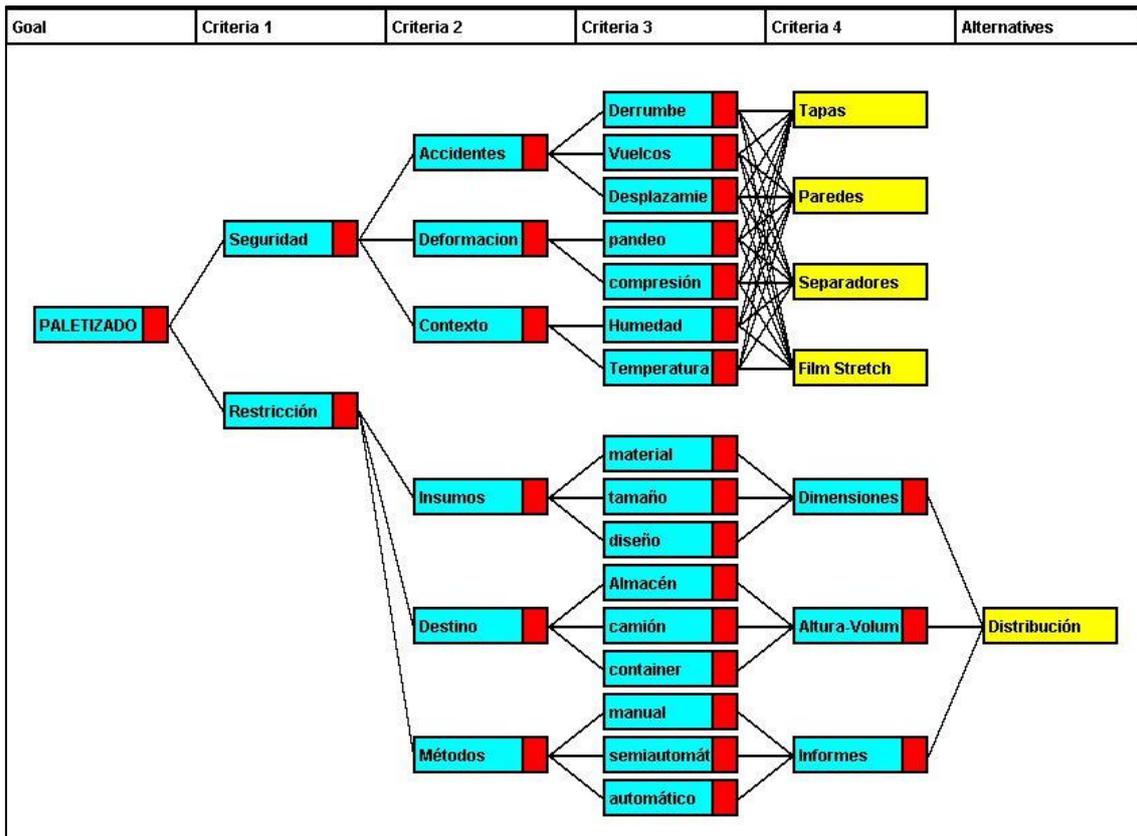


Ilustración 78. Niveles de multicriterio en paletizado

Según estos criterios realizaremos nuestro análisis utilizando escalas de verosimilitud y escalas de impacto para finalizar con una clasificación de los riesgos del proceso de paletizado, según diferentes niveles de previsibilidad y de posibilidades de intervención para la mejora.

3.3.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Según el recorrido bibliográfico basado en las normas de paletizado vigentes y los protocolos internos del proceso de paletización consultados en empresa, podemos dimensionar los riesgos asociados a la actividad en tres ejes:

- Manipulación
- Distribución
- Conservación

Para categorizar los índices de accidentalidad en la logística ligada al paletizado realizamos una desagregación (enumeración clasificatoria) de los riesgos asociados al proceso (ver tabla siguiente).

Riesgo (#)	Evento/Incidente	Fuentes del riesgo	Consecuencias (dependen de la gravedad del incidente)
R1	Derrumbes	-Distribución no adecuada. -Overhang fuera de especificación. -Manipulación y/o transportación inadecuados.	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de sujeciones y consolidaciones. • Necesidad de repaletizado. • Pérdida de embalajes. • Pérdida de embalajes y productos. • Pérdida total de la unidad de carga. • Accidentes laborales asociados.
R2	Vuelcos	-Errores en el diseño y/o especificación de embalaje. -Distribución no adecuada. -Estibado en altura excesiva. -Manipulación y/o transportación inadecuados.	
R3	Desplazamientos	- Distribución no asegurada. - Manipulación y/o transportación inadecuados.	
R4	Pandeos	- Sobreesfuerzos en el embalaje. - Condiciones atmosféricas. - Producto embalado. - Diseño del embalaje.	
R5	Colapso	- Características del embalaje. - Distribución no óptima. - Sobrecargas a la compresión admitida.	
R6	Deterioro	- Exposición incorrecta. - Factores atmosféricos y de conservación. - Períodos excesivos de almacenamiento.	
R7	Ejecución	- Distracción. - Falta de capacitación. - Interpretación errónea. - Mala praxis.	

Ilustración 79 - Tabla de riesgos definidos para el proceso de paletizado

Las causales de las situaciones de riesgo en el proceso de paletizado son múltiples, dando origen a las citadas fuentes de la tabla anterior, en particular, podemos mencionar:

- Falencias en la capacitación.
- Errores en la toma de decisión en las cadenas de mando.
- Diseños de productos y empaques que no acompañan la situación logística particular.
- Falta de acatamiento de normas, recomendaciones y estándares de paletizado.
- Desinterés, desidia o irresponsabilidad en la tarea.

En particular, en base a criterios de seguridad y considerando los riesgos propios del proceso de paletizado, el punto 4.3.1 de la norma IRAM 6736 recomienda:

“El diseño estructural de una caja es función del producto a contener y del sistema de distribución física en el que se la utiliza. Los factores preponderantes del sistema de distribución que se deben considerar son:

- a) proceso de embalado;*
- b) armado de la carga paletizada;*
- c) altura de la estiba;*
- d) duración de la estiba;*
- e) condiciones ambientales (temperatura, humedad y presión atmosférica);*
- f) operaciones de manipuleo;*
- g) tipo de transporte (terrestre, marítimo o aéreo);*
- h) operaciones de carga y descarga.”*

Anticipamos que, en el análisis de riesgos desarrollado a continuación, daremos un mayor protagonismo al eje de distribución en el paletizado que es la temática que recorre el presente trabajo.

3.3.2. ANÁLISIS CUALITATIVO DE RIESGOS

Para realizar el análisis cualitativo de los riesgos de la actividad de paletizado, seguimos el procedimiento sugerido en el artículo de Soon-Jae Lee y Hye-Kyung Chung²⁴ (2008) y material proporcionado por la cátedra de “Análisis de datos avanzados” de la Maestría en Ingeniería de la Decisión URJC (Simón-Blas, 2016).

La inconsciente “proporcionalidad” de riesgo otorgados a sucesos de diferentes magnitudes (Kahneman 1982, 1993), basada en la definición de una función de valor de tipo potencial $\mu(x) = x^a$ (donde x es el monto de la ganancia), se ve ajustada por el método que utilizaremos, a través de la inclusión del dimensionamiento de los riesgos por impactos y verosimilitudes.

Las escalas mencionadas a continuación se han elaborado en base a consulta directa de incidentes observados en procesos de paletizado, ocurridos eventualmente en empresas de consumo masivo y pymes de Gran Buenos Aires, Argentina.

Escala de probabilidad de riesgo:

Escala	Pérdidas estimadas en Costes de Proceso (De producto, de tiempo, de oportunidad, de RRHH)	Probabilidad estimada
5	Costes de tapas, laterales, films y medidas de sujeción adicional	26-99%
4	Costes de tiempo y mano de obra en tareas de repaletizado	11-25%
3	Costes por pérdidas de embalajes y/o productos	6-10 %
2	Costes de descarte de carga completa y rediseño	2-5%
1	Costes de indemnización por accidentes de trabajo ²⁵	1%

Ilustración 80 - Tabla de escala de probabilidad de riesgos en paletizado

²⁴ Disponible online en:

http://content.arma.org/IMM/MayJune2008/building_a_framework_to_measure_and_minimize.aspx

²⁵ SRT (2016) Códigos de actividad económica: 635000 (Logística) y 749500 (empaquetado).

Escala de Impacto de Riesgo:

Escala	Severidad del Incidente	Consecuencias
5	Irreparable	Accidentes laborales
4	Muy serio	Pérdida total de unidad de carga
3	Serio	Pérdidas de embalajes y productos
2	Significante	Pérdida de embalajes
1	Menor	Necesidad de repaletizado
0	Insignificante	Medidas de Sujeción y consolidación

Ilustración 81 - Escala de impacto de los riesgos en procesos de paletizado

Se realiza un recuento de posicionamientos para cada riesgo/accidente por ítem encuestando a un conjunto de profesionales relacionados con el área de empaque²⁶ se han registrado en la tabla de la página siguiente; las frecuencias y los puntajes asignados a la verosimilitud y al impacto de cada riesgo. Los puntajes se calculan según las fórmulas que se exponen a continuación²⁷:

Fórmulas de cálculo

Puntaje de Verosimilitud	Puntaje de Impacto
$\frac{\sum_{i=1}^5 n_i * EscP_i}{N}$	$\frac{\sum_{i=0}^5 n_i * EscI_i}{N}$
<p>n_i: Número de respuestas que eligieron la escala i. $EscP_i$: Escala de la probabilidad i (i = 1,2,3,4,5) N: Número total de respuestas</p>	<p>n_i: Número de respuestas que eligieron la escala i. $EscI_i$: Escala del impacto i (i = 0,1,2,3,4,5) N: Número total de respuestas</p>

Ilustración 82 - Tabla definiciones de las valoraciones de verosimilitud e impacto

Las preguntas se han planteado en los términos que se pueden observar en el [Anexo 1](#) del capítulo 3, el instrumento utilizado para recolectar los datos ha sido un formulario cuya visualización se copia en el [Anexo 2](#) del capítulo 3 (primeras dos preguntas).

²⁶ El tamaño de la muestra es de 23 profesionales.

²⁷ Extraídas del artículo de análisis de riesgos informáticos de Soon-Jae Lee y Hye-Kyung Chung disponible en:

http://content.arma.org/IMM/MayJune2008/building_a_framework_to_measure_and_minimize.aspx

En la formulación de las preguntas se observan algunas expresiones del tipo: “usual”, o “adecuada”, que hacen referencia a la presencia de una lógica difusa para sostener el planteo del interrogante. Es frecuente la utilización de este tipo de manejos lingüísticos en casos de selección no excluyente que involucran experiencias contextualizadas, las cuales a pesar de ser únicas y particulares, necesitan de una interpretación probabilística como respaldo a las tomas de decisión que delinearán futuros criterios²⁸. (Cejas-Montero, 2011)

Irma Noemi No

²⁸ Ver LDC en https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa

Riesgos de Accidentes	Probabilidad del riesgo					Impacto del riesgo							
	5	4	3	2	1	Puntaje Verosimilitud	0	1	2	3	4	5	Puntaje Impacto
	26-99 %	11-25 %	6-10 %	2-5 %	1 %		Insig.	Men.	Sig.	Serio	MSer.	Irrep.	
Derrumbes (R1)	0	3	18	1	1	3	0	1	3	7	12	0	3,30
Vuelcos (R2)	1	16	3	3	0	3,65	0	0	4	6	13	0	3,40
Desplazamientos (R3)	18	4	0	1	0	4,70	3	8	5	6	1	0	1,74
Pandeos de embalaje (R4)	10	11	1	1	0	4,30	1	2	14	6	0	0	2,09
Colapso/ Compresión De embalaje (R5)	15	3	2	1	2	4,22	0	2	6	13	2	0	2,65
Deterioro (R6)	3	8	9	2	1	3,43	1	1	6	12	3	0	2,65
Ejecución (R7)	4	10	8	1	0	3,74	1	1	2	6	6	7	3,57

Ilustración 83 - Tabla de puntajes obtenidos por encuesta

Realizamos un gráfico bidimensional Verosimilitud – Impacto para visualizar la ubicación de cada riesgo de accidente en estas dimensiones:

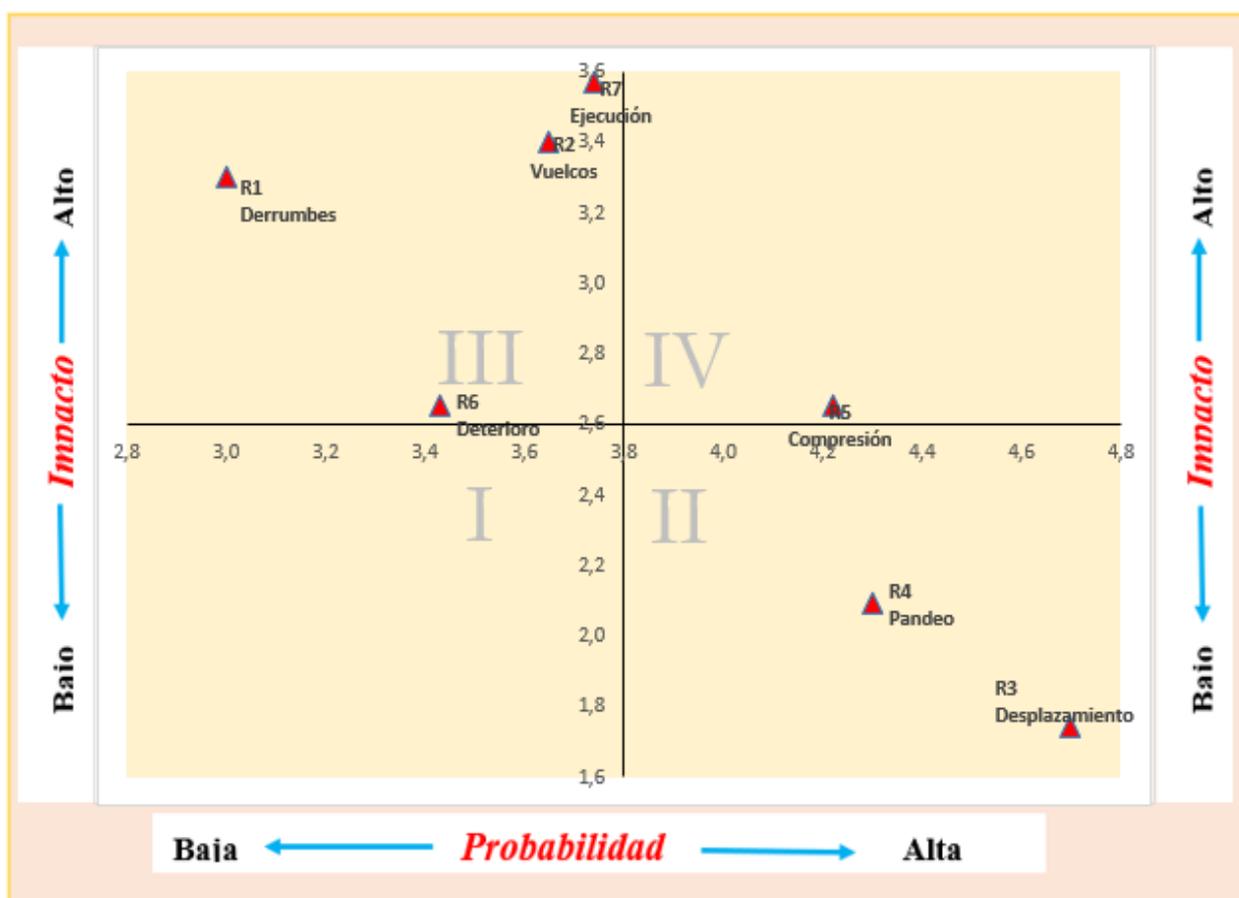


Ilustración 84 - Verosimilitud / Impacto de riesgos en paletizado

Mediante este método, nuestros riesgos se hallan distribuidos en cuatro categorías:

- I – *Baja Probabilidad y Bajo Impacto* (estudiar costos y riesgos)
- II- *Alta Probabilidad y Bajo Impacto*. (Riesgo asumible sin acción preventiva).
- III- *Baja Probabilidad y Alto Impacto*. (Máxima preocupación, requiere acción, protocolos, seguros, etc.).
- IV-*Alta Probabilidad y Alto Impacto*. (Requiere planes de contingencia).

Observamos desde los resultados que arroja la encuesta, que afortunadamente no existen riesgos de alta probabilidad y alto impacto (en general ubicándose la comprensión casi en el inicio del cuarto cuadrante ~ sobre el eje), también debemos aclarar que la calificación de “incidente irrecuperable” alude al costo humano considerado de importancia, y según los datos relevados, tal impacto está relacionado con defectos en la ejecución de las tareas.

La baja o media probabilidad de incidentes de alto impacto (Derrumbes y vuelcos) se derivan del manejo del riesgo a través del seguimiento de los ya mencionados protocolos internos y estándares establecidos para la tarea.

Por último, observamos que el deterioro es un riesgo tratable a bajo costo, y los riesgos de pandeo y desplazamiento son previsibles (mediante un análisis contextualizado de situación) y también manejables a bajo costo.

Las categorías de riesgo definidas pueden reinterpretarse bajo el gráfico Pérdidas-Frecuencia (Arsham, H. (2015)), como sigue:

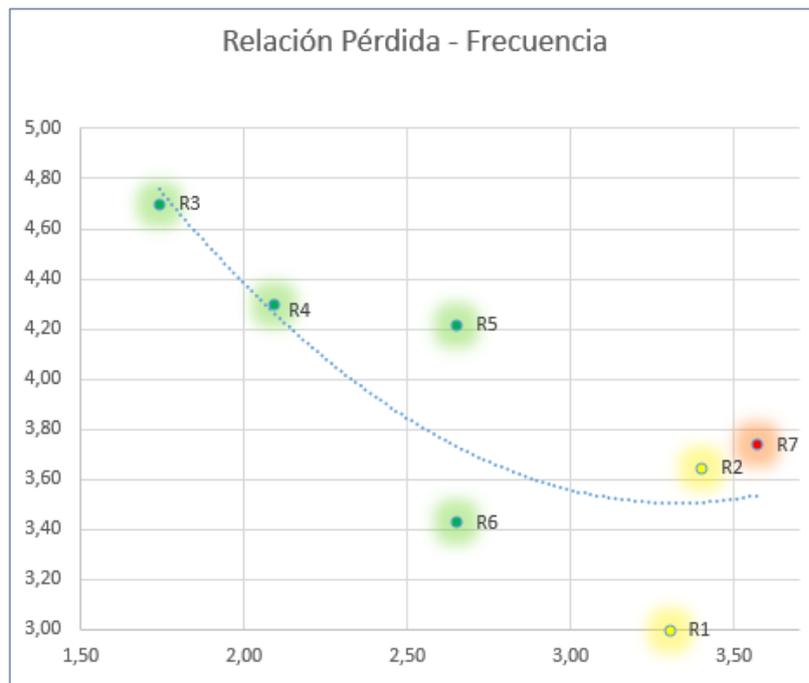


Ilustración 85 - Gráfico relación pérdida-frecuencia de los riesgos en paletizado

3.3.3. RELACIÓN DISTRIBUCIÓN – RIESGOS.

Considerando el apartado 5.2 de la norma IRAM 6736 que realiza recomendaciones sobre la distribución de las cajas de cartón corrugado sobre los pallets resaltamos las siguientes indicaciones que resultan de utilidad para eludir posibles riesgos:

“Se debe evitar que la caja se ubique de manera que una arista inferior se sitúe entre la separación de las tablas del pallet”;

“Las cajas se deben colocar alineadas, con su corrugación en disposición vertical, evitando sobresalientes”, “deben evitarse sobresalientes del contorno de la superficie superior del pallet”;

“El apilado conveniente de las cajas en el pallets aquel que dispone las cajas en forma alineada y vertical, haciendo coincidir sus cuatro esquinas, es decir, sin trabarlas”;

Irma Noemi No

Asimismo, para asegurar la estabilidad del apilado, se recomienda en el mismo punto de la norma proceder:

d) *“Mediante trabado de las cajas. Por ejemplo, en un apilado de cinco filas, se apilan las primeras tres o cuatro filas en columna, haciendo coincidir verticalmente las esquinas de las cajas, y luego se traba la última o las dos últimas filas”;*

e) *“intercalando un accesorio entre pilas. Por ejemplo, una hoja de cartulina gruesa o cartón corrugado después de la segunda fila, y luego cada dos filas siguientes para asegurar las columnas.*

f) *“mediante encastrado. Para cajas con aletas y orificios de encastre, en donde se debe verificar el correcto encastrado entre las cajas apiladas”.*

Para analizar la relación entre los criterios de distribución y los riesgos del proceso de paletizado se preguntó a ingenieros en empaque, mediante la encuesta puntual “Relación distribución-riesgos” que se incluye al final del [Anexo 1](#) del capítulo 3. La instrumentalización se realizó como en el caso anterior, mediante un formulario creado a tal fin, como puede observarse en el último tramo (preguntas 3 y 4) del [Anexo 2](#) del capítulo 3. Los resultados se exponen en la ilustración siguiente:

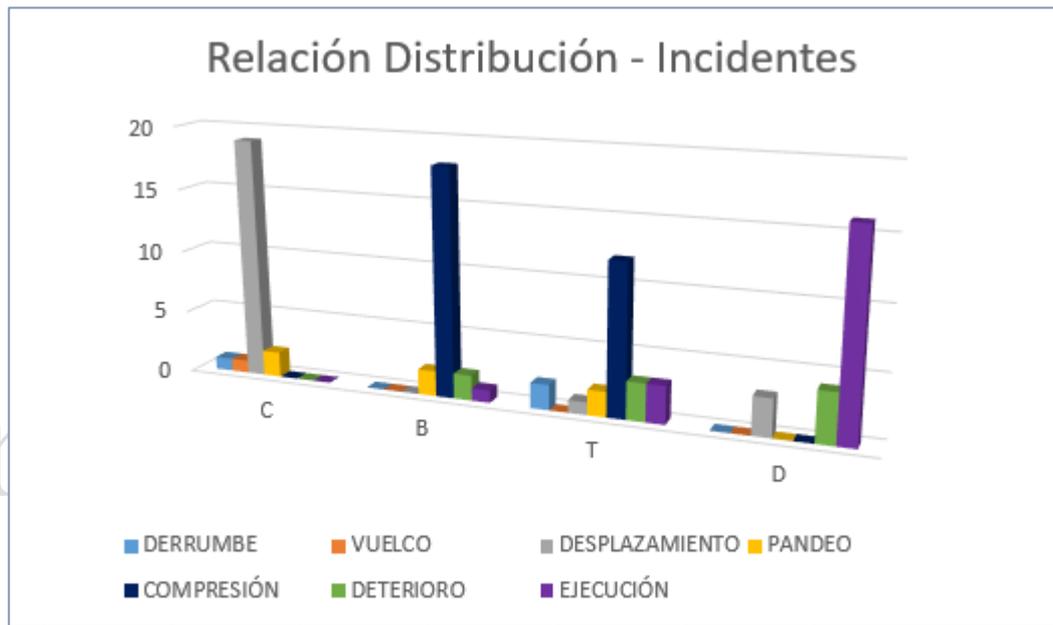


Ilustración 86 - Gráfico de barras en la relación distribución de paletizado - incidentes

Las respuestas de la encuesta reflejan la necesidad de aplicar las recomendaciones citadas por las normas de paletizado, en particular:

Distribución	Análisis de incidencia en riesgos
C	La distribución en columnada favorece la ausencia de compresión o colapso de embalajes, pero siempre adecuando la cantidad de capas a la altura deseada (hasta 3/4 layers sin intercapa). Al funcionar como una unidad física en conjunto, esta distribución corre el riesgo de sufrir desplazamientos en

	<i>ausencia de medidas de sujeción externas. La sencillez de su dibujo en general no ofrece dificultades de ejecución. Todos los riesgos asociados a esta distribución son muy conocidos por casi la totalidad de los profesionales, quienes a través de su extendido uso, coinciden en sus fortalezas y debilidades.</i>
B	La distribución de intercalado/entrelazado posee una reconocida <i>resistencia a los movimientos (desplazamientos)</i> , así como a los <i>vuelcos y derrumbes</i> , sin embargo, establece <i>riesgos de compresión y colapso</i> de cajas (embalajes) por la no coincidencia de aristas en capas consecutivas (falta de alineación vertical). El diseño de la distribución <i>puede ofrecer una leve dificultad en la ejecución.</i>
T	La distribución tribloque también demuestra un diseño que ofrece algunas <i>dificultades de ejecución</i> , pero es útil en casos de carga mixta de embalajes. Sus posibles “huecos” pueden provocar efectos no deseados (<i>derrumbe, deterioro</i>), sumados a la no verticalidad de carga (facilitando situaciones de <i>compresión y colapso</i>).
D	El mayor riesgo señalado ha sido el de <i>ejecución</i> , por lo cual deducimos que los profesionales consideran a esta distribución como la más calificada (técnicamente hablando). Sólo unos pocos consultados señalan posibles riesgos de <i>desplazamiento o deterioro</i> (provocados por las posibles “chimeneas” que usualmente deben consolidarse).

Ilustración 87 - Tabla de respuestas sobre riesgos por distribución de paletizado

Por último, señalamos que las respuestas a la pregunta 4 “¿Cuál de las distribuciones anteriores prefiere y por qué (la prefiere)?”, ha arrojado un 56% a favor de la distribución C, un 26 % de encuestados que prefirieron la distribución D, y el 18% restante se repartió en igual proporción en preferencias por las distribuciones B y T.

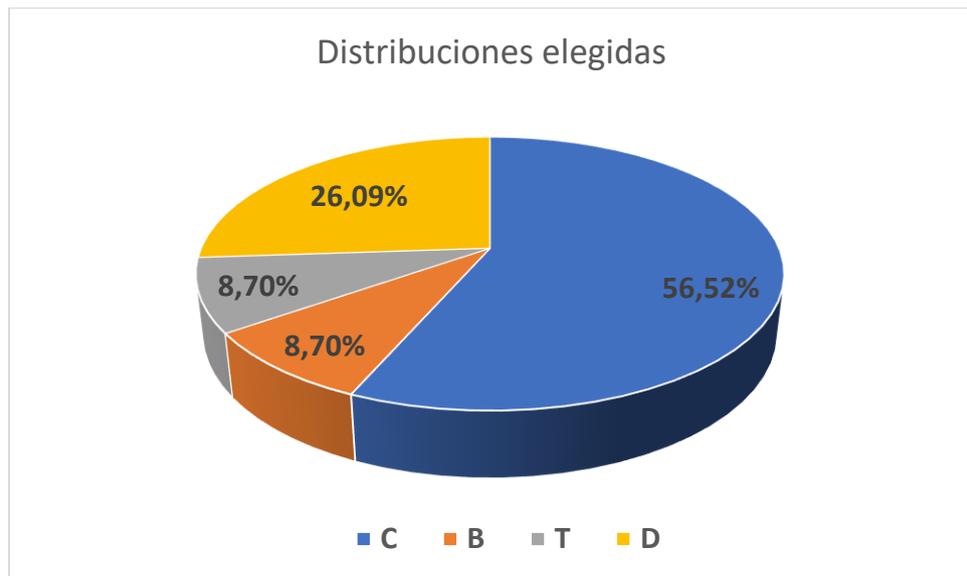


Ilustración 88 - Gráfico porcentual de preferencias por distribuciones de paletizado

La elección por la distribución C alude a estándares vigentes, tradiciones y/o especificaciones técnicas de resistencia de los embalajes. Por otra parte, existen referencias al uso de técnicas de sujeción para combatir posibles inestabilidades por apilamiento vertical, como el uso de laterales y tapas, y el diseño de una capa superior de diseño cambiado en forma de “trabado”.

La preferencia por la distribución D, encuentra su argumentación en la solidez de este diseño ante posibles desplazamientos por transportación. También se hace alusión a la posibilidad de un sencillo tratamiento de riesgos de ejecución mediante el entrenamiento a operarios y la automatización del proceso de paletizado.

En todos los casos advertimos que persisten los conceptos desarrollados por Kahneman y Tversky, advirtiendo la presencia de “elecciones tímidas”, bajo la tendencia psicológica de mayor aversión a la pérdida que afición a la ganancia marginal, por el efecto de certeza. (Kahneman, 1979, 1993).

Concluimos citando a Arsham (2015) quien advierte que las decisiones suelen estar afectadas “*por la racionalidad subjetiva de las personas y por la manera en la cual el problema de decisión es percibido*”, por lo cual, aún estudiadas las relaciones frecuencia-severidad del incidente, siempre el decisor actuará de acuerdo con su *carácter de afición* (prima de riesgo positiva), *neutralidad* (prima nula) o *aversión* (prima negativa) al riesgo.

Irma Noemi No

Capítulo 4

Paletización en R y Conclusiones

4.1. Delimitación del problema

El problema de paletización ha sido conceptualizado desde el campo de la investigación operativa generando patrones de disposición de cajas en pallets que tiendan a la optimización del espacio disponible.

Los algoritmos desarrollados responden a dos metodologías diferentes: el método matemático exacto (Kocjan, 2008) y el método heurístico computacional .

El método exacto referido anteriormente, describe un modelo de programación entera, otorgando la solución tridimensional óptima con un 98% de eficiencia en estabilidad y optimización. Se divide en tres etapas:

1. Búsqueda de una disposición óptima bidimensional²⁹.
2. Disposición de la segunda capa siguiendo criterios de estabilidad alterna con rotación de las cajas (180° o disposición espejo), quedando entonces determinadas las dos primeros layers del pallet.
3. Creación del patrón tridimensional por repetición del paso anterior hasta llegar a la altura deseada de la unidad de carga.

En el algoritmo se definen variables binarias h_{ij} y v_{ij} que toman el valor 1 en el caso que la caja fuera colocada en forma horizontal/vertical respectivamente. Estas variables intervienen en la formulación de la función objetivo a maximizar (cantidad de cajas por capa), así como en las restricciones. Se plantean desigualdades que limitan la superposición de cajas en la búsqueda de la maximización de utilización del espacio disponible (etapa 1 bidimensional), agregando a continuación restricciones orientadas al aseguramiento del apoyo de cada caja en una superficie mínima de la capa inmediatamente inferior (“estabilidad” en la etapa 2).

²⁹ Esta búsqueda se inspira en métodos óptimos de corte bidimensionales.

Mostramos a continuación las fórmulas correspondientes a la optimización bidimensional de la etapa 1:

$$\max \sum_{i=0}^{L-l} \sum_{j=0}^{W-w} h_{ij} + \sum_{i=0}^{L-w} \sum_{j=0}^{W-l} v_{ij} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{i=\max\{0, r-l\}}^{\min\{r, L-l\}} \sum_{j=\max\{0, s-w\}}^{\min\{s, W-w\}} h_{ij} + \sum_{i=\max\{0, r-w\}}^{\min\{r, L-w\}} \sum_{j=\max\{0, s-l\}}^{\min\{s, W-l\}} v_{ij} \leq 1 \quad (2)$$

$$(r = 0, \dots, L-1; s = 0, \dots, W-1),$$

$$h_{ij} \in \{0, 1\} \quad (0 \leq i \leq L-l; 0 \leq j \leq W-w) \quad (3)$$

$$v_{ij} \in \{0, 1\} \quad (0 \leq i \leq L-w; 0 \leq j \leq W-l). \quad (4)$$

Ilustración 89- Planteo de la función objetivo y las restricciones de no superposición de la etapa bidimensional (extraído de Kocjan, 2008)

En la ilustración anterior, el autor considera un pallet de medidas $L \times W$, y una caja de medidas $l \times w$. La fórmula (1) es el planteo de la función objetivo y la desigualdad (2) la condición de no solapamiento de cajas. Observemos que la cantidad de variables de esta modelización es de $L \times W \times 2$ y el número de restricciones es de $L \times W$, entonces para un pallet de (1200×1000) llegaríamos a las elevadas cantidades de 2400000 variables y 1200000 restricciones.

Omitimos reproducir el planteo de las siguientes etapas que pueden consultarse en el artículo del autor, dado que no utilizaremos esta metodología en nuestra solución.

Tampoco utilizaremos deliberadamente las metodologías heurísticas más extendidas (de Steudel, de Nelissen, de ángulo recursivo, de construcción de bloques (block building)), ni algunas más sofisticadas que incluyen la intervención de caminos óptimos a recorrer por robots paletizadores (Lim, 2010), puesto que: *realizaremos el pensamiento inverso*: dada una distribución, generar el programa de paletizado que lo logra.

Con vistas a la generación de códigos que representen soluciones de paletizado similares a las presentadas por los programas TOPs y PLMStackBuilder nos disponemos a realizar un recorte de la problemática considerando las distribuciones, los pallets y las cajas distinguidas en los tres capítulos anteriores.

Los pallets disponibles para su elección en el proceso de paletizado programado serán:

Pallet Número	Medidas (mm) (largo, ancho, altura)	Denominación
1	1200x1000x150,00	Block – UK Standard
2	1219,20x1016x120,65	GMA (North America)
3	1200x1000x162,00	CHEP - NZ
4	1200x800x144,00	EUR – EPAL EUR2 EUR3
5	??x??x??	Personalizado

Ilustración 90 - Tabla de identificación de pallets en la programación

Mantendremos una *altura uniforme en las cajas de 400 mm* (como hemos hecho en el estudio de los capítulos anteriores). El conjunto de posibilidades de largo y ancho de las cajas, que matemáticamente se corresponden con un subconjunto de divisores (submúltiplos sin llegar a un límite de capacidad demasiado pequeño) de 600 mm y 400 mm (caja estándar considerada - ISO 3394) son las siguientes:

Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 4	Caja 5	Caja 6	Caja 7	Caja 8	Caja 9 ³⁰
600	300	200	150	600	300	200	150	??
400	400	400	400	200	200	200	200	??

Ilustración 91- Tabla de identificación de cajas en la programación

En los programas creados: la numeración 5 para pallet y 9 para caja corresponderán a medidas personalizadas, según las tablas anteriores.

Seleccionaremos para codificar entre las distribuciones: encolumnada (C), intercalado/entrelazado (B), tribloque (T), y diagonal/espinalado (D) que gráficamente podríamos ejemplificar mediante las siguientes vistas (utilizadas en la encuesta realizada a profesionales del área trabajada en el capítulo 3)

³⁰ Medidas personalizadas a ingresar por el usuario, saliendo del precepto de divisibilidad de la norma.

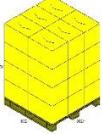
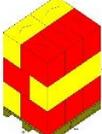
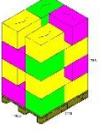
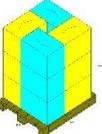
C - Encolumnado	B - Intercalado-Entrelazado	T - Tribloque	D Diagonal-Espiralado
			

Ilustración 92 - Ilustraciones de distribuciones tipo

Anticipamos nuestro enfoque hacia las distribuciones C y D que han sido calificadas por los profesionales como las más eficaces técnicamente con vistas a solucionar los problemas de estabilidad, transporte y conservación del paletizado (con los cuidados previstos en las normas mencionadas en capítulos anteriores).

4.2. Introducción de datos e Interfaz usuario

En las decisiones que atañen a la programación siempre se presenta la dicotomía facilidad-gratuidad desde el enfoque usuario final. El lenguaje R y su IDE³¹ tal vez no resulten tan amigables como una macro generada bajo la forma de un objeto de aplicación dentro de un utilitario Microsoft Office³², pero R es un recurso gratuito y de código abierto.

A modo de ejemplo, generamos un proyecto VBA en Excel para ingresar los datos del pallet a seleccionar por el usuario, los cuales finalmente se cargan en una planilla con el detalle de las dimensiones largo, ancho y alto del pallet.

La vista de inicio ofrece la lista de opciones mencionadas en el punto 4.1.

³¹ Entorno de desarrollo integrado

³² Veremos por ejemplo una GUI generada por Visual Basic en entorno Excel.

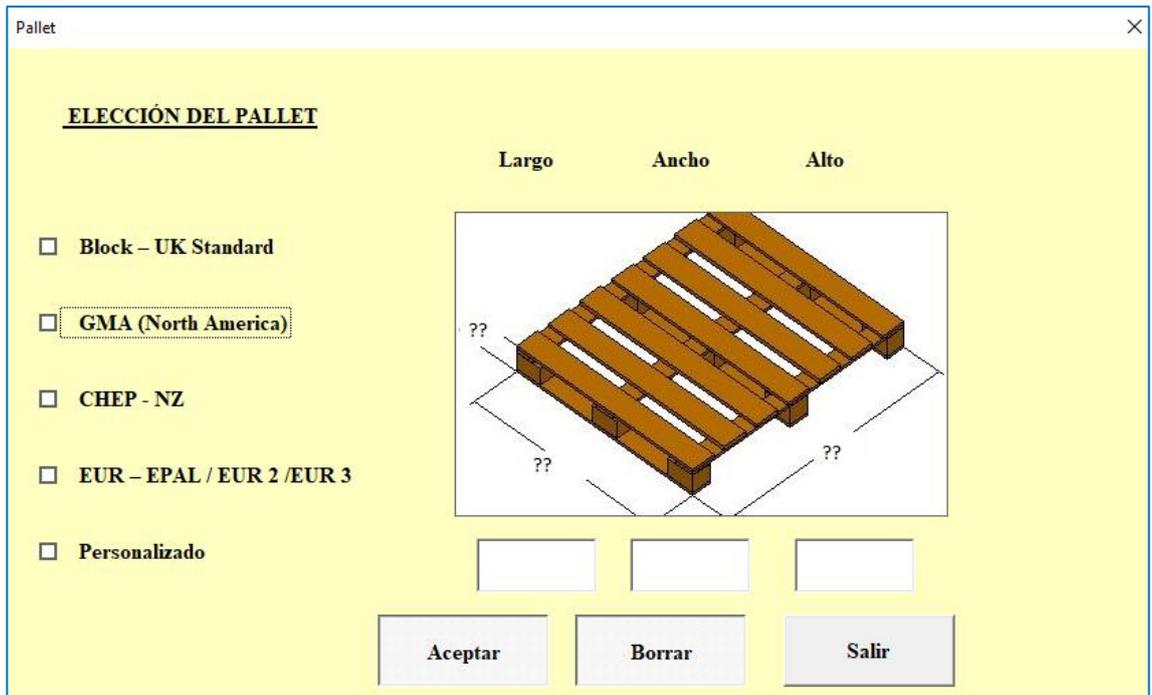


Ilustración 93 - Vista VBA Excel para elección del Pallet

Una vez seleccionado un pallet automáticamente se carga su imagen y dimensiones.

Irma Noemi No

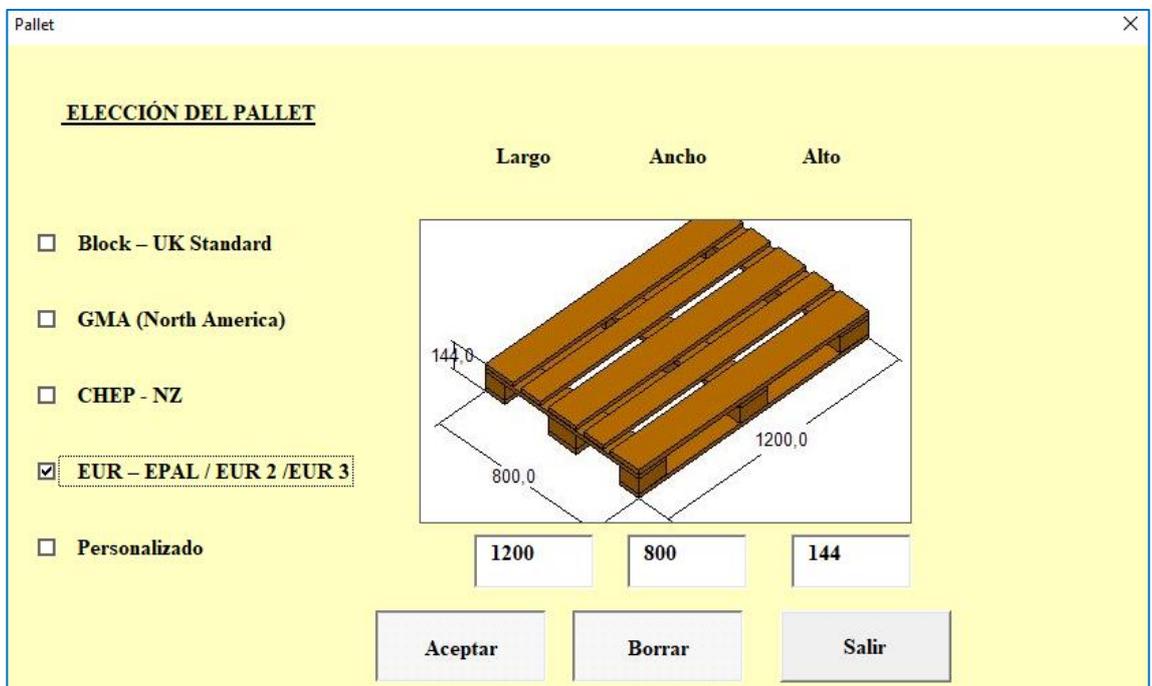


Ilustración 94- Ingreso de datos VBA Excel para elección del Pallet

. Si se cliquea el botón “Borrar”, la GUI vuelve a la pantalla de inicio. En la opción “Personalizado” los cuadros de texto esperan las medidas definidas por el usuario.

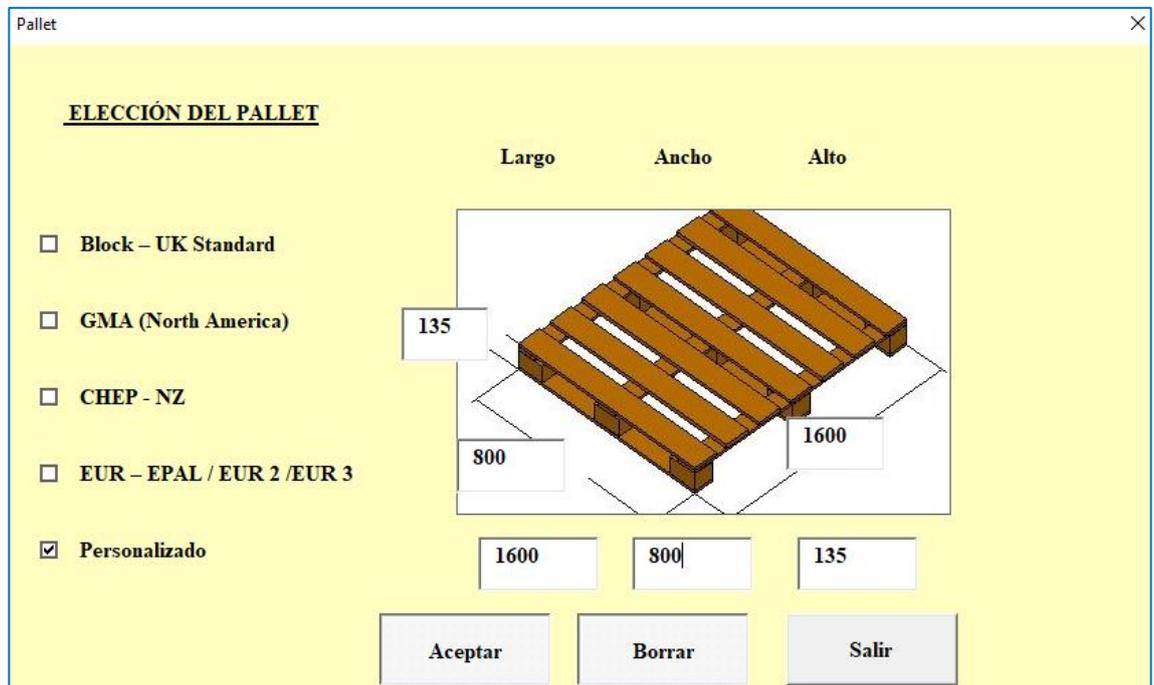


Ilustración 95 – Otros botones VBA Excel para elección del Pallet

Con el botón “Aceptar”, se graban las medidas (en mm) en la planilla Excel asociada. El botón “Salir” cierra la ventana de diálogo conservando en la planilla Excel las últimas medidas de pallet seleccionadas (o cargadas en el caso personalizado) y aceptadas por el usuario.

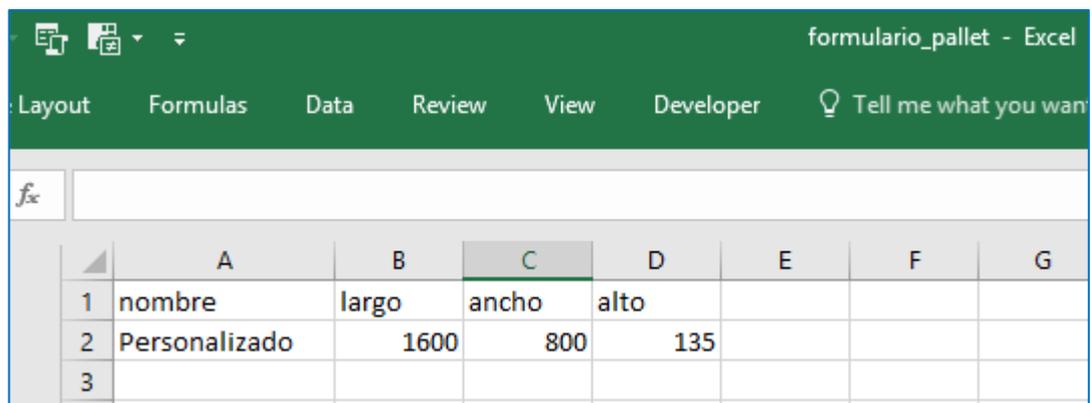


Ilustración 96 - Carga automática de dimensiones en planilla Excel

La programación del paletizado en R podría utilizar como insumo el archivo de datos “medidaspalet.csv” generado a partir de esta planilla.

Un tratamiento similar puede realizarse para la elección del embalaje (cajas) mediante la interfaz gráfica VBA, pero *es nuestra intención realizar toda la programación en R* (tratamiento y entrada de datos), por lo tanto, resignaremos la visualización amigable para dar paso a la gratuidad, apertura y disponibilidad del recurso creado.

La introducción de datos a través de R se realizará mediante la ejecución de un Script creado a tal efecto. Hemos decidido realizar dos scripts separados, uno para la introducción de datos del pallet y otro para las medidas de la caja (medidas_palet.R y medidas_caja.R respectivamente). Estos archivos poseen como insumo archivos de texto en los cuales se han detallado las medidas estándar señaladas en el punto 4.1.

Los códigos de ingreso de medidas (tanto del pallet como de las cajas) se pueden sintetizar en el pseudocódigo siguiente:

1. Leer archivos de datos
2. Imprimir listado de medidas correspondientes a cada elemento (pallet/ caja)
3. Solicitar la elección del tipo deseado y Escanear respuesta
4. Si la elección se corresponde con un tipo estipulado *entonces*
 - Asignar las medidas correspondientes en un vector

Caso contrario

 - Solicitar la escritura de las medidas personalizadas
 - Escanear datos y cargarlos en el vector
5. Fin.

Los códigos diseñados en el entorno R para el ingreso de medidas pueden solicitarse por correo electrónico a la autora.

Estos Scripts de lectura archivos y carga de medidas serán llamados por el archivo “principal.R”, ejecutado por el comando “source” del Script

“confirmación_medidas_v2.R”, siendo ésta última, una subrutina del archivo interfaz de usuario: “*programa_paletizado.R*”.

El script llamado “principal.R” almacenará todos los datos necesarios para la paletización básica. Observemos que solicitamos se nos indique la altura máxima de almacenamiento (estiba)³³, a partir de la cual se determinarán las capas (layers) de paletizado. Las medidas serán confirmadas por la subrutina “confirmacion_medidas_v2.R”.

Luego de confirmados los datos dimensionales del problema por el usuario, la interfaz le preguntará (a través de la subrutina “tipo_paletizado.R”) sobre la distribución que desea calcular para la paletización, ofreciendo las cuatro variantes analizadas en este trabajo (C,B,T y D) y dirigiendo automáticamente su cálculo al script correspondiente creado a tal efecto (scripts detallados en los siguientes incisos de este capítulo). La solución hallada, se agregará al conjunto de soluciones anteriores, dado que se le ofrece al usuario la posibilidad de realizar los cálculos correspondientes para otra distribución (y también si desea, directamente para todas las distribuciones).

Hemos mencionado hasta el momento los elementos estructurales del ingreso de datos, que son parte del programa interfaz de usuario: “*programa_paletizado.R*”, el cual podemos esquematizar de acuerdo al siguiente pseudocódigo:

1. Lanzamiento de Mensaje de Bienvenida
2. Marca1=0
3. *Mientras (Marca1=0) hacer*
 - Llamar Script de confirmación de medidas
 - Ejecuta Scrip de carga de datos: “principal.R”
 - Preguntar “¿Confirma datos?” y escanear respuesta
 - If Respuesta es “SI” entonces*
 - Marca1=1
 - End If*

³³ De manera similar se podría solicitar indicar la carga máxima en un programa en el cual la limitación del paletizado sea el peso por unidad de carga, problemática no abordada en este trabajo de perfil geométrico espacial.

4. *End Mientras*
5. $\text{Marca2}=0$
6. Inicializar matriz *solución general*
7. *Mientras (Marca2=0) hacer*
 - Imprimir “Elegir distribución deseada” y escanear # respuesta
 - If (i = # or i= ## ...) entonces*
 - Llamar Script distribución “i”
 - Agregar la matriz *solución* a la matriz *solución general*
 - End If*
 - Preguntar “¿Desea calcular otra distribución?” y escanear respuesta
 - If Respuesta es “NO” entonces*
 - Marca2=1
 - End If*
8. *End Mientras*
9. Imprimir matriz *solución general*
10. Fin

Irma Noemi No

El código creado para la interfaz usuario “programa_paletizado.R” puede solicitarse por correo electrónico a la autora.

4.3. Generación de Distribuciones y salidas

Se codificarán separadamente las distribuciones previstas, y se cotejarán las respuestas generadas por R con las salidas de los programas vistos.

Posteriormente se correrá el programa de paletizado general para generar una salida similar a la provista por los programas StackBuilder y TOPs, en los cuales se pueden seleccionar varias distribuciones para un mismo embalaje, siendo la respuesta visualizable en un único listado de salida.

4.3.1. DISTRIBUCIÓN “C”

El primer código creado corresponde a la distribución encolumnada “C”, considerada técnicamente la más apropiada para soportar compresiones, dado su apilamiento vertical en las aristas de esfuerzo, según la recomendación de las normas y estándares vigentes.

La lógica de la distribución encolumnada se basa en el mantenimiento de la orientación de las cajas, distribuidas conforme no excedan las medidas del pallet. Una vez decidida la orientación, ésta se mantiene ubicando los embalajes de manera consecutiva mientras exista aún, espacio para una caja más.

El Script “encolumnado.R” contiene el código de programación en R, el cual, utilizando como insumo los datos ingresados por los scripts señalados anteriormente, genera una salida que detalla:

- Tipo de distribución
- Medidas del pallet (largo, ancho, alto)
- Medidas de la caja (largo, ancho, alto)
- Altura límite de almacenamiento (estiba)
- Cantidad de capas (layers)
- Cajas por Layer
- Cajas totales en la unidad de carga
- Altura ocupada
- Eficiencia porcentual de área
- Eficiencia porcentual de volumen

En este primer Script se consideró una posible orientación de las cajas (el largo de las cajas “l” coincidentes con el largo del pallet “L”, y el ancho de las cajas “a” coincidente con el ancho del pallet “A”), pero esta posibilidad no es única pues existe el ordenamiento contrario (el largo de las cajas “l” coincidentes con el ancho del pallet “A”, y el ancho de las cajas “a” coincidente con el largo del pallet “L”), por lo cual el código que contempla todas las posibles distribuciones encolumnadas en R, se guardó en el Script

“encolumnado_todas_las_variantes.R”, llamado posterior y definitivamente “**distribucion_1.R**”. De acuerdo a la lógica descripta, se encontrarán dos soluciones principales de distribución encolumnada “C”.

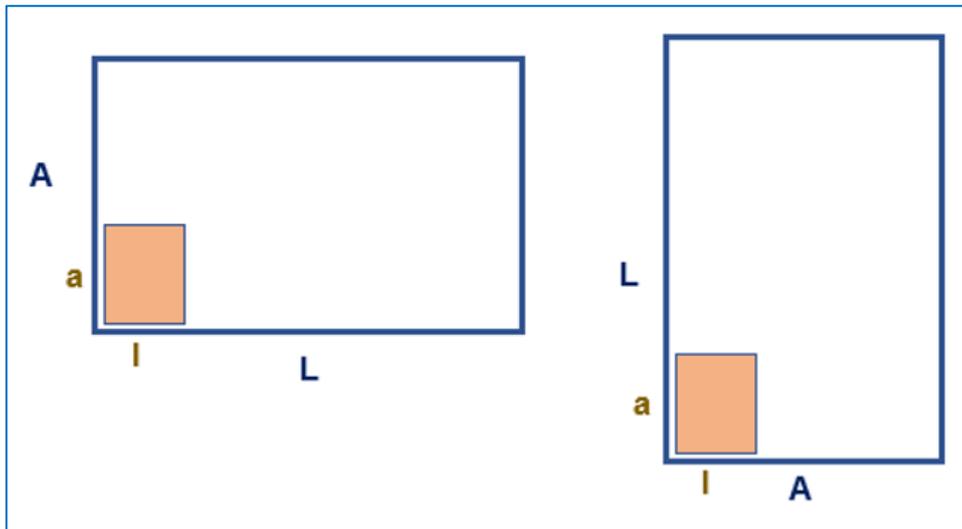


Ilustración 97 - Dos posibilidades de distribución "C"

Irma Noemi No

El código correspondiente al IDE “R” del Script “**distribucion_1.R**” que desarrolla la disposición de embalajes distribuidos en forma encolumnada.

La siguiente es una toma de pantalla de la corrida del script transcrito arriba. La salida del programa tiene un color de fuente automática (negro), y coincide con la salida que ofrece StackBuilder para el mismo conjunto de datos de entrada:

- Pallet UK Standard (1200x1000x150)
- Caja 300x400x400
- Altura de estiba 1900

Código y salida en R

```

> {Lar<-c(L,A)
+ An<-c(A,L)
+ solucion<-matrix(0,2,14)
+ dimnames(solucion)<-list(seq(1,2),c("Dist","PLargo","PANcho","PALto","CLargo",
+                                     "CANcho","CALto","Estiba","Layers","CajasxLayer",
+                                     "CajasTotales","AltoUsado","EficArea","EficVol"))
+ for (g in 1:2){
+   count=0
+   while (Lar[g]-1*count>=0) {count=count+1}
+   Locupadoco1=(count-1)*1
+   count2=0
+   while (An[g]-a*count2>=0) {count2=count2+1}
+   Aocupadoco1=(count2-1)*a
+   areaocupadaco1=Locupadoco1*Aocupadoco1
+   areadisponibleco1=L*A
+   EficienciaAreaco1=round(100*areaocupadaco1/areadisponibleco1,1)
+   EficienciaAreaco1
+   volumendisponibleco1=areadisponibleco1*(estiba-H)
+   Volumenocupadoco1=areaocupadaco1*layers*h
+   EficienciaVolumenco1=round(100*volumenocupadoco1/volumendisponibleco1,1)
+   EficienciaVolumenco1
+   cjasporlayerco1=(count-1)*(count2-1)
+   cajastotalco1=(count-1)*(count2-1)*layers
+   alturausadaco1=h*layers+h
+   distcolumna<-c("c",palet[1],palet[2],palet[3],caja[1],caja[2],caja[3],estiba,layers,cajasporlayerco1,
+   cajastotalco1,alturausadaco1,EficienciaAreaco1,EficienciaVolumenco1)
+   solucion[g,]<-distcolumna
+ }
+ print(solucion)
+ }
  Dist PLargo PANcho PALto CLargo CANcho CALto Estiba Layers CajasxLayer
1 "c"  "1200" "1000" "150" "300"  "400"  "400" "1900" "4"    "8"
2 "c"  "1200" "1000" "150" "300"  "400"  "400" "1900" "4"    "9"
  CajasTotales AltoUsado EficArea EficVol
1 "32"          "1750"   "80"    "73.1"
2 "36"          "1750"   "90"    "82.3"

```

Ilustración 98 - Vista de pantalla primer código y salida encolumnada en R

Irma Noemi No

StackBuilder:

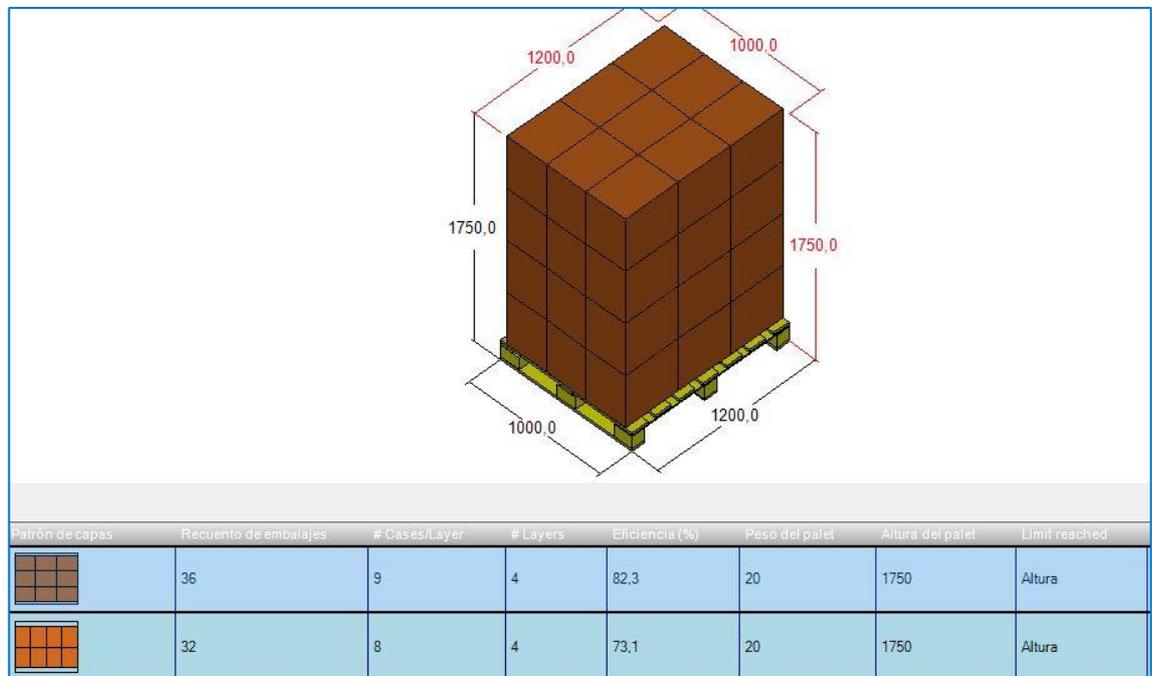


Ilustración 99 - Salida StackBuilder distribución "C"

Observamos que **las salidas de los programas coinciden**, cantidad de cajas (36 y 32), cajas por layer (9 y 8), cantidad de layers (4 y 4), eficiencia porcentual de volumen (82,3 y 73,1), y altura ocupada (1750 y 1750 mm) en ambos programas.

4.3.2. DISTRIBUCIÓN “D”

Según se ha anticipado, esta distribución es una de las elegidas por los técnicos en empaque por sostener el principio de *no* compresión de embalajes (por su característica de encolumnado), y a la vez suponer un “giro” en la orientación de las cajas (ubicado en los extremos del pallet), generando un trabado que actúa impidiendo los desplazamientos en el transporte de carga. Por lo tanto, es una distribución que se acerca al principio de “*lean paletization*”³⁴.

La lógica de la distribución “diagonal o espiralada” sigue una formación alternada en la orientación de las cajas en las esquinas del pallet, dando una imagen de simetría o espiral a la vista en la ubicación de los embalajes. Por lo tanto, se decidirá la orientación del primer embalaje, ubicando los siguientes en la posición contraria, y se seguirá esta lógica en el resto de los laterales del pallet.

Habrá *cuatro* posibilidades de importancia, que son considerar Largo y Ancho a cada una de las dos medidas del pallet (L y A), combinadas con las dos variantes de ubicar primero el ancho o primero el largo de la caja en la distribución a realizar. (Ver ilustración siguiente).

³⁴ El concepto de “lean paletization” (paletización ajustada) responde a la actual corriente de producción ajustada (lean manufacturing) - https://es.wikipedia.org/wiki/Lean_manufacturing

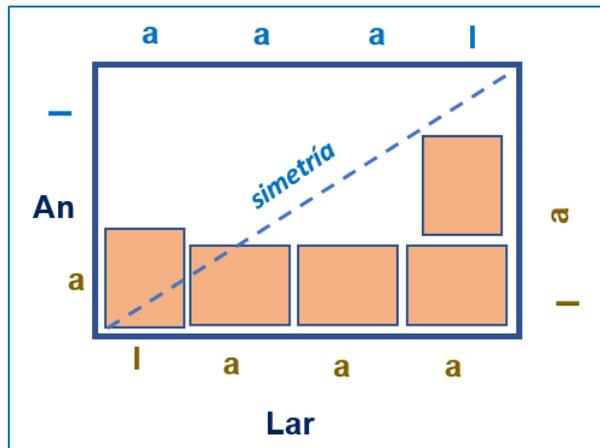


Ilustración 100 - Lógica de la distribución programada "D"

Una vez decidida la orientación base (es decir la solución bidimensional) los diferentes layers la repetirán por el efecto de encolumnado.

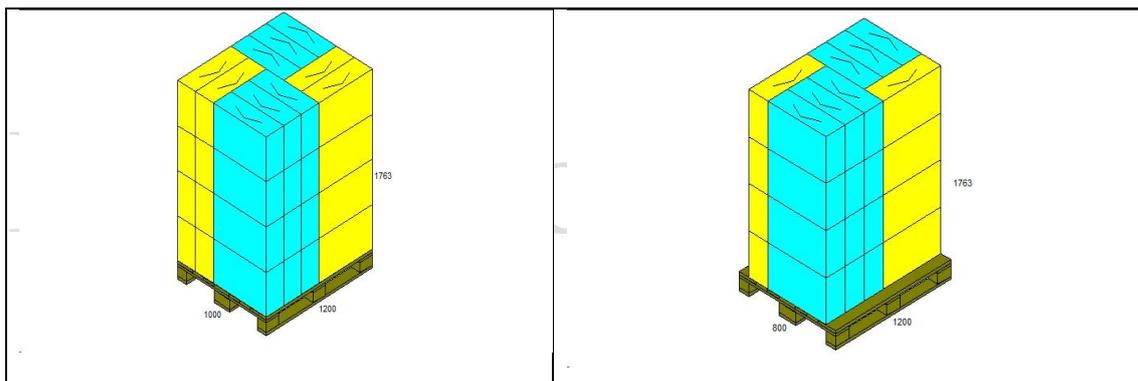


Ilustración 101 - Tabla de Vistas posibles distribuciones "D"

Si observamos con atención, la disposición "D" parece responder a algoritmos heurísticos de bloques (Steudel (Steudel, 1979) y otros), pero nuestra lógica de programación (descrita anteriormente) no coincide en principio, con el planteo recursivo de estos algoritmos.

Recordemos que esta distribución puede generar el efecto de "chimeneas centrales" (ver capítulo 2), por lo cual en nuestro código introducimos una opción para "llenar" dichas chimeneas cuando sea posible, que agregarán soluciones a las cuatro básicas.

El Script generado en R para esta distribución almacenado en el archivo “diagonal_espiralado_variantes.R”, posterior y definitivamente llamado “**distribución_2.R**”, puede solicitarse por correo electrónico a la autora.

La siguiente es una toma de pantalla de la corrida del script mencionado, para las mismas medidas propuestas en la distribución anterior³⁵. La salida del programa tiene un color de fuente automática (negro), compararemos posteriormente con la salida que ofrece StackBuilder para el mismo conjunto de datos de entrada.

Salida en R

```

+   if(cajasporlayercol>max){
+     solucion<-rbind(solucion,ocupachimenea)
+     max<-cajasporlayercol
+   }
+ }
+   indice=indice+1
+ }
+ }
+ print(solucion)
+ }

```

	Dist	PLargo	PAncho	PAlto	CLargo	CAncho	CAlto	Estiba	Layers	CajasxLayer
1	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"300"	"400"	"400"	"1900"	"4"	"8"
2	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"300"	"400"	"400"	"1900"	"4"	"8"
3	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"300"	"400"	"400"	"1900"	"4"	"6"
4	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"300"	"400"	"400"	"1900"	"4"	"6"
ocupachimenea	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"300"	"400"	"400"	"1900"	"4"	"9"
	CajasTotales	AltoUsado	EficArea	EficVol						
1	"32"	"1750"	"80"	"73.1"						
2	"32"	"1750"	"80"	"73.1"						
3	"24"	"1750"	"60"	"54.9"						
4	"24"	"1750"	"60"	"54.9"						
ocupachimenea	"36"	"1750"	"90"	"82.3"						

Ilustración 102 - Vista salida del programa en R para la distribución "D"

StackBuilder:

³⁵ Pallet UK Standard (1200x1000x150), Caja 300x400x400, y Altura de estiba 1900 mm.

Analysis0 - capítulo 4						
Patrón de capas	Recuento de embalajes	# Cases/Layer	# Layers	Eficiencia (%)	Peso del palet	Altura del palet
	36	9	4	82,3	20	1750
	36	9	4	82,3	20	1750
	32	8	4	73,1	20	1750
	32	8	4	73,1	20	1750
	32	8	4	73,1	20	1750
	32	8	4	73,1	20	1750
	20	5	4	45,7	20	1750
	20	5	4	45,7	20	1750

Ilustración 103 - Salida en StackBuilder para la distribución "D"

Observamos que obtuvimos la mejor performance de eficiencia (82,3 % de volumen) en la ubicación de nueve (9) cajas por capa (con la ocupación de la “chimenea” central). Como segundo en el ranking se coloca la formación de ocho (8) cajas por layer (eficiencia porcentual en volumen 73,1%). Por último, nuestro código encontró una *variante mejoradora* a la ofrecida por StackBuilder³⁶ generando una salida de seis (6) cajas por layer con una eficiencia de 54,9% en volumen (contra la sugerida por StackBuilder de 45,7% con cinco (5) cajas por capa), la cual de todas maneras, no sería utilizada por su escasa eficiencia espacial. Una visualización de la formación en seis (6) cajas/layer en el pallet seleccionado es:

³⁶ En el inciso siguiente se verá en una salida de TOPs que también existe una solución mejoradora en nuestro código con respecto a su salida en la distribución “D”.

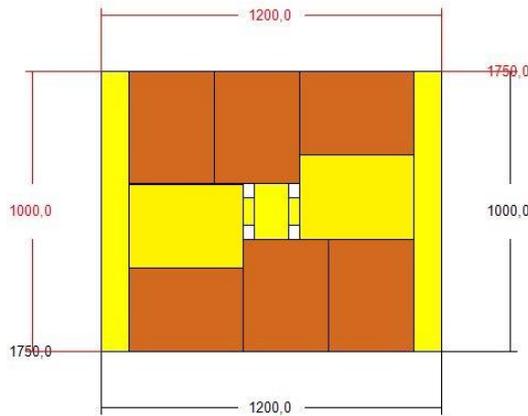


Ilustración 104 - Solución agregada por el programa en R

4.3.3. DISTRIBUCIÓN “B”

La distribución intercalada o entrelazada posee una gran estabilidad ante desplazamientos y derrumbes, pero está contraindicada por razones de compresión en los embalajes (y consecuentemente deterioro en productos), aunque es muy utilizada en la práctica por usos y costumbres de cada organización.

La lógica de la distribución “B” (siguiendo el criterio tomado en este trabajo de apilar las cajas con la orientación en dirección a la altura “z” =400 mm -fijo-), se basa en una misma disposición de los embalajes en el sentido de una de las medidas del pallet, cambiando a la disposición opuesta para completar el lateral contrario del pallet. Los layers se construyen oponiendo las orientaciones en capas consecutivas, de manera tal que las capas pares se verán iguales entre sí y las impares se verán opuestas a las pares pero iguales entre sí.

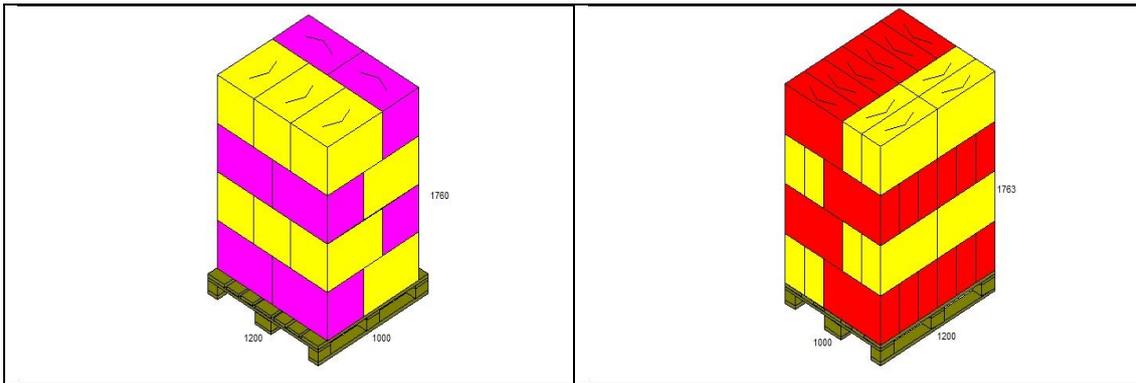


Ilustración 105 - Tabla de posibles vistas distribución "B" en TOPs

Con respecto al área y volumen ocupados en la disposición "B", se pueden calcular en base a la primera capa, pues las restantes serán una copia de ésta, sólo cambiando la orientación como en un "cubo Rubik"³⁷, es decir en rotación de 180° (o visión "espejo").

Según la lógica de programación relatada en los párrafos anteriores, sólo resultarán de importancia cuatro casos: considerar Largo y Ancho a cada una de las dos medidas del pallet (L y A), combinadas con las dos variantes de ubicar primero (esto es, en el frente) el ancho o primero el largo de la caja (l o a) en la distribución a realizar

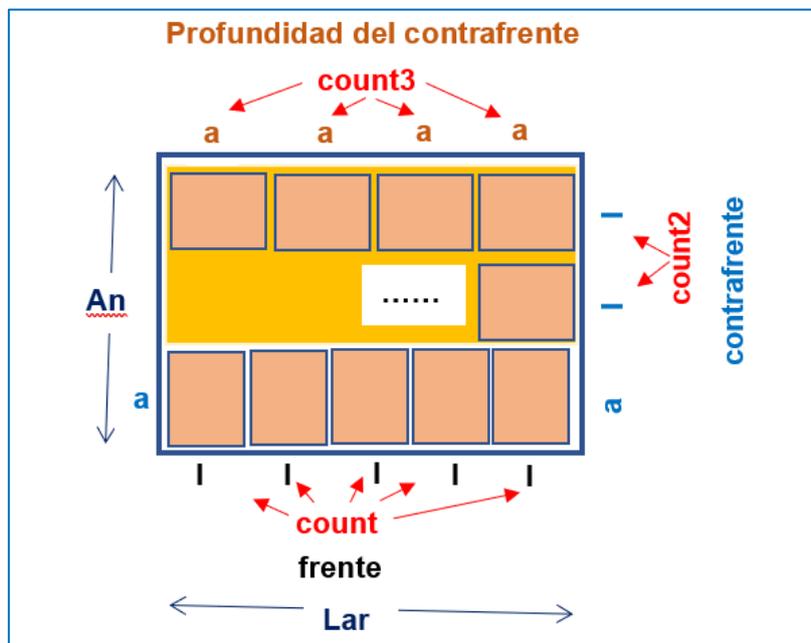


Ilustración 106 - Lógica de la programación para la distribución "B"

³⁷ https://es.wikipedia.org/wiki/Cubo_de_Rubik

En esta distribución existe una importante diferencia entre la concepción del programa StackBuilder y el programa TOPs. En el caso de TOPs el intercalado sigue exactamente la definición dada en el párrafo precedente (como puede observarse en las imágenes anteriores), en cambio, StackBuilder considera intercalado a una distribución encolumnada con permisividad de cambios en la orientación de las cajas (en el mismo layer) como puede observarse en las imágenes pegadas a continuación.

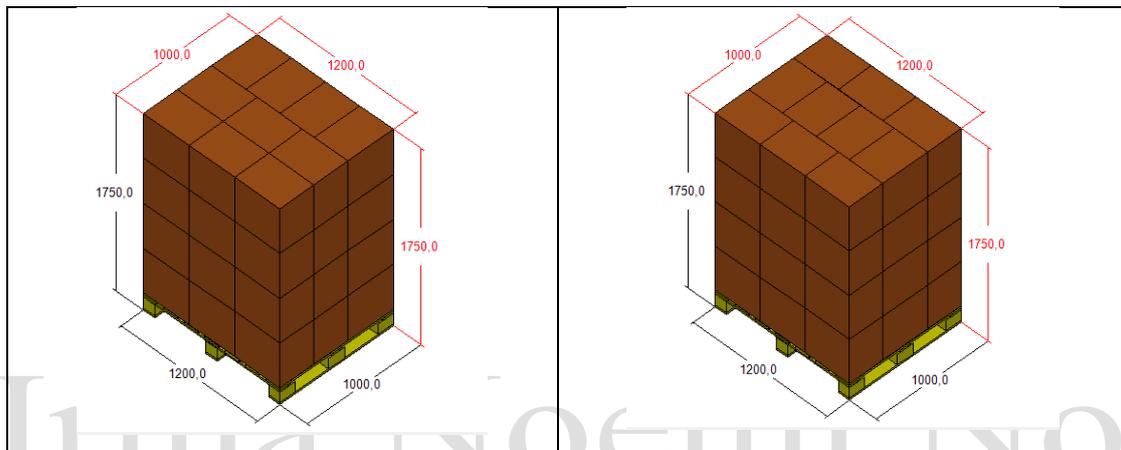


Ilustración 107 - Tabla de posibles vistas de distribución "B" en StackBuilder

Dado que nuestra programación se orienta al cálculo de la eficiencia, cabe destacar que ambos enfoques provocan el mismo resultado numérico, siendo en cambio muy distintos en la eficiencia logística desde las dimensiones de conservación e implementación.

El programa generado para calcular la distribución y eficiencia de esta disposición en el paletizado se encuentra en el Script de nombre “**distribución_3.R**”, que puede solicitarse por correo electrónico a la autora.

La salida obtenida para los mismos datos de entrada que en las distribuciones anteriores: Pallet 1: UK Standard (1200x1000x150), Caja 2: 300x400x400, y Altura de estiba 1900 mm, se muestran en la imagen siguiente.

```

+ print(solucion)
  Dist PLargo PAncho PAlto CLargo CAncho CAlto Estiba Layers CajasxLayer CajasTotales
1 "B" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "7" "28"
2 "B" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "8" "32"
3 "B" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "10" "40"
4 "B" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "7" "28"
  AltoUsado EficArea EficVol
1 "1750" "70" "64"
2 "1750" "80" "73.1"
3 "1750" "100" "91.4"
4 "1750" "70" "64"
> |

```

Ilustración 108 - Vista de salida del programa en R para la distribución "B"

Observamos que las posibilidades de disposición de las cajas coinciden en los casos de 10 y 8 cajas por layer coinciden en eficiencia volumétrica con la salida del programa StackBuilder de mayor eficiencia (91,4 % y 73,1 % respectivamente).

Salida de StackBuilder para la distribución "B"

Patrón de capas	Recuento de embalajes	# Cases/Layer	# Layers	Eficiencia (%)	Peso del palet	Altura del palet	Limit reached
	40	10	4	91,4	20	1750	Altura
	40	10	4	91,4	20	1750	Altura
	40	10	4	91,4	20	1750	Altura
	40	10	4	91,4	20	1750	Altura
	32	8	4	73,1	20	1750	Altura
	32	8	4	73,1	20	1750	Altura
	32	8	4	73,1	20	1750	Altura
	32	8	4	73,1	20	1750	Altura

Ilustración 109 - Salida de StackBuilder para la distribución "B"

Nuestra salida de R ha generado otra posibilidad, además de las coincidentes con StackBuilder, que es la de disponer 7 cajas por layer en este tipo de formación de embalajes para su paletizado. Una imagen de esta distribución se pega abajo.

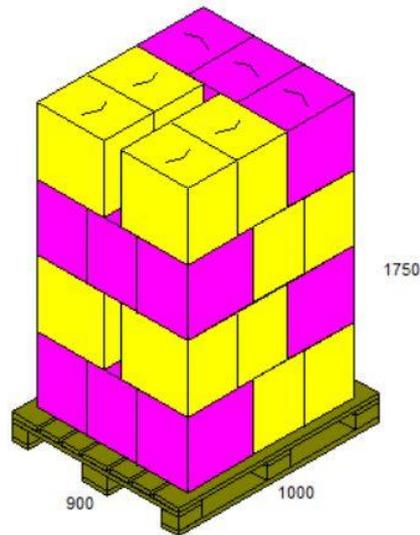


Ilustración 110 - Vista de salida agregada por el programa en R coincidente con TOPs

La nueva posibilidad que descubre nuestro código *es provista también por el programa TOPs cuya salida distingue las mismas formaciones y eficiencias de área que han sido calculadas por R:* para el caso de la distribución “B” (10, 8 y 7 cajas por layer, con eficiencia de área=100, 80 y 70% respectivamente), y también para las distribuciones estudiadas con anterioridad: “C” (9 y 8 cajas por layer, con eficiencia de área= 90 y 80% respectivamente) y “D” (9 y 8 cajas por layer, con eficiencia de área=90 y 80% respectivamente).

Salida de TOPs – Todas las distribuciones

Sol	Case Wgt	Vol (ID)	Board Area	Dim Vert	Len	UL Wid	UL Hgt	UL Wgt	Pttn Type	Cases /Layer	Layers /UL	Cases /UL	Area Eff
1	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	B	10	4	40	100.00%
2	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	W	9	4	36	90.00%
3	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	9	4	36	90.00%
4	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	9	4	36	90.00%
5	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	9	4	36	90.00%
6	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	9	4	36	90.00%
7	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	9	4	36	90.00%
8	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	9	4	36	90.00%
9	0.000	0.0440	1.120	H	1100	1000	1763	30.0	D	9	4	36	90.00%
10	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	D	9	4	36	90.00%
11	0.000	0.0440	1.120	H	1200	900	1763	30.0	C	9	4	36	90.00%
12	0.000	0.0440	1.120	H	1000	1000	1763	30.0	W	8	4	32	80.00%
13	0.000	0.0440	1.120	H	1100	1000	1763	30.0	W	8	4	32	80.00%
14	0.000	0.0440	1.120	H	1200	900	1763	30.0	T	8	4	32	80.00%
15	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	8	4	32	80.00%
16	0.000	0.0440	1.120	H	1200	900	1763	30.0	T	8	4	32	80.00%
17	0.000	0.0440	1.120	H	1200	1000	1763	30.0	T	8	4	32	80.00%
18	0.000	0.0440	1.120	H	1000	1000	1763	30.0	D	8	4	32	80.00%
19	0.000	0.0440	1.120	H	1000	1000	1763	30.0	D	8	4	32	80.00%
20	0.000	0.0440	1.120	H	1200	800	1763	30.0	C	8	4	32	80.00%
21	0.000	0.0440	1.120	H	1100	900	1763	30.0	B	8	4	32	80.00%
22	0.000	0.0440	1.120	H	1000	1000	1763	30.0	W	7	4	28	70.00%
23	0.000	0.0440	1.120	H	1100	1000	1763	30.0	W	7	4	28	70.00%
24	0.000	0.0440	1.120	H	1200	900	1763	30.0	T	7	4	28	70.00%
25	0.000	0.0440	1.120	H	1200	800	1763	30.0	T	7	4	28	70.00%
26	0.000	0.0440	1.120	H	1200	800	1763	30.0	T	7	4	28	70.00%
27	0.000	0.0440	1.120	H	1200	900	1763	30.0	T	7	4	28	70.00%
28	0.000	0.0440	1.120	H	1200	800	1763	30.0	T	7	4	28	70.00%
29	0.000	0.0440	1.120	H	1200	800	1763	30.0	T	7	4	28	70.00%
30	0.000	0.0440	1.120	H	1000	900	1763	30.0	B	7	4	28	70.00%
31	0.000	0.0440	1.120	H	1200	700	1763	30.0	B	7	4	28	70.00%
32	0.000	0.0440	1.120	H	1200	700	1763	30.0	W	6	4	24	60.00%
33	0.000	0.0440	1.120	H	1100	700	1763	30.0	W	6	4	24	60.00%
34	0.000	0.0440	1.120	H	1100	700	1763	30.0	W	6	4	24	60.00%
35	0.000	0.0440	1.120	H	700	700	1763	30.0	D	4	4	16	40.00%

Ilustración 111 - Salida de TOPs para todas las distribuciones

Corresponde mencionar la mejora introducida por nuestro código en la salida de “D” (vista en el inciso anterior), con la paletización de 6 cajas por layer contra la ubicación de 4 cajas por capa en el caso de TOPs (igualmente ambas no aplicables por baja eficiencia).

4.3.4. DISTRIBUCIÓN “T”

La distribución Tribloque es la más complicada a nivel ejecución y la de menor uso profesional en embalajes del mismo tipo.

En los programas vistos las salidas de la disposición “T” son las más abundantes (en TOPs), precisamente por esa libertad generada a través de la ausencia de lógica estructurada en su conformación de carga. En StackBuilder, el Tribloque mantiene el

apilamiento vertical encolumnado, entendiendo la existencia de tres “sectores” en la conformación de la carga.

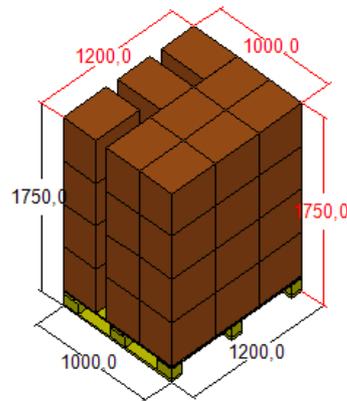


Ilustración 112 - Vista apilamiento en forma de distribución "T"

Seguiremos la lógica propuesta por los contribuyentes del blog GitHub / treeDIM/ StackBuilder para la paletización de embalajes no homogéneos en varios bloques³⁸. Nos basaremos entonces en la división del área disponible en tres bloques con orientaciones consecutivas diferentes. Nuevamente encontramos cuatro soluciones básicas considerando el ancho y largo del pallet, alternativamente como frente de la paletización, combinados con el uso del ancho y largo de la caja como medida primeramente considerada frontal.

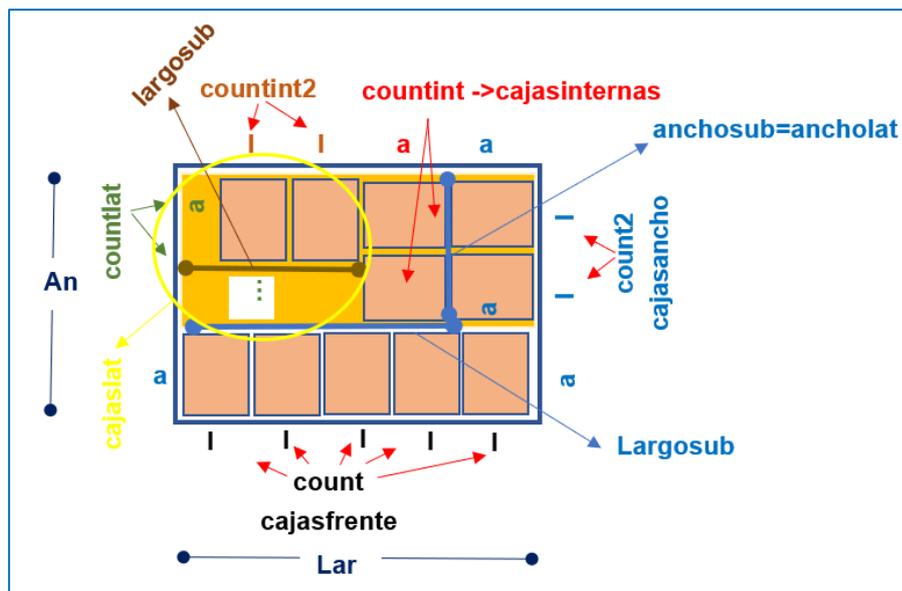


Ilustración 113 - Esquema de la lógica de programación distribución "T"

³⁸ <https://github.com/treeDiM/StackBuilder/issues/18>

El programa se almacenó en el Script “**distribucion_4.R**” y las sentencias que lo componen pueden solicitarse por correo electrónico a la autora.

La solución obtenida al correrlo con los datos iniciales que utilizamos para los programas anteriores³⁹, se ve a continuación.

```
+ print(solucion)
+
+ }
  Dist PLargo PANcho PALto CLargo CANcho CALto Estiba Layers CajasxLayer CajasTotales
1 "T" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "7" "28"
2 "T" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "9" "36"
3 "T" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "9" "36"
4 "T" "1200" "1000" "150" "300" "400" "400" "1900" "4" "7" "28"
  Altousado EficArea EficVol
1 "1750" "70" "64"
2 "1750" "90" "82.3"
3 "1750" "90" "82.3"
4 "1750" "70" "64"
> |
```

Ilustración 114 - Salida del programa en R para la distribución "T"

Comparando con la salida de StackBuilder observamos que nuestro código coincide en la formación óptima (nueve (9) cajas por layer) y ofrece una alternativa de siete (7) cajas por capa (que StackBuilder no considera).

Salida de StackBuilder:

Patrón de capas	Recuento de embalajes	# Cases/Layer	# Layers	Eficiencia (%)	Peso del palet	Altura del palet	Limit reached
	36	9	4	82.3	20	1750	Altura
	36	9	4	82.3	20	1750	Altura
	36	9	4	82.3	20	1750	Altura
	36	9	4	82.3	20	1750	Altura

Ilustración 115 - Salida de StackBuilder para la distribución "T"

³⁹ Pallet1: UK Standard (1200x1000x150), Caja 2: 300x400x400, y Altura de estiba 1900 mm

La disposición de las cajas en la distribución “T” con el concepto StackBuilder de apilamiento encolumnado que contaría con siete (7) cajas por layer, posee la siguiente vista basal⁴⁰:

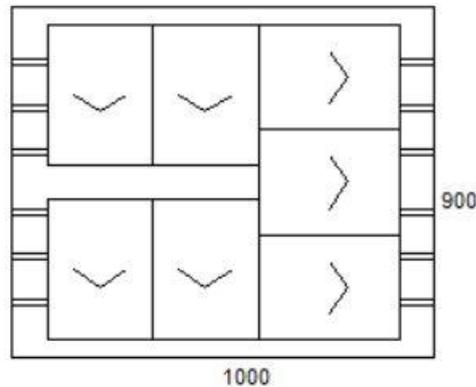


Ilustración 116 - Vista de distribución "T" agregada por R que coincide con TOPs

Por último, cabe destacar que la salida de nuestro programa para la distribución “T”, coincide (para nueve (9) y siete (7) cajas por layer) en eficiencia de área con el listado de paletizado del programa TOPs (mostrado en páginas anteriores). La opción de ocho (8) cajas por layer ofrecida por TOPs no conserva nuestra lógica de cambio de orientación (en cuanto a dimensiones del embalaje) y disposición de cajas encolumnadas, como se aprecia en la salida gráfica de TOPs, expuesta debajo.

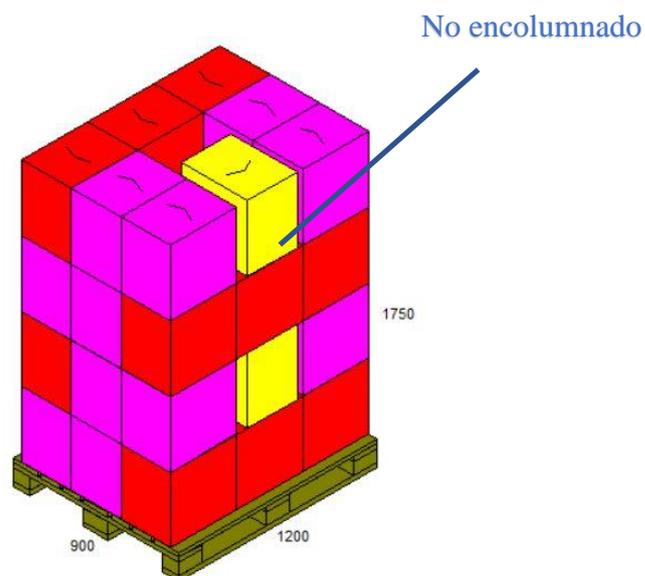


Ilustración 117 - Vista de distribución "T" del programa TOPs que no sigue el concepto de encolumnado

⁴⁰ 900 mm es el largo ocupado (3x300 mm) y 1000mm es el ancho ocupado (2x300 mm +400 mm)

Una corrida del programa de paletizado seleccionando todas las distribuciones, se realizó considerando diferentes valores a los anteriores: Pallet 4 (EUR 1200x800x144), Caja 5 (600x200x400), Estiba 1800 mm.

Salida de R -para el caso descripto- todas las distribuciones:

	Dist	PLargo	PAncho	PAto	CLargo	CAncho	CAto	Estiba	Layers	CajasxLayer
1	"C"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
2	"C"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"6"
1	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"4"
2	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"4"
3	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
4	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
ocupachimenea	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"5"
ocupachimenea	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"6"
ocupachimenea	"D"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"7"
1	"B"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
2	"B"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"7"
3	"B"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
4	"B"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"5"
1	"T"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
2	"T"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"8"
3	"T"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"7"
4	"T"	"1200"	"800"	"144"	"600"	"200"	"400"	"1800"	"4"	"3"
	CajasTotales	Altousado	EficArea	EficVol						
1	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
2	"24"	"1744"	"75"	"72.5"						
1	"16"	"1744"	"50"	"48.3"						
2	"16"	"1744"	"50"	"48.3"						
3	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
4	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
ocupachimenea	"20"	"1744"	"62.5"	"60.4"						
ocupachimenea	"24"	"1744"	"75"	"72.5"						
ocupachimenea	"28"	"1744"	"87.5"	"84.5"						
1	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
2	"28"	"1744"	"87.5"	"84.5"						
3	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
4	"20"	"1744"	"62.5"	"60.4"						
1	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
2	"32"	"1744"	"100"	"96.6"						
3	"28"	"1744"	"87.5"	"84.5"						
4	"12"	"1744"	"37.5"	"36.2"						

Ilustración 118 - Salida de R para todas las distribuciones

Salida de TOPs para los mismos parámetros⁴¹:

IRMA_5_EU - UnitLoad List														
Sol	Case Wgt	Vol (ID)	Board Area	Dim Vert	UL Len	UL Wid	UL Hgt	UL Wgt	Pttn Type	Cases /Layer	Layers /UL	Cases /UL	Area Eff	Cubic Eff
1	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	W	8	4	32	100.00%	96.62%
2	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	T	8	4	32	100.00%	96.62%
3	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	T	8	4	32	100.00%	96.62%
4	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	D	8	4	32	100.00%	96.62%
5	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	C	8	4	32	100.00%	96.62%
6	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	B	8	4	32	100.00%	96.62%
7	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	T	7	4	28	87.50%	84.54%
8	0.000	0.0437	0.960	H	1200	800	1744	25.0	B	7	4	28	87.50%	84.54%
9	0.000	0.0437	0.960	H	1200	600	1744	25.0	C	6	4	24	75.00%	72.46%

Ilustración 119 - Salida de TOPs todas las distribuciones con parámetros anteriores

⁴¹ Pallet 4 (EUR 1200x800x144), Caja 5 (600x200x400), Estiba 1800 mm.

Observamos que todas las soluciones brindadas por TOPs⁴² fueron consideradas por el programa de paletizado creado en R⁴³ (coincidiendo también en eficiencias), siendo además nuestro programa, quien agrega más soluciones al problema (bajo una mirada comparativa).

4.4. Recursos de simulación para la optimización de la eficiencia de área en paletizado.

La simulación es una práctica computacional que se basa en la experimentación mediante programas informáticos de representaciones y reproducciones del comportamiento de un sistema, que se desea analizar o sobre el cuál se desean tomar decisiones. (Ríos Insúa, 2008)

En la práctica profesional la decisión de la paletización se realiza con una metodología de diseño optimizado. Tomando como punto de partida y restricción el pallet (estándar para el destino considerado), el contenido en volumen del envase y la cantidad de envases por caja⁴⁴.

Para realizar la simulación de paletizado utilizaremos entonces las variables de largo y ancho de caja (manteniendo la altura fija utilizada hasta el momento = 400 mm), las cuales tomarán valores dentro de un intervalo determinado considerando una lógica de distribución acorde a las cantidades de producto a embalar por caja. Los límites del intervalo serán las medidas mínimas (150 mm) y máximas (600 mm) tabuladas como dimensiones recomendadas en el punto 4.1. de este capítulo (según las medidas base del estándar ISO 3394).

⁴² Excepto la distribución “W” -Pinwheel, o cuatribloque-, la cual no ha sido considerada en este trabajo por su complicación, escasez de eficiencia diferencial e incompatibilidad con StackBuilder

⁴³ Recordar que “ocupa chimenea” es un caso de distribución diagonal-Espiral

⁴⁴ La decisión de la cantidad de envases por caja generalmente depende del departamento de comercialización de la empresa.

4.4.1. IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS HEURÍSTICOS

Nuestra idea de partida es generar una salida que nos ofrezca un conjunto de soluciones de gran eficiencia en el aprovechamiento del área (y dado que hemos programado una paletización encolumnada siguiendo un criterio técnico, el aprovechamiento del área redundará en la eficiencia volumétrica también), tal que, también en la salida se puedan observar las distribuciones que favorecen esa eficiencia. Para ello, hemos pensado en dejar libertad al usuario de ingresar, el pallet, la altura de estiba y el volumen de la caja deseados. Obviamente, como fuera indicado en el punto anterior, estos datos tienen una impronta de ejecución muchas veces externa al ingeniero en empaque, dada por normas, procedimientos y requerimientos de otros departamentos de la empresa, y no pueden ser externos al programa de paletización. Por una cuestión de usos y costumbres (pallets de largos máximos, y procesos de embalaje) y también por las restricciones dimensionales de las normas ISO citadas, hemos colocado como restricción de ingreso del volumen de la caja la medida 144 dm³ (excesiva, por cierto, pues en general es menor de 96 dm³), que sería el correspondiente a una caja de dimensiones 600x600x400 mm.

En el código hemos hecho uso de algunos Scripts anteriores, como el llamado “medidas_palet.R” y los correspondientes a las cuatro distribuciones modificados (se les extrajo la sentencia de impresión de la solución generada, pues sería mostrado como salida en todas las corridas de la simulación), que a través de estas modificaciones han sido renombrados como “**distribución_#_simul.R**”.

El primer método utilizado ha sido el “best-improvement” con semilla nula y orden lexicográfico (las comparaciones se harán desde la distribución 1 a la distribución 4), que parte de una solución aleatoria (la dimensión del ancho de la caja es una medida *entera* generada por randomización de una distribución uniforme *limitada* al intervalo [150, 600]), para ir comparativamente remplazando la solución disponible por una solución generada mejoradora. Los mejores valores serán almacenados en el arreglo llamado “solucionoptima”, que se ha dimensionado (por elección personal) a un total de 30 resultados a mostrar.

La altura de la caja se ha dejado fija en 400 mm (siguiendo la línea elegida por este trabajo) y la dimensión del largo de la caja se obtiene mediante la ecuación:

$$largo = \frac{\text{volumen de caja (elegida por el usuario)}}{\text{ancho (randomizado) de caja * altura de caja (fija 400)}}$$

cuyo resultado luego se restringe, mediante remplazos de generación aleatoria iterada (si fuera necesario), al intervalo [150,600].

La fórmula que relaciona las variables ancho y largo guarda el aspecto de la gráfica que se muestra debajo.

Gráfica del valor del Largo dependiendo del ancho de la caja si volumen = 30 dm³

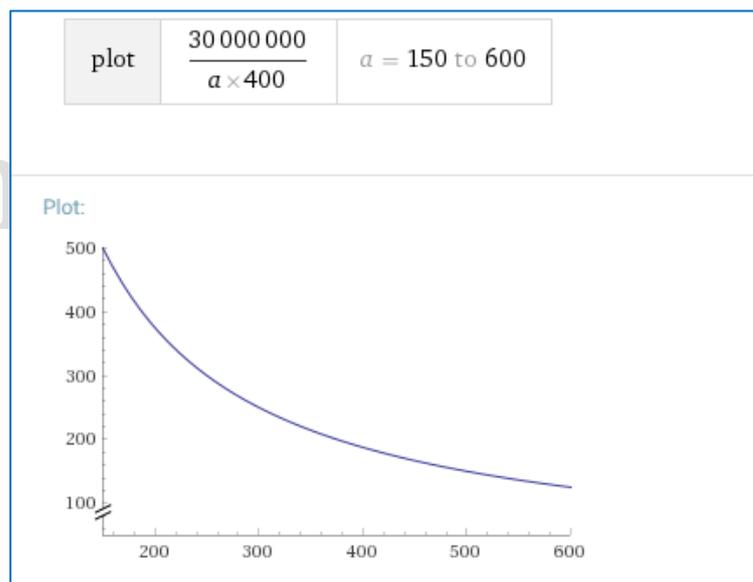


Ilustración 120 - Gráfico de variación del largo de la caja en función del valor del ancho (alto y volumen fijos)

En las primeras corridas del método “best improvement” por orden lexicográfico, la salida evidenciaba una repetición de tamaños de caja y de distribución (declarando a la distribución “D” como la óptima).

	Dist	PLargo	PAncho	PAIto	CLargo	CAncho	CAIto	Estiba	Layers	CajasxLayer	CajasTotales
1	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"173"	"433"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
2	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
3	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
4	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
5	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
6	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
7	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
8	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
9	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
10	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
11	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
12	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
13	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"151"	"496"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"

	AltoUsado	EficArea	EficVol
1	"1750"	"99.9"	"91.3"
2	"1750"	"99.9"	"91.3"
3	"1750"	"99.9"	"91.3"
4	"1750"	"99.9"	"91.3"
5	"1750"	"99.9"	"91.3"
6	"1750"	"99.9"	"91.3"
7	"1750"	"99.9"	"91.3"
8	"1750"	"99.9"	"91.3"
9	"1750"	"99.9"	"91.3"
10	"1750"	"99.9"	"91.3"
11	"1750"	"99.9"	"91.3"
12	"1750"	"99.9"	"91.3"
13	"1750"	"99.9"	"91.3"

Ilustración 121 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden lexicográfico

Esta situación se corrigió incorporando una condición de diferenciación en las medidas de las cajas además de la búsqueda del óptimo valor de eficiencia.

Salida simulación heurística "best improvement" lexicográfica (1000 corridas)

	Dist	PLargo	PAncho	PAlto	CLargo	CAncho	CAlto	Estiba	Layers	CajasxLayer	CajasTotales
1	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
2	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
3	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"226"	"331"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
4	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
5	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
6	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
7	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"200"	"375"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
8	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
9	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"261"	"287"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
10	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
11	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
12	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
13	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
14	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"426"	"176"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
15	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
16	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
17	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
18	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
19	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
20	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"232"	"323"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
21	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
22	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
23	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
24	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
25	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"154"	"484"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
26	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"426"	"176"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
27	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
28	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
29	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
30	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"

	AltoUsado	EficArea	EficVol
1	"1750"	"99.9"	"91.4"
2	"1750"	"99.8"	"91.2"
3	"1750"	"99.7"	"91.2"
4	"1750"	"99.6"	"91.1"
5	"1750"	"99.5"	"91"
6	"1750"	"99.4"	"90.9"
7	"1750"	"93.8"	"85.7"
8	"1750"	"93.7"	"85.6"
9	"1750"	"93.6"	"85.6"
10	"1750"	"93.5"	"85.5"
11	"1750"	"93.4"	"85.4"
12	"1750"	"93.3"	"85.3"
13	"1750"	"93.2"	"85.2"
14	"1750"	"87.5"	"80"
15	"1750"	"87.4"	"79.9"
16	"1750"	"87.3"	"79.8"
17	"1750"	"87.2"	"79.7"
18	"1750"	"87.1"	"79.6"
19	"1750"	"87"	"79.5"
20	"1750"	"81.2"	"74.2"
21	"1750"	"81.1"	"74.1"
22	"1750"	"81"	"74"
23	"1750"	"80.9"	"73.9"
24	"1750"	"80.8"	"73.9"
25	"1750"	"80.7"	"73.8"
26	"1750"	"75"	"68.5"
27	"1750"	"74.9"	"68.5"
28	"1750"	"74.8"	"68.4"
29	"1750"	"74.7"	"68.3"
30	"1750"	"74.6"	"68.2"

Ilustración 122 -Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden lexicográf. 1000 corridas

Observamos aún que prevalece la distribución "D" como disposición optimizadora en eficiencia de espacio para el sistema de paletización propuesto (50% de

las soluciones). La distribución menos favorecida en el proceso de optimización ha sido la distribución “C”.

La salida anterior corresponde al ingreso de los siguientes parámetros: volumen=30 dm³, pallet 1, y altura estiba=1900 mm.

```
[1] "Introduzca el volumen de la caja que desea (en dm3 entero e inferior a 144):"
1: 30
Read 1 item
[1] "Introduzca la altura de estiba que desea (en mm):"
1: 1900
Read 1 item
  largo ancho alto
1 1200 1000 150
2 1219 1016 120
3 1200 1000 162
4 1200 800 144
5 0 0 0
[1] "Ingresa el número del palet que elijas"
1: 1
Read 1 item
```

Ilustración 123- Vista de ingreso de datos en el programa de R

El código de programación utilizado se puede encontrar en el Script llamado “**simulación_1.R**”, cuyas sentencias pueden solicitarse por correo electrónico a la autora.

Realizando la simulación con el método lexicográfico inverso (desde la distribución 4 a la distribución 1), para las mismas entradas la solución óptima demuestra algunas sutiles diferencias: la distribución “D” sigue prevaleciendo con más del cincuenta por ciento de las respuestas óptimas destinadas a esta disposición en el paletizado, pero la presencia de la distribución “C” aumentó considerablemente, ocupando el porcentaje que ocupaba la formación “T” anteriormente. Es decir, cambió la participación de las distribuciones corridas en primer y último lugar. El código (que cambia sólo el orden del recorrido “for”) se ha guardado en el archivo “**simulación_2.R**”. Pegamos la imagen del listado de soluciones a continuación.

	Dist	PLargo	PAngo	PAto	CLargo	CAncho	CAto	Estiba	Layers	CajasxLayer	CajasTotales
1	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
2	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
3	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"226"	"331"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
4	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
5	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
6	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
7	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"200"	"375"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
8	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
9	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"261"	"287"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
10	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
11	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
12	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
13	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
14	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"426"	"176"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
15	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
16	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
17	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
18	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
19	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
20	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
21	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
22	"D"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
23	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"198"	"377"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
24	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
25	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"154"	"484"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
26	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"426"	"176"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
27	"T"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"493"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
28	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"290"	"258"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
29	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"235"	"318"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
30	"C"	"1200"	"1000"	"150"	"157"	"475"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"

	Altousado	EficArea	EficVol
1	"1750"	"99.9"	"91.4"
2	"1750"	"99.8"	"91.2"
3	"1750"	"99.7"	"91.2"
4	"1750"	"99.6"	"91.1"
5	"1750"	"99.5"	"91"
6	"1750"	"99.4"	"90.9"
7	"1750"	"93.8"	"85.7"
8	"1750"	"93.7"	"85.6"
9	"1750"	"93.6"	"85.6"
10	"1750"	"93.5"	"85.5"
11	"1750"	"93.4"	"85.4"
12	"1750"	"93.3"	"85.3"
13	"1750"	"93.2"	"85.2"
14	"1750"	"87.5"	"80"
15	"1750"	"87.4"	"79.9"
16	"1750"	"87.3"	"79.8"
17	"1750"	"87.2"	"79.7"
18	"1750"	"87.1"	"79.6"
19	"1750"	"87"	"79.5"
20	"1750"	"81.2"	"74.2"
21	"1750"	"81.1"	"74.1"
22	"1750"	"81"	"74"
23	"1750"	"80.9"	"73.9"
24	"1750"	"80.8"	"73.9"
25	"1750"	"80.7"	"73.8"
26	"1750"	"75"	"68.5"
27	"1750"	"74.9"	"68.5"
28	"1750"	"74.8"	"68.4"
29	"1750"	"74.7"	"68.3"
30	"1750"	"74.6"	"68.2"

Noemi No

Ilustración 124 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden lexicográfico inverso

Para finalizar los métodos heurísticos utilizamos el método best improvement con orden aleatorio, el código ha sido almacenado en el archivo de nombre “simulación_3.R”.

El cambio que se introduce para generar la aleatoriedad, es la incorporación de un vector de índices generado de manera aleatoria sin repetición, que contenga los números que identifican a las distribuciones, se pega a continuación una imagen de la sentencia y un primer uso de este vector de índices (a modo de ejemplo).

```
+ indalea=sample(1:4,4,replace=FALSE) #recorremos aleatoriamente las distribuciones
+ for (m in 1:4) {
+   if (indalea[m]==1){source("C:/users/no irma/Documents/TRABAJO_FINAL_MASTER/capitulo_4/codigo
s_R/distribucion_1_simul.R")
```

Ilustración 125 - Vector aleatorio de elección de distribución

También en el código hemos eliminado la semilla nula, para poder generar diferentes vectores de índices aleatorios por repetición de ejecuciones del programa con la finalidad de analizar las diferentes salidas del programa.

En una primera corrida con los mismos datos iniciales utilizados en los dos métodos anteriores, el vector de índices llamado “indalea” eligió aleatoriamente el siguiente orden en la recorrida de las distribuciones:

```
> indalea
[1] 4 3 1 2
```

Se construyeron entonces soluciones en primer término de la distribución “T” (→ 4), y en último lugar se generaron disposiciones según el formato “D” (→ 2). La salida generada por el programa se pega a continuación.

	Dist	PLargo	PAncho	PAlto	CLargo	CAncho	CAlto	Estiba	Layers	CajasxLayer	CajasTotales
1	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"221"	"339"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
2	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"174"	"430"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
3	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"213"	"351"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
4	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"191"	"391"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
5	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"188"	"397"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
6	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"159"	"469"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
7	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"375"	"200"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
8	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"294"	"255"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
9	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"221"	"339"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
10	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"213"	"351"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
11	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"191"	"391"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
12	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"188"	"397"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
13	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"159"	"469"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
14	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"294"	"255"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
15	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"221"	"339"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
16	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"273"	"274"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
17	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"213"	"351"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
18	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"191"	"391"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
19	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"159"	"469"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
20	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"294"	"255"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
21	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"174"	"430"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
22	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"213"	"351"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
23	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"191"	"391"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
24	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"159"	"469"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
25	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"154"	"484"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
26	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"294"	"255"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
27	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"221"	"339"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
28	"c"	"1200"	"1000"	"150"	"213"	"351"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
29	"c"	"1200"	"1000"	"150"	"191"	"391"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
30	"B"	"1200"	"1000"	"150"	"188"	"397"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"

	AltoUsado	EficArea	EficVol
1	"1750"	"99.9"	"91.3"
2	"1750"	"99.8"	"91.2"
3	"1750"	"99.7"	"91.1"
4	"1750"	"99.6"	"91"
5	"1750"	"99.5"	"91"
6	"1750"	"99.4"	"90.9"
7	"1750"	"93.8"	"85.7"
8	"1750"	"93.7"	"85.7"
9	"1750"	"93.6"	"85.6"
10	"1750"	"93.5"	"85.4"
11	"1750"	"93.4"	"85.3"
12	"1750"	"93.3"	"85.3"
13	"1750"	"93.2"	"85.2"
14	"1750"	"87.5"	"80"
15	"1750"	"87.4"	"79.9"
16	"1750"	"87.3"	"79.8"
17	"1750"	"87.2"	"79.7"
18	"1750"	"87.1"	"79.7"
19	"1750"	"87"	"79.5"
20	"1750"	"81.2"	"74.3"
21	"1750"	"81.1"	"74.1"
22	"1750"	"81"	"74.1"
23	"1750"	"80.9"	"74"
24	"1750"	"80.8"	"73.9"
25	"1750"	"80.7"	"73.8"
26	"1750"	"75"	"68.5"
27	"1750"	"74.9"	"68.5"
28	"1750"	"74.8"	"68.4"
29	"1750"	"74.7"	"68.3"
30	"1750"	"74.6"	"68.2"

Noemi No

Ilustración 126 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" orden aleatorio

En una segunda ejecución del programa de simulación de orden aleatorio el vector de índices ha sido:

```
> indalea
[1] 1 2 4 3
```

La salida correspondiente es:

	Dist	PLargo	PAncho	PALto	CLargo	CAncho	CALto	Estiba	Layers	CajasxLayer	CajasTotales
1	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"295"	"254"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
2	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"360"	"208"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
3	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"165"	"453"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
4	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"153"	"488"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
5	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"491"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
6	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"150"	"497"	"400"	"1900"	"4"	"16"	"64"
7	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"500"	"150"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
8	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"245"	"306"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
9	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"360"	"208"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
10	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"163"	"459"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
11	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"161"	"464"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
12	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"153"	"488"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
13	"t"	"1200"	"1000"	"150"	"150"	"497"	"400"	"1900"	"4"	"15"	"60"
14	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"245"	"306"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
15	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"295"	"254"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
16	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"163"	"459"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
17	"b"	"1200"	"1000"	"150"	"161"	"464"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
18	"b"	"1200"	"1000"	"150"	"153"	"488"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
19	"t"	"1200"	"1000"	"150"	"150"	"497"	"400"	"1900"	"4"	"14"	"56"
20	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"245"	"306"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
21	"b"	"1200"	"1000"	"150"	"360"	"208"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
22	"t"	"1200"	"1000"	"150"	"337"	"222"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
23	"b"	"1200"	"1000"	"150"	"153"	"488"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
24	"t"	"1200"	"1000"	"150"	"150"	"497"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
25	"b"	"1200"	"1000"	"150"	"154"	"484"	"400"	"1900"	"4"	"13"	"52"
26	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"245"	"306"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
27	"d"	"1200"	"1000"	"150"	"295"	"254"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
28	"c"	"1200"	"1000"	"150"	"163"	"459"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
29	"t"	"1200"	"1000"	"150"	"153"	"488"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"
30	"t"	"1200"	"1000"	"150"	"152"	"491"	"400"	"1900"	"4"	"12"	"48"

	AltoUsado	EficArea	EficVol
1	"1750"	"99.9"	"91.3"
2	"1750"	"99.8"	"91.3"
3	"1750"	"99.7"	"91.1"
4	"1750"	"99.6"	"91"
5	"1750"	"99.5"	"91"
6	"1750"	"99.4"	"90.9"
7	"1750"	"93.8"	"85.7"
8	"1750"	"93.7"	"85.7"
9	"1750"	"93.6"	"85.6"
10	"1750"	"93.5"	"85.5"
11	"1750"	"93.4"	"85.4"
12	"1750"	"93.3"	"85.3"
13	"1750"	"93.2"	"85.2"
14	"1750"	"87.5"	"80"
15	"1750"	"87.4"	"79.9"
16	"1750"	"87.3"	"79.8"
17	"1750"	"87.2"	"79.7"
18	"1750"	"87.1"	"79.6"
19	"1750"	"87"	"79.5"
20	"1750"	"81.2"	"74.3"
21	"1750"	"81.1"	"74.2"
22	"1750"	"81"	"74.1"
23	"1750"	"80.9"	"74"
24	"1750"	"80.8"	"73.8"
25	"1750"	"80.7"	"73.8"
26	"1750"	"75"	"68.5"
27	"1750"	"74.9"	"68.5"
28	"1750"	"74.8"	"68.4"
29	"1750"	"74.7"	"68.3"
30	"1750"	"74.6"	"68.2"

Noemi No

Ilustración 127 - Salida del programa de simulación en R "best improvement" con otro orden aleatorio

Observamos que *las distribuciones que se recorren primero* conservan una menor participación en la solución óptima (esto sucede porque el remplazo de los elementos de la matriz “solucionoptima” no ofrece “mayores dificultades”, dado que se inicializa nulo, por lo cual cualquier valor de eficiencia superará al valor óptimo presente y lo remplazará quedando como óptimo “débil” y de fácil superación por las distribuciones siguientes), siguiendo este pensamiento conservan mayor probabilidad de aparición las distribuciones siguientes a la primera recorrida.

Un párrafo aparte merece la *distribución “D”* la cual ha sostenido su *elevado porcentaje de participación* en todas las salidas, más allá del orden en el cual ha sido recorrida, por lo cual se la podría considerar una *disposición “eficiente”*.

OBSERVACIONES:

1. Hemos trabajado con arreglo tipo matriz, el cual, al introducir un dato tipo “texto”, asume que todos los datos serán de este tipo, por lo cual las salidas se visualizan con comillas. Para generar una salida visualmente “menos cargada”, se puede transformar la matriz en un “data frame”⁴⁵. También se puede generar una submatriz conteniendo sólo las variables de mayor interés.

```
> as.data.frame(solucionoptima)
```

	Dist	PLargo	PAngo	PAto	CLargo	CAncho	CAto	Estiba	Layers	CajasxLayer	CajasTotales
1	C	1200	1000	150	200	375	400	1900	4	12	48
2	D	1200	1000	150	152	493	400	1900	4	12	48
3	D	1200	1000	150	261	287	400	1900	4	12	48
4	D	1200	1000	150	290	258	400	1900	4	12	48
5	T	1200	1000	150	235	318	400	1900	4	12	48
6	T	1200	1000	150	198	377	400	1900	4	12	48
7	D	1200	1000	150	157	475	400	1900	4	12	48
8	T	1200	1000	150	152	402	400	1900	4	12	48

Ilustración 128 - Vista de salida del programa en R como Data frame

2. En el caso de la simulación es probable que sea de interés calcular la media de las medidas de las cajas por ejemplo, para lo cual utilizamos la conversión “as.numeric” y luego la función “mean”. En general, se podrían introducir

⁴⁵ Pero los valores numéricos ahora serán considerados factores.

menús que indiquen al usuario si desea realizar algún cálculo de este tipo e incluir en el código sentencias para su ejecución.

```
> largocaja<-as.numeric(solucionoptima[,5])
> largocaja
[1] 200 152 261 290 235 198 157 152 261 290 235 157 155 152 261 290 198 157 161 152 261 290
[23] 198 157 426 152 153 227 157 426
> mean(largocaja)
[1] 218.7
```

Ilustración 129 - Sentencias a incorporar para calcular medias en el programa

3. Los diferentes contadores introducidos en los códigos, indican la cantidad de cajas que se van ubicando en cada sentido con respecto al largo y ancho del pallet, y podrían utilizarse en un futuro trabajo para generar salidas gráficas similares a las disponibles en los programas StackBuilder y TOPs (seguramente mediante la asistencia de entornos y lenguajes subsidiarios como Phyton⁴⁶ y algunos utilitarios basados en C++).

Irma Noemi No

4.4.2. METAHEURÍSTICAS

La implementación de métodos metaheurísticos generalmente se realiza ante problemas que no poseen una heurística (o algoritmo) específico que brinde una solución satisfactoria, o bien cuando no es posible ejecutar ese método óptimo.

En nuestro caso, las simulaciones realizadas han permitido (en todos los casos) hallar óptimos de eficiencia en la utilización del espacio para el proceso de paletizado. Asimismo, los resultados observados nos permiten realizar conjeturas y extraer conclusiones en base al ranking de eficiencia, observándose cuáles son las distribuciones más favorecidas en este aspecto del proceso logístico de paletización.

Por lo anterior, entonces no consideramos necesaria la generación de un código de búsqueda metaheurística para el problema estudiado.⁴⁷

⁴⁶ <http://rpython.r-forge.r-project.org/>

⁴⁷ A pesar nuestra consideración puntual, existen estudios metaheurísticos realizados en PLP (por ejemplo mediante la metodología Tabu Search) en algunas tesis doctorales.

4.5. Conclusiones y trabajos futuros.

Se pueden encontrar diversos abordajes a la problemática del paletizado (PLP ⁴⁸) en el intento de una informatización oportuna para el planteo matemático/logístico de esta labor industrial. Un importante recorrido bibliográfico puede leerse en el escrito de Zúñiga y Vargas-Osorio (Zúñiga, 2016). Los trabajos relevados por Zúñiga y Osorio en este artículo concentran su esfuerzo enfocándose en las limitaciones de altura y peso de estiba, las ganancias esperadas, los esfuerzos del embalaje y la estabilidad de las estructuras, las demandas del proceso de paletización y otras sin especificar. (Zúñiga, 2016 pp. 75 tabla 2). Los diferentes abordajes relevados por los diferentes autores son: revisionista de la problemática, variantes del problema de paletizado, tratamiento bidimensional o tridimensional, metodología empleada para hallar una solución (desarrollos y algoritmos), y herramientas informáticas utilizadas en el tratamiento del problema de paletizado.

Trabajos posteriores con objetivos similares, pueden hallarse también en formato de tesis y tesinas, ofreciendo más oportunidades de análisis y respuestas puntuales a la problemática del paletizado.⁴⁹

Nuestro trabajo ha intentado recorrer las *aristas de la ingeniería de la decisión en PLP*, persiguiendo la eficiencia espacial en la distribución de los embalajes sobre el pallet, para ello:

- Realizamos una conceptualización metodológica del abordaje de la investigación desde el punto de vista de la epistemología científica.
- Desglosamos el proceso logístico de paletización en diagramas de causa-efecto, identificando las fases involucradas en nuestro análisis para el aseguramiento de la calidad.

⁴⁸ PLP = Pallet Loading Problem.

⁴⁹ Creando por ejemplo scripts con utilitarios (de base C++) libres de código abierto sólo para Windows.

- Definimos los conceptos que intervienen en las fases mencionadas, como parte del proceso de paletizado.
- Destacamos las condiciones teóricas de estabilidad y mantenimiento acordadas internacionalmente para el paletizado de cajas de cartón corrugado.
- Identificamos las normativas nacionales en los procesos de paletización, los protocolos en uso, los materiales, y las prácticas profesionales vigentes.
- Recorrimos las características de dos softwares de ayuda a la paletización, de diferentes características en cuanto a su asequibilidad: el software de pago TOPs y el software gratuito de código abierto PLMStackBuilder.
- Analizamos estadísticamente las salidas ofrecidas por estos programas, para caracterizar las distribuciones y las eficiencias que detallan sus respectivas salidas, con el objetivo de detectar posibles optimizaciones.
- Realizamos un breve relevamiento sobre las preferencias profesionales en cuanto a la distribución y el diseño de paletizado afín a sus prácticas.
- Se creó un listado de riesgos asociados a PLP, analizando sus impactos y verosimilitudes, en el contexto de la teoría probabilística del análisis de riesgos.
- Se crearon Scripts en el entorno de desarrollo integrado (IDE) “R”, siguiendo el enfoque del presente trabajo: la eficiencia espacial de distribución, con énfasis en la geometría de la disposición de embalajes en el pallet, con el objetivo de crear salidas similares a los programas estudiados, que sirvan de ayuda a la toma de decisión del ingeniero en empaque.

El recorrido realizado siempre se ha basado en las corrientes metodológicas actualmente en uso en ámbitos experimentales y científicos, mestizando análisis de tipo cuali-cuantitativos (Ynoub, 2014).

Revised approaches in chronological order by author	Revised PLP variation		Treatment		Solution method			Software or encoding language						
	Manufacturer's PLP	Distributor's PLP	Bi-dimensional (2D)	Three-dimensional (3D)	Exact algorithm	Simulation	Heuristic method	FORTRAN	DELPHI	C++	CPLEX	LINDO	CPN Tools	Undefined
(Dowland-A, 1987) in [18]	X		X		X									X
(Dowland-B, 1987) in [19]	X		X		X			X						
(Tamowski et al, 1994) in [2]	X		X		X									X
(Abdou and Yang, 1994) in [11]		X		X	X									X
(Bischoff & Ratcliff, 1995) in [6]		X		X			X							X
(Bischoff et al, 1995) in [7]		X		X			X							X
(Scheithauer & Terno, 1996) in [34]		X		X			X							X
(Morabito & Morales, 1998) in [25]	X		X		X		X		X	X				
(Abdou & Elmasry, 1999) in [12]		X		X		X				X				
(Farago & Morabito, 2000) in [24]	X		X				X		X					
(Amaral & Wright, 2001) in [3]	X		X				X			X				
(Young-Gun G. & Kang, 2001) in [31]	X		X		X		X			X				
(Yamasaki & Pureza, 2003) in [5]	X		X				X				X			
(Álvarez-Valdés et al-A, 2005) in [22]	X		X		X		X							
(Lel, Creighton, Nahavandi, 2005) in [38]		X		X			X			X				
(Birgin et al, 2005) in [8]	X		X		X		X			X				
(Mascarenhas, 2005) in [40]	X		X		X									X
(Alvarez-Valdes et al-B, 2005) in [23]	X		X		X		X			X				
(Pureza & Morabito, 2006) in [29]	X		X		X		X		X					
(Wu & Ting, 2007) in [37]	X		X		X		X			X	X			
(Mattos-Ribeiro & Nogueira-Lorena, 2007) in [13]	X		X		X		X			X	X			
(Birgin et al, 2008) in [9]	X		X		X		X			X				
(Martins & Dell, 2008) in [14]	X		X		X		X			X				
(Kocjan & Holmström, 2008) in [39]	X		X		X		X							X
(Yia et al, 2009) in [17]	X			X	X		X							
(Lau et al, 2009) in [15]		X		X	X		X							X
(Lim et al, 2010) in [26]		X		X	X	X				X				
(Al-Shayea, 2011) in [1]		X		X			X					X		
(Zúñiga et al, 2011) in [4]		X		X		X							X	
(Birgin et al, 2012) in [10]		X		X			X			X				

Ilustración 130 - Recorrido de enfoques al tratamiento de los problemas de paletizado (Zúñiga 2016, pp. 74, tabla 1)

Algunas consideraciones y resultados de nuestro recorrido son:

- Los programas analizados, TOPs y PLMStack Builder, sirven de guía y soporte para la toma de decisiones, acortando los tiempos y mejorando la eficiencia en los pronósticos de ensamble, almacenamiento y traslado, a través de sus salidas analíticas y gráficas. Se intentó realizar un análisis del acierto/falibilidad de los programas bajo la implementación de un sistema de medición creado para realizar un *estudio de repetibilidad/reproductibilidad (Gage R&R)* en Minitab, llegando a concluir que el marco de análisis producía una inconsistencia, por lo cual este método resultaba *inadecuado para el caso*.

- El análisis estadístico de los programas seleccionados se ha realizado bajo un enfoque univariado, bivariado correlacional, de análisis factorial y PCA. Las variables analizadas son las de mayor impacto en la elección de un diseño específico como mosaico de paletización:
 - VCPI: Programa, arreglo o patrón de distribución, tipo de pallet, tipo de caja.
 - VCPO: Eficiencia porcentual de área, ranking de distribuciones.

- La síntesis de los resultados correspondientes al estudio estadístico se detallan en el apartado 3.2.4 de este trabajo, mencionamos algunos de ellos: los programas estudiados demuestran *diferenciarse en proporción y contenido de las soluciones propuestas* para el paletizado, de manera tal que existe una significativa asociación “distribución de paletizado-programa”, sin embargo, *las eficiencias de área ocupada sobre pallet* como solución al problema de optimización en el contexto PLP- *no difieren significativamente* en medias ni en varianzas, pudiéndose corresponder la distribución de las eficiencias (en ambos programas) al tipo Weibull (con $k > 1$). *La distribución “D” interactúa de manera diferenciada con los elementos del paletizado, y los tamaños límite de las cajas, impactan de manera diferencial en las eficiencias observadas.* Posteriormente en el capítulo 4, obtuvimos nuevamente *una distribución “D” que se posiciona con un protagonismo diferencial respecto de las demás distribuciones.*

- Los responsables de la elección de la distribución de los embalajes para su expedición en formato paletizado, cuentan con una formación de perfil técnico-ingenieril y una amplia experiencia que respalda su “oficio” en esta labor tan importante, que es parte del proceso logístico en la cadena del proceso industrial. Una parte muy importante del proceso de paletización la desempeñan los proveedores de los embalajes⁵⁰, quienes generalmente disponen de sistemas de calidad y control robustos, en el cumplimiento de los pedidos técnicos y las especificaciones de los ingenieros de empaque, y los testeos correspondientes a las fórmulas BCT y ECT (box crushing test y su participativo edge crushing test) mencionadas en el capítulo 2.
- La tarea de paletizar involucra múltiples decisiones que generalmente responden a estándares técnicos globalmente aceptados y a los protocolos propios de cada tradición empresarial. La sutil tendencia observada sobre el apego a los estándares vigentes, responde al concepto psicológico de afición a la certeza y a la natural regresión a la media estadística, según las teorías de riesgo desarrolladas por los autores citados en el capítulo 3 de este trabajo. Los resultados del análisis cualitativo de riesgos realizado, demuestra que *no se detectan riesgos de alta probabilidad y alto impacto*, los eventos de elevado impacto que poseen una frecuencia media o baja (*derrumbes y vuelcos*) *están limitados por las normativas y protocolos vigentes*; el *deterioro* es un riesgo *tratable a bajo costo*, y los *riesgos de pandeo y desplazamiento son previsibles* (mediante un análisis contextualizado de situación) y también manejables a bajo costo. Los riesgos de *ejecución* provocan pérdidas que pueden atemperarse mediante *planes de contingencia y de capacitación*. En la encuesta realizada indagando sobre la relación disposición-riesgos, *las distribuciones que se han distinguido son: “C” y “D”*, por motivos basados en su facilidad de

⁵⁰ En Argentina existen muy prestigiosas empresas dedicadas a la industrialización de cajas de cartón corrugado (Cartocor, Grupo Zucamor, y Smurfit – Kappa, entre otras).

ejecución, sus *bondades técnicas* (minimizando compresiones y pandeos) y la seguridad en ajuste (evitando desplazamientos de carga), respectivamente.

- En el capítulo 4 realizamos un *trabajo de análisis lógico y de codificación* para lograr el objetivo: “dada una distribución, generar el programa de paletizado en R que lo logra”, generando diferentes Scripts, que forman parte del programa principal de interfaz-usuario llamado “*programa_paletizado.R*”. De acuerdo a la metodología epistemológica propuesta, se ha descrito el proceso de elaboración, valoración, descarte y selección de estrategias procedimentales. Todos los programas y subrutinas creados se hallan disponibles en una nube web, para su acceso, uso y posible mejoramiento.
- Finalmente, se han elaborados *códigos de simulación en R*, que arrojan un listado de *rankings de eficiencia*, en los cuales se llega a distinguir a la *distribución “D”* como *líder* de los posibles diseños optimizadores. (Códigos también disponibles en la nube).

Posibles trabajos futuros como continuación del presente, pueden recorrer los siguientes objetivos:

- Generar un paquete ejecutable en el entorno “R” con funciones de paletizado, similares a las creadas en este trabajo.
- Incorporar estructuras de datos que permitan un posterior trabajo estadístico sobre las salidas generadas por los códigos creados (en el capítulo 4 se ha mencionado al “data frame” como herramienta útil para esta labor).
- Agregar una codificación de salidas gráficas, para obtener visualizaciones 2D y 3D, con el soporte de utilitarios basados en C++.
- Sumar variables de costos y limitaciones de peso, a los códigos creados.

- Realizar muestreos de mayor tamaño en el ámbito profesional, e incorporar herramientas de minería de datos para corroborar tendencias y preferencias de paletizado a nivel global.
- Realizar un estudio retro y prospectivo de los utilitarios informáticos (programas) de paletizado vigentes.

Para finalizar, destacamos la importancia de los saberes y recursos aportados por la maestría en ingeniería de sistemas de decisión, que han sido nuestra herramienta fundamental para la elaboración del presente trabajo final, el cual, resumidamente aporta: codificación en R, análisis de riesgos y análisis estadístico al problema de paletizado, desde el enfoque particular de las distribuciones generadas.

Irma Noemi No

Bibliografía

- Ambrosini, C., y Beraldi, G. (2015). “Pensar la ciencia hoy. La epistemología entre teorías, modelos y valores”. Buenos Aires. Editorial Educando.
- Arsham, H. (2015). “Tool for decision analysis. Analysis of risky decisions”. Página web (Disponible Julio 2017).
<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640a/partIX.htm#rbayapp> y sitio espejo
<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishP.htm>
- Arsham, H. (2015-2). “Razonamiento estadístico para la toma de decisiones gerenciales”. Página web (Disponible noviembre 2017).
<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat/opre504S.htm>
- Averill Law (1999) “Simulation modeling and analysis” EditorialMacGraw Hill.
- Baanks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L. and Nicol, D. M., (2000). “Discrete Event Systems Simulation”, Prentice-Hall International, Inc
- Ben-Haim Y. (2001) “Information-gap Decision Theory: Decisions under Severe Uncertainty”, Academic Press, 2001. Muestra reducida disponible (Julio 2017)
https://books.google.com.ar/books?id=yR9H_WbkIHkC&pg=PA115&hl=es&source=gbv_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false
- Cano Cancela J, Gómez González D; (2016) “Simulación y Metaheurísticas”. Material de Estudio para el Master en Ingeniería de Sistemas de Decisión de la URJC.
- Cano, E. L, Martínez Moguerza J. (2015). “R desde el principio. Curso cero de R”. Disponible (julio 2017) en <http://emilio.lcano.com/content/es/cero.html>
- Carretero, L. E., Delgado, L. M., (2000). “Estrategia Logística interna en un contexto de producción ajustada”. Economía Industrial N.º 332 • 2000 / II
- CCL. (2003). Manual de Logística de paletización. “Recomendaciones GS1 para la logística” . Comité costarricense de logística, edición 2, 2003.

- Cejas-Monteros, J. (2011) “Lógica Difusa Compensatoria”. Ingeniería Industrial/ISSN 1815-5936/Vol. XXXII/No. 2/mayo-agosto/2011, pp. 157-161 Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría La Habana, Cuba.
- CENPACK (2003) Cartilla de Empaque y Embalaje para la exportación. PROEXPORT-Colombia.
- Chung Hye-Kyung, Soon-Jae Lee, (2008) “Building a Framework to Measure and Minimize Information Risks”. The Information Management Journal. (Mayo/Junio 2008) (pp.39-44)
http://content.arma.org/IMM/MayJune2008/building_a_framework_to_measure_and_minimize.aspx
- Correa J.C., González, N. (2002) “Gráficos estadísticos con R”. Posgrado en Estadística. Universidad de Medellín. Disponible (julio 2017) <https://cran.r-project.org/doc/contrib/grafi3.pdf>
- David Ríos Insua (2008) “Métodos y aplicaciones” Editorial Ra-Ma.
- Efremov R; Ríos Insua, D Udías A.L., (2016) “Ingeniería de la Decisión”. Material de Estudio para el Master en Ingeniería de Sistemas de Decisión de la URJC.
- Fibre Box Association (2005) “Edge CrushTest – Application and reference guide for combined corrugated board”. Fibre Box Association, USA. Disponible – Agosto 2017 en: <http://cypresspr.com/wp-content/uploads/2012/01/ECT-guide-FINAL-5-17-11.pdf>
- Fred Glover y Gary A. Kochenberger (2003) “Handbook of Metaheuristics”. Editorial Kluwer Academic Publishers.
- French, S., Ríos Insua D. (2000) “Statistical Decision Theory”. Editorial. Arnold.
- García R. M., (2006) “Inferencia estadística y diseño de experimentos”, Ed. Eudeba, Buenos Aires, Argentina.
- Giovannetti Ma D. V. (2000) “El mundo del Envase”. Ed. Azcapotzalco, México. Disponible (agosto 2017) en

<https://es.scribd.com/doc/52618633/Dolores-Vidales-Giovannetti-El-Mundo-Del-Envase> PAG 181 SUBMULTIPLoS - PAG 179 TIPOS PALLETS

- How to Solve it: Modern Heuristic Autor Michalewicz, Z. and Fogel, D.B. Editorial Springer-Verlag
- IRAM 6736 <http://www.cafcco.com.ar/wp-content/uploads/2016/03/Norma-IRAM-6736-Cajas-de-cart%C3%83%C2%B3n-corrugado.-Lineamientos-para-el-desarrollo-optimizacion-y-consolidacion-de-las-cargas-unitarias-de-expedicion.pdf>
- Ishikawa, K. (1994).” Introducción al Control de Calidad”. Editorial Diaz de Santos.
- ISO 3037 (2007), 3394 y 3696 (2012) disponibles en www.iso.org
- Jerry Banks (editor) (1998) “Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice”. Editorial (John Wiley and Sons Inc.
- Kahneman Daniel (1982) “Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases”. Cambridge University.
- Kahneman D., Lovallo D. (1993) “Timid choices and bold forecasts: a cognitive perspective on risk taking”. Management Science, Vo. 39, No 1, Jan. 1993. Pp.17-31.
- Kahneman D., Tversky A. (1979) “Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk” Econometrica, Vol. 47, No. 2 (Mar., 1979), pp. 263-291. Ed. The Econometric Society. Consultado 01/2018 en: <https://www.uzh.ch/cmsssl/suz/dam/jcr:000000000-64a0-5b1c-0000-00003b7ec704/10.05-kahneman-tversky-79.pdf>
- Kocjan W., Holmström K., "Generating stable loading patterns for pallet loading problems”. Applied Mathematics, Mälardalen University, Västeras, Suecia,. Presentado en The Fifth International Conference on Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems CPAIOR08, 2008. Consultado en: http://contraintes.inria.fr/CPAIOR08/BPPC/bppc08_submission_2.pdf
- Krafcik, J. (1988). “Triumph of the Lean Production System”. Sloan Management Review, otoño, páginas 41-52. <https://www.lean.org/downloads/MITSloan.pdf> (Disponible Junio 2017)

- Lim S., Yu S., ChangSoo Han & MaingKyu Kang (2010), “Palletizing Simulator Using Optimized Pattern and Trajectory Generation Algorithm,” INTECH Open Access Publisher, pp. 281-300. March 2010. Lim <http://cdn.intechweb.org/pdfs/10192.pdf>

- Martí, R (2001). “Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria”. Curso de Doctorado. Departamento de Estadística e Investigación Operativa Facultad de Matemáticas Universidad de Valencia. Disponible (julio 2017) en: <https://www.uv.es/rmart/paper/docs/heur1.pdf>

- Metaheuristic in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. AutorBlum, C. and Roli, A. EditorialACM Computer Surveys

- Myers, R.H., Walpole, R.E., Myers, S.L. (1999). “Probabilidad y Estadística para Ingenieros”. Ed. Pearson. Disponible (julio 2017) en <https://estadisticaunicaes.files.wordpress.com/2012/05/probabilidad-y-estadistica-para-ingenieros-6ta-edicion-ronald-e-walpole-raymond-h-myers.pdf>

- NORMA IRAM 6736, Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2013) <http://www.cafcco.com.ar/wp-content/uploads/2016/03/Norma-IRAM-6736-Cajas-de-cart%C3%83%C2%B3n-corrugado.-Lineamientos-para-el-desarrollo-optimizacion-y-consolidacion-de-las-cargas-unitarias-de-expedicion.pdf>

- Peirce, Charles S. (1958) “Collected Papers of Charles Sanders Peirce”. Volúmenes 1– 6 editados por C. Hartshorne, P. Weiss. Cambridge, Harvard University Press, 1931–1935; volúmenes 7–8 editados por A.W. Burks. Cambridge, Harvard University Press, 1958. Versión electrónica disponible (julio 2017) en: <https://colorysemiotica.files.wordpress.com/2014/08/peirce-collectedpapers.pdf>

- Pólya, G., (1945) "How to solve it" Universidad de Stanford, publicado en castellano “Como plantear y resolver problemas” (1965) Universidad de Princeton. Disponible (julio 2017) en https://notendur.hi.is/hei2/teaching/Polya_HowToSolveIt.pdf

- Prieto Corcoba, M. (2006). “Seis Sigma, qué es y cómo aplicarlo a la empresa española”. Editorial Asociación Española de Calidad.

- Prieto Corcoba, M. (2006). “Seis Sigma, qué es y cómo aplicarlo a la empresa española”. Editorial Asociación Española de Calidad.

- Redchuk, A., Cano E. L, Martínez Moguerza J. (2012). “Six sigma with R. Statistical Engineering for process Improvement”. Ed. Springer. Sitio: <http://www.sixsigmawithr.com/sixsigmawithr.html>
- Redchuk, A., Prieto M., (2016) “Calidad seis sigma”. Material de Estudio para el Master en Ingeniería de Sistemas de Decisión de la URJC.
- Rios Insua, S., Bielza, C., Mateos, A. (2001). “Fundamentos de los sistemas de Ayuda a la Decisión”. Editorial Ra-Ma.
- Rodríguez Tarango, J.A. (2010) “Manual de Fórmulas y Tablas de Envase y Embalaje”, Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje. IMPEE. México.
- Rodríguez Tarango, J.A. (2013) “Manual de Procedimientos de Pruebas de Laboratorio para Materiales de Envase y Embalajes”, Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje. IMPEE. México.
- Rodríguez Tarango, J.A.; Peña del Olmo M.; Mingramm M. G. (2003) “Aplicaciones e investigaciones en envase y embalaje”, Instituto Mexicano de Profesionales en Envase y Embalaje. IMPEE. México.
- Samaja, J. (2010) “Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica”, Editorial Eudeba, Buenos Aires, Argentina.
- Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, 3rd Ed. Autor Michael L. Pinedo Editorial Springer-Verlag, 2008
- Simón-Blas C. (2016), Material del curso “Análisis de Datos Avanzados”, para el Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas de Decisión. URJC, España.
- Sitio licenciario de TOPS Software Corporation <http://www.lyl-ingenieria.com> (Sitio corporativo TOPS: Topseng <http://topseng.com/>)
- Sitio online paletización <http://www.onpalet.com/>
- Sitio online paletización <http://www.packer3d.com/online/pal-by-box>

- Sitio TreeDim propietario de PLMPack StackBuilder
<http://www.treedim.com/stackbuilder/es/>
- Soler Toscano, F. (2012) “Razonamiento abductivo en lógica clásica”. En Cuadernos de lógica, epistemología y lenguaje Volumen 2 Razonamiento abductivo en lógica clásica. College Publications, King’s College London. Disponible (julio 2017) en:
<http://personal.us.es/fsoler/papers/previewRazAbdLC.pdf>
- SRT (2016) – Anuario accidentalidad laboral – Superintendencia de Riesgos de Trabajo. Argentina. Disponible en:
<http://www.srt.gob.ar/estadisticas/historico/publicaciones/infoanu/Anuario2015-2016.pdf>
- Steudel H.J. (1979) “Generating Pallet Loading Patterns: A Special Case of the Two-Dimensional Cutting Stock Problem”. Management Science Vol. 25, N°10, pp. 997-1004. Consultado en:
http://ie1.kaist.ac.kr/~mflab/Courses/Logistics_management/lecture_note14/Article_pallet_loading_by_DP.pdf
- Verzani, J (2005) “Using R for Introductory Statistics”. Editorial. Chapman . Hall. Disponible (Julio 2017) en <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Verzani-SimpleR.pdf>
- Von Furstenberg, G. M. (1990) “Acting Under Uncertainty: Multidisciplinary Conceptions”. Boston: Kluwer Academic Publishers, Theory and Decision Library. Review disponible (Julio 2017) en:
https://www.researchgate.net/publication/5221250_Von_Furstenberg's_Acting_under_Uncertainty_Multidisciplinary_Conceptions
- Ynoub, R. (2014) “Características y funciones de las hipótesis en el proceso de investigación”. Cap. VI En “Cuestión de método. Aportes para una metodología crítica”. México, Ed. Cengage Learning.
- Ynoub, R. (2014) “Problematizar: nudo argumental del trabajo de investigación” Cap. V En “Cuestión de método. Aportes para una metodología crítica”. México, Ed. Cengage Learning.
- Zúñiga C., Vargas-Osorio S. (2016) “A Literature Review on the Pallet Loading Problem”, Lámpsakos, no. 15, pp 69 - 80, 2016

Anexos

Para acceder a los códigos de programación creados y mencionados en el presente escrito, deben comunicarse por correo electrónico con la autora.

Irma Noemi No

Capítulo 3

Anexo 1

1. Basado en su experiencia en procesos logísticos que involucran paletizado, marque la opción que considera adecuada para cada renglón:

Incidentes	Probabilidad del Riesgo (marcar una sola opción por renglón)				
	26-99 %	11-25 %	6-10 %	2-5 %	1 %
Derrumbes (R1)					
Vuelcos (R2)					
Desplazamientos (R3)					
Pandeos de embalaje (R4)					
Colapso/Compresión (R5)					
Deterioro (R6)					
Ejecución (R7)					

2. Basado en su experiencia en procesos logísticos que involucran paletizado, marque la opción que considera usual para cada renglón:

Incidentes	Impacto del Riesgo (marcar una sola opción por renglón)					
	Accidentes laborales (Irreparable)	Pérdida total de unidad de carga (Muy serio)	Pérdidas de embalajes y productos (Serio)	Pérdida de embalajes (Significante)	Necesidad de repaletizado (Menor)	Medidas de Sujeción y consolidación (Insignificante)
Derrumbes (R1)						
Vuelcos (R2)						
Desplazamientos (R3)						
Pandeos de embalaje (R4)						
Colapso/Compresión (R5)						
Deterioro (R6)						
Ejecución (R7)						

Anexo 1 (Continuación)

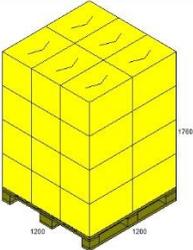
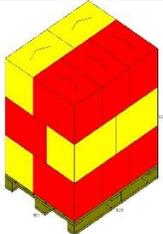
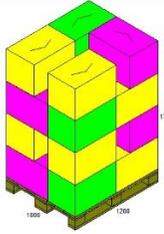
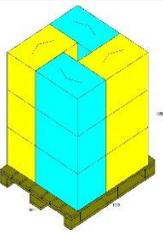
3. Relación Distribución - Riesgos

De acuerdo a su criterio: Marque los riesgos que se relacionan con las distribuciones de paletizado que se detallan

Distribución	Riesgos						
	Derrumbes	Vuelcos	Desplazamientos	Pandeos	Colapso/Compresión	Deterioro	Errores de Ejecución
C <i>Encolumnado</i>							
B <i>Intercalado-Entrelazado</i>							
T <i>Tribloque</i>							
D <i>Diagonal-Espiralado</i>							

Irma Noemi No

VISTAS

C - <i>Encolumnado</i>	B - <i>Intercalado-Entrelazado</i>	T - <i>Tribloque</i>	D - <i>Diagonal-Espiralado</i>
			

Anexo 2

Caso-Respuesta al formulario

Encuesta de Riesgos en tareas logísticas de paletización

Aportación de situaciones consideradas más usuales

1. Basado en su experiencia en procesos logísticos que involucran paletizado, marque la PROBABILIDAD de ocurrencia que considera adecuada para cada incidente (renglón): *

	26-99 %	11-25 %	6-10 %	2-5 %	1 %
Derrumbes (R1)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vuelcos (R2)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desplazamientos (R3)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pandeos de embalaje (R4)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Colapso/Compresión (R5)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Deterioro (R6)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ejecución (R7)	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. Basado en su experiencia en procesos logísticos que involucran paletizado, marque el IMPACTO que considera más usual para cada incidente (renglón): *

	Accidentes laborales	Pérdida total de unidad de carga	Pérdidas de embalajes y productos	Pérdida de embalajes	Necesidad de repaletizado	Medidas de Sujeción y consolidación
Derrumbes (R1)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vuelcos (R2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desplazamientos (R3)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pandeos de embalaje (R4)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Colapso/Compresión (R5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Deterioro (R6)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ejecución (R7)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Irma Noemi No

3. Relación Distribución - Riesgos: De acuerdo a su criterio: Marque los riesgos que se relacionan con las distribuciones de paletizado que se detallan:

VISTAS



	Derrumbes (R1)	Vuelcos (R2)	Desplazamientos (R3)	Pandeos (R4)	Colapso/Compresión (R5)	Deterioro (R6)	Errores de Ejecución (R7)
C - Encolumnado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
B - Intercalado-Entrelazado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
T - Tribloque	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
D - Diagonal-Espirado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Irma Noemi No

4.Cuál de las distribuciones anteriores prefiere y porqué? *

D - El cambio de disposición en los bordes evita el desplazamiento de la carga en movimiento.

Irma Noemi No

No, Irma Noemi

Recursos informáticos para paletizar / Irma Noemi No. - 1a ed . - Banfield : Irma Noemi No, 2020.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-86-6350-0

1. Logística. 2. Desarrollo de Programas. I. Título.
CDD 005.384

Impreso en Argentina.

©2020, Irma Noemi No

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

En el ámbito de la ingeniería de empaque muchas veces no es posible seguir el curso de la lógica clásica mediante un encadenamiento de razonamientos deductivos que indefectiblemente conduzcan a una conclusión válida, es un terreno en el cual los resultados inesperados empujan la investigación al uso de un pensamiento abductivo. Nos planteamos entonces: ¿Cuál es la lógica que debe seguir un programa de soporte a las decisiones de empaque y paletizado? ¿Es posible generarlo desde entornos de desarrollo de código abierto, conservando la robustez ofrecida por los utilitarios de pago? Estos análisis son los disparadores que han inspirado este escrito.

