



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL**

**OPTIMIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN  
DE LAS ÓRDENES DE FABRICACIÓN EN  
UNA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA.  
APLICACIÓN EN ULTRA CONGELADOS DE  
LA RIBERA S.L.**

AUTORA: CARLA TALENS FAYOS

TUTOR: EDUARDO VICENS SALORT

COTUTOR: JOSÉ VERDEGUER CUESTA

**Curso Académico: 2014-15**



# Índice general

---

<b>1. Antecedentes, motivación y justificación</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes . . . . .	3
1.2. Motivación . . . . .	3
1.3. Justificación . . . . .	3
<b>2. Objetivos</b>	<b>5</b>
<b>3. Análisis del proceso de planificación y control de la producción actual</b>	<b>7</b>
3.1. Presentación de la empresa Ultra Congelados de la Ribera . . . . .	7
3.1.1. Historia . . . . .	7
3.1.2. Situación actual de la planta de producción . . . . .	7
3.1.3. Características de la planta de producción . . . . .	8
3.2. Gestión de la previsión . . . . .	18
3.2.1. Generación de la previsión de venta . . . . .	18
3.2.2. Aplicación de la metodología utilizada para generar la previsión de venta . . . . .	19
3.3. Sistema de planificación de la producción . . . . .	22
3.3.1. Gestión de stocks . . . . .	22
3.3.2. Planificación a largo plazo . . . . .	28
3.3.3. Planificación maestra a medio y corto plazo . . . . .	29
3.3.4. Planificación de las necesidades de materiales . . . . .	33
3.4. Sistema de programación de las órdenes de fabricación . . . . .	35
3.4.1. Asignación de las órdenes de fabricación a las líneas . . . . .	35
3.4.2. Secuenciación de las órdenes de fabricación . . . . .	37
3.4.3. Temporización de las órdenes de fabricación . . . . .	39
<b>4. Propuesta de optimización de la programación de las órdenes de fabricación</b>	<b>41</b>
4.1. Introducción. Planteamiento del problema . . . . .	41
4.2. Propuesta de optimización de la secuenciación . . . . .	42
4.2.1. Secuenciación de n trabajos en una máquina con el tiempo de cam- bio dependiente de la secuencia . . . . .	42
4.2.2. Análisis y estandarización de los tiempos de cambio y aplicación del algoritmo de Kaufman . . . . .	45
4.2.3. Evaluación de los resultados con el algoritmo de Kaufman . . . . .	48
<b>5. Resultados</b>	<b>63</b>
5.1. Implantación del sistema propuesto de secuenciación . . . . .	63

---

5.2. Ahorros previstos con la implantación del sistema . . . . .	63
5.3. Otras propuestas futuras en los procesos de asignación y secuenciación . .	64
<b>Apéndice A. Planos</b>	<b>67</b>
<b>Apéndice B. Cálculo de los tiempos de cambio</b>	<b>71</b>
B.1. Código del programa para el cálculo del tiempo de cambio . . . . .	71
B.2. Matriz de entrada en MATLAB para el cálculo de tiempos de cambio . . . .	72
<b>Apéndice C. Algoritmo de Kaufman y resultados</b>	<b>81</b>
C.1. Código del algoritmo de Kaufman en MATLAB . . . . .	81
C.2. Secuencias del caso 1 . . . . .	81
C.3. Secuencias del caso 2 . . . . .	85
C.4. Secuencias del caso 3 . . . . .	87
C.5. Secuencias del caso 4 . . . . .	91
C.6. Secuencias del caso 5 . . . . .	91
C.7. Secuencias del caso 6 . . . . .	93

# **1 Antecedentes, motivación y justificación**

---

## **1.1. Antecedentes**

Este proyecto ha sido realizado en la empresa Ultra Congelados de la Ribera S.L., empresa formada a través de una Joint Venture del Grupo Ardo y Bonduelle, dedicada a la producción y envasado de verduras ultra congeladas, aprovechando la estancia en prácticas en el departamento de Supply Chain.

## **1.2. Motivación**

La motivación para la realización del presente Trabajo Final de Grado es la obtención del título de Graduada en Ingeniería de Organización Industrial por la Universitat Politècnica de València.

Además, la idea de la realización de este trabajo surge a raíz de la realización de prácticas en la empresa Ultra Congelados de la Ribera y de la oportunidad de analizar detalladamente el proceso de planificación y programación de la producción de esta empresa.

## **1.3. Justificación**

La planificación y programación de la producción, es la actividad que permite coordinar y conducir todas las operaciones de un proceso productivo, con el objetivo de cumplir los compromisos asumidos con los clientes de la empresa.

Se debe tener presente que un sistema de planificación y control de la producción efectivo puede proporcionar una ventaja competitiva sustancial para una empresa en su mercado. Es una de las actividades más delicadas que se tiene que realizar en una organización, ya que facilita las herramientas necesarias para definir lo que ha de producirse y poder atender las necesidades y requerimientos del mercado.

Otro punto vital para cualquier empresa es la gestión de stocks, por lo que es muy importante controlar los niveles de inventario. La correcta gestión del stock no afecta únicamente al área de planificación, encargada de planificar la producción según la previsión de ventas y el nivel de stock, sino al área de logística y transporte, al departamento de ventas y al departamento de finanzas. Por tanto, es importante un análisis de la situación actual para optimizar el nivel de stock y adecuarlo a las necesidades de cada producto.

El presente proyecto es fruto de la necesidad de analizar y proponer mejoras en el proceso de planificación y programación para ajustar la producción a las necesidades de venta y, de esta manera, poder optimizar el nivel de servicio al cliente.



## 2 Objetivos

---

En base a lo anterior, en este Trabajo Final de Grado se han marcado los siguientes objetivos:

- Conocer los procesos de fabricación de la empresa Ultra Congelados de la Ribera, así como sus clientes y la variedad actual de productos.
- Estudiar la gestión de la previsión de la demanda.
- Estudiar la gestión de stocks en la empresa, analizando el cálculo del stock de seguridad y del lote óptimo.
- Conocer y examinar el sistema de planificación de la demanda, tanto a largo como a corto plazo.
- Analizar el proceso de programación de la demanda, diferenciando las distintas partes, asignación, secuenciación y temporización.
- Formalizar todos los procesos planteados en los puntos anteriores.
- Identificar las causas de los problemas actuales en la secuenciación de las órdenes de fabricación.
- Plantear un método alternativo para secuenciar de manera más efectiva las órdenes de fabricación.



## **3 Análisis del proceso de planificación y control de la producción actual**

---

### **3.1. Presentación de la empresa Ultra Congelados de la Ribera**

Este proyecto se desarrolla en su totalidad en el departamento de planificación de Ultra Congelados de la Ribera<sup>1</sup>, empresa del sector agroalimentario dedicada a la producción y envasado de productos vegetales congelados.

#### **3.1.1. Historia**

En 1959, se fundó Frudesa en la localidad de L'Alcúdia, dedicándose a la elaboración de vegetales ultra congelados. En 1972, amplió sus actividades a la elaboración de productos precocinados y pescados. En 1988, se construye la planta en Benimodo, destinándose inicialmente a la elaboración de productos precocinados y pescados. En 1990, el grupo Saint Louis (Euralim) adquiere el 60% de la empresa, que pasa a ser de Danone cuando éste adquiere Euralim. En 1995, Unilever adquiere la mayoría de Frudesa, y, en 1997, compra el 100% de la misma. En 1997, se cierra la planta de L'Alcúdia, trasladándose todas las actividades a la factoría de Benimodo. En el año 2001, se produce la alianza Bonduelle-Unilever, pasando Frudesa a ser propiedad de Bonduelle. En el 2007, se crea Bonduelle Ibérica SAU, como resultado de la fusión de Bonduelle España, Frudesa, Bonduelle Ibérica y Congelados Vegetales del Norte.

Finalmente, en el año 2011, Ardo y Bonduelle crean una Joint Venture con el nombre de Ultra Congelados de la Ribera para atender los mercados portugués y español. En el año 2013, se anuncia el cese de la actividad de envasado de verdura congelada en la planta de Marcilla (Navarra) y el traspaso de su centro de almacenamiento, 'picking' y distribución al grupo Ardo.

#### **3.1.2. Situación actual de la planta de producción**

La planta está situada en el pueblo de Benimodo, entre los términos de l'Alcúdia y Carlet. La superficie total de la fábrica es de 75.000 m<sup>2</sup>, de los cuales hay construidos 40.000 m<sup>2</sup>.

La fábrica de Benimodo cuenta con un equipo humano de 150 fijos de plantilla más un número variable de eventuales que oscila, según campañas, alrededor de 130 personas. Este equipo humano está estructurado en departamentos al frente de los cuales hay un

---

<sup>1</sup>A partir de ahora, se nombra como UCR.

responsable que cuenta con la preparación y experiencia requerida para el desempeño adecuado de sus funciones.

Actualmente, centra su actividad en la producción de:

- Verduras ultra congeladas: maíz, guisante y hojas (espinaca, acelga y grelo).
- Productos precocinados: arroces, salteados, menestras, parrilladas, etc.

Los clientes de Ultra Congelados de la Ribera están agrupados en 6 grandes grupos:

- Ardo Grupo: Multinacional dedicada a la producción y venta de verdura congelada. Se venden productos a España y a otros países de Europa, como Francia, Bélgica, Inglaterra, etc.
- Bonduelle: Empresa francesa cuya actividad principal es la producción de verduras en conserva, fresca y congelada. Cuenta con 58 plantas industriales distribuidas en Europa, Latinoamérica y Canadá.
- Ardovries España: Ardo tiene presencia en España en diferentes actividades a través de Ardovries España. Cuenta con una planta de producción en Badajoz y otra en Benimodo. En Marcilla (Navarra) se encuentran las instalaciones logísticas para la distribución.
- Findus: Empresa multinacional centrada en el mercado de la alimentación congelada. En 2011, Findus compra a su gran competidor Frudesa y se queda como la única marca del mercado en verduras ultracongeladas, y con Findus Salto como marca de salteados.
- Gelagri: Compañía francesa dedicado a la elaboración de verduras y productos elaborados congelados. Cuenta con cuatro plantas de producción, dos en Francia (Loudéac y Saint Caradec) y dos en España (Milagro y Santaella).
- Venta Industria: Este grupo está formado por 27 empresas nacionales y extranjeras, a las que se le vende tanto producto semielaborado como terminado.

### 3.1.3. Características de la planta de producción

#### 3.1.3.1. Tipos de productos

Antes de analizar el proceso de planificación, es importante estudiar como están estructurados los diferentes productos de la compañía. En total, UCR dispone de 418 referencias que, a continuación, se van a clasificar según distintos criterios.

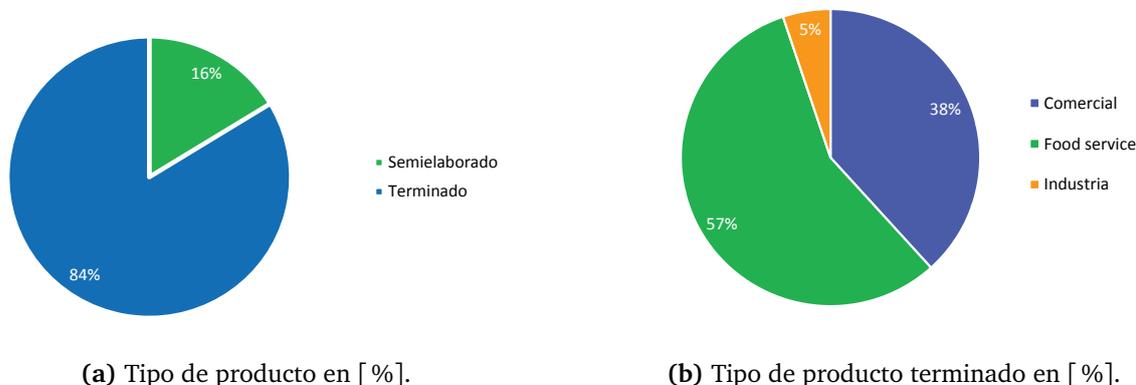
#### Clasificación según formato

- Producto semielaborado: Formado por 68 referencias. Suelen ser materias primas procedentes de las campañas agrícolas, es decir, maíz, guisante y 'hojas', aunque también se adquieren otros productos, como perejil o alcachofa, para su posterior venta a algún cliente. Normalmente, se venden en octobín<sup>2</sup> de cartón con bolsón de plástico.

---

<sup>2</sup>Contenedor de cartón en el que se almacena el producto semielaborado.

- **Producto terminado:** Aproximadamente 350 referencias de producto terminado envasado con distintos formatos y para diferentes marcas.



**Figura 3.1:** Clasificación de productos según su formato.

A su vez, este segundo grupo se puede dividir en tres categorías, tal y como se muestra en la figura 3.1b, según su formato y destino:

- **Formato comercial:** Son los productos que el consumidor puede encontrar en los lineales de los supermercados. Según el producto y la marca, se envasan en distintos formatos. Algunos de ellos son 350 g, 450 g, 500 g, 750 g, etc.
- **Formato restauración (Food Service):** Son los productos destinados a uso en hostelería y restauración. Se envasan en formatos de mayor tamaño que los productos de formato comercial. Los más usuales son bolsas de 1 kg y de 2,5 kg.
- **Formato industria:** Son las referencias que se fabrican para su uso en industria, normalmente son envasadas en formatos grandes, de 1 kg o 2,5 kg.

#### *Ventas según tipo de producto*

En la figura 3.2a, se puede observar el porcentaje de producto semielaborado vendido frente a producto envasado.

#### **Clasificación según cliente**

Se puede hacer una clasificación de los productos según el cliente para el que se fabrican o envasan. En UCR se fabrica una referencia para un único cliente, es decir, el producto en sí puede ser el mismo y utilizar los mismos ingredientes para su fabricación pero se utiliza una referencia para cada cliente.

- **Ardo Grupo:** Para este cliente, UCR produce 8 productos semielaborados, como 'Maíz grano superdulce', y envasa 45 referencias de producto terminado, por ejemplo, 'Setas con ajo y perejil'.
- **Bonduelle:** Se envasan 26 referencias de producto terminado, tanto en formato comercial, como el producto 'Risotto verde mijote', como en formato restauración, por ejemplo, 'Arroz 3D 4x2,5'.



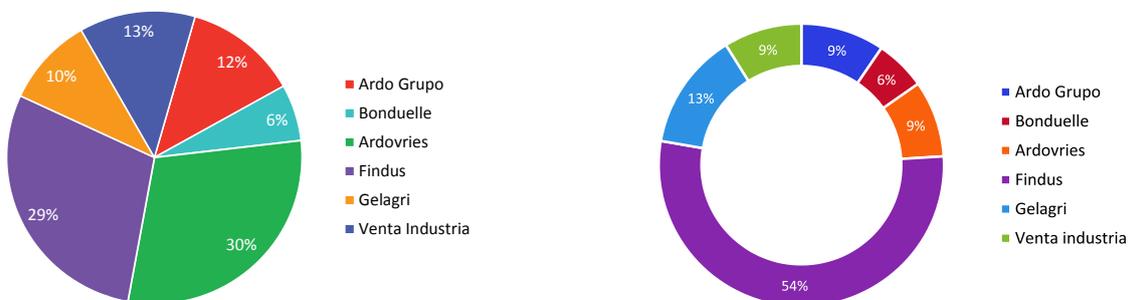
(a) Distribución de ventas según el tipo de producto.

(b) Distribución de ventas según el tipo de producto terminado.

**Figura 3.2:** Clasificación de las ventas según el tipo de producto.

- **Ardovries:** Se producen 22 productos semielaborados, por ejemplo, 'Ajete cortado 20-40 mm' y 102 referencias de producto terminado, como la 'Parrillada de verduras con gambas 10x400'.
- **Findus:** Es un de los clientes con más porcentaje de referencias envasadas en la planta de UCR. En total, 121 referencias de la marca Findus y Frudesa. Algunos ejemplos son 'Patata jamón y queso 16x400' y 'Espinaca hoja 6x1'.
- **Gelagri:** Se envasan 41 referencias de producto terminado, como el 'Arroz 3D Marisco 16x500'. Este producto, por ejemplo, se envasa para este cliente con distintas marcas y varios formatos; en cada caso es una referencia distinta.
- **Venta industria:** Para este grupo, UCR produce 35 productos semielaborados, por ejemplo, 'Acelga industria 50 gr' y 18 referencias de producto terminado, como 'Acelga 10x1'.

En la figura 3.3a, se muestra el porcentaje de referencias para cada uno de los clientes. Tal y como se ha comentado anteriormente, Findus, junto con Ardovries, es el cliente para el que se producen o envasan más referencias.



(a) Referencias fabricadas según cliente en [%].

(b) Distribución de ventas según el cliente.

**Figura 3.3:** Clasificación de referencias y ventas según el cliente.

### *Ventas según cliente*

En la figura 3.3b, se muestra la distribución de las ventas según el cliente. Se puede observar que, actualmente, el principal cliente de UCR es Findus, esto se debe a la gran cantidad de referencias que se fabrican para esta marca y a la venta elevada de muchas de ellas, como la 'Menestra Huerta 16x750', con una venta semanal de 16 toneladas, o 'Guisantes finos 12x750', con una venta semanal de unas 30 toneladas.

### **Clasificación según fabricación**

En UCR, se fabrican o envasan 50 referencias contra pedido, es decir, se lanza la orden de fabricación una vez recibido el pedido en firme del cliente. El resto de productos se envasan contra almacén, a partir de las previsiones que proporciona el cliente.

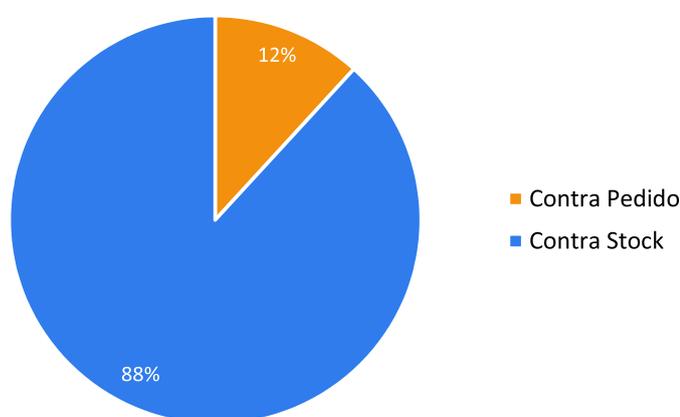


Figura 3.4: Referencias fabricadas contra almacén y contra pedido en [%]

#### **3.1.3.2. Procesos de fabricación de la planta**

En la planta de Benimodo, la actividad productiva se puede agrupar en 3 tipos de procesos:

- Producción de verduras
- Producción de precocinados
- Envasado

#### **Producción de verduras**

El proceso de producción de verduras empieza con la gestión agrícola. El departamento agrónomo realiza un riguroso análisis de semillas y plantas y selecciona los mejores campos para cada cultivo. En su mayor volumen, las verduras se cultivan en la zona agrícola de Albacete, Valencia y Alicante. Ultra Congelados de la Ribera sigue la política de no utilización de OGM (Organismos Genéticamente Modificados) y un uso mínimo de pesticidas. La cosecha de los cultivos se realiza en el momento óptimo, tanto para la calidad

de las verduras como para la capacidad de la fábrica. Con el fin de preservar la frescura del producto, el transporte a la fábrica se realiza rápidamente. Además, el primer control de calidad se realiza en el momento en que se recepciona el producto en fábrica.

**Tabla 3.1:** Toneladas cosechadas anualmente de verduras junto con la temporada de cosecha.

	Maíz	Guisante	Espinaca	Grelo	Acelga
Campaña	Jul-Oct	Abr-Jun		Abril-Mayo	Octubre-Noviembre
Cosecha	15000	9000	8000	1800	250

### *Línea maíz*

En UCR, se produce maíz, tanto en grano como en mazorca. Cuando se recibe el maíz en fábrica, se debe hacer una selección del maíz mazorca que se va a utilizar como grano y el que se destina a formato mazorca, según el aspecto o tamaño de las mismas. Los pasos en la producción del maíz son los mismos tanto para mazorca como para grano.

La primera etapa es la limpieza del maíz con el fin de quitar tierra y suciedad, para ello se pasa por unos separadores, tamices y ventiladores que eliminan impurezas. En el caso de maíz mazorca, tras la limpieza, se hace otra selección para destinar a grano y se clasifica según calidades en 'Maíz mazorca superdulce' y 'Maíz mazorca dulce'. El maíz en grano también se clasifica en 'Maíz superdulce' y 'Maíz dulce'. Después, se pasa por unos escáneres electrónicos y se somete a un control visual para eliminar cuerpos extraños.

La siguiente etapa es el escaldado, que consiste en una primera fase de calentamiento del maíz a una temperatura que oscila entre 75 °C y 95 °C. A esta etapa le sigue otra, que consiste en mantenerlo durante un periodo de tiempo, que varía entre 30 segundos y dos o tres minutos, a la temperatura deseada. El objetivo del escaldado es la destrucción de enzimas que afectan al color, sabor y contenido vitamínico.

Seguidamente se realiza un enfriamiento rápido para preservar la textura y estructura del producto. Posteriormente, el maíz se almacena en grandes cajas u octobines en los almacenes de producto semielaborado, a temperatura controlada de entre -26 °C y -29 °C, de donde se van extrayendo según se necesitan en la línea de mezclas o envasado. Véase el plano A.1 en el anexo A.

### *Línea guisante*

Tras la recepción en fábrica, el guisante se limpia siguiendo el mismo proceso que en la línea de maíz. Después de limpiarlo y eliminar materias extrañas, el guisante se clasifica en distintas calidades según su calibre, pequeño, si su diámetro es menor que 8,75 mm y grande, si es mayor que 8,75 mm. Dentro de estos dos grupos, se clasifican según la tenderometría<sup>3</sup> y otras características, como la variación de color.

Seguidamente, se procede al escaldado del guisante, se enfría rápidamente y se almacena en octobines para su ubicación en las cámaras de semielaborados. Véase el plano A.1 en el anexo A.

<sup>3</sup>Resistencia del guisante al corte, determina su grado de ternura.

*Línea espinaca, grelo y acelga*

Esta línea de productos se clasifica en 4 formatos: bloque, hoja, IQF (Individual Quick Freezing) y wok.

- **Bloque:** Tras la limpieza y el escaldado, la espinaca se congela en bloques, en congeladores de flujo con aire mínimo a  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para conseguir una mejor textura y sabor. Seguidamente, se almacenan en cámaras intermedias para su posterior serrado y envasado.
- **Hoja:** El procesado y almacenamiento es el mismo que el de la espinaca en bloque, pero posteriormente se sierra y envasa en hojas.
- **IQF (Individual Quick Freezing):** Tras el escaldado, la espinaca se congela rápidamente en bloques menos compactos, en los que la espinaca está más suelta.
- **Wok:** Tras el escaldado, se hace una selección de espinaca para saltar con aceite y ajo, tipo wok. Posteriormente, se congela en bloques para su almacenamiento.

**Tabla 3.2:** Producción anual de verduras en toneladas.

	Maíz	Guisante	Espinaca	Grelo	Acelga
Producción	10000	7000	6000	1200	200

El resto de verduras congeladas, necesarias para la mezcla de los productos a envasar, se compran a otras fábricas del Grupo Ardo o de Bonduelle. Normalmente, una vez realizado el pedido, se recibe en el plazo máximo de una semana. Aunque puede haber excepciones en las que la fábrica no tenga el producto preparado y la entrega se demore unos días más.

### Producción de precocinados

Las comidas preparadas o precocinadas cuentan con una gran variedad de ingredientes: verduras, arroz, pasta, tortilla, jamón, etc. UCR dispone de varias líneas de precocinados en la que se producen estos productos intermedios necesarios para el envasado de producto terminado. Véase el plano A.3 en el anexo A.

*Línea arroz*

El arroz que se compra al proveedor es vaporizado. El tratamiento que se hace en la línea de arroz consiste en una primera fase de cocción e hidratación y, posteriormente, la congelación del arroz.

En esta línea, una báscula dosificadora va introduciendo el arroz en el cocedero, en el que primero se cuece el arroz con un sistema de duchas con agua caliente a  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En esta etapa del proceso se añaden colorantes al arroz. Seguidamente, el arroz es refrigerado con duchas de agua fría a temperatura entre  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Posteriormente, el arroz se lleva hasta el túnel de congelación, consistente en un lecho sobre el que se desplaza el arroz hasta una bañera rectangular oscilante con microagujeros en la base, a través de los que se inyecta aire a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Con este proceso se consigue

que el arroz burbujee y, de esta manera, se consigue un arroz IQF, es decir, congelado grano a grano, sin agrupaciones.

Finalmente, el arroz se almacena en contenedores para su venta o posterior uso en fabricación.

#### *Línea pellets*

Los platos precocinados también contienen pellets, unas pastillas que intensifican el sabor de los mismos. Están hechos a base de una mezcla que se elabora en un caldero industrial, donde se cocinan todos sus ingredientes. El producto resultado se enfría y congela para, posteriormente, cortarlo en forma de pastilla. Se suelen producir, aproximadamente, 450 toneladas al año. Algunos pellets, por ejemplo 'Pellet de arroz negro', se producen tanto para uso interno como para venta a alguno de los clientes.

Los pellets que no se fabrican en Benimodo, como el 'Pellet de ajo y harina' se compran a Ardo Dinamarca y el plazo de entrega suele estar entorno a un mes.

#### *Línea tortilla*

La base para fabricar las tortillas es huevo líquido pasteurizado refrigerado. Cuando se reciben los tanques de huevo, se añaden los aditivos necesarios en función de la referencia de tortilla que se va a fabricar.

Seguidamente, el huevo se bombea hasta un tanque de alimentación refrigerado. De ahí, pasa a un horno continuo, con velocidad y temperatura programada, consistente en una resistencia, en la parte baja, debajo de una lona que soporta altas temperaturas. En la parte superior hay otra resistencia al aire. El huevo se expande por la lona y se cuece con el mismo sistema de duchas que en la línea de arroz.

Después, la tortilla pasa a la línea de cubeado, donde con una guillotina se corta a las medidas necesarias según la referencia.

Finalmente, se introduce en el túnel de congelación y se almacena en contenedores para su posterior uso o para su venta como producto semielaborado.

#### *Línea cubeado*

La mayor parte de los platos precocinados cuenta con carne o fiambre entre sus ingredientes. Estos productos normalmente se compran en formato barra, por lo que hay que cortarlos a las medidas necesarias para posteriormente mezclarlos con el resto de ingredientes.

Los productos cárnicos se adquieren a proveedores nacionales. El plazo de entrega suele estar entorno a una semana.

### **Proceso de envasado**

En UCR se envasan aproximadamente 350 referencias de producto terminado. Se dispone de seis líneas de envasado, divididas en tres grupos: mezcla de semielaborados, envasado de comidas preparadas y envasado de verdura básica. Véase el plano A.4 en el anexo A.

**Tabla 3.3:** Líneas de productos precocinados con la producción anual en toneladas.

Línea precocinado		Producto	Producción
Arroz	Cabina blancher	Arroz blanco, con colorante, aromatizado y pasta	5000
Pellets	Contact Freezer	Salsas en forma de pellet	460
Tortilla	-	Tortillas	260
Cubeado	Máquina cortadora	Fiambre (jamón, bacon, lomo, etc)	360

*Línea de premezclas*

En esta línea se mezcla aromas, disoluciones y pellets que posteriormente se utilizarán en alguna línea de envasado. Por ejemplo, para el envasado de la referencia 'Espinacas, pasas y piñones 12x650' se necesita mezclar previamente el pellet y aroma correspondiente a este producto.

*Línea de mezclas*

En el mezclador se realiza la mezcla de ingredientes necesarios para, posteriormente, envasar en las líneas de envasado M5, M6 y M7. Por ejemplo, para envasar la referencia 'Salteado tradicional 20x450', hay que mezclar previamente los siguientes ingredientes:

- Judía verde cocida 6,5-8 mm.
- Tomates 12x12.
- Cebolla dados 10x10.
- Champiñon laminado.
- Calabacín asado 20 mm.
- Zanahoria tiras 6x6x30.

*Líneas de envasado de platos precocinados*

Se dispone de 3 líneas para envasar comidas precocinadas con alguna pequeña diferencia entre ellas:

- Multicabezal 2: También envasa productos de la familia 'paella' y aquellos que necesiten un control de rayos X antes de ser envasados.
- Multicabezal 3: Envasado de platos precocinados. Esta línea no tiene ninguna característica especial.
- Multicabezal 4: Envasa platos precocinados sin aroma, por ejemplo 'Verduras al vapor Mediterráneo' y productos de la familia Coalza.

*Líneas de envasado de verdura básica y mezclas monoproducto*

En estas líneas, M5, M6 y M7, se envasan productos de verdura básica, por ejemplo 'Juliana pimientos asados 6x1', y mezclas monoproducto, como la 'Menestra de verduras 10x1', cuyos ingredientes se han mezclado previamente en el mezclador.

- Multicabezal 5: Esta línea no tiene ninguna característica especial.
- Multicabezal 6: Los formatos de 1 kg y 2,5 kg se envasan exclusivamente en esta línea. También se envasan mazorca y grelos en dado.
- Multicabezal 7: Esta línea no tiene ninguna característica especial.

*Líneas de corte y envasado de espinaca, grelo y acelga*

- Norfo Serrado: Corte de espinaca y grelos en bloque para su posterior envasado en la línea M6.
- Norfo Envasado: Corte y envasado de espinaca y grelos en formato flowpack.<sup>4</sup>
- Stein: En esta línea se realiza el corte en bloques de espinacas, acelgas y grelos. Se envasa en estuche y en flowpack, con combinaciones de 2 ó 4 bloques.

*Línea de envasado de mazorca*

Actualmente, en esta línea se envasan 9 referencias de mazorca en distintos formatos.

En la tabla 3.4 se muestran las distintas líneas junto con la producción anual en toneladas.

**Tabla 3.4:** Líneas de envasado con la producción anual en toneladas.

Proceso	Línea	Producción
Semielaborado	Premezclas	70
	Mezclador	8600
Platos precocinados	Multicabezal 2	4100
	Multicabezal 3	4100
	Multicabezal 4	1600
Mezclas monoproducto	Multicabezal 5	2100
	Multicabezal 6	5600
	Multicabezal 7	7300
Espinaca, grelo y acelga	Norfo	2000
	Stein	2100
Mazorca	Cob	650

Cada línea de envasado dispone de un sistema automático de encajado. Se trabaja con una variedad bastante amplia de formatos de encajado, desde 10 bolsas de 350 gramos,

<sup>4</sup>Bolsa con 2 o 4 bloques envasados por pares en bolsas separadas.

hasta 4 bolsas de 2,5 kg o simplemente 1 bolsa de 8 kg. Según el formato del producto envasado, el sistema coloca las bolsas de producto terminado en las cajas.

El paletizado de las cajas lo realiza un robot paletizador. Actualmente, cada par de líneas de envasado dispone de un robot paletizador.

Tras el paletizado, los palets se almacenan en el almacén de producto terminado a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Normalmente, se suelen almacenar alrededor de 4000 palets de producto terminado.

## 3.2. Gestión de la previsión

Las previsiones son el primer paso dentro del proceso de planificación de la producción, ya que sirven como punto de partida para la elaboración de los planes a medio y corto plazo. Ayudan a visualizar de manera aproximada las ventas futuras, tratando de eliminar gran parte de la incertidumbre para reaccionar con rapidez ante cambios inesperados con algún grado de precisión.

El departamento de planificación realiza una previsión de venta para cada cliente dependiendo de la información que este le proporciona y de las características de cada uno. La información que proporciona cada cliente es la siguiente:

- Ardo Grupo: No proporciona previsiones de sus ventas.
- Bonduelle: Su previsión y su stock actualizado se extrae del ERP en el que UCR está integrado.
- Ardovries: Este cliente proporciona sus pronósticos de ventas mensuales con un horizonte de 12 meses.
- Findus: Facilita su previsión semanal con un horizonte de 13 semanas y su previsión mensual con un horizonte de 12 meses.
- Gelagri: Proporciona la previsión de algunos de sus productos y de otros no. Su stock actualizado se extrae del ERP en el que UCR está integrado.
- Venta industria: El planificador se basa en los históricos de ventas para proyectar a corto plazo las ventas futuras. Se realizan revisiones trimestrales de estas proyecciones.

### 3.2.1. Generación de la previsión de venta

Las previsiones que dan los clientes no siempre ofrecen unos valores coherentes. Para poder elaborar una previsión de ventas con más fiabilidad, el planificador opta por utilizar la siguiente técnica de alisado cuantitativa <sup>5</sup> de la previsión que proporcionan los clientes:

- Media móvil ponderada: Es una variación de la media móvil en la que no todos los datos tienen el mismo peso. Esto permite que los datos que tienen mayor importancia tengan mayor peso, todos los pesos deben sumar 1 y la distribución de los pesos determina la velocidad de respuesta del pronóstico.

La fórmula para calcular la venta media ponderada de las 13 semanas anteriores es:

$$\bar{V}_{pond} = 0,5 \cdot \bar{V}_{13} + 0,3 \cdot \bar{V}_9 + 0,2 \cdot \bar{V}_6 \quad (3.1)$$

donde,  $\bar{V}_{13}$ ,  $\bar{V}_9$  y  $\bar{V}_6$ , son la media de las ventas reales de las 13, 9 y 6 semanas anteriores, respectivamente.

Con este proceso, el problema que podría ocasionar el hecho de que Ardo Grupo y Gelagri no proporcionen previsiones, queda prácticamente resuelto.

<sup>5</sup>Utilizada para elaborar pronósticos, se basan en datos del pasado utilizando procedimientos de cálculo.

La previsión de ventas a partir de la que se planificará la producción se genera agregando en un fichero \*Excel la siguiente información:

- Previsión semanal y stock actualizado de Bonduelle.
- Previsión mensual de Ardovries, explosionada en semanas, dando el mismo peso a cada una de las semanas.
- Previsión semanal de Findus.
- Previsión semanal y stock actualizado de Gelagri.
- Información específica, es decir, promociones, nuevos lanzamientos o desreferenciación.
- Ventas reales históricas semanales, por artículo y cliente.
- Venta media prevista de la semana anterior.

Además, se tienen en cuenta unos indicadores que avisan al planificador de la presencia de alguna incoherencia. Estos indicadores tienen como objetivos alertar sobre los siguientes aspectos:

- Desviación de la previsión dada por el cliente respecto a la venta media ponderada: Este indicador alerta al planificador si la diferencia entre la previsión que se va adoptar y la previsión que ha proporcionado el cliente es mayor del 30%. Hay ocasiones en las que el cliente aumenta sus previsiones intencionadamente para poder reaccionar en caso de un aumento inesperado de las ventas. En estos casos, el planificador decide si tener en cuenta la previsión del cliente o su propia previsión.
- Desviación de la previsión de ventas generada respecto a la venta prevista de la semana anterior: Cuando la diferencia entre ambos valores es superior al 20%, el planificador analiza los datos para encontrar alguna razón que explique dicha desviación, por ejemplo, la promoción de algún producto.

En el caso de productos cuya producción se realiza sobre pedido, los clientes proporcionan la previsión anual de los mismos. Dependiendo del cliente y del producto, se recibe uno o varios pedidos a lo largo del año. Cuando el departamento de logística recibe el pedido en firme, se lanza la orden de fabricación, teniendo en cuenta que el plazo de entrega, en el caso de estos pedidos, es de entre 2 y 3 semanas.

Con este proceso de generación de la venta prevista, el departamento de planificación obtiene una previsión semanal de cada una de las referencias con un horizonte de 12 semanas.

### **3.2.2. Aplicación de la metodología utilizada para generar la previsión de venta**

- **Caso 1:** Producto sin previsión proporcionada por el cliente.

En la tabla 3.5 se indica la venta histórica de 'Arroz 3D 12x700'. Se puede observar que la venta oscila entre 20 y 30 toneladas, aunque hay semanas en las que la diferencia en la venta es mayor.

**Tabla 3.5:** Venta en toneladas de las 13 semanas anteriores.

s-13	s-12	s-11	s-10	s-9	s-8	s-7	s-6	s-5	s-4	s-3	s-2	s-1
12,2	23,1	21,7	23,1	26,5	27,2	20,4	19,1	21,1	26,5	28,5	27,2	12,2

Para poder calcular la  $\bar{V}_{pond}$  según la fórmula 3.1, primero se calcula la media de la venta de las últimas 13, 9 y 6 semanas anteriores, tal y como se indica en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6:** Cálculo de la venta media ponderada y de la desviación respecto a la venta prevista de la semana anterior.

$\bar{V}_{13}$	$\bar{V}_9$	$\bar{V}_{16}$	$\bar{V}_{pond}$	$V_{prevant}$	Desviación
22,2	23,2	22,4	22,5	23,6	96 %

Como se puede ver, la desviación respecto a la venta prevista que se calculó la semana anterior es del 96 %, por tanto, se asume una venta prevista para las próximas 16 semanas de 22,5 toneladas por semana.

- **Caso 2:** Producto con desviación de la previsión dada por el cliente respecto a la venta media ponderada.

**Tabla 3.7:** Venta en kilogramos de las 13 semanas anteriores.

s-13	s-12	s-11	s-10	s-9	s-8	s-7	s-6	s-5	s-4	s-3	s-2	s-1
126	466	55	113	88	67	92	109	81	42	131	101	0

Tal y como se muestra en la tabla 3.7, la demanda de 'Tajine de verduras con pollo 16x350' es muy variable. En este caso, el cálculo de la  $\bar{V}_{pond}$  da un resultado de 96 kg semanales, lo que supone una desviación del 63 % respecto a la previsión dada por el cliente. Ante esta situación, el planificador opta por consultar con el cliente y asumir una venta prevista semanal de 150 kg.

**Tabla 3.8:** Cálculo de la venta media ponderada y de la desviación respecto a la previsión dada por el cliente.

$\bar{V}_{13}$	$\bar{V}_9$	$\bar{V}_{16}$	$\bar{V}_{pond}$	$Prev_{cli}$	Desviación
113	79	77	96	150	63 %

- **Caso 3:** Producto con desviación de la previsión de ventas generada respecto a la venta prevista de la semana anterior.

En la tabla 3.9, se puede comprobar que la venta de 'Menestra especial' es muy irregular debido a que el cliente pide cierta cantidad del producto y hasta pasados unos meses no realiza otro pedido.

**Tabla 3.9:** Venta en kilogramos de las 13 semanas anteriores.

s-13	s-12	s-11	s-10	s-9	s-8	s-7	s-6	s-5	s-4	s-3	s-2	s-1
0	0	1440	0	0	0	2880	0	0	0	0	0	0

En este caso, indicado en la tabla 3.10, es lógico que la venta media ponderada calculada en esta semana esté desviada de manera considerable respecto a la de la semana anterior. Teniendo en cuenta el comportamiento de la venta de este producto, se asume una venta prevista de 261 kg semanales.

**Tabla 3.10:** Cálculo de la venta media ponderada y de la desviación respecto a la previsión dada por el cliente.

$\bar{V}_{13}$	$\bar{V}_9$	$\bar{V}_{16}$	$\bar{V}_{pond}$	$V_{prevant}$	Desviación
332	319	0	261	400	65 %

### 3.3. Sistema de planificación de la producción

#### 3.3.1. Gestión de stocks

En UCR, el 12% de las referencias se gestionan contra pedido. La orden de fabricación se programa cuando se recibe el pedido por parte del cliente. El plazo de entrega de estos productos es de entre 2 y 3 semanas desde la recepción del pedido.

La fabricación del resto de referencias se gestionan contra almacén. Para ello, se siguen modelos de gestión de stocks con demanda aleatoria. Estos modelos permiten gestionar automáticamente y de forma simple la fabricación de los distintos productos.

El método utilizado en UCR es el "Método del punto de pedido con revisión continua", en el que se tiene conocimiento del nivel del stock en todo momento. Cuando, debido a la venta, se llegue a un nivel por debajo del stock de seguridad, se lanzará una orden de envasado de una cantidad establecida o lote óptimo. El punto de pedido intenta equilibrar los costes opuestos de ruptura y posesión de stocks, mientras que el tamaño del lote económico se calcula para conseguir el equilibrio entre los costes de lanzamiento y los de posesión.

##### 3.3.1.1. Stock de seguridad

Una buena gestión logística tiene que apoyarse en un adecuado control de los stocks, pero siendo consciente de que no todas las circunstancias que puedan afectar a dichos stocks van a poder ser previstas. Es por ello, que se debe calcular el stock de seguridad de tal forma que permita no incurrir en costes innecesarios. Si se decidiera no contar con un stock de seguridad en el almacén las circunstancias podrían hacer que se tuvieran problemas para atender la demanda de los clientes.

La política que se sigue en la empresa para el cálculo del stock de seguridad es la siguiente:

Primero, se calcula el stock de seguridad, expresado en semanas de cobertura, según la fórmula:

$$SS = K_s \cdot CV \cdot \sqrt{P_{aprov}} \quad (3.2)$$

Siendo las variables:

- $K_s$ : Coeficiente de seguridad, que recoge el riesgo de rotura por fluctuaciones positivas sobre la media de la demanda. Se asume  $K_s=2,05$ , para tener cubierto un 98% de los casos de consumo.
- $CV$ : Coeficiente porcentual de la variación de la demanda, definida como  $\frac{\sigma}{D_{semanal}}$ . Se estima en base al análisis de la precisión de la previsión. El planificador considera desviaciones entorno al 20% - 30%, con el objetivo de que el stock de seguridad pueda cubrir estas desviaciones.
- $P_{aprov}$ : Plazo de aprovisionamiento en semanas.

Además, en UCR se deben tener en cuenta algunas restricciones que pueden afectar al plazo de entrega.

- Tiempo de temperatura y de control de calidad: normalmente es de 0,6 semanas en verduras y 0,7 en productos precocinados. Se asumen 0,7 semanas de media.
- Flexibilidad de la línea: se debe tener en cuenta este concepto, por si por algún interés se quiere desplazar el programa de producción media semana. Por tanto, se añade 0,5 semanas al stock de seguridad.
- Exceso por envasado: no se sabe con seguridad si se envasará a principio de semana o a final, por lo que se decide añadir una semana al stock de seguridad.

En general, se mantienen unos niveles de stock de seguridad de entre 2,5 y 3,5 semanas.

### Ejemplo de la metodología utilizada para el cálculo del stock de seguridad

En la tabla siguiente se calcula el stock de seguridad para algunas referencias. Como se ha comentado anteriormente, se considera un periodo de aprovisionamiento entre 2 y 3 semanas, y un valor de  $CV$  entre 0,2 y 0,3. Primero, se obtiene el stock de seguridad ( $SS_1$ ), según la fórmula 3.2. Posteriormente, se añaden el tiempo por temperatura y control de calidad, por flexibilidad a la línea y por exceso de envasado.

**Tabla 3.11:** Ejemplos del cálculo del stock de seguridad en semanas.

Producto	$P_{aprov}$	$CV$	$K$	$SS_1$	$t^a$ y $q$	$F^1$	$E^2$	$SS$
Judía troceada	2	0,2	2,05	0,6	0,7	0,5	1	2,8
Revoltillo del bosque	3	0,3	2,05	1,1	0,7	0,5	1	3,3
Pollo teriyaki	3	0,2	2,05	0,9	0,7	0,5	1	3,1

<sup>1</sup> Flexibilidad de la línea  
<sup>2</sup> Exceso por envasado

#### 3.3.1.2. Lote óptimo de envasado

El lote óptimo de envasado, calculado según el modelo EOQ, o Cantidad Económica de Pedido, es la cantidad de unidades que se deben a envasar en cada orden de producción. A la hora de calcular esta cantidad, hay que tener en cuenta que cada orden de envasado lleva consigo un coste asociado, coste de lanzamiento y, posteriormente, un coste de almacenamiento hasta que el cliente recoge su pedido.

Para calcular cuál es el tamaño óptimo de envasado ( $Q^*$ ), es decir, la cantidad de producto que conviene envasar en cada pedido, se debe hacer de tal manera que el coste total sea lo menor posible.

#### Cálculo del lote óptimo

Para hacer este cálculo se emplea la fórmula de Wilson, que utiliza supuestos básicos, como que las ventas son constantes en el tiempo y el coste de almacenamiento y de emisión de pedidos son constantes.

$$Q^* = \sqrt{\frac{D_a \cdot C_{lanz} \cdot 2}{\frac{C_{paletdiario}}{\frac{kg}{palet}} \cdot 365 + C_{unit} \cdot i}} \quad (3.3)$$

Siendo las variables:

- $D_a$ : Demanda anual del producto, en kilogramos.
- $C_{lanz}$ : Coste fijo de realizar un orden de fabricación, en euros. Se va a considerar un coste de lanzamiento igual a 80 euros.
- $C_{paletdiario}$ : Coste diario de almacenamiento de un palet. Se considera que el coste de almacenar un palet diariamente es de 0,25 euros.
- $C_{unit}$ : Coste unitario del producto, en euros.
- $i$ : Coste de manejo de inventario como porcentaje del valor del producto, en porcentaje anual. Se considera un 3,5% del valor del producto.

En la tabla 3.12, se ha calculado el lote óptimo de envasado,  $Q^*$  y el número de lanzamientos que deberían realizarse para cumplir con la venta anual de algunas referencias. También se calcula el stock medio generado en cada envasado y el stock total, es decir, el stock de seguridad más el stock de lote. En esta tabla, se diferencia entre stock total y el stock almacenado. Este último se ha calculado según la fórmula:

$$S_{almacenado} = S_{totalproceso} - \frac{V_{anual}}{52 \cdot 2} \cdot \frac{1}{pesopalet} \quad (3.4)$$

Si se aplica el lote óptimo de envasado para cada referencia, resultado de la fórmula de Wilson, ecuación 3.3, se obtendrían los siguientes resultados:

- Se realizarían 2508 lanzamientos al año,.
- El stock total del proceso sería de 4148 palets al año.
- El stock almacenado en Benimodo sería igual a 2477 palets.
- Los lanzamientos al año supondrían un coste de lanzamiento de 200423 euros.
- El coste de almacenamiento sería de 0 euros, ya que la capacidad de las cámaras de Benimodo es de aproximadamente 2500 palets. Por lo tanto, siguiendo esta política, no sería necesario recurrir al alquiler de cámaras externas. Además, se considera que el coste de mantener el almacén se considera el mismo, independientemente del nivel de stock almacenado, siempre que no se supere la capacidad máxima.
- El coste financiero, o coste de oportunidad, es aquello que la empresa deja de ingresar al invertir en stock. Supone 76663 euros al año y se ha calculado según la fórmula:

$$C_{financiero} = S_{soportado} \cdot pesopalet \cdot C_{unit} \cdot i \quad (3.5)$$

- El coste total de seguir esta política sería de 277086 euros al año.

Tabla 3.12: Cálculo del lote óptimo de envasado.

Descripción	$V_{anual}$	$C_{lanz}$	$C_{alm}^1$	Kg/palet	$C_{unit}$	$i_{anual}$	$Q^*$	$n^{\circ}$ lanz	SS (Kg)	SS (p)	$S_{medio-lote}$	$S_{total}$	$Stock_{alm}^2$	$C_{finan}$
Guisante finos 12x750	1596957	80	0,25	810	1,64	3,5%	38747	41	92132	114	24	138	62	2871
Arroz blanco cocido 6x1	27319	80	0,25	756	2,00	3,5%	4785	6	1576	2	3	5	4	204
Salteado campestre 16x250	56262	80	0,25	576	1,16	3,5%	6724	8	3246	6	6	11	8	180
Corazon alcachofa 10x400	52000	80	0,25	504	1,97	3,5%	5765	9	3000	6	6	12	8	268
Menestra especial 4x2,5	282365	80	0,25	720	1,33	3,5%	16139	17	16290	23	11	34	19	628
Verduras vapor Mediterrané 8x600	201500	80	0,25	345,6	1,78	3,5%	9932	20	11625	34	14	48	26	552
Arroz 3D Marisco 500	92861	80	0,25	495	1,46	3,5%	7941	12	5357	11	8	19	12	293
Espinaca frita 12x750	131436	80	0,25	405	1,23	3,5%	8849	15	7583	19	11	30	17	299
Setas con ajo y perejil 16x350	43036	80	0,25	486	1,46	3,5%	5366	8	2483	5	6	11	7	179

<sup>1</sup> Coste almacenamiento por palet y día.

<sup>2</sup> Número de palets soportados en almacén.

### Política actual

La política calculada en el apartado anterior tiene algunas limitaciones en su aplicación real en la planta de Benimodo, donde, actualmente, tienen algunos problemas con el cambio de órdenes, por ejemplo, mal arranque de la máquina o problemas con el avance del film en la línea.

Es por ello, que el departamento de planificación, junto con el de producción, decide no lanzar más de 2000 órdenes de fabricación al año ya que un mayor número de lanzamientos supone un desorden mayor en planta, es decir, más jefes de línea controlando los cambios de orden y más incidencias de producción. Por este motivo, se decide aumentar el lote óptimo de envasado con el fin de realizar menos cambios de serie.

En la tabla 3.13, se ha calculado el número de lanzamientos al año con esta restricción, el stock generado en cada lote y el stock total almacenado, de la misma forma que en el apartado anterior.

Siguiendo esta política, en el año de referencia 2014, se han obtenido los siguientes resultados:

- Se realizan 2039 lanzamientos al año.
- El stock total del proceso es de 4526 palets.
- El stock almacenado en Benimodo es igual a 2854 palets, ya que al aumentar el lote de envasado se aumenta el stock generado y almacenado.
- El coste de lanzamiento es de 162945 euros al año.
- El coste de almacenamiento es de 38770 euros al año, ya que se recurre al alquiler de cámaras externas, con un coste de  $0,3 \text{ €/dia} \cdot \text{palet}$ .
- El coste financiero es igual a 88323 euros al año.
- El coste total de esta política es de 290038 euros anuales.

Con estos resultados se concluye que, se sigue esta política de envasado ya que UCR decide que es la que más se adapta a sus limitaciones, a pesar de incurrir en un coste total mayor.

Tabla 3.13: Política actual.

Descripción	$V_{anual}$	$C_{lanz}$	$C_{alm}^{-1}$	Kg/palet	$C_{unit}$	$i_{anual}$	$Q^*$	$n^{\circ}$ lanz	SS (Kg)	SS (p)	$S_{medio-lote}$	$S_{total}$	$Stock_{alm}^2$	$C_{finan}$
Guisante finos 12x750	1596956	80	0,25	810	1,64	3,5%	47658	34	92132	114	29	143	67	3127
Arroz blanco cocido 6x1	27318	80	0,25	756	2,00	3,5%	5886	5	1576	2	4	6	5	243
Salteado campestre 16x250	56261	80	0,25	576	1,16	3,5%	8270	7	3246	6	7	13	9	211
Corazon alcachofa 10x400	52000	80	0,25	504	1,97	3,5%	7092	7	3000	6	7	13	9	313
Menestra especial 4x2,5	282365	80	0,25	720	1,33	3,5%	19851	14	16290	23	14	36	21	714
Verduras vapor Mediterrané 8x600	201500	80	0,25	346	1,78	3,5%	12217	16	11625	34	18	51	29	623
Arroz 3D Marisco 500	92860	80	0,25	495	1,46	3,5%	9768	10	5357	11	10	21	13	340
Espinaca frita 12x750	131436	80	0,25	405	1,23	3,5%	10884	12	7583	19	13	32	20	342
Setas con ajo y perejil 16x350	43036	80	0,25	486	1,46	3,5%	6600	7	2483	5	7	12	8	211

<sup>1</sup> Coste almacenamiento por palet y día.

<sup>2</sup> Número de palets soportados en almacén y financieros.

### 3.3.2. Planificación a largo plazo

La planificación a largo plazo se realiza mediante un Plan Agregado, cuyo objetivo es la asignación de la demanda agregada a los distintos períodos del horizonte de planificación, teniendo en cuenta las disponibilidades de capacidad agregada, los recursos humanos disponibles, sus posibles variaciones, la posibilidad de horas extras y/o subcontratación, así como la alternativa de almacenar cantidades de productos agregados. Por tanto, la planificación agregada decidirá los niveles de producción para cada período, de utilización de mano de obra, de horas extras y/o subcontratación y de almacenamiento, todo ello a nivel agregado.

En UCR, el horizonte con el que trabaja el plan agregado es de 12 meses, con un período de revisión mensual. Es decir, cuando concluye un mes se introduce uno nuevo para mantener el horizonte igual a 12 meses.

La construcción del plan agregado en UCR se divide en dos partes:

#### Cálculo de necesidades de materia prima a largo plazo

A partir de la venta prevista y de la lista de materiales de todos los productos fabricados en la planta de producción de UCR, se realiza una explosión de necesidades a largo plazo con los siguientes objetivos:

- Planificar las cosechas de verduras. Con el plan agregado se calculan las toneladas que se deben cosechar de maíz, guisante y hojas para hacer frente a la demanda prevista.
- Determinar los contratos que el departamento de compras debe acordar con los proveedores de materia prima.

#### Cálculo de necesidades de producción y de mano de obra

Con el cálculo de esta parte del plan se pretende fijar un ritmo de producción según la demanda prevista, que se asume que se mantiene constante, ya que la mayoría de los productos no tienen una demanda estacional.

La planta de producción de UCR, cuenta con una plantilla de 150 operarios fijos más 115 fijos discontinuos, a los que se contrata en las temporadas de campaña y en las semanas que la carga de trabajo aumenta considerablemente.

En cada revisión mensual del plan se realiza un seguimiento de la desviación entre las toneladas de producto demandadas y las ofertadas con el fin de mantener tanto el nivel de servicio al cliente como el stock.

- Calcular la carga semanal de trabajo prevista: según la venta prevista semanal y la capacidad de las líneas, se obtiene una aproximación del número de líneas que van a ser necesarias cada semana. El objetivo principal es que la carga de trabajo semanal sea, como mínimo, igual a la ofertada por los operarios fijos. En caso de que haya alguna semana con poca carga de trabajo, se opta por redistribuir la producción para nivelar la carga de trabajo.
- Calcular la necesidad de mano de obra semanal: según las líneas operativas durante la semana, se necesita hacer uso de operarios fijos discontinuos o no. Normalmente,

se intenta mantener un número constante de operarios durante 3 o 4 semanas seguidas con el objetivo de evitar demasiados despidos y contrataciones.

### 3.3.3. Planificación maestra a medio y corto plazo

La siguiente etapa en el proceso de planificación es la determinación del Plan Maestro de Producción. En Ultra Congelados de la Ribera, las producciones se realizan por punto de pedido, es decir, se lanzan órdenes de una cantidad establecida de producto cuando el inventario o, en el caso de UCR, la cobertura, alcanza un determinado nivel, por debajo o próximo al stock de seguridad. El horizonte de planificación del plan maestro es de 12 semanas y se ajusta semanalmente en una reunión conjunta con todo el departamento de Supply Chain.

Para determinar el plan de envasado de las próximas 12 semanas, el planificador tiene en cuenta la siguiente información:

- Previsión de venta, tal y como se ha explicado en el apartado 3.2.1.
- Cartera de pedidos (C).
- Entregas en tránsito (T).
- Stock y pedidos en curso de embalaje.
- Stock de producto terminado de Ardovries y Findus en almacén de Marcilla ( $S_{marc}$ ).
- Stock de producto terminado de Gelagri en almacén de Milagro ( $S_{mil}$ ).
- Stock de producto terminado en almacén de Benimodo ( $S_{ben}$ ).
- Plan actual envasado próximas 12 semanas
- Información adicional: desreferenciación, nuevos lanzamientos, promociones...

El programa maestro de producción se actualiza frecuentemente, lo cual quiere decir que una vez ha transcurrido una semana, se quita de la parte delantera del programa maestro de producción y se agrega otra al final, y las demandas de todo el programa se estiman nuevamente. El plan de envasado de las semanas de la parte final del programa no resultan tan críticas como en la primera parte, por lo que se irán modificando conforme las ventas vayan actualizándose.

#### 3.3.3.1. Ejemplos de la metodología utilizada

En las tablas 3.14, 3.15 y 3.16 se muestra el plan de envasado de algunas referencias para 12 semanas próximas.

El stock total de cada referencia se calcula con la fórmula siguiente:

$$S_{total} = S_Q + S_{ben} + T + S_{mil+marc} \quad (3.6)$$

siendo las variables,

- $S_Q$ : Stock bajo controles de calidad.

- $S_{ben}$ : Cantidad de producto en almacén de Benimodo o cámaras externas.
- T: Stock en tránsito, es decir, el que está circulando entre UCR y el cliente.
- $S_{mil+marc}$ : Cantidad de producto de que disponen los clientes Gelagri, Findus y Ardovries en sus almacenes.

La cobertura se calcula según la fórmula:

$$Cob = \frac{Stock_{s-1}}{\frac{V_{prev_{s+1}} + V_{prev_{s+2}}}{2}} \quad (3.7)$$

donde,

- $Stock_{s-1}$  = Stock final de la referencia en la semana anterior.
- $V_{prev_{s+1}}$  = Venta prevista de la próxima semana.
- $V_{prev_{s+2}}$  = Venta prevista de la semana próxima +1.

El stock al final de cada semana se calcula según la fórmula:

$$Stock_{s+n} = S_{total} + Plan_{s+n} - V_{prev_{s+n}} \quad (3.8)$$

siendo  $n$  el número de semana para la que se calcula el stock, con las variables siguientes:

- $S_{total}$  = Stock calculado en la fórmula 3.6.
- $Plan_{s+n}$  = Toneladas previstas envasar en la semana +n.
- $V_{prev_{s+n}}$  = Venta prevista en toneladas de la semana +n.

A continuación, se explica, mediante algunos ejemplos, como se planifica el envasado de cada referencia, mostrada en las tablas 3.14, 3.15 y 3.16, según sus características.

- Guisante finos 12x750: La venta histórica de esta referencia es de 30 t a la semana aproximadamente, normalmente se envasan 70 t cada dos semanas. La previsión de venta de las próximas dos semanas aumenta hasta 40 t y 50 t semanales, por lo que se decide aumentar la orden de envasado de este semana de 70 a 100 t. Para el resto del plan, se mantienen órdenes de envasado de 70 t cada dos semanas.
- Arroz blanco cocido 6x1: Hay planificada una orden de envasado de 40 t en la s+4. Se decide adelantarla a la s+2, ya que de lo contrario puede haber riesgo de rotura de stock.
- Salteado campestre 16x250: Se suele planificar órdenes de envasado de 5 t, pero como la previsión de venta de la semana actual y de la s+1 ha incrementado, se decide aumentar la orden de envasado de la s+1 a 7 t. Por otra parte, la orden de la s+8 se adelanta a la s+6, ya que la cobertura estará cerca del SS; además, se planifica otro envasado en la s+11.
- Corazon alcachofa 10x400: El envasado de esta referencia se realiza sobre pedido. El cliente comunica un pedido de 12,6 toneladas y se planifica una orden de envasado en la s+1.

- Alcachofa troceada 4x2,5: La orden de 2 t planificada para la s+3, se retrasa a la s+12 ya que, como se puede observar, hay suficiente cobertura.
- Arroz 3D Marisco 500: En el caso de esta referencia, no hay stock de uno de los ingredientes necesarios para la mezcla, por lo que se decide retrasar la orden de 15 t de la s+1 a la s+2. En la próxima reunión del departamento, se volverá a analizar la posibilidad de otro posible retraso.

Tabla 3.14: Plan de envasado de las próximas 12 semanas.

Descripción	Línea	$S_{nQ}^1$	$S_Q$	$S_{ben}$	T	$S_{mil+marc}$	C	$S_{total}$	$\bar{V}_3$	$\bar{V}_6$	Cob	Semana actual		Semana +1						
												Plan <sup>2</sup>	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	
Guisante Finos 12x750	M5	0	0	14	0	36,8	0	51,3	31,1	29	30,2	1,3	100	40	111	2,7	0	49,5	61,6	2,0
Arroz blanco cocido 6x1	M3	0	0	2	0	1,5	0	3,8	0,5	0	0,4	6,7	0	0,6	3,2	5,8	0	0,5	2,7	4,6
Salteado campestre 16x250	M5	0	0	0	0	3,0	0	3	0,7	0	0	2,5	7	1,0	9,0	6,9	0	1,5	7,5	7,0
Corazón alcachofa 10x400	M5	0	0	0	0	0,0	12,6	0	1,5	2	0	0	0	1,3	0	-1	13	1,2	11,3	9,3
Alcachofa troceada 4x2,5	M6	0	0	5	0	3,8	0	8,6	1	1,1	0,9	9,4	0	0,9	7,7	8,4	0	0,9	6,8	7,4
Arroz 3D Marisco 500	M3	0	0	2	0	6,2	0	7,9	2	2	2	4,0	0	2,0	6	3	0	2	3,9	2,0

<sup>1</sup> Stock que no ha superado los controles de calidad y está bloqueado.

<sup>2</sup> Las ordenes de envasado están en toneladas.

Tabla 3.15: Plan de envasado de las próximas 12 semanas.

Descripción	Semana +2		Semana +3		Semana +4		Semana +5		Semana +6											
	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob				
Guisante Finos 12x750	70	32	99	3,2	0	31	69	2,2	70	30,8	107,8	3,5	0	30,8	77,0	2,5	70	30,8	116,3	3,8
Arroz blanco cocido 6x1	4	0,6	6,1	11	0	0,6	5,5	9,7	0	0,6	5,0	8,7	0	0,6	4,4	7,7	0	0,6	3,8	6,7
Salteado campestre 16x250	0	1,1	6,4	6,2	0	1	5,3	5,2	0	1,0	4,3	4,2	5	1,0	8,3	8,0	0	1,0	7,2	7,0
Corazón alcachofa 10x400	0	1,2	10	8,3	0	1,2	8,9	7,3	0	1,2	7,7	6,3	0	1,2	6,4	5,3	0	1,2	5,2	4,3
Alcachofa troceada 4x2,5	0	0,9	5,9	6,4	10	0,9	15	16	0	0,9	14,1	15,3	0	0,9	13,1	14,3	0	0,9	12,2	13,3
Arroz 3D Marisco 500	15	2	17	8,6	0	2	15	7,6	0	2,0	13,0	6,6	0	2,0	11,1	5,6	15	2,0	24,1	12,2

Tabla 3.16: Plan de envasado de las próximas 12 semanas.

Descripción	Semana +7		Semana +8		Semana +9		Semana +10		Semana +11											
	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob	Plan	$V_{prev}$	Stock	Cob				
Guisante Finos 12x750	0	30,8	85,5	2,8	70	30,8	124,8	4,1	0	30,8	94,0	3,1	70	30,8	133,3	4,3	0	30,8	102,5	3,3
Arroz blanco cocido 6x1	0	0,6	3,2	5,7	0	0,6	2,7	4,7	0	0,6	2,1	3,7	4	0,6	5,5	9,7	0	0,6	5,0	8,7
Salteado campestre 16x250	0	1,0	6,2	6,0	0	1,0	5,2	5,0	0	1,0	4,1	4,0	5	1,0	8,1	7,8	0	1,0	7,0	6,8
Corazón alcachofa 10x400	0	1,2	4,0	3,3	0	1,2	2,8	2,3	0	1,2	1,6	1,3	0	1,2	0,4	0,3	0	1,2	-	-
Alcachofa troceada 4x2,5	0	0,9	11,3	12,3	0	0,9	10,4	11,3	0	0,9	9,5	10,3	0	0,9	8,6	9,3	0	0,9	7,6	8,3
Arroz 3D Marisco 500	0	2,0	22,1	11,2	0	2,0	20,1	10,2	0	2,0	18,2	9,2	0	2,0	16,2	8,2	0	2,0	14,2	7,2

### 3.3.4. Planificación de las necesidades de materiales

El objetivo de la planificación de las necesidades de materiales es traducir el Plan Maestro de Producción, en necesidades y órdenes de compras y/o fabricación detalladas de todos los productos que intervienen en el proceso productivo. Los MRP son sistemas que intentan integrar las actividades de producción y compras, y permiten determinar, partiendo de expectativas de ventas, cuales son los materiales y materias primas necesarias para el cumplimiento del plan de producción.

La información a partir de la que el planificador realiza la explosión de necesidades es la siguiente:

- El plan envasado de las próximas 12 semanas, donde están indicadas la cantidad de producto terminado a envasar y las fechas previstas de envasado. El plan de envasado se introduce en el ERP y se extraen las órdenes de fabricación con las necesidades de cada una.
- El stock actual de materias primas e ingredientes para la mezcla y posterior envasado de los productos.
- Pedidos en curso a proveedores con fechas de recepción.
- La lista de materiales correspondiente a los productos terminados, que indica de que ingredientes está formado cada artículo y permite calcular las cantidades necesarias para poder producirlo y envasarlo.
- Datos de fabricación de los productos: lotes, plazos de entrega de los productos, fechas de caducidad, etc.

El sistema MRP calculará las cantidades de producto terminado a fabricar, los componentes necesarios y las materias primas a comprar para poder satisfacer la demanda del mercado, obteniendo los siguientes resultados:

- El plan de producción de cada uno de los productos semielaborados y precocinados que han de ser fabricados, especificando cantidades y fechas en que han de ser lanzadas las órdenes de fabricación.

En la tabla 3.17 se muestran algunos ejemplos de productos que han de ser fabricados para su posterior uso en órdenes de envasado. A continuación, se resume el significado de cada columna:

- $S_Q$ : Stock bajo controles de calidad.
- $S_n$ : Stock que no ha superado los controles de calidad y está bloqueado.
- $S_{alm}$ : Indica el stock actual que hay fabricado del producto en cuestión.
- $Q_{nec}$ : Cantidad de producto en kilogramos que se necesita para su posterior uso en la mezcla de algún producto.
- $Q_{fab}$ : Cantidad de producto en kilogramos que se necesita fabricar para cumplir con la cantidad necesaria.  $Q_{fab} = Q_{nec} - S_{total}$ .
- OF: Indica si hay que crear una orden de fabricación para la fabricación del producto o si hay que modificar una orden ya creada, aumentando o disminuyendo la cantidad a fabricar y/o adelantándola o retrasándola.

**Tabla 3.17:** Ejemplos de órdenes de producción de línea de precocinados y mezclas, resultado del MRP realizado en la semana 45.

Línea	Descripción	$S_Q$	$S_{nQ}$	$S_{alm}$	$Q_{nec}$	$Q_{fab}$	OF	Nota
Premezclas	Aroma setas	0	0	0	47	47	9424560	retrasar de s47 a s51
Premezclas	Aroma fajitas	0	0	5	52	47	crear OF	s48
Mezclador	Menestra imperial	0	0	2880	6666	3786	9327824	reducir a 4000 kg en s50
Mezclador	Potaje de garbanzos	0	0	0	4276	4276	crear OF	s49
Arroz	Arroz cantonés ss glutamate	0	0	780	18176	17396	9673223	aumentar a 18000 kg en s46
Contact	Pellet arroz negro ecco	0	0	473	517	44	9605457	retrasar de s48 a s50
Cubeado	Fiambre de magro	0	0	22726	60225	37499	crear OF	s47
Tortilla	Tortilla tiras 10x8x20 c/pimiento	0	108	7295	11950	4655	crear OF	s49

- El plan de aprovisionamiento con cada uno de los productos que han de ser pedidos a proveedores, especificando cantidades y fechas en que han de ser recibidos los pedidos.

En la tabla 3.18, se muestran algunos ejemplos de como se extraen los pedidos de compra a proveedores.

**Tabla 3.18:** Ejemplos de pedidos de aprovisionamiento a proveedores, resultado del MRP realizado en la semana 45.

Descripción	$S_Q$	$S_{nQ}$	$S_{alm}$	$Q_{nec}$	$Q_{compra}$	Fecha
Jamón tiras	0	0	620	2672	2052	s2
Alubias reescaldadas	0	0	0	143	143	s46
Judía troceada 'MB' AB	0	210	9504	19855	10351	s46
Caldo de pescado	2000	0	634	4973	4339	s47
Pimiento amarillo 20 mm	0	0	1362	2257	895	s50
Berenjena asada 20 mm extra	0	0	6341	7639	1298	s51

- El informe de excepciones, que permite conocer que órdenes de fabricación van retrasadas y cuáles son sus posibles repercusiones sobre el plan de producción y en última instancia sobre las fechas de entrega de los pedidos a los clientes.

### 3.4. Sistema de programación de las órdenes de fabricación

La programación de la producción es la función que se encarga de asignar las órdenes de producciones a centros de trabajo específicos dentro de intervalos de tiempo concretos. El resultado de la programación es un programa de producción en el que se establece una asignación de órdenes de fabricación.

Tiene como objetivo principal decidir la secuencia de trabajos que realizará cada recurso de la empresa en el horizonte de planificación más pequeño posible. Además, la programación tiene otros objetivos resumidos en los dos criterios siguientes:

- Nivel de servicio, en lo que se refiere al cumplimiento de las fechas de entrega de las órdenes de fabricación.
- Costes mínimos, ligado a la maximización de la eficiencia. Lo que implica:
  - Mantener el menor volumen de stock posible, tanto de producto terminado como de trabajo en curso (WIP).
  - Emplear la menor cantidad de recursos posible; minimizando los tiempos ociosos y los tiempos de preparación entre órdenes de fabricación.

En la programación de la producción hay tres fases claramente diferenciadas: la fase de carga, la fase de secuenciación y la fase de temporización.

- Carga: asignación de las órdenes de fabricación a las líneas de envasado.
- Secuenciación: establecimiento del orden o prioridad de paso de las órdenes de fabricación en las diferentes líneas.
- Temporización: determinación de los momentos de comienzo y fin de las órdenes que realizará cada línea.

El horizonte de la programación es de una semana. El período de revisión o frecuencia de la programación es diario, ya que es necesario tener el programa bien controlado, y el período de rigidez es de 24 horas, aunque se le suele dar bastante flexibilidad al programa. Normalmente, a lo largo de la semana, las órdenes sufren cambios, por ejemplo, aumento de la cantidad programada, adelanto urgente de alguna orden, retraso debido a falta de componentes, etc. En estos casos es necesaria una reprogramación de las órdenes de fabricación.

#### 3.4.1. Asignación de las órdenes de fabricación a las líneas

El proceso de asignación de las órdenes de fabricación a cada línea es el siguiente:

- Creación de las órdenes de fabricación: una vez ajustado en plan de envasado para las próximas 12 semanas, se crean y se confirman en el ERP las órdenes de fabricación de las 3 próximas semanas.

- Asignación a la línea de envasado: esta asignación se realiza según el documento maestro de producción <sup>6</sup>. En la mayoría de los casos, un producto se puede asignar a más de una línea de envasado. Por ejemplo, una referencia de plato precocinado sin aroma puede envasarse en cualquiera de las líneas M2, M3 o M4. Si lleva aroma, podrá envasarse en las líneas M2 o M3.

Las órdenes se van asignando a una máquina hasta que esta queda saturada, seguidamente, se empiezan a asignar órdenes a otra máquina del mismo grupo de envasado. Por ejemplo, supongamos que se han asignado órdenes a la línea M3 hasta su saturación, entonces se empiezan a asignar órdenes a la línea M2. El primer objetivo es maximizar la ocupación de esta línea; en caso de que no haya suficientes órdenes de fabricación para ocupar la línea la semana completa, se estudia la posibilidad de retrasar órdenes a la semana siguiente o, si no fuera posible por riesgo de rotura de stock o fecha de entrega del pedido, la combinación de la línea M2 con otra línea de envasado de otro grupo de productos.

Normalmente, el tiempo de envasado varía según se lleve a cabo en una o en otra línea. La asignación se realiza de forma que el tiempo total empleado sea el mínimo posible, optimizando la capacidad.

En la tabla 3.19, se muestra un ejemplo de las órdenes de envasado asignadas a la línea M3 en la semana 49 junto con el plan a envasar en toneladas. También se indica, la velocidad de envasado de la línea ( $v_{línea}$ ) para cada referencia y la duración de la orden ( $t_p$ ).

**Tabla 3.19:** Órdenes de fabricación asignadas a la línea M3 en la semana 49.

Descripción	Línea	Familia	Plan (t)	$v_{línea}$ <sup>1</sup>	$t_p$
Sopa marisco 10x400	M2-3-4	Sopa	4	616	7,5
Espin queso12x400	M2-3-4	Espinacas	4	816	5,9
Pollo teriyaki 10x350	M2-3	Risottos	3	595	6
Salt. espin y gambas 12x450	M2-3	Espinacas	14	945	15,8
Salt. verd con bacon 12x450	M2-3	Salteados	25	945	27,5
Risotto de setas 12x350	M2-3	Risottos	6	840	8,1
Arroz 5 delicias 10x1	M2-3-4	Arroces delicias	9	1750	6,1
Ensalada mediterránea 6x1	M2-3	Arroces delicias	3	1320	3,3
Mezcla texmex fajita 16x400	M2-3-4	Pimiento	2,1	832	3,5
Revuelto gamba/ajete 16x450	M2-3-4	Revueltos	9	1224	8,4
Arroz 3D/pollo 16x500	M2-3-4	Arroces delicias	6	1280	5,7
Espinaca crema 20x450	M2-3-4	Espinacas	8	1080	8,4
Salteado Campero 10x1	M2-3-4	Salteados	10	1500	7,7

<sup>1</sup> Velocidad de envasado en kg/hora.

- Cálculo de la carga total de envasado en cada línea: en la planta de UCR, se trabaja 5 días a la semana con 3 turnos de 8 horas. En total 120 horas a la semana. A estas horas totales se le debe restar 1 hora por arranque de las líneas al inicio de la semana, 1 hora por parada de las líneas al final de la semana y 4 horas semanales

<sup>6</sup>Fichero excel en el que está recogida toda la información relacionada con el envasado de cada referencia, como la línea de envasado, la velocidad, las bolsas por caja, etc.

por TPM <sup>7</sup>. Por tanto, la carga de trabajo en cada línea de envasado no debe ser superior a 114 horas semanales.

Por ejemplo, para la línea M3 en la semana 49, la carga total de envasado es de 113,9 horas, igual a la suma del tiempo de proceso ( $t_p$ ) de cada orden de fabricación, que aparecen en la tabla 3.19.

En la tabla 3.20 se muestra la capacidad media semanal de las distintas líneas de envasado.

**Tabla 3.20:** Líneas de envasado con la capacidad media semanal en toneladas.

Proceso	Línea	Capacidad media
Semielaborado	Premezclas	
	Mezclador	140
Platos precocinados	Multicabezal 2	135
	Multicabezal 3	135
	Multicabezal 4	135
	Multicabezal 5	215
Mezclas monoproducto	Multicabezal 6	215
	Multicabezal 7	215
	Norfo Serrado	90
Espinaca, grelo y acelga	Norfo Envasado	70
	Stein	100
Mazorca	Cob	90

### 3.4.2. Secuenciación de las órdenes de fabricación

En esta fase se establece el orden de ejecución de las órdenes de fabricación asignadas a las líneas, intentando cumplir con los objetivos citados anteriormente. La secuenciación se realiza con un horizonte de una semana, es decir, en la semana actual se secuencian las órdenes de la semana siguiente. Para facilitar el proceso de secuenciación de las órdenes de producción, las distintas referencias de producto envasado están agrupadas en 25 familias y otras.

Con esta agrupación por familias se pretende minimizar el tiempo de cambio ( $t_{cambio}$ ), es decir, el tiempo transcurrido desde el final de una orden hasta el inicio de la siguiente programada. La duración de este tiempo depende de diversos factores, comentados a continuación:

- Limpieza de la línea: se deben secuenciar las órdenes de manera que se minimicen las limpiezas en la línea. Hay dos tipos de limpieza, dependiendo del tipo de cambio, con agua a elevada T<sup>a</sup> (A) y con agua y jabón (J).
  - Cambio de orden sin limpieza: por ejemplo, no es necesario limpiar la línea entre el envasado del producto 'Pimiento rojo asado tiras 6x10' y el de la referencia 'Juliana de pimientos asados 6x1' ya que son dos referencias de la misma familia y el producto principal es el mismo.

<sup>7</sup>Mantenimiento productivo total es una filosofía originaria de Japón, enfocada en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial.

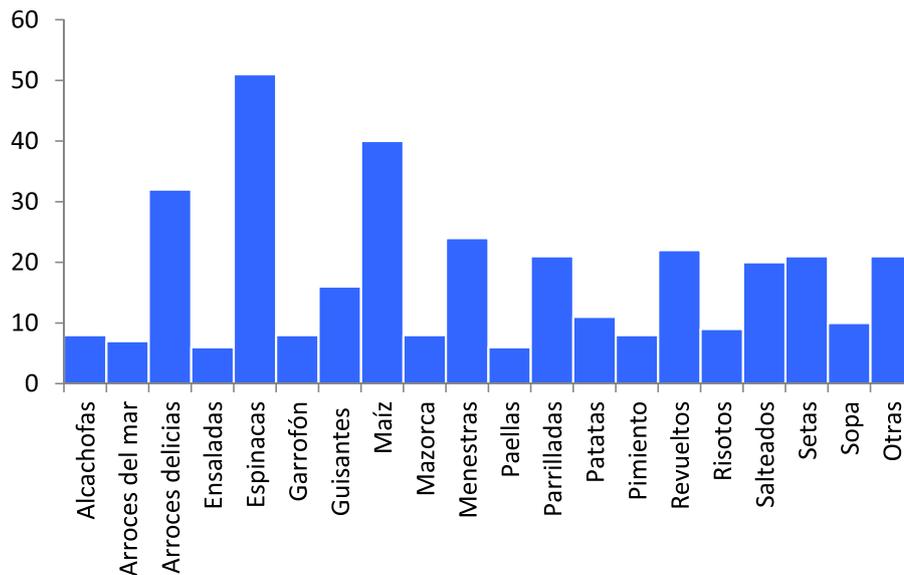


Figura 3.5: Familias de producto terminado.

- Cambio de orden con limpieza A: Se limpia con agua a  $T^a$  elevada cuando hay un cambio entre una referencia, cuyo grado de ensuciamiento es bajo, y otra referencia de una familia distinta. Además, estas dos referencias no deben contener alérgenos. Por ejemplo, cambio de orden de envasado de la referencia 'Maíz minimazorca 1x5' a 'Grelos IQF 1x10'.
  - Cambio de orden con limpieza J: esta limpieza es necesaria cuando se cambia entre dos productos de distintas familias, por ejemplo entre 'Salteado espina-cas y gambas 12x450' y 'Mezcla texmex fajita 16x400'. También cuando los alérgenos<sup>8</sup> varían de una referencia a otra.
- Cambio en el formato de la bobina: cuando cambia el diámetro de la bobina entre una orden y otra, se debe reprogramar la línea. Los diámetros de bobina más comunes son entre 430 y 440 mm, entre 530 y 540 mm y entre 630 y 640 mm.
  - Cambio de film: en cada cambio de orden se debe cambiar el film para envasar el producto. Para realizar este cambio, se para la línea, se coloca la bobina y se arranca de nuevo. Hay algunos productos para restauración que están envasados con el mismo film, por ejemplo, 'Salteado meridional 6x1' y 'Salteado campero 6x1'.
  - Cambio de producto: en cada cambio de orden se rellena el depósito de la línea con el nuevo producto a envasar.

Actualmente, en UCR, en la fase de secuenciación se consideran los tiempos de cambio independientes de la secuencia, por lo que se añaden al tiempo de proceso,  $t_p$ . Se asume un tiempo de cambio medio ( $t_c$ ) de 1 hora.

Los pasos que se siguen para obtener una secuenciación 'óptima' es la siguiente:

- Agrupación por familias.

<sup>8</sup>Sustancia que puede provocar una reacción alérgica.

- Agrupación por alérgenos.
- Ordenación según fechas de entrega o cobertura.

**Tabla 3.21:** Secuenciación de las órdenes de fabricación en la línea M3 durante la semana 49.

OF	Descripción	Alérgenos	Familia	Limpieza
1	Ensalada mediterránea 6x1	2-0-	Arroces delicias	A
2	Arroz 5 delicias 10x1	2-5-0-	Arroces delicias	-
3	Arroz 3D/pollo 16x500	1-5-6-0-	Arroces delicias	J
4	Espinaca crema 20x450	1-0-	Espinacas	J
5	Espin queso 12x400	1-0-	Espinacas	-
6	Salt. espin y gambas 12x450	2-4-0-	Espinacas	J
7	Mezcla texmex fajita 16x400	1-4-6-0-	Pimiento	J
8	Risotto de setas 12x350	1-0-	Risottos	J
9	Pollo teriyaki 10x350	3-6-0-	Risottos	J
10	Sopa marisco 10x400	2-3-4-7- 10-0-	Sopa	A
11	Revuelto gamba/ajete 16x450	2-0-	Revueltos	J
12	Salt. verd con bacon 12x450	1-4-10-0-	Salteados	J

### 3.4.3. Temporización de las órdenes de fabricación

En esta fase se determinan los instantes de inicio y fin programados de cada orden de fabricación asignada a la línea. En el caso de UCR, se realiza junto con la fase de secuenciación.

En la columna  $h_{inicio}$ , se indica el instante programado en el que debe empezar la orden y en la columna  $h_{fin}$ , el instante programado en el que finaliza la orden.

**Tabla 3.22:** Temporización de las órdenes de fabricación en la línea M3 durante la semana 49.

OF	Descripción	$t_p$ <sup>1</sup>	Día	$h_{inicio}$	Día	$h_{fin}$
1	Salteado Campero 10x1	7,7	1-12	10:00	1-12	16:40
2	Ensalada mediterránea 6x1	3,3	1-12	17:40	1-12	19:56
3	Arroz 5 delicias 10x1	6,1	1-12	20:56	2-12	2:04
4	Arroz 3D/pollo 16x500	5,7	2-12	3:04	2-12	7:46
5	Espinaca crema 20x450	8,4	2-12	8:46	2-12	16:10
6	Espin queso12x400	5,9	2-12	17:10	2-12	22:04
7	Salt. espin y gambas 12x450	15,8	2-12	23:04	3-12	13:53
8	Mezcla texmex fajita 16x400	3,5	3-12	14:53	3-12	17:25
9	Rissoto de setas 12x350	8,1	3-12	18:25	4-12	1:33
10	Pollo teriyaki 10x350	6,0	4-12	2:33	4-12	7:36
11	Sopa marisco 10x400	7,5	4-12	8:36	4-12	15:05
12	Revuelto gamba/ajete 16x450	8,4	4-12	16:05	4-12	23:26
13	Salt. verd con bacon 12x450	27,5	5-12	0:26	6-12	2:54

<sup>1</sup> Tiempo de proceso más el tiempo de cambio.

Una vez realizada la programación de las órdenes de fabricación, se proporciona un 'Parte semanal de producción' a los responsables de producción con las líneas que se van a arrancar la semana siguiente y las órdenes de fabricación en cada una de ellas.

## 4 Propuesta de optimización de la programación de las órdenes de fabricación

---

### 4.1. Introducción. Planteamiento del problema

En la empresa Ultra Congelados de la Ribera, el secuenciador <sup>1</sup> se encarga de realizar diariamente la programación de las órdenes de envasado. Durante la asignación de las órdenes de envasado, el primer problema que encuentra es la saturación de algunas líneas frente a la capacidad ociosa<sup>2</sup> de otras. Esta problemática no va a tratarse en este trabajo, dejando la mejora del proceso de asignación para futuras líneas de trabajo.

A continuación, va a plantearse el problema real de secuenciación junto con los motivos por los que es necesaria la mejora de ese proceso.

La secuenciación adecuada de las órdenes de fabricación supone un importante problema en el ámbito de la dirección de operaciones a corto plazo. La secuencia en la que se procesarán los productos no resulta indiferente, ya que podrán verse afectados parámetros como el coste total de ejecución de las tareas, el tiempo necesario para concluir las o el stock de productos en curso que será generado. La resolución de este problema se basa en determinar el orden más adecuado para llevar a cabo los trabajos, de manera que se optimice alguno de los parámetros anteriores u otros similares. Se trata, por tanto, de un problema de secuenciación o 'scheduling' que se presenta habitualmente en la programación de operaciones a corto plazo.

Debido a la gran dificultad que supone resolver el problema definiendo una secuencia óptima, o al menos aceptable, junto con la importancia de conseguirlo, se han desarrollado reglas, más o menos complejas, muchas de ellas heurísticas, que proporcionan soluciones rápidas y fáciles de calcular para su uso en situaciones de trabajo reales.

El problema para el que se propone una solución alternativa que mejora la secuenciación es el de determinar la secuencia óptima, según la cual deben ser elaboradas una serie de órdenes de manera que se minimicen los tiempos de cambio.

Actualmente, en UCR, el proceso de secuenciación se realiza considerando el tiempo de cambio independiente de la secuencia e igual a una hora de media. El secuenciador agrupa las órdenes por familias, intentando minimizar los casos en los que se debe limpiar la línea al cambiar de orden. Este hecho provoca que, normalmente, las órdenes vayan acumulando retrasos, ya que el tiempo de cambio considerado no es real.

Lo que se propone en los siguientes apartados es una alternativa para el cálculo de la secuencia óptima, o admisible, que minimice los tiempos de cambio. Además, con el uso de esta alternativa, se agilizará el proceso de secuenciación ya que la tarea del

---

<sup>1</sup>Persona encargada de realizar la secuenciación de las órdenes de envasado.

<sup>2</sup>Diferencia entre la capacidad práctica máxima de producción y la producción realmente efectuada (volumen real de producción).

secuenciador se reducirá, prácticamente, a comprobar que la secuencia proporcionada por la herramienta se puede llevar a cabo.

## 4.2. Propuesta de optimización de la secuenciación de las órdenes de fabricación

La situación a analizar consiste en un problema de secuenciación de  $n$  unidades con restricciones múltiples. Según la notación, se trata del caso  $n/1//\sum T$ , en que  $n$  productos deben procesarse en 1 máquina y los productos y la máquina están disponibles en el instante cero. Además, se añade la condición adicional de que los tiempos de cambio son dependientes de la secuencia.

Hay una gran variedad de algoritmos, tanto de optimización como metaheurísticos, que se podrían aplicar para obtener una mejor secuenciación de las órdenes de envasado. Algunos de los algoritmos metaheurísticos son:

- **Recocido simulado:** Es un algoritmo de búsqueda metaheurística para problemas de optimización global; el objetivo general de este tipo de algoritmos es encontrar una buena aproximación al valor óptimo de una función en un espacio de búsqueda grande. A este valor óptimo se lo denomina "óptimo global".
- **Búsqueda tabú:** La búsqueda tabú es un algoritmo metaheurístico que puede utilizarse para resolver problemas de optimización combinatoria, tales como el problema del viajante. La búsqueda tabú utiliza un procedimiento de búsqueda local o por vecindades para moverse iterativamente desde una solución  $x$  hacia una solución  $x'$  en la vecindad de  $x$ , hasta satisfacer algún criterio de parada. Para poder explorar regiones del espacio de búsqueda que serían dejadas de lado por el procedimiento de búsqueda local, la búsqueda tabú modifica la estructura de vecinos para cada solución a medida que la búsqueda progresa. Las soluciones admitidas para  $N^*(x)$ , el nuevo vecindario, son determinadas mediante el uso de estructuras de memoria. La búsqueda entonces progresa moviéndose iterativamente de una solución  $x$  hacia una solución  $x'$  en  $N^*(x)$ .
- **GRASP:** Algoritmos de tipo iterativo, en los que cada iteración incluye una fase de construcción de una solución y otra de postprocesamiento, en la cual se optimiza la solución generada en la primera fase.
- **Algoritmo de Kaufman:** Algoritmo heurístico que consiste en comenzar por un lote cualquiera y elegir como siguiente aquél para el cual sea menor el tiempo de preparación y así, sucesivamente.

Se ha decidido aplicar el algoritmo de Kaufman para la mejora del proceso de secuenciación, debido a su gran sencillez y a los buenos resultados que proporciona en la práctica.

### 4.2.1. Secuenciación de $n$ trabajos en una máquina con el tiempo de cambio dependiente de la secuencia

La situación se considera como un problema de secuenciación de  $n$  trabajos en una máquina. Las hipótesis en las que se basan este tipo de problemas son:

- El número de trabajos  $n$  es finito y en principio están disponibles desde el instante inicial para procesarse ( $r_i=0$ ).
- La máquina está continuamente disponible sin tiempos muertos ni averías.
- Los tiempos de procesado son perfectamente conocidos a la hora de programar y cada trabajo tiene un único tiempo de procesado.
- Se supone que no hay ningún tiempo de preparación de máquinas (o que el tiempo de preparación no depende de la naturaleza del trabajo anterior de la máquina, sino solo de las características de ese trabajo y puede ser incluido en el tiempo de procesado para el trabajo).

Solo es necesario tener en cuenta  $n!$  permutaciones posibles. Para cualquier permutación de los trabajos la fecha máxima de finalización es la misma  $C_{max} = cte$ . Su valor depende únicamente de esta información, y es exactamente la misma para cada una de la  $n!$  posibles soluciones.

$$C_{max} = F_{max} = \sum_{i=1}^n (w_i + p_i), \quad \forall r_i = 0 \quad (4.1)$$

siendo,

- $F_{max}$ : tiempo máximo de proceso.
- $w_i$ : tiempo de espera de la orden  $i$ .
- $p_i$ : tiempo de proceso de la orden  $i$ .
- $r_i$ : instante en el que la orden  $i$  está lista para ser procesada.

#### Modelado matemático

A continuación, se plantea un modelado matemático para representar el problema de secuenciación. Es el que se indica a continuación:

Min  $\dot{C}_{max}$ ? ó  $\dot{F}_{max}$ ? ó  $C_{med}$

$$C_{max} \geq X_i + p_i, \quad \forall i \quad (4.2)$$

ó

$$C_{med} = \sum_i \frac{(x_i + p_i)}{n} \quad (4.3)$$

$$X_{i1} \geq X_{i2} + p_{i2} - K \cdot Y_{i1,i2} \quad (4.4)$$

$$X_{i2} \geq X_{i1} + p_{i1} - K \cdot 1 - Y_{i1,i2} \quad \forall i1, i2 \in J, j \in P \quad (4.5)$$

$$X_i \geq 0, \quad \forall i; Y_{i1,i2} = (0, 1), \quad \forall i1, i2 \quad (4.6)$$

siendo,

- $x_i$ : instante de inicio de la orden  $i$ .

- $Y_{i1,i2}$ : variable que vale uno si la orden  $i1$  se programa antes que la orden  $i2$ .
- $K$ : un número elevado.

### El problema del viajante de comercio

El problema de secuenciación de las órdenes de envasado en UCR se puede considerar como el problema del viajante de comercio, en el que se tiene una red de nodos, que pueden ser ciudades o simplemente lugares de una ciudad. Se parte de un lugar inicial, y deben recorrerse todos sin pasar más de una vez por cada lugar, volviendo al lugar inicial. Para cada arco, se tiene un valor  $C_{ij}$ , que indica la distancia o el costo de ir del nodo  $i$  al nodo  $j$ .

Para la aplicación de este problema a la secuenciación en UCR, la variable  $C_{ij}$  será el tiempo de cambio entre las ordenes  $i$  y  $j$ .

Se trata de encontrar en qué orden recorres los nodos o, en este caso, secuenciar las órdenes de fabricación, de modo que se minimice el tiempo de cambio total. Dado que en definitiva se busca un circuito completo, es indiferente la orden que se designe como origen. Es decir, se debe encontrar aquella secuencia que minimice el tiempo de cambio total y, por consiguiente, la fecha máxima de finalización.

El modelo matemático es el siguiente:

Sean  $n$  órdenes, y  $C_{ij}$  el tiempo de cambio entre las órdenes  $i$  y  $j$ . Sea también  $X_{ij}$  una variable entera tal que:

- $X_{ij} = 0$  si la orden  $j$  no se secuencia tras la orden  $i$ .
- $X_{ij} = 1$  si la orden  $j$  se secuencia tras la orden  $i$ .

Entonces,

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (4.7)$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^n X_{ij}, \quad j = 1, \dots, n; j \neq i \quad (4.8)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij}, \quad i = 1, \dots, n; i \neq j \quad (4.9)$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad (4.10)$$

### Algoritmo de Kaufman

El algoritmo heurístico de Kaufman es uno de los posibles métodos para resolver el problema del viajante de comercio. Se basa en una estrategia aproximada de resolución.

Los pasos a seguir son:

- Se selecciona arbitrariamente una orden  $i$  como inicial ( $i=1$ ).

- En la fila de la orden, elige aquella con menor  $t_c$ .
- Se elimina la fila y la columna de la primera orden.
- A partir de esta nueva matriz se repiten los dos pasos anteriores hasta haber secuenciado todas las órdenes.
- Se evalúa  $C_{max}$  y se repite de nuevo el proceso, seleccionando como pedido inicial a secuenciar otro diferente.

Este algoritmo se aplica en el caso de que los tiempos de cambio sean dependientes de la secuencia. Los tiempos de procesamiento no importan ya que la secuencia no altera el valor de  $F_{max}$  ó  $C_{max}$ .

#### 4.2.2. Análisis y estandarización de los tiempos de cambio y aplicación del algoritmo de Kaufman

##### Estandarización de los tiempos de cambio

En este apartado, se va a proceder a estandarizar el tiempo de cambio entre órdenes. En UCR, la duración del cambio depende de la variación o diferencia que haya entre los productos de las órdenes a secuenciar.

Se considera que el tiempo de cambio depende de cuatro factores que afectan a la duración de dicho tiempo. Estos factores son:

- Cambio de film, se debe preparar la máquina con el film que se va a utilizar en el envasado de la siguiente orden. Algunos productos destinados a hostelería se envasan con el mismo film.
- Cambio del formato de la bobina, implica el cambio del tubo formador, por donde cae el producto a envasar, de la máquina envasadora. Las bobinas de film se agrupan en tres grandes grupos según el diámetro de la misma. Cada grupo de bobinas tiene un tubo formador asociado.
  - Grupo 1: entre 430 y 440 mm.
  - Grupo 2: entre 530 y 540 mm.
  - Grupo 3: entre 630 y 640 mm.
  - Otras bobinas cuyo diámetro no está comprendido en los grupos anteriores.
- Cambio de familia del producto: si al cambiar de orden, cambia la familia a la que pertenece el producto, se debe limpiar la línea con agua caliente.
- Variación de los alérgenos del producto: si al cambiar de una orden a otra, la primera orden contiene algún alérgeno que la segunda no tiene, la línea se limpia con agua caliente y jabón.

A continuación, se muestran los tiempos de cambio de cada factor, que afectan al tiempo de cambio total. La duración de estos tiempos es diferente para las distintas familias de líneas de envasado, es decir, las líneas M2, M3 y M4 tiene unos tiempos de cambio

diferentes de las líneas M5, M6 y M7. Además, la línea M5 al ser la más antigua tiene unos tiempos de cambio distintos.

Por ejemplo, en la línea M2, el tiempo de cambio entre dos órdenes de diferentes familias es de 60 minutos, si además varían también los alérgenos, habrá que sumar 30 minutos más. En total, 90 minutos. También se puede dar el caso que dos órdenes sean de la misma familia pero varíen los alérgenos. En este caso, el tiempo de cambio es de 90 minutos, ya que la línea se tiene que limpiar con agua caliente y jabón, independientemente de que sea la misma familia.

**Tabla 4.1:** Tiempo de cambio en minutos de cada factor en las distintas líneas.

	M2-M3-M4		M5		M6-M7	
	Cambia	No cambia	Cambia	No cambia	Cambia	No cambia
Familia	60	0	50	0	50	0
AlérgenosF <sup>1</sup>	30	0	30	0	20	0
AlérgenosNF <sup>2</sup>	90	0	80	0	70	0
Formato	10	0	10	0	10	0
Film	20	0	30	0	20	0

<sup>1</sup> La familia cambia.

<sup>2</sup> La familia no cambia.

### Definición de un programa en MATLAB® para el cálculo del tiempo de cambio

Para facilitar el cálculo del tiempo de cambio, se va a crear un programa con la herramienta MATLAB®. Lo que se pretende con este programa es calcular el tiempo de cambio entre las distintas órdenes a secuenciar en una línea. En función de los factores que cambien entre un producto y otro, el tiempo de cambio será mayor o menor según los datos de la tabla 4.1.

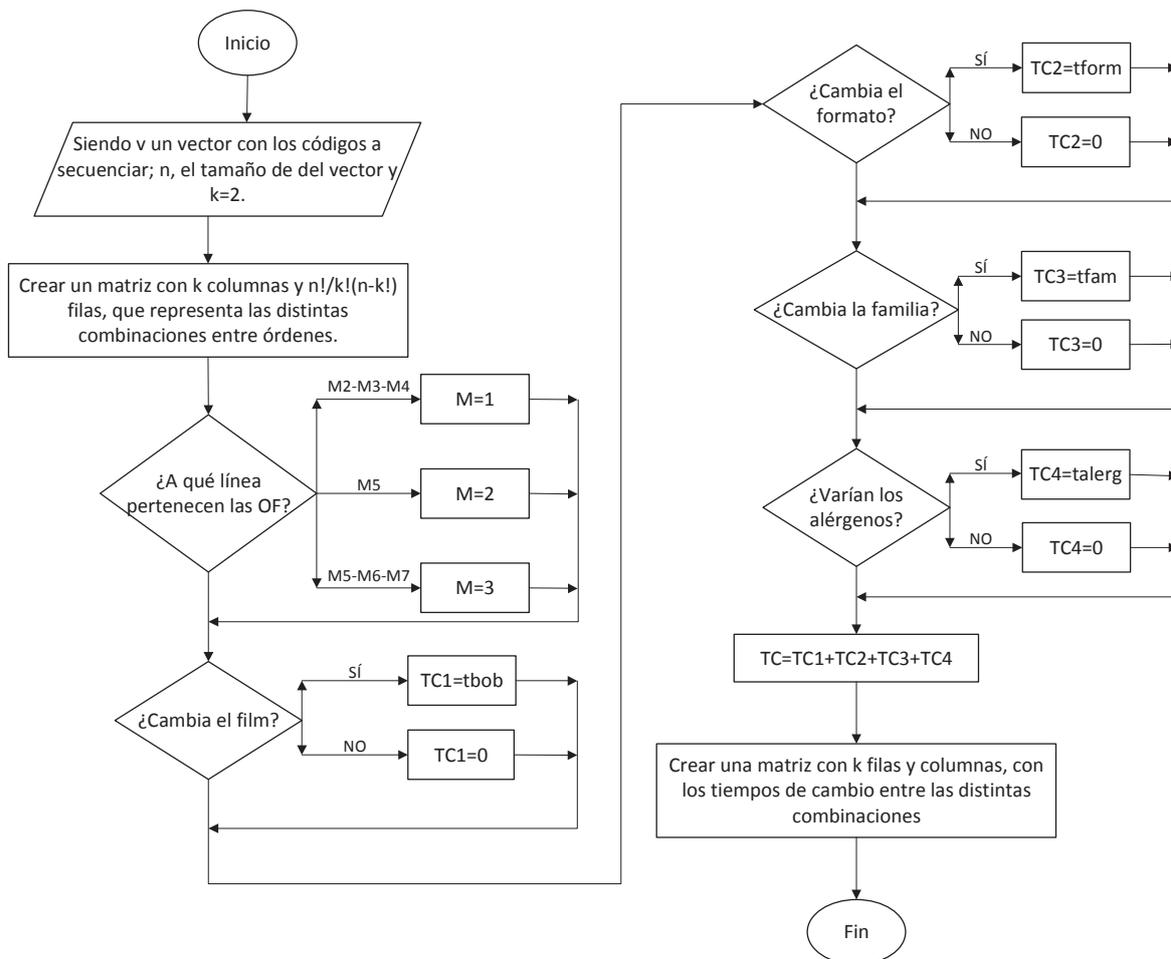


Figura 4.1: Cálculo del tiempo de cambio entre órdenes.

En el Anexo B.2, se muestra la matriz de entrada del programa con las referencias que se envasan en las distintas líneas. Cada referencia aparece con la línea en la que se puede envasar, la familia a la que pertenece, el film con el que se envasa y el grupo al que pertenece la bobina según el diámetro y, por último, los alérgenos que contiene.

En la primera parte del código se define el tamaño del vector con las órdenes a secuenciar y se crea una matriz con todas las posibles combinaciones entre órdenes.

Se han definido las variables de las que depende el tiempo de cambio:

- C: familia
- D: grupo bobina
- G: alérgenos
- F: film

Seguidamente, se escriben las condiciones que deben analizarse para calcular el tiempo de cambio según la tabla 4.1:

- Si el formato de la bobina cambia, se escoge el tiempo de la fila 'Formato' y la columna 'Cambia'. Sino, el de la columna 'No cambia', es decir, 0.
- Si la familia cambia de una orden a otra, el programa escoge el tiempo de la fila 'Familia' y la Columna 'Cambia'. De lo contrario, escogerá el tiempo de la columna 'No cambia'.
- Si los alérgenos cambian y en la condición anterior la familia también ha cambiado, se escoge el tiempo de la fila 'AlérgenosF' y la columna 'C'. Si la familia no ha cambiado y los alérgenos si, se escoge el tiempo de la fila 'AlérgenosNF' y la columna 'C'. Si los alérgenos no cambian, se escoge 0.
- Si el film cambia de una orden a otra, se escoge el tiempo de la fila 'Film' y la columna 'Cambia'. De lo contrario, se escoge el valor de la columna 'No cambia'.

En el caso de que se secuencien dos órdenes que utilizan el mismo film, de la misma familia y sin variación de alérgenos, se considera que el tiempo de cambio será de 10 minutos. Tiempo empleado en vaciar el depósito de alimentación y llenarlo con el nuevo producto.

Posteriormente, se calcula el tiempo de cambio total para cada una de posibles combinaciones. En la parte final del código, se crea la tabla resultado (tabla 4.3) con los tiempos de cambio entre las órdenes a secuenciar.

Por ejemplo, si se quieren secuenciar las órdenes de la tabla 4.2, primero se deben calcular los tiempos de cambio de las distintas combinaciones. El programa nos devolverá la tabla 4.3, que posteriormente utilizará el algoritmo de Kaufman para obtener una secuencia de envasado minimizando los tiempos de cambio.

### **Definición de un programa para la aplicación del algoritmo de Kaufman con lenguaje MATLAB<sup>®</sup>**

En el anexo C.1, se muestra el código en lenguaje MATLAB<sup>®</sup> para la ejecución del algoritmo. El resultado del mismo serán tantas secuencias como órdenes a secuenciar, se debe evaluar la  $C_{max}$  de cada una y escoger aquella secuencia con la  $C_{max}$  mínima.

Lo que se pretende con la aplicación de este algoritmo es facilitar la tarea que realiza diariamente la persona encargada de secuenciar las órdenes de envasado ya que el resultado del algoritmo le proporciona una posible solución. Una vez escogida la secuencia óptima, el secuenciador debe comprobar que se puede llevar a cabo, es decir, debe consultar el stock de materias primas de la lista de materiales y el stock de film, para asegurar que en el instante de inicio de envasado propuesto por el algoritmo, las órdenes pueden realizarse.

#### **4.2.3. Evaluación de los resultados con el algoritmo de Kaufman**

Para validar la aplicación del algoritmo de Kaufman, se van a evaluar distintos casos de secuenciación en situaciones anteriores. Posteriormente, se compararán con el resultado obtenido con la aplicación del algoritmo.

### Análisis de los distintos casos de secuenciación

- **Caso 1:** Secuenciación órdenes de envasado de la línea M3 en la semana 49 del año 2014.

En la tabla 4.1 se muestran las distintas órdenes de fabricación a secuenciar junto con las distintas características que influyen en el cálculo del tiempo de cambio.

**Tabla 4.2:** Órdenes asignadas a la línea M3.

Código	Descripción	Familia	Bobina	Formato	Alérgenos
92102	Salteado Campero 10x1	Salteados/campestre	92105	B2	0-
76654	Ensalada mediterránea 6x1	Arroces delicias	76664	B3	2-0-
76194	Arroz 5 delicias 10x1	Arroces delicias	98706	B2	2-5-0-
77846	Arroz 3D/pollo 16x500	Arroces delicias	77856	B2	1-5-6-0-
86159	Espinaca crema 20x450	Espinacas	86167	B1	1-0-
46820	Espin queso 12x400	Espinacas/grelos con	76822	B2	1-0-
91965	Salt. espin y gambas 12x450	Espinacas	91978	B2	2-4-0-
77496	Mezcla texmex fajita 16x400	Pimientos	77499	B2	1-4-6-0-
75182	Rissot de setas 12x350	Risottos	75063	B2	1-0-
46821	Pollo teriyaki 10x350	Risottos	47146	B2	3-6-0-
37005	Sopa marisco 10x400	Sopas	39172	B2	2-3-4-7-10-0-
77497	Revuelto gamba/ajete 16x450	Revueltos	77500	B2	2-0-
65794	Salt. verd con bacon 12x450	Salteados	66421	B1	1-4-10-0-

En la tabla 4.3 aparecen los tiempos de cambio posibles según las distintas combinaciones entre órdenes.

**Tabla 4.3:** Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	110	110	110	110	110	110	120	110	110	110	120	110
2	110	0	110	110	110	80	110	120	80	110	80	90	110
3	110	110	0	110	110	110	110	120	110	110	110	120	110
4	80	110	110	0	110	110	110	120	110	110	110	120	110
5	80	80	80	80	0	80	80	90	80	80	80	90	80
6	110	80	110	110	110	0	110	120	80	110	80	90	110
7	110	110	110	110	110	110	0	120	110	110	110	120	110
8	90	120	120	90	120	120	30	0	120	90	120	120	120
9	110	110	110	110	110	110	110	120	0	110	110	120	110
10	80	110	110	80	110	110	80	90	110	0	110	120	110
11	110	110	110	110	110	110	110	120	110	110	0	120	110
12	120	90	120	120	120	90	120	120	90	120	90	0	120
13	80	80	80	80	80	80	80	90	80	80	80	80	0

En la tabla 4.4, se presenta la secuencia original, calculada por el secuenciador considerando el tiempo de cambio igual a una hora. En las columnas de la derecha, se han calculado los tiempos de cambio reales y la  $C_{max}$  real. Se puede observar que, considerando los tiempos de cambio estandarizados, la  $C_{max}$  aumenta en 10 horas, ya que la mayoría de tiempos de cambio reales son de 110 a 120 minutos, por lo que el tiempo total destinado a cambiar de orden aumenta considerablemente. Este hecho explica que las órdenes no empezaran en el instante de inicio programado, motivo por el cual se acumularon retrasos y no se pudo envasar la cantidad planeada para la última orden.

**Tabla 4.4:** Secuenciación de la línea M3 en la semana 49.

Orden	Código	$t_p^1$	$t_c^1$	$t_{orden}^1$	$t_c$ (min)	$t_c^1$	$t_{orden}^1$
1	92102	7,67	1	8,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	1	4,27	110	1,83	5,11
3	76194	6,14	1	7,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	1	6,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	1	9,41	80	1,33	9,74
6	46820	5,90	1	6,90	110	1,83	7,74
7	91965	15,81	1	16,81	120	2,00	17,81
8	77496	3,52	1	4,52	120	2,00	5,52
9	75182	8,14	1	9,14	110	1,83	9,98
10	46821	6,04	1	7,04	110	1,83	7,88
11	37005	7,49	1	8,49	120	2,00	9,49
12	77497	8,35	1	9,35	120	2,00	10,35
13	65794	27,46	0	27,46	0	0,00	27,46
			12	125,90 <sup>2</sup>		22,17	136,07 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tiempos en horas

<sup>2</sup>  $C_{max}$  programado

<sup>3</sup>  $C_{max}$  real

### *Secuencias obtenidas tras la aplicación del algoritmo de Kaufman*

A continuación, en la tabla 4.5 se muestra cada una de las secuencias propuestas por el algoritmo junto con la  $C_{max}$  de cada una de ellas.

Se observa que la secuencia 13 es la óptima, con una  $C_{max}$  igual a 132,57 horas. Con esta secuencia se conseguiría reducir el tiempo de cambio total en  $136,07 - 132,57 = 3,5$  horas.

En el anexo C.2, se muestran las secuencias detalladas.

**Tabla 4.5:** Resumen de cada una de las secuencias junto con el  $C_{max}$ 

	Órdenes	$C_{max}$
Secuencia 1	1-2-6-9-3-4-5-7-10-8-11-13-12	133,23
Secuencia 2	2-6-9-1-3-4-5-7-10-8-11-13-12	133,73
Secuencia 3	10-1-2-6-9-3-4-5-7-11-13-12-8	133,57
Secuencia 4	7-1-2-6-9-3-4-5-10-8-11-13-12	133,73
Secuencia 5	11-1-2-6-9-3-4-5-7-10-8-12-13	134,40
Secuencia 6	5-1-2-6-9-3-4-7-10-8-11-13-12	133,73
Secuencia 7	3-1-2-6-9-4-5-7-10-8-11-13-12	133,73
Secuencia 8	9-1-2-6-11-3-4-5-7-10-8-12-13	134,40
Secuencia 9	13-1-2-6-9-3-4-5-7-10-8-11-12	133,90
Secuencia 10	4-1-2-6-9-3-5-7-10-8-11-13-12	133,90
Secuencia 11	6-2-9-1-3-4-5-7-10-8-11-13-12	133,73
Secuencia 12	12-2-6-9-1-3-4-5-7-10-8-11-13	133,23
Secuencia 13	8-7-1-2-6-9-3-4-5-10-11-13-12	132,57

- **Caso 2:** Secuenciación órdenes de envasado de la línea M2 en la semana 37 del año 2014.

En este caso se deben secuenciar 7 órdenes de envasado. La secuencia original, considerando el  $t_c$  dependiente de la secuencia, sumaría una  $C_{max}$  de 119,48 horas respecto a las 116,98 horas, con el tiempo de cambio independiente de la secuencia. Por lo que, al final de la semana, la línea acumularía, como mínimo, 2,5 horas de retraso.

**Tabla 4.6:** Órdenes asignadas a la línea M2.

Código	Descripción	Familia	Bobina	Formato	Alérgenos
63312	Arroz integral setas 8x600	Risottos	63375	B2	4-0-
75182	Risotto de setas 12x350	Risottos	75063	B2	1-0-
46431	Arroz 3 delicias 10x500	Arroces delicias	46636	B2	1-2-5-0-
36995	Arroz 3 delicias 16x500	Arroces delicias	78150	B2	1-2-3-5-0-
65791	Paella marisco 12x700	Paellas	66420	B2	1-2-3-5-6-7- 8-9-10-0-
37000	Salto paella marisco 8x700	Paellas	38563	B2	2-7-8-0-
91962	Arroz 3D tradicional 12x700	Arroces delicias	91975	B2	1-2-5-6-0-

**Tabla 4.7:** Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®.

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	110	110	110	110	110	110
2	110	0	80	80	80	110	80
3	110	110	0	20	80	110	20
4	110	110	110	0	80	110	110
5	110	110	110	110	0	110	110
6	110	110	110	110	20	0	110
7	110	110	110	110	80	110	0

**Tabla 4.8:** Secuenciación de la línea M2 en la semana 37.

Orden	Código	$t_p^1$	$t_c^1$	$t_{orden}^1$	$t_c$ (min)	$t_c^1$	$t_{orden}^1$
1	63312	4,70	1	5,70	110	1,83	6,54
2	75182	5,76	1	6,76	80	1,33	7,10
3	46431	5,35	1	6,35	20	0,33	5,68
4	36995	47,88	1	48,88	80	1,33	49,21
5	65791	9,65	1	10,65	110	1,83	11,49
6	37000	5,31	1	6,31	110	1,83	7,14
7	91962	32,33	0	32,33	0	0,00	32,33
			6	116,98 <sup>2</sup>		8,50	119,48 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tiempos en horas<sup>2</sup>  $C_{max1}$ <sup>3</sup>  $C_{max}$  real

### Secuencias obtenidas tras la aplicación del algoritmo de Kaufman

A continuación, aparecen las secuencias obtenidas con el algoritmo. En este caso, se escogería la secuencia 3 como óptima con una  $C_{max}$  igual a 118,48 horas.

**Tabla 4.9:** Resumen de cada una de las secuencias junto con el  $C_{max}$ 

	Órdenes	$C_{max}$
Secuencia 1	4-5-1-2-3-7-6	119,48
Secuencia 2	2-3-4-5-1-6-7	119,48
Secuencia 3	6-5-1-2-3-4-7	118,48
Secuencia 4	5-1-2-3-4-6-7	119,98
Secuencia 5	7-5-1-2-3-4-6	119,48
Secuencia 6	3-4-5-1-2-7-6	119,98

En el anexo C.3, se muestran las secuencias detalladas.

- **Caso 3:** Secuenciación órdenes de envasado de la línea M3 en la semana 13 del año 2015.

En este caso se van a secuenciar las órdenes de envasado, que aparecen en la tabla 4.10, junto con las características de cada una de ellas.

La tabla 4.12 contiene la secuencia original junto con la misma secuencia, considerando el  $t_c$  dependiente de la secuencia. Con la estandarización de los tiempos de cambio, la  $C_{max}$  de la secuencia es de 137,36 horas respecto a las 132,69 horas consideradas en un principio, lo que supone un aumento de 4,67 horas.

**Tabla 4.10:** Órdenes asignadas a la línea M3.

Código	Descripción	Familia	Bobina	Formato	Alérgenos
82209	Parr.verd.pollo 10x500	Parrilladas/braseados	82498	B2	0-
82209	Parr.verd.pollo 10x500	Parrilladas/braseados	82498	B2	0-
30682	Parrillada pollo 10x500	Parrilladas/braseados	93647	B2	0-
76653	Ensalada 5 delicias 6x1	Arroces delicias	76664	B3	0-
76654	Ensalada mediterránea 6x1	Arroces delicias	76664	B3	2-0-
75398	Espinaca ajillo 12x450	Espinacas	75644	B2	0-
88002	Espin. pasas piñones 12x400	Espinacas	88006	B2	3-0-
82212	Rev. ajetes esparr y gamb 20x450	Revueltos	98017	B	2-0-
82150	Habitas c/jamón 12x230	Habas/disoluciones	82449	B1	0-
82907	Patata jamón y queso 16x400	Patata/disoluciones	82909	B2	1-0-
81506	Menestra 20x400	Menestra coliflor	81370	B1	0-
91967	Parr.verd con pollo 12x500	Parrilladas	91980	B2	1-3-0-

**Tabla 4.11:** Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	20	90	90	80	80	80	90	80	90	80
2	20	0	20	90	90	80	80	80	90	80	90	80
3	20	20	0	90	90	80	80	80	90	80	90	80
4	90	90	90	0	10	90	90	90	90	90	90	90
5	120	120	120	110	0	120	120	90	120	120	120	120
6	80	80	80	90	90	0	20	80	90	80	90	80
7	110	110	110	120	120	110	0	110	120	110	120	80
8	110	110	110	120	90	110	110	0	120	110	120	110
9	90	90	90	90	90	90	90	90	0	90	80	90
10	110	110	110	120	120	110	110	110	120	0	120	80
11	90	90	90	90	90	90	90	90	80	90	0	80
12	110	110	110	120	120	110	110	110	120	110	120	0

**Tabla 4.12:** Secuenciación de la línea M3 en la semana 13 del año 2015.

Orden	Código	$t_p^1$	$t_c^1$	$t_{orden}^1$	$t_c$ (min)	$t_c^1$	$t_{orden}^1$
1	82209	2,06	0	2,06	20	0,33	2,39
2	82209	5,93	0	5,93	90	1,50	7,43
3	30682	6,80	1	7,80	10	0,17	6,96
4	76653	6,23	1	7,23	120	2,00	8,23
5	76654	4,70	1	5,70	20	0,33	5,04
6	75398	28,34	1	29,34	110	1,83	30,18
7	88002	11,42	1	12,42	120	2,00	13,42
8	82212	4,70	1	5,70	90	1,50	6,20
9	82150	15,56	1	16,56	120	2,00	17,56
10	82907	6,63	1	7,63	90	1,50	8,13
11	81506	3,00	1	4,00	90	1,50	4,50
12	91967	27,32	1	28,32	0	0,00	27,32
			10	132,69 <sup>2</sup>		14,67	137,36 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tiempos en horas<sup>2</sup>  $C_{max1}$ <sup>3</sup>  $C_{max}$  real*Secuencias obtenidas tras la aplicación del algoritmo de Kaufman*

En la tabla siguiente aparecen las secuencias obtenidas con el algoritmo. Observando la  $C_{max}$  de cada una de ellas, se escogería la secuencia 4 (tabla C.23) como óptima con una  $C_{max}$  de 134,69 horas, con lo que se obtendría una reducción de 2,67 horas.

**Tabla 4.13:** Resumen de cada una de las secuencias junto con el  $C_{max}$ 

	Órdenes	$C_{max}$
Secuencia 1	8-5-4-1-2-3-6-7-12-10-11-9	135,86
Secuencia 2	10-12-1-2-3-6-7-8-5-4-9-11	135,86
Secuencia 3	9-11-12-1-2-3-6-7-8-5-4-10	135,86
Secuencia 4	4-5-8-1-2-3-6-7-12-10-9-11	134,69
Secuencia 5	11-9-1-2-3-6-7-12-8-5-4-10	135,52
Secuencia 6	5-8-1-2-3-6-7-12-10-4-9-11	135,52
Secuencia 7	7-12-1-2-3-6-8-5-4-9-11-10	135,52
Secuencia 8	3-1-2-6-7-12-8-5-4-9-11-10	135,52
Secuencia 9	1-2-3-6-7-12-8-5-4-9-11-10	135,52
Secuencia 10	8-5-4-1-2-3-6-7-12-10-6-11	136,02
Secuencia 11	12-1-2-3-6-7-8-5-4-9-11-10	136,02
Secuencia 12	6-7-12-1-2-3-8-5-4-9-11-10	135,52
Secuencia 13	2-1-3-6-7-12-8-5-4-9-11-10	135,52

- **Caso 4:** Secuenciación órdenes de envasado de la línea M4 en la semana 51 del año 2014.

En la tabla 4.14 aparecen las órdenes de envasado a secuenciar en la línea M4 junto con las características de las que depende el tiempo de cambio, calculado en la tabla 4.15 para cada una de las combinaciones.

**Tabla 4.14:** Órdenes asignadas a la línea M4.

Código	Descripción	Familia	Bobina	Formato	Alérgenos
43931	Verd vapor mediterranea 8x600	Coalza	89244	B3	3-0-
43930	Verd vapor maraichere 8x600	Coalza	89243	B3	3-0-
91963	Paella marisco 12x700	Arroces del mar	91976	B2	2-4-5-6-7-0
84942	Paella marisco 12x600	Paellas	84946	B2	1-2-3-5-6-7-8-9-10-0-
81487	Menestra tradicional 12x450	Menestras	81355	B2	0-
46130	Espinaca francia 24x170	Espinacas/grelos con	38585	B1	3-0-
82908	Patata ternera bacon 16x400	Patata/disoluciones	82910	B2	6-0-
66264	Arroz 3 delicias 8x1	Arroces delicias	86576	B2	1-2-5-6-0-

**Tabla 4.15:** Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	20	120	90	120	90	120	120
2	20	0	120	90	120	90	120	120
3	120	120	0	110	110	120	110	110
4	120	120	110	0	110	120	110	110
5	90	90	80	80	0	90	80	80
6	90	90	120	90	120	0	120	120
7	120	120	80	80	110	120	0	80
8	120	120	110	80	110	120	110	0

La  $C_{max}$  calculada en la secuencia original es igual a 101,69 horas, tal y como se puede observar en la tabla 4.16. En cambio, si se tienen en cuenta los tiempos de cambio estandarizados, esta  $C_{max}$  sería igual a 105,53 horas. Lo que supone un retraso en las órdenes de 3,83 horas.

**Tabla 4.16:** Secuenciación de la línea M4 en la semana 51.

Orden	Código	$t_p^1$	$t_c^1$	$t_{orden}^1$	$t_c$ (min)	$t_c^1$	$t_{orden}^1$
1	43931	22,93	1	23,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	1	25,15	120	2,00	26,15
3	91963	4,22	1	5,22	110	1,83	6,05
4	84942	3,60	1	4,60	110	1,83	5,44
5	81487	8,88	1	9,88	90	1,50	10,38
6	46130	16,98	1	17,98	120	2,00	18,98
7	82908	4,00	1	5,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	0	9,93	0	0,00	9,93
			7	101,69 <sup>2</sup>			105,53 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tiempos en horas<sup>2</sup>  $C_{max_1}$ <sup>3</sup>  $C_{max}$  real

### *Secuencias obtenidas tras la aplicación del algoritmo de Kaufman*

A continuación, aparecen las secuencias propuestas por el algoritmo junto con la  $C_{max}$  de cada una. Se elegiría como óptima la secuencia 3 con una  $C_{max}$  igual a 104,36 horas.

**Tabla 4.17:** Resumen de cada una de las secuencias junto con el  $C_{max}$ 

	Órdenes	$C_{max}$
Secuencia 1	8-4-3-5-7-1-2-6	104,86
Secuencia 2	3-4-5-7-8-1-2-6	104,86
Secuencia 3	6-1-2-4-3-5-7-8	104,36
Secuencia 4	7-3-4-5-8-1-2-6	104,86
Secuencia 5	5-3-4-7-8-1-2-6	104,86
Secuencia 6	1-2-4-3-5-7-8-6	104,86
Secuencia 7	2-1-4-3-5-7-8-6	104,86
Secuencia 8	4-3-5-7-8-1-2-6	104,86

En el anexo C.5, se muestran las secuencias detalladas.

- **Caso 5:** Secuenciación órdenes de envasado de la línea M6 en la semana 6 del año 2015.

En este caso se va a analizar la secuencia de la línea M6 en la semana 6 y a proponer una alternativa que mejore  $C_{max}$ .

**Tabla 4.18:** Órdenes asignadas a la línea M6.

Código	Descripción	Familia	Bobina	Formato	Alérgenos
86953	Espinaca frita 1x10 mdc	Espinacas	1000	B5	0-
84659	Grelos IQF 6x1,5	Parrilladas	91980	B2	1-3-0-
39305	Verd cocin italienne 10x900	Parrilladas/braseados	82498	B2	0-
77800	Guisante fino 4x2,5	Parrilladas/braseados	82498	B2	0-
83179	Guisantes 8x750 cdm	Parrilladas/braseados	93647	B2	0-
76487	Guisantes 4x2,5 neutro	Espinacas	75644	B2	0-
89526	Arroz cantonés 4x2,5	Espinacas	88006	B2	3-0-
45954	Maíz mazorca spd 6x1	Revueltos	98017	B2	2-0-
78523	Maíz mazorca d 4x2,5	Arroces delicias	76664	B3	2-0-

**Tabla 4.19:** Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	30	80	80	80	80	80	80	80
2	30	0	90	80	90	60	90	80	80
3	120	120	0	120	110	120	80	120	120
4	90	80	90	0	30	20	90	80	80
5	90	90	80	40	0	30	70	80	80
6	90	80	90	30	30	0	90	80	80
7	120	120	110	120	110	120	0	120	120
8	90	80	90	80	90	80	90	0	20
9	90	80	90	80	90	80	90	20	0

Como se puede observar en la tabla 4.20, si se consideran los tiempos de cambio estandarizados, el tiempo de cambio total aumenta en 0,83 horas. Esto se debe a que los tiempos de cambio reales varían entre 20 y 120 minutos, por lo que se compensan y no se acumulan retrasos respecto a la secuencia planificada.

Tabla 4.20: Secuenciación de la línea M6 en la semana 6.

Orden	Código	$t_p^1$	$t_c^1$	$t_{orden}^1$	$t_c$ (min)	$t_c^1$	$t_{orden}^1$
1	86953	13,86	1	14,86	30	0,50	14,36
2	84659	41,00	1	42,00	90	1,50	42,50
3	39305	12,33	1	13,33	120	2,00	14,33
4	77800	13,00	1	14,00	30	0,50	13,50
5	83179	11,00	1	12,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	1	6,36	90	1,50	6,86
7	89526	3,91	1	4,91	120	2,00	5,91
8	45954	6,95	1	7,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	5,19	0	0,00	5,19
			8	120,61 <sup>2</sup>		8,83	121,44 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tiempos en horas<sup>2</sup>  $C_{max_1}$ <sup>3</sup>  $C_{max}$  real

### Secuencias obtenidas tras la aplicación del algoritmo de Kaufman

Entre las secuencias obtenidas hay varias con una  $C_{max}$  de 120,27 horas, cualquiera de las secuencias 1, 2, 3, o 6, podría elegirse como óptima, aunque una opción mejor sería consultar la cobertura de cada producto secuenciado y escoger la secuencia que mejor se ajuste a la situación del momento.

Tabla 4.21: Resumen de cada una de las secuencias junto con el  $C_{max}$ 

	Órdenes	$C_{max}$
Secuencia 1	8-9-2-1-3-7-5-6-4	120,27
Secuencia 2	2-1-3-7-5-6-4-8-9	120,27
Secuencia 3	3-7-5-6-4-2-1-8-9	120,27
Secuencia 4	1-2-6-4-5-7-3-8-9	120,44
Secuencia 5	6-4-5-7-3-1-2-8-9	120,77
Secuencia 6	9-8-2-1-3-7-5-6-4	120,27
Secuencia 7	5-6-4-2-1-3-7-8-9	120,44
Secuencia 8	4-6-5-7-3-1-2-8-9	120,61
Secuencia 9	7-3-5-6-4-2-1-8-9	120,94

En el anexo C.6 se muestran las secuencias detalladas.

- **Caso 6:** Secuenciación órdenes de envasado de la línea M7 en la semana 51 del año 2014.

**Tabla 4.22:** Órdenes asignadas a la línea M7.

Código	Descripción	Familia	Bobina	Formato	Alérgenos
77810	Guisante superfino 20x400	Guisantes	77832	B1	0-
77804	Guisante fino 20x400	Guisantes	77826	B1	0-
54662	Guisante fino 750g	Guisantes	73113	B2	0-
77805	Guisante fino 16x400	Guisantes	77827	B1	0-
81506	Menestra 20x400	Menestra coliflor	81370	B1	0-
80325	Menestra huerta 16x750	Menestras champi imperial	80300	B2	4-0-
75807	Garrofón 20x200	Garrofón	75814	B1	0-
30966	Maíz grano 16x400	Maíz	76622	B1	0-
48984	Salteado campestre 16x500	Salteados/campestre	38293	B2	0-
77800	Guisante fino 4x2,5	Guisantes	77822	B3	0-

**Tabla 4.23:** Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	20	30	20	70	80	70	70	80	30
2	20	0	30	20	70	80	70	70	80	30
3	30	30	0	30	80	70	80	80	70	30
4	20	20	30	0	70	80	70	70	80	30
5	80	80	90	80	0	80	70	70	80	80
6	120	120	110	120	120	0	100	100	90	100
7	80	80	90	80	80	90	0	70	80	80
8	80	80	90	80	80	90	80	0	80	80
9	90	90	80	90	90	80	90	90	0	90
10	30	30	30	40	90	90	90	90	90	0

En este caso, la diferencia entre la  $C_{max}$  de la secuencia original y la  $C_{max}$  real es de tan sólo 0,5 horas. Esto se debe a que inicialmente se consideraban tiempos de cambio de una hora y, tras la estandarización de los mismos, resulta que una parte de los tiempos de cambio son menores que una hora y, por otra parte, el mayor tiempo de cambio es de 100 min; por lo que la  $C_{max}$  real es próximo al calculado inicialmente.

**Tabla 4.24:** Secuenciación de la línea M7 en la semana 51.

Orden	Código	$t_p^1$	$t_c^1$	$t_{orden}^1$	$t_c$ (min)	$t_c^1$	$t_{orden}^1$
1	77810	6,86	1	7,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	1	36,88	30	0,50	36,38
3	54662	19,40	1	20,40	30	0,50	19,90
4	77805	6,21	1	7,21	70	1,17	7,38
5	81506	3,22	1	4,22	80	1,33	4,56
6	80325	26,97	1	27,97	100	1,67	28,64
7	75807	3,60	1	4,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	1	5,91	80	1,33	6,24
9	48984	8,50	1	9,50	90	1,50	10,00
10	77800	8,81	0	8,81	0	0,00	8,81
Total			9	133,37 <sup>2</sup>		9,50	133,87 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tiempos en horas<sup>2</sup>  $C_{max_1}$ <sup>3</sup>  $C_{max}$  real

### Secuencias obtenidas tras la aplicación del algoritmo de Kaufman

En las secuencias obtenidas con el algoritmo hay varias con un  $C_{max}$  mínima de 132,54 horas, por lo que cualquiera de las secuencias 1, 2 ó 3 podría considerarse la secuencia óptima, aunque se podría consultar la cobertura de cada una de los productos y decidir que secuencia sería la que más se ajusta a la situación. Con esta secuencia se conseguiría una reducción de 1,17 horas respecto a la  $C_{max}$  real actual.

**Tabla 4.25:** Resumen de cada una de las secuencias junto con el  $C_{max}$ 

	Órdenes	$C_{max}$
Secuencia 1	4-1-2-3-10-5-7-8-9-6	132,54
Secuencia 2	10-1-2-4-3-6-9-5-7-8	132,54
Secuencia 3	1-2-4-3-10-5-7-8-9-6	132,54
Secuencia 4	6-9-3-1-2-4-10-5-7-8	132,70
Secuencia 5	5-7-8-1-2-4-3-10-6-9	132,70
Secuencia 6	7-8-1-2-4-3-10-5-6-9	132,87
Secuencia 7	8-1-2-4-3-10-5-7-9-6	132,70
Secuencia 8	9-3-1-2-4-10-5-7-8-6	132,70
Secuencia 9	2-1-4-3-10-5-7-8-9-6	132,54
Secuencia 10	3-1-2-4-10-5-7-8-9-6	132,54

En el anexo C.7, se muestran las secuencias detalladas.

## Conclusiones del análisis

Tras analizar y comentar los distintos casos expuestos anteriormente, se puede concluir que la propuesta de optimización en la secuenciación de las órdenes de envasado, basada en el algoritmo de Kaufman, presenta mejoras significativas.

Una de las más importantes es el hecho de realizar el proceso de secuenciación con tiempos de cambio reales dependientes de la secuencia, y no con tiempos de cambio fijos de una hora, con lo que se consigue minimizar la desviación entre el instante de inicio programado y el instante de inicio real. Esto supone una disminución de los retrasos y un mayor conocimiento del curso de las órdenes de envasado por parte del departamento de planificación.

Este cambio supone una mejora en el proceso global de programación, ya que desde el inicio se conoce el tiempo que se tardará en cambiar de orden, por lo que la secuenciación y temporización se pueden realizar con un mayor ajuste a la realidad y a la capacidad de las líneas. De esta manera, se consigue un mayor control de la situación de las órdenes de envasado en todo momento y un mayor cumplimiento de las mismas.

Otra de las mejoras es la reducción de  $C_{max}$ , ya que el algoritmo de Kaufman secuencia las órdenes escogiendo aquellas combinaciones con menor  $t_c$ , con lo que se consigue mejorar la  $C_{max}$  calculada inicialmente. En los casos analizados se ha conseguido una disminución de entre 1 hora y 3,5 horas semanales.

Habrán algunos casos en los que la diferencia entre  $C_{max}$  real y  $C_{max}$  optimizada no sea muy significativa, como se ha visto en los casos 5 y 6, con una diferencia de 1,17 y 1,33 horas, respectivamente. En estos casos, el aumento de la suma de tiempos de cambio reales, respecto a los supuestos inicialmente de una hora, es mínimo.

En la tabla 4.26, se compara la  $C_{max}$  programada inicialmente por el secuenciador, la  $C_{max}$  real, al considerar los tiempos de cambio reales, y la  $C_{max}$  óptima propuesta según el algoritmo de Kaufman. En la columna de la derecha, se calcula la variación de horas entre la  $C_{max}$  real y la  $C_{max}$  óptima. En el apartado 5.2, se va a comentar el ahorro que este sistema va a suponer, tanto en la programación de las órdenes como en el proceso de producción.

**Tabla 4.26:** Comparación de las distintas  $C_{max}$  calculadas para cada secuencia.

	$C_{max_{prog}}$	$C_{max_{real}}$	$C_{max_{optima}}$	$\Delta C_{max}$
Caso 1	125,90	136,07	132,57	-3,50
Caso 2	116,98	119,48	118,48	-1,00
Caso 3	132,69	137,36	134,69	-2,67
Caso 4	101,69	105,53	104,36	-1,17
Caso 5	120,61	121,44	120,27	-1,17
Caso 6	133,37	133,87	132,54	-1,33



## 5 Resultados

---

### 5.1. Implantación del sistema propuesto de secuenciación

El programa propuesto para el cálculo del tiempo de cambio y de la secuenciación de las órdenes de envasado estará a disposición del secuenciador para el trabajo diario. Con la ayuda de este sistema, el secuenciador realizará el proceso de manera más rápida y eficiente.

La implantación del sistema constará de dos partes:

- Una primera fase, en la que el secuenciador, junto con el responsable del departamento, realizarán un estudio comparativo entre la secuencia planificada y la propuesta según el algoritmo. En esta fase, se observarán las mejoras que se podrían alcanzar y se estudiará su aplicación a corto plazo.
- Una segunda fase, en la que se procede a la implantación del sistema, es decir, se empieza a utilizar la secuenciación propuesta. El secuenciador, obtendrá los tiempos de cambio entre las órdenes, según el código del anexo B.1, y la secuencia propuesta, según el código del anexo C.1.

### 5.2. Ahorros previstos con la implantación del sistema

Según los datos de la tabla 4.26, con la implantación de este sistema, semanalmente la  $C_{max}$  de cada línea se vería reducida en 1,8 horas de media. Aunque esta reducción, depende de la variación que haya entre el tiempo de cambio considerado de 1 hora y el real, por lo que, tal y como se ha visto en los distintos casos, la  $C_{max}$  variará más en unas semanas que otras o en unas líneas que otras.

Considerando una reducción semanal de 10,8 horas de media en las seis líneas, se pueden plantear las situaciones siguientes:

- Que la empresa siga una política de realización de horas extra para cumplir con el plan de producción programado. Considerando un coste de 12 €/hora extra, anualmente se ahorrará 6864 € en mano de obra.
- Si la empresa no realiza horas extra y tiene como objetivo cumplir con las órdenes de envasado dentro de un horizonte de 114 horas, se aumentará el nivel de servicio al cliente, ya que, salvo excepciones, se cumplirá el plan de producción programado, por lo que disminuirá el número de órdenes programadas que no se realizan.

### **5.3. Otras propuestas futuras en los procesos de asignación y secuenciación**

Las futuras líneas de trabajo recomendadas son las siguientes:

1. Proponer mejoras para el proceso de asignación de las órdenes de envasado a las líneas, para evitar la saturación excesiva actual.
2. Resolver el problema de secuenciación mediante alguna de las metaheurísticas propuesto al inicio del capítulo 5.
3. Estandarizar los tiempos de cambio de las líneas Norfo, Stein y Cob.
4. Actualizar las velocidades de las líneas con el objetivo de conseguir una secuenciación y temporización ajustadas a la realidad y así, evitar retrasos o tiempos ociosos..

## Bibliografía

---

- [1] R.B. Chase, N.J. Aquilano y F.R. Jacobs. *Manual de operaciones de manufactura y servicios: Programación y control de la producción y los servicios*. Manual de operaciones de manufactura y servicios. MacGraw-Hill, 2001. ISBN: 9789584103260.
- [2] F.C.L. Esteban y col. *Apuntes de programación y control de la producción*. Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [3] J.A.D. Machuca y S.G. González. *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. Dirección de operaciones. McGraw-Hill, 1994. ISBN: 9788448118037.
- [4] J.P.G. Sabater. *Gestión de stocks de demanda independiente*. Universitat Politècnica de València, 2004. ISBN: 9788497055215.
- [5] E.V. Salort y col. *Apuntes de gestión industrial en sistemas de producción inventario*. Universidad Politécnica de Valencia, 1999.



# A Planos

---

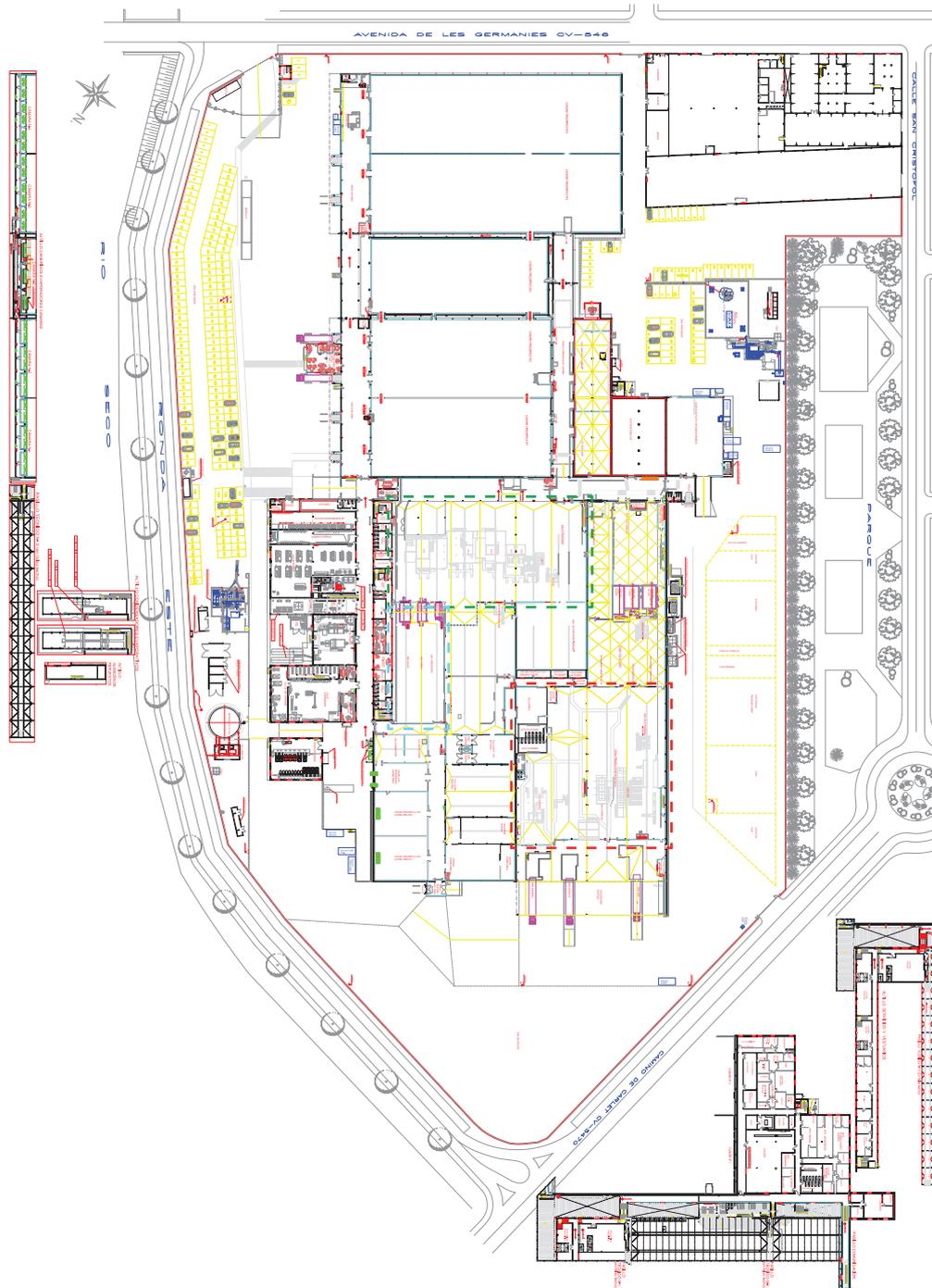


Figura A.1: Planta de producción de Ultra Congelados de la Ribera.

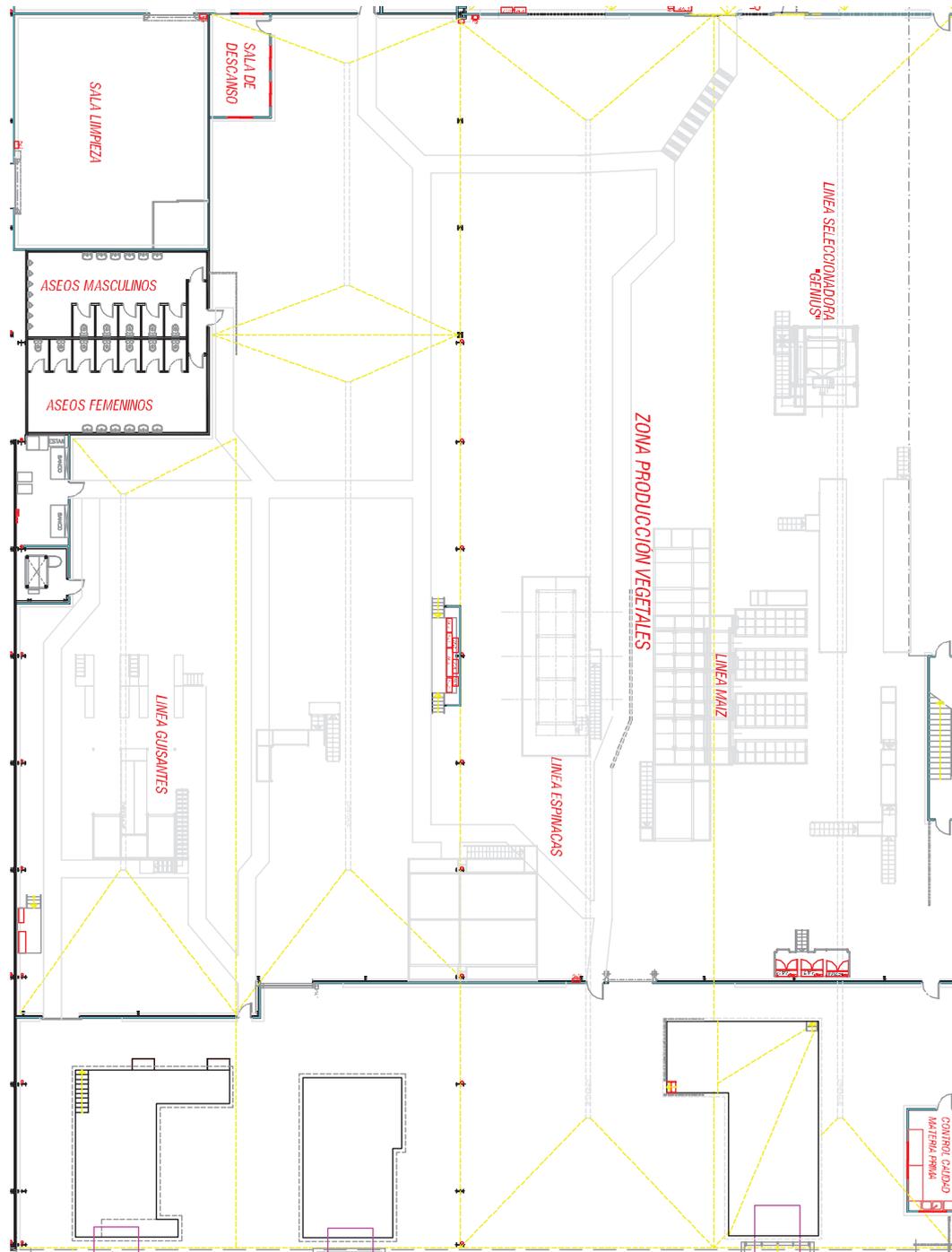


Figura A.2: Zona de las líneas de producción de verduras.

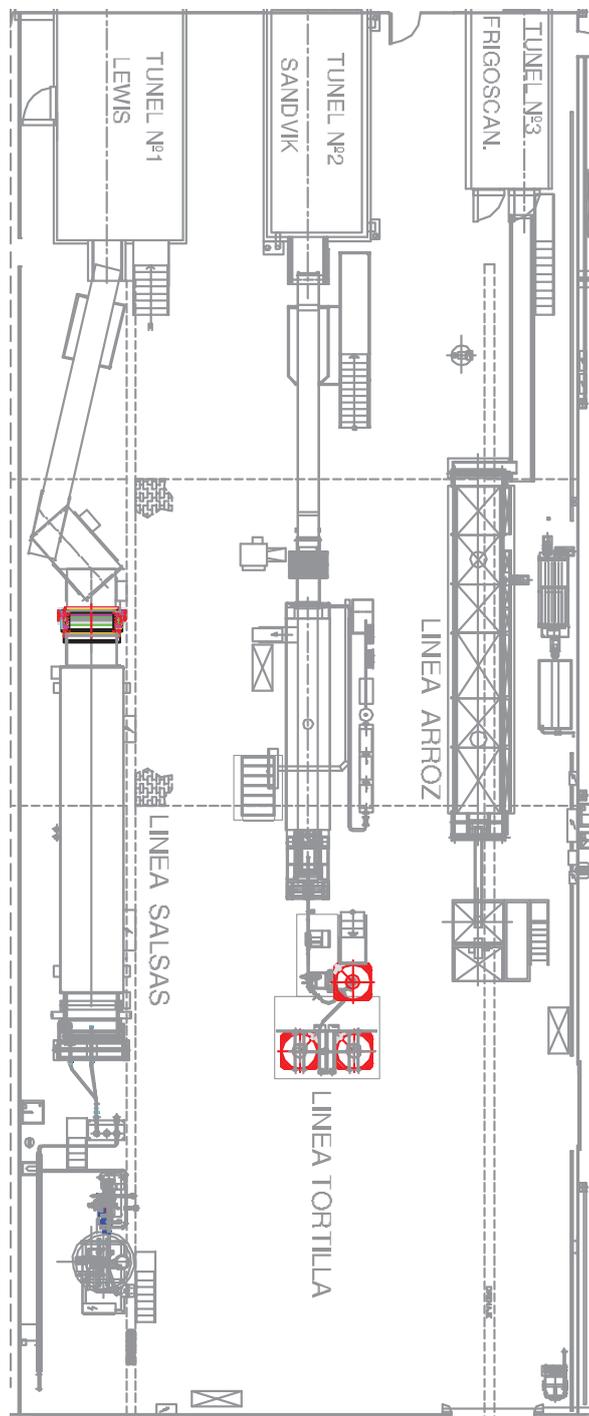


Figura A.3: Zona de las líneas de precocinado.

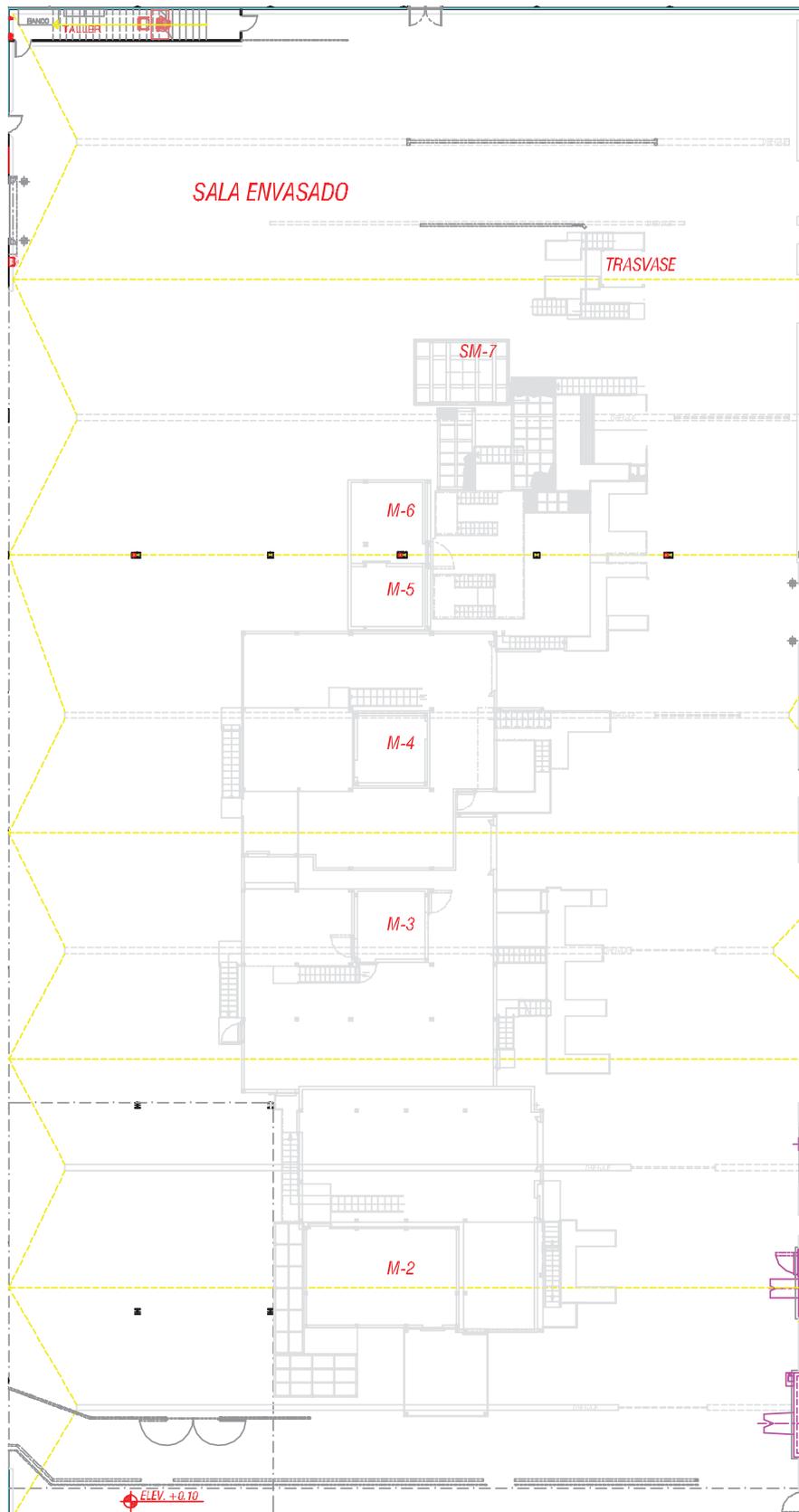


Figura A.4: Zona de las líneas de envasado.

## B Cálculo de los tiempos de cambio

---

### B.1. Código del programa para el cálculo del tiempo de cambio

```
1
2 %Se define el tamaño del vector
3
4 n_vector = length(codes) ;
5
6 for ii = 1 :length(codes)
7 selected_index(ii,:) =find(Cdigo==codes(ii));
8 end
9
10 %Se crea una matriz con todas las posibles combinaciones entre órdenes
11
12 ind = combnk(1:n_vector,2);
13
14 %Se definen las variables de las que depende el tiempo de cambio
15
16 C = {Familia{selected_index}}';
17
18 D = {GrupoBOB{selected_index}}';
19
20 G = GrupoALERG(selected_index);
21
22 F = Film(selected_index);
23
24 %Se plantean las condiciones a analizar para el cálculo del tiempo de
    cambio
25
26 for ii = 1:length(ind) ;
27
28     if strcmp(D{ind(ii,1)},D{ind(ii,2)})==1,
29
30         Tiempos(ii,1) = TC(4,2) ;
31
32     else
33         Tiempos(ii,1) = TC(4,1) ;
34     end
35
36     if strcmp(C{ind(ii,1)}, C{ind(ii,2)})==1,
37
38         Tiempos(ii,2) = TC(1,2);
39     else
40         Tiempos(ii,2) = TC(1,1);
41     end
```

```

42     if G(ind(ii,1)) == G(ind(ii,2)) & strcmp(C{ind(ii,1)},C{ind(ii,2)})==1,
43
44         Tiempos(ii,3) = TC(2,2);
45
46     elseif G(ind(ii,1)) ~= G(ind(ii,2)) & strcmp(C{ind(ii,1)},C{ind(ii,2)})
47         ==1,
48         Tiempos(ii,3) = TC(3,1);
49
50     elseif G(ind(ii,1)) ~= G(ind(ii,2)) & strcmp(C{ind(ii,1)},C{ind(ii,2)})
51         ==0,
52         Tiempos(ii,3) = TC(2,1);
53     end
54
55     if strcmp(F(ind(ii,1)),F(ind(ii,2)))==1,
56
57         Tiempos(ii,1) = TC(5,2) ;
58
59     else
60         Tiempos(ii,1) = TC(5,1) ;
61     end
62
63 end
64
65 % Se calcula el tiempo de cambio para cada una de las posibles combinaciones
66   y se crea una tabla diagonal no simétrica con todos los tiempos de
67   cambio
68
69 A = sum(Tiempos,2);
70 t = eye(n_vector, n_vector);
71
72 for ii = 1:length(A)
73     t(ind(ii,1),ind(ii,2)) = A(ii);
74     t(ind(ii,2),ind(ii,1)) = A(ii);
75 end
76 for ii = 1 : n_vector
77     t(ii,ii) = 0 ;
78 end

```

## B.2. Matriz de entrada en MATLAB para el cálculo de tiempos de cambio

**Tabla B.1:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
13067	M6	Espinacas	96680	B3	0-
27635	M4	Espinacas	95154	B0	0-
28309	M4	Maíz	76491	B2	0-
29838	M4	Garrofón	30160	B2	0-
30669	M4	Parrilladas/braseados	93646	B2	2-0-
30679	M4	Arroces del mar	86574	B2	2-4-5-6-7-0-
30680	M4	Paellas	86575	B2	1-2-8-0-
30682	M4	Parrilladas/braseados	93647	B2	0-
30966	M5-M7	Maíz	76622	B1	0-
31028	M4	Arroces delicias	88893	B3	1-2-5-0-
35614	M4	Espinacas	76224	B2	0-
35741	M4	Maíz	38990	B1	0-
36990	M4	Arroces delicias	78152	B2	1-2-3-5-0-
36995	M4	Arroces delicias	78150	B2	1-2-3-5-0-
36999	M4	Paellas	38562	B2	3-0-
37000	M4	Paellas	38563	B2	2-7-8-0-
37001	M4	Arroces del mar	38564	B2	2-3-7-8-0-
37003	M4	Pasta	65987	B2	2-3-5-6-7- 11-0-
37005	M4	Sopas	39172	B2	2-3-4-7-10- 0-
37062	M4	Revueltos	38575	B1	2-
37084	M4	Arroces del mar	78151	B2	1-2-3-5-6-7- 0-
37112	M4	Maíz	1000	B4	0-
37115	M4	Maíz	1000	B5	0-
37116	M4	Zanahoria	1000	B5	0-
37135	M4	Revueltos	63358	B2	2-0-
37138	M4	Arroces delicias	63359	B2	1-2-5-0-
37207	M4	Espinacas	38586	B1	0-
37208	M4	Maíz	1000	B5	0-
37227	M4	Espinacas	38586	B1	0-
39062	M4	Maíz	1000	B2	0-
39266	M4	Guisantes	1000	B2	0-
39295	M4	Guisantes	76848	B3	0-
39305	M6	Verdura/sopa	89242	B2	3-0-
39306	M4	Verdura/sopa	89241	B2	3-0-
39551	M4	Espinacas	76491	B3	0-
40190	M4	Espinacas	38586	B3	0-
40385	M4	Maíz	86877	B3	0-
43930	M4	Coalza	89243	B3	3-0-

**Tabla B.2:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
43931	M4	Coalza	89244	B3	3-0-
45224	M4	Espinacas	92194	B4	0-
45954	M6	Maíz	28342	B3	0-
45955	M4	Maíz	61211	B2	0-
46130	M4	Espinacas/grelos con	38585	B1	3-0-
46347	M4	Coalza	46635	B2	0-
46431	M4	Arroces delicias	46636	B2	1-2-5-0-
46820	M4	Espinacas/grelos con	76822	B2	1-0-
46821	M4	Risottos	47146	B2	3-6-0-
48983	M5	Salteados/tradicional	38294	B2	0-
48984	M5	Salteados/campestre	38293	B2	0-
51866	M6	Pasta	51867	B2	1-2-3-4-5-6-0-
52050	M6	Arroces delicias	76491	B3	1-2-5-0-
54662	M5-M7	Guisantes	73113	B2	0-
63312	M3	Risottos	63375	B2	4-0-
65791	M2-M3-M4	Paellas	66420	B2	1-2-3-5-6-7-8-9-10-0-
65794	M3	Salteados	66421	B1	1-4-10-0-
66264	M2-M3-M4	Arroces delicias	86576	B2	1-2-5-6-0-
69217	M4	Coalza	93066	B3	0-
70033	M2-M3	Salteados	89741	B1	1-4-10-0-
72226	M4	Coalza	77368	B3	0-
72227	M4	Coalza	77370	B3	0-
72239	M2-M3	Arroces delicias	98014	B2	2-5-0-
72370	M2-M3	Arroces delicias	73326	B1	2-0-
72381	M3	Risottos	91928	B3	1-3-5-6-7-10-0-
72385	M2-M3-M4	Arroces delicias	73327	B1	2-5-0-
72386	M2-M3	Arroces delicias	73349	B3	2-5-0-
72387	M2-M3	Arroces delicias	73349	B3	0-
72388	M2-M3	Arroces delicias	73322	B2	2-5-0-
72391	M2-M3-M4	Arroces delicias	73332	B1	2-5-0-
72392	M2-M3	Arroces delicias	73330	B2	2-5-0-
72396	M2-M3	Ensaladas	73328	B3	0-
74639	M6	Maíz	74645	B3	0-
74640	M6	Maíz	74646	B3	0-
74641	M6	Maíz	74647	B3	0-
74642	M6	Maíz	74652	B3	0-
74643	M6	Maíz	74648	B3	0-
74644	M6	Maíz	74649	B3	0-
75134	M5-M7	Menestras	75138	B2	0-
75182	M2-M3	Risottos	75063	B2 1-0-	
75183	M2-M3	Risottos	75064	B2	1-0-

**Tabla B.3:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
75358	M6	Maíz	74645	B3	0-
75359	M6	Maíz	74648	B3	0-
75360	M6	Maíz	74645	B3	0-
75361	M7	Maíz	74645	B3	0-
75398	M4	Espinacas	75644	B2	0-
75753	M5-M6-M7	Guisantes	75856	B1	0-
75764	M6	Maíz	74645	B3	0-
75806	M5-M7	Garrofón	75813	B1	0-
75807	M5-M7	Garrofón	75814	B1	0-
75808	M3	Espinacas/grelos con	75820	B2	0-
75809	M5-M7	Menestras	75815	B1	0-
75812	M3	Revuelto/seta/champi	75818	B1	2-0-
76194	M2-M3-M4	Arroces delicias	98706	B2	2-5-0-
76487	M6	Guisantes	76491	B3	0-
76653	M2-M3	Arroces delicias	76664	B3	0-
76654	M2-M3	Arroces delicias	76664	B3	2-0-
76655	M2-M3	Ensaladas	76664	B3	0-
76657	M2-M3	Arroces delicias	76665	B3	0-
76658	M6	Espinacas	76664	B3	0-
76661	M5-M6-M7	Espinacas	84553	B3	0-
76662	M2-M3	Arroces delicias	76665	B3	2-5-0-
77485	M2-M3-M4	Arroces del mar	77486	B2	2-4-5-6-7-0-
77496	M2-M3-M4	Pimientos	77499	B2	1-4-6-0-
77497	M2-M3-M4	Revueltos	77500	B2	2-0-
77715	M6	Espinacas	77714	B3	0-
77717	M4	Espinacas	38959	B4	0-
77718	M4	Espinacas	38960	B4	0-
77800	M6	Guisantes	77822	B3	0-
77804	M5-M7	Guisantes	77826	B1	0-
77805	M5-M7	Guisantes	77827	B1	0-
77810	M5-M7	Guisantes	77832	B1	0-
77818	M5-M7	Guisantes	77836	B2	0-
77838	M2-M3-M4	Arroces delicias	77854	B2	1-2-5-6-0-
77845	M2-M3-M4	Arroces del mar	77855	B2	2-5-6-7-0-
77846	M2-M3-M4	Arroces delicias	77856	B2	1-5-6-0-
77919	M5-M7	Guisantes	76665	B3	0-
78523	M6	Maíz	78525	B3	0-
79465	M6	Maíz	79468	B3	0-
79483	M5	Maíz	79500	B1	0-
79490	M5-M6	Maíz	76665	B3	0-
79491	M5-M6	Maíz	79501	B2	0-

**Tabla B.4:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
79493	M5	Maíz	79503	B2	0-
79494	M5	Maíz	79504	B1	0-
79496	M6	Maíz	73328	B3	0-
79497	M6	Maíz	76491	B3	0-
79498	M5	Maíz	1000	B5	0-
79768	M5-M6-M7	Guisantes	83282	B3	0-
80229	M2-M3-M4	Risottos	81178	B3	1-3-4-0-
80232	M2-M3-M4	Risottos	81179	B4	1-3-0-
80325	M5-M7	Menestras champi imperial	80300	B2	4-0-
80401	M6	Guisantes	76848	B3	0-
80782	M6	Alcachofas	73349	B3	0-
80797	M5-M7	Alcachofas	98015	B1	0-
81081	M2-M3	Arroces delicias	81055	B1	1-2-3-5-0-
81082	M5-M7	Salteados/campestre	81056	B1	0-
81085	M5-M7	Espinacas	81057	B1	0-
81479	M5-M6-M7	Alcachofas	77828	B3	0-
81481	M5-M6-M7	Alcachofas	76664	B3	0-
81482	M6	Alcachofas	73328	B3	0-
81483	M5-M6-M7	Menestra coliflor	76491	B3	0-
81484	M5-M7	Menestra coliflor	81372	B2	0-
81485	M6	Menestra coliflor	77822	B3	0-
81486	M5-M7	Menestra coliflor	73328	B3	0-
81487	M2-M3-M4	Menestras	81355	B2	0-
81494	M6	Menestras champi imperial	81357	B3	4-0-
81495	M5-M6-M7	Menestras champi imperial	76491	B3	4-0-
81498	M5-M6-M7	Menestra coliflor	81361	B2	0-
81501	M5-M7	Menestra coliflor	81364	B2	0-
81502	M5-M7	Menestras champi imperial	81365	B1	4-0-
81506	M5-M7	Menestra coliflor	81370	B1	0-
81508	M5-M6-M7	Menestras champi imperial	76664	B3	4-0-
81510	M6	Menestras champi imperial	77822	B3	4-0-
81511	M6	Menestras champi imperial	73328	B3	4-0-
81512	M5-M7	Menestras champi imperial	81373	B1	4-0-
81513	M5-M7	Menestras champi imperial	81374	B2	4-0-
81802	M6	Garrofón	73349	B3	0-
81803	M5-M7	Garrofón	76664	B3	0-
82145	M2-M3-M4	Espinacas/grelos con	82444	B2	2-0-
82146	M2-M3-M4	Menestras	82445	B2	2-0-
82147	M2-M3-M4	Pimientos	82446	B2	0-
82148	M2-M3-M4	Guisantes/disoluciones	82447	B2	0-
82150	M2-M3-M4	Habas/disoluciones	82449	B1	0-

**Tabla B.5:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
82151	M5-M7	Verdura/sopa	82451	B2	0-
82153	M5-M6-M7	Setas/disoluciones	82453	B1	4-0-
82154	M2-M3-M4	Revuelto/seta/champi	82454	B2	2-0-
82158	M2-M3-M4	Calabacín/disoluciones	82458	B2	0-
82159	M2-M3-M4	Braseado gamba/disoluciones	82459	B2	2-0-
82160	M2-M3-M4	Braseado pollo/disoluciones	82505	B2	0-
82166	M5-M7	Verdura/sopa	82464	B2	0-
82169	M2-M3-M4	Paellas	82467	B2	1-2-7-8-0-
82171	M2-M3-M4	Setas	82469	B2	0-
82172	M2-M3-M4	Setas	82494	B2	0-
82177	M5-M7	Setas	82509	B2	0-
82178	M2-M3-M4	Revueltos	82475	B1	2-0-
82181	M5-M7	Patatas	82507	B2	0-
82182	M5-M7	Patatas	82478	B2	0-
82184	M5-M6-M7	Setas/disoluciones	82479	B2	4-0-
82185	M5-M7	Judías	82480	B2	0-
82186	M5-M7	Parrilladas/braseados	82481	B2	0-
82188	M2-M3-M4	Revuelto/seta/champi	82483	B2	2-0-
82189	M5-M6-M7	Salteados/tradicional	82484	B2	0-
82190	M5-M6-M7	Setas	82485	B1	0-
82191	M2-M3-M4	Parrilladas/braseados	82486	B2	2-0-
82192	M2-M3-M4	Revueltos	82486	B2	0-
82193	M5-M7	Parrilladas/braseados	82486	B2	0-
82194	M5-M7	Pimientos	82487	B2	0-
82195	M2-M3-M4	Arroz/disoluciones	82488	B2	3-4-6-0-
82196	M2-M3-M4	Setas	82489	B2	0-
82197	M5-M6-M7	Revuelto/seta/champi	82510	B2	0-
82198	M2-M3-M4	Revueltos	82519	B2	2-0-
82201	M5-M7	Judías	82492	B2	0-
82204	M2-M3-M4	Setas	82511	B2	0-
82205	M2-M3-M4	Setas	82512	B2	0-
82206	M5-M6-M7	Setas	76491	B3	0-
82207	M5-M6-M7	Guisantes	82496	B2	0-
82209	M2-M3-M4	Parrilladas/braseados	82498	B2	0-
82211	M5-M7	Salteados/tradicional	98020	B2	0-
82212	M2-M3-M4	Revueltos	98017	B2	2-0-
82339	M6	Setas	73349	B3	4-
82340	M5-M6-M7	Parrilladas/braseados	73349	B3	0-
82341	M2-M3-M4	Revueltos	73349	B3	2-0-
82344	M5-M7	Pimientos	84553	B3	0-
82345	M3	Bacalao	76665	B3	2-7-0-

**Tabla B.6:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
82346	M5-M6-M7	Berenjena	76665	B3	0-
82349	M6	Pimientos	81363	B3	0-
82350	M5-M6-M7	Salteados/tradicional	77828	B3	0-
82355	M5-M7	Verdura/sopa	76664	B3	0-
82356	M5-M7	Verdura/sopa	76664	B3	0-
82358	M5-M6-M7	Ensaladas	76664	B3	3-0-
82360	M5-M6-M7	Revueltos	76665	B3	0-
82361	M3	Ensaladas	76665	B3	2-3-5-6-7-0-
82362	M2-M3-M4	Ensaladas	76665	B3	2-0-
82363	M2-M3-M4	Ensaladas	76665	B3	2-3-0-
82364	M5-M7	Patatas	83568	B3	0-
82365	M5-M7	Patatas	83568	B3	0-
82367	M5-M6-M7	Setas	76665	B3	4-
82372	M2-M3-M4	Pimientos	76665	B3	0-
82373	M2-M3-M4	Revueltos	76665	B3	2-0-
82374	M2-M3-M4	Bacalao	76665	B3	7-0-
82375	M2-M3-M4	Revuelto/seta/champi	76665	B3	2-0-
82376	M3	Revuelto/seta/champi	76665	B3	0-
82377	M2-M3-M4	Salteados/campestre	76665	B3	0-
82378	M5-M6-M7	Salteados/campestre	76665	B3	0-
82379	M5-M7	Salteados/tradicional	76665	B3	0-
82380	M5-M7	Salteados/tradicional	76665	B3	0-
82381	M5-M6-M7	Salteados/tradicional	76665	B3	0-
82382	M5-M6-M7	Salteados	76665	B3	0-
82383	M5-M7	Salteados/tradicional	76665	B3	0-
82385	M5-M6-M7	Berenjena	84553	B3	0-
82386	M6	Calabacín/disoluciones	84553	B3	0-
82387	M5-M6-M7	Pimientos	76665	B3	0-
82388	M5-M7	Parrilladas/braseados	76665	B3	0-
82389	M5-M7	Parrilladas/braseados	76665	B3	0-
82390	M5-M7	Patatas	83568	B3	0-
82391	M5-M6-M7	Pimientos	76665	B3	0-
82392	M3	Bacalao	73328	B3	7-0-
82395	M5-M6-M7	Setas	73328	B3	4-
82396	M6	Parrilladas/braseados	73328	B3	0-
82398	M5-M6-M7	Revuelto/seta/champi	73328	B3	0-
82399	M2-M3-M4	Setas	73328	B3	0-
82403	M2-M3-M4	Parrilladas/braseados	73349	B3	0-
82406	M2-M3-M4	Revueltos	81532	B2	2-0-
82907	M2-M3-M4	Patata/disoluciones	82909	B2	1-0-
82908	M2-M3-M4	Patata/disoluciones	82910	B2	6-0-

Tabla B.7: Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	GrupoALERG
83177	M2-M3-M4	Patata/disoluciones	83181	B2	1-5-0-
83179	M5-M7	Guisantes	83183	B2	0-
83180	M5-M7	Menestras	83184	B2	0-
83855	M2-M3-M4	Arroces delicias	83804	B2	0-
83856	M2-M3-M4	Risottos	83805	B2	1-2-4-7-8- 0-
83857	M2-M3-M4	Setas	83806	B2	2-0-
83859	M2-M3-M4	Revueltos	83807	B2	2-0-
83860	M6	Espinacas	83808	B2	0-
83896	M6	Maíz	83809	B3	0-
83922	M5-M6- M7	Alcachofas	83928	B3	0-
83923	M5-M6-M7	Alcachofas	82496	B2	0-
83924	M2-M3-M4-M5-M6-M7	Setas	83930	B2	0-
83925	M2-M3-M4-M5-M6-M7	Setas	83931	B2	0-
83926	M5-M7	Alcachofas	83932	B1	0-
84309	M5-M6-M7	Pasta	82448	B2	3-6-0-
84312	M4	Coalza	84315	B3	0-
84603	M5-M6-M7	Menestras	84606	B2	0-
84658	M6	Espinacas	84661	B2	0-
84659	M6	Espinacas	76491	B3	0-
84660	M6	Espinacas	84662	B2	0-
84939	M6	Garrofón	76491	B1	0-
84941	M2-M3-M4	Espinacas	84945	B2	0-
84942	M2-M3-M4	Paellas	84946	B2	1-2-3-5-6- 7-8-9-10- 0-
85264	M2-M3-M4	Arroces delicias	85258	B2	2-3-4-7-8- 0-
85266	M2-M3-M4	Revueltos	85259	B2	2-0-
85267	M5-M6-M7	Menestras	85260	B2	0-
85268	M5-M6-M7	Setas	85261	B2	0-
85439	M6	Espinacas	91959	B3	0-
85821	M6	Espinacas	85836	B2	0-
85823	M2-M3-M4	Guisantes/disoluciones	85838	B1	0-
86159	M2-M3-M4	Espinacas	86167	B1	1-0-
86950	M6	Maíz	91868	B3	0-
86953	M5-M6- M7	Espinacas	1000	B5	0-
87381	M6	Maíz	87382	B3	0-
88002	M2-M3-M4	Espinacas	88006	B2	3-0-
88320	M5-M6-M7	Maíz	88321	B2	0-
88650	M6	Maíz	86877	B3	0-
88813	M2-M3	Espinacas	89010	B2	3-4-0-
89257	M2-M3-M4	Arroces delicias	89258	B2	2-5-0-
89526	M6	Arroces delicias	91527	B2	1-3-5-6-7- 10-0-
90267	M5-M6-M7	Guisantes	90268	B2	0-

**Tabla B.8:** Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.

Código	Línea	Familia	Film	GrupoBOB	Alerg
90297	M2-M3-M4	Wok	90301	B2	0-
90299	M2-M3-M4	Wok	90302	B2	3-0-
90300	M2-M3-M4	Pasta	90303	B2	1-3-5-6-0-
91188	M2-M3-M4	Arroces delicias	91189	B2	1-2-5-0
91962	M2-M3-M4	Arroces delicias	91975	B2	1-2-5-6-0-
91963	M2-M3	Arroces del mar	91976	B2	2-4-5-6-7-0
91964	M5-M6-M7	Salteados/campestre	91977	B2	0-
91965	M3	Espinacas	91978	B2	2-4-0-
91966	M3	Parrilladas	91979	B2	1-2-10-0-
91967	M3	Parrilladas	91980	B2	1-3-0-
91968	M2-M3-M4	Salteados	91981	B2	0-
92100	M2-M3-M4	Parrilladas	92103	B2	2-0-
92101	M2-M3-M4	Arroces del mar	92104	B2	2-5-6-7-0-
92102	M2-M3-M4	Salteados/campestre	92105	B2	0-
92556	M5-M6-M7	Espinacas	92558	B2	0-
92557	M2-M3-M4	Espinacas	92559	B2	0-
92718	M3	Parrilladas	92725	B2	0-
92719	M3	Parrilladas	92726	B2	0-
92721	M2-M3-M4	Arroces delicias	92728	B2	2-5-0-
92722	M2-M3-M4	Revueltos	92729	B2	2-0-
92723	M2-M3	Arroces delicias	92731	B2	0-
92796	M2	Parrilladas	2000	B2	0-
92797	M5	Menestras	92799	B2	0-
92798	M5-M6-M7	Setas	92800	B2	0-
93356	M5-M6-M7	Verdura paella	93358	B1	0-
93357	M5-M6-M7	Garrofón	93359	B1	0-
93669	M3-M4	Sopas	94154	B2	0-
94054	M6	Menestras	76491	B3	0-
94059	M4	Arroces delicias	94115	B1	0-
94526	M3	Revuelto/seta/champi	94518	B2	2-0-
95244	M5-M6-M7	Guisantes	94842	B3	0-
95249	M2-M3	Pimientos	95248	B2	1-4-6-0-
95854	M3	Espinacas	95856	B2	0-
96590	M5-M6-M7	Setas	96591	B1	0-
96752	M4	Sopas	96759	B3	0-
96753	M4	Sopas	96760	B3	3-0-
97147	M3-M4	Sopas	76665	B3	0-
97148	M3-M4	Sopas	76665	B3	3-0-
97847	M2	Coalza	97853	B2	0-
97848	M2	Coalza	97854	B2	0-

## C Algoritmo de Kaufman y resultados

---

### C.1. Código del algoritmo de Kaufman en MATLAB

```
1
2
3 M1=t;
4
5 % Bucle que itera para calcular tantas secuencias como órdenes a secuenciar
6
7 for iii=1:length(codes)
8
9 % Se selecciona arbitrariamente una orden i como inicial.
10
11 selection_Rand=(al(iii));
12 t=M1;
13
14 % Bucle que itera en función de las órdenes a secuenciar
15
16 for ii = 1:length(codes)-1
17
18 % En la fila de la orden i, se elige aquella orden con menor tiempo de
    cambio
19
20 [j, selection_Rand(ii+1)]=min(t(selection_Rand(ii),:));
21
22 % Se elimina la fila y la columna de la primera orden
23
24 t(selection_Rand(ii),:)=inf;
25 t(:,selection_Rand(ii))=inf;
26
27 end
28
29 % Se almacena cada secuencia
30
31 index_min(iii,:) = selection_Rand;
32
33 clear selection_Rand
34
35 end
36
37 M1(M1==inf)=0;
```

### C.2. Secuencias del caso 1

**Tabla C.1:** Caso 1: Secuencia 1

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	80	1,33	7,02
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				19,33	133,23

**Tabla C.2:** Caso 1: Secuencia 2

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				19,83	133,73

**Tabla C.3:** Caso 1: Secuencia 3

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
10	46821	6,04	80	1,33	7,38
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	120	2,00	10,35
8	77496	3,52	0	0,00	3,52
				19,67	133,57

**Tabla C.4:** Caso 1: Secuencia 4

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,3529	0	0,00	8,35
				19,83	133,73

**Tabla C.5:** Caso 1: Secuencia 5

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
12	77497	8,35	120	2,00	10,35
13	65794	27,46	0	0,00	27,46
				20,50	134,40

**Tabla C.6:** Caso 1: Secuencia 6

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				19,83	133,73

**Tabla C.7:** Caso 1: Secuencia 7

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				19,83	133,73

**Tabla C.8:** Caso 1: Secuencia 8

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
12	77497	8,35	120	2,00	10,35
13	65794	27,46	0	0,00	27,46
				20,50	134,40

Tabla C.9: Caso 1: Secuencia 9

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
13	65794	27,455	80	1,33	28,79
1	92102	7,6667	110	1,83	9,50
2	76654	3,2727	80	1,33	4,61
6	46820	5,902	80	1,33	7,24
9	75182	8,1429	110	1,83	9,98
3	76194	6,1429	110	1,83	7,98
4	77846	5,6875	110	1,83	7,52
5	86159	8,4074	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,042	90	1,50	7,54
8	77496	3,524	120	2,00	5,52
11	37005	7,4935	120	2,00	9,49
12	77497	8,3529	0	0,00	8,35
				20,00	133,90

Tabla C.10: Caso 1: Secuencia 10

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
12	77497	8,35	90	1,50	9,85
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	0	0,00	27,46
				20	133,90

Tabla C.11: Caso 1: Secuencia 11

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				19,83	133,73

Tabla C.12: Caso 1: Secuencia 12

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
4	77846	5,69	80	1,33	7,02
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
10	46821	6,04	90	1,50	7,54
8	77496	3,52	120	2,00	5,52
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				19,33	133,23

**Tabla C.13:** Caso 1: Secuencia 13

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	77496	3,52	30	0,50	4,02
7	91965	15,81	110	1,83	17,64
1	92102	7,67	110	1,83	9,50
2	76654	3,27	80	1,33	4,61
6	46820	5,90	80	1,33	7,24
9	75182	8,14	110	1,83	9,98
3	76194	6,14	110	1,83	7,98
4	77846	5,69	110	1,83	7,52
5	86159	8,41	80	1,33	9,74
10	46821	6,04	110	1,83	7,88
11	37005	7,49	110	1,83	9,33
13	65794	27,46	80	1,33	28,79
12	77497	8,35	0	0,00	8,35
				18,67	132,57

### C.3. Secuencias del caso 2

**Tabla C.14:** Caso 2: Secuencia 1

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
4	36995	47,88	80	1,33	49,21
5	65791	9,65	110	1,83	11,49
1	63312	4,70	110	1,83	6,54
2	75182	5,76	80	1,33	7,10
3	46431	5,35	20	0,33	5,68
7	91962	32,33	110	1,83	34,16
6	37000	5,31	0	0,00	5,31
				8,50	119,48

**Tabla C.15:** Caso 2: Secuencia 2

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
2	75182	5,76	80	1,33	7,10
3	46431	5,35	20	0,33	5,68
4	36995	47,88	80	1,33	49,21
5	65791	9,65	110	1,83	11,49
1	63312	4,70	110	1,83	6,54
6	37000	5,31	110	1,83	7,14
7	91962	32,33	0	0,00	32,33
				8,50	119,48

**Tabla C.16:** Caso 2: Secuencia 3

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
6	37000	5,31	20	0,33	5,64
5	65791	9,65	110	1,83	11,49
1	63312	4,70	110	1,83	6,54
2	75182	5,76	80	1,33	7,10
3	46431	5,35	20	0,33	5,68
4	36995	47,88	110	1,83	49,71
7	91962	32,33	0	0,00	32,33
				7,50	118,48

**Tabla C.17:** Caso 2: Secuencia 4

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
5	65791	9,65	110	1,83	11,49
1	63312	4,70	110	1,83	6,54
2	75182	5,76	80	1,33	7,10
3	46431	5,35	20	0,33	5,68
4	36995	47,88	110	1,83	49,71
6	37000	5,31	110	1,83	7,14
7	91962	32,33	0	0,00	32,33
				9,00	119,98

**Tabla C.18:** Caso 2: Secuencia 5

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
7	91962	32,33	80	1,33	33,66
5	65791	9,65	110	1,83	11,49
1	63312	4,70	110	1,83	6,54
2	75182	5,76	80	1,33	7,10
3	46431	5,35	20	0,33	5,68
4	36995	47,88	110	1,83	49,71
6	37000	5,31	0	0,00	5,31
				8,50	119,48

**Tabla C.19:** Caso 2: Secuencia 6

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
3	46431	5,35	20	0,33	5,68
4	36995	47,88	80	1,33	49,21
5	65791	9,65	110	1,83	11,49
1	63312	4,70	110	1,83	6,54
2	75182	5,76	110	1,83	7,60
7	91962	32,33	110	1,83	34,16
6	37000	5,31	0	0,00	5,31
				9,00	119,98

## C.4. Secuencias del caso 3

**Tabla C.20:** Caso 3: Secuencia 1

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	82212	4,70	110	1,83	6,54
5	76654	4,70	90	1,50	6,20
4	76653	6,23	0	0,00	6,23
1	82209	2,06	20	0,33	2,39
2	82209	5,93	80	1,33	7,27
3	30682	6,80	20	0,33	7,13
6	75398	28,34	80	1,33	29,68
7	88002	11,42	110	1,83	13,25
12	91967	27,32	120	2,00	29,32
10	82907	6,63	80	1,33	7,96
11	81506	3,00	80	1,33	4,33
9	82150	15,56	0	0,00	15,56
				13,17	135,86

**Tabla C.21:** Caso 3: Secuencia 2

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
10	82907	6,63	80	1,33	7,96
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	110	1,83	13,25
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	0	0,00	3,00
				13,17	135,86

**Tabla C.22:** Caso 3: Secuencia 3

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	80	1,33	4,33
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	110	1,83	13,25
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				13,17	135,86

**Tabla C.23:** Caso 3: Secuencia 4

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
4	76653	6,23	10	0,17	6,40
5	76654	4,70	90	1,50	6,20
8	82212	4,70	110	1,83	6,54
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
10	82907	6,63	120	2,00	8,63
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	0	0,00	3,00
				12,00	134,69

Tabla C.24: Caso 3: Secuencia 5

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
11	81506	3,00	80	1,33	4,33
9	82150	15,56	90	1,50	17,06
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				12,83	135,52

Tabla C.25: Caso 3: Secuencia 6

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
5	76654	4,70	90	1,50	6,20
8	82212	4,70	110	1,83	6,54
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
10	82907	6,63	120	2,00	8,63
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	0	0,00	3,00
				13,33	136,02

Tabla C.26: Caso 3: Secuencia 7

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	80	1,33	29,68
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	90	1,50	4,50
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				13,83	136,52

Tabla C.27: Caso 3: Secuencia 8

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
3	30682	6,80	20	0,33	7,13
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	80	1,33	7,27
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	90	1,50	4,50
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				12,83	135,52

**Tabla C.28:** Caso 3: Secuencia 9

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	90	1,50	4,50
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				12,83	135,52

**Tabla C.29:** Caso 3: Secuencia 10

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
10	82907	6,63	120	2,00	8,63
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	0	0,00	3,00
				13,33	136,02

Tabla C.30: Caso 3: Secuencia 11

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	110	1,83	13,25
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	90	1,50	4,50
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				13,33	136,02

Tabla C.31: Caso 3: Secuencia 12

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
6	75398	28,34	20	0,33	28,68
7	88002	11,42	80	1,33	12,75
12	91967	27,32	110	1,83	29,15
1	82209	2,06	0	0,00	2,06
2	82209	5,93	20	0,33	6,27
3	30682	6,80	80	1,33	8,13
8	82212	4,70	90	1,50	6,20
5	76654	4,70	110	1,83	6,54
4	76653	6,23	90	1,50	7,73
9	82150	15,56	80	1,33	16,89
11	81506	3,00	90	1,50	4,50
10	82907	6,63	0	0,00	6,63
				12,83	135,52

Tabla C.32: Caso 3: Secuencia 13

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	76654	3,524	30	0,50	4,02
7	76194	15,815	110	1,83	17,65
1	37005	7,6667	110	1,83	9,50
2	46820	3,2727	80	1,33	4,61
6	75182	5,902	80	1,33	7,24
9	77496	8,1429	110	1,83	9,98
3	46821	6,1429	110	1,83	7,98
4	91965	5,6875	110	1,83	7,52
5	91968	8,4074	80	1,33	9,74
10	77497	6,042	110	1,83	7,88
11	77846	7,4935	110	1,83	9,33
13	92102	27,455	80	1,33	28,79
12	86159	8,3529	0	0,00	8,35
				18,67	132,57

## C.5. Secuencias del caso 4

**Tabla C.33:** Caso 4: Secuencia 1

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	66264	9,93	80	1,33	11,26
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
7	82908	4,00	120	2,00	6,00
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
					10,17 104,86

**Tabla C.34:** Caso 4: Secuencia 2

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	120	2,00	11,93
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
					10,17 104,86

**Tabla C.35:** Caso 4: Secuencia 3

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
6	46130	16,98	90	1,50	18,48
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	0	0,00	9,93
					9,67 104,36

**Tabla C.36:** Caso 4: Secuencia 4

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
8	66264	9,93	120	2,00	11,93
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
					10,17 104,86

**Tabla C.37:** Caso 4: Secuencia 5

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	120	2,00	11,93
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
					10,17 104,86

**Tabla C.38:** Caso 4: Secuencia 6

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	120	2,00	11,93
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
					10,17 104,86

## C.6. Secuencias del caso 5

Tabla C.39: Caso 4: Secuencia 7

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
2	43930	24,15	20	0,33	24,48
1	43931	22,93	90	1,50	24,43
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	120	2,00	11,93
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
				10,17	104,86

Tabla C.40: Caso 4: Secuencia 8

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
4	84942	3,60	110	1,83	5,44
3	91963	4,22	110	1,83	6,05
5	81487	8,88	80	1,33	10,21
7	82908	4,00	80	1,33	5,33
8	66264	9,93	120	2,00	11,93
1	43931	22,93	20	0,33	23,26
2	43930	24,15	90	1,50	25,65
6	46130	16,98	0	0,00	16,98
				10,17	104,86

Tabla C.41: Caso 5: Secuencia 1

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	80	1,33	6,53
2	84659	41,00	30	0,50	41,50
1	86953	13,86	80	1,33	15,19
3	39305	12,33	80	1,33	13,67
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
5	83179	11,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	0	0,00	13,00
				7,67	120,27

Tabla C.42: Caso 5: Secuencia 2

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
2	84659	41,00	30	0,50	41,50
1	86953	13,86	80	1,33	15,19
3	39305	12,33	80	1,33	13,67
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
5	83179	11,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	80	1,33	14,33
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				7,67	120,27

**Tabla C.43:** Caso 5: Secuencia 3

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
3	39305	12,33	80	1,33	13,67
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
5	83179	11,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	80	1,33	14,33
2	84659	41,00	30	0,50	41,50
1	86953	13,86	80	1,33	15,19
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				7,67	120,27

**Tabla C.44:** Caso 5: Secuencia 4

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
1	86953	13,86	30	0,50	14,36
2	84659	41,00	60	1,00	42,00
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	30	0,50	13,50
5	83179	11,00	70	1,17	12,17
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
3	39305	12,33	120	2,00	14,33
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				7,83	120,44

**Tabla C.45:** Caso 5: Secuencia 5

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	30	0,50	13,50
5	83179	11,00	70	1,17	12,17
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
3	39305	12,33	120	2,00	14,33
1	86953	13,86	30	0,50	14,36
2	84659	41,00	80	1,33	42,33
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				8,17	120,77

**Tabla C.46:** Caso 5: Secuencia 6

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
9	78523	5,19	20	0,33	5,53
8	45954	6,95	80	1,33	8,29
2	84659	41,00	30	0,50	41,50
1	86953	13,86	80	1,33	15,19
3	39305	12,33	80	1,33	13,67
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
5	83179	11,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	0	0,00	13,00
				7,67	120,27

**Tabla C.47:** Caso 5: Secuencia 7

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
5	83179	11,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	80	1,33	14,33
2	84659	41,00	30	0,50	41,50
1	86953	13,86	80	1,33	15,19
3	39305	12,33	80	1,33	13,67
7	89526	3,91	120	2,00	5,91
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				7,83	120,44

**Tabla C.48:** Caso 5: Secuencia 8

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
4	77800	13,00	20	0,33	13,33
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
5	83179	11,00	70	1,17	12,17
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
3	39305	12,33	120	2,00	14,33
1	86953	13,86	30	0,50	14,36
2	84659	41,00	80	1,33	42,33
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				8,00	120,61

## C.7. Secuencias del caso 6

**Tabla C.49:** Caso 5: Secuencia 13

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
7	89526	3,91	110	1,83	5,74
3	39305	12,33	120	2,00	14,33
5	83179	11,00	30	0,50	11,50
6	76487	5,36	30	0,50	5,86
4	77800	13,00	80	1,33	14,33
2	84659	41,00	30	0,50	41,50
1	86953	13,86	80	1,33	15,19
8	45954	6,95	20	0,33	7,29
9	78523	5,19	0	0,00	5,19
				8,33	120,94

**Tabla C.50:** Caso 6: Secuencia 1

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
4	77805	6,21	20	0,33	6,54
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	30	0,50	36,38
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	80	1,33	6,24
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
6	80325	26,97	0	0,00	26,97
				8,17	132,54

**Tabla C.51:** Caso 6: Secuencia 2

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
10	77800	8,81	30	0,50	9,31
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
3	54662	19,40	70	1,17	20,57
6	80325	26,97	90	1,50	28,47
9	48984	8,50	90	1,50	10,00
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	0	0,00	4,91
				8,17	132,54

**Tabla C.52:** Caso 6: Secuencia 3

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	80	1,33	6,24
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
6	80325	26,97	0	0,00	26,97
				8,17	132,54

**Tabla C.53:** Caso 6: Secuencia 4

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
6	80325	26,97	90	1,50	28,47
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	0	0,00	4,91
				8,33	132,70

**Tabla C.54:** Caso 6: Secuencia 5

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	80	1,33	6,24
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
6	80325	26,97	90	1,50	28,47
9	48984	8,50	0	0,00	8,50
				8,33	132,70

**Tabla C.55:** Caso 6: Secuencia 6

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	80	1,33	6,24
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	80	1,33	4,56
6	80325	26,97	90	1,50	28,47
9	48984	8,50	0	0,00	8,50
				8,50	132,87

**Tabla C.56:** Caso 6: Secuencia 7

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	30966	4,91	80	1,33	6,24
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	80	1,33	4,94
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
6	80325	26,97	0	0,00	26,97
				8,33	132,70

**Tabla C.57:** Caso 6: Secuencia 8

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	90	1,50	6,41
6	80325	26,97	0	0,00	26,97
				8,33	132,70

Tabla C.58: Caso 6: Secuencia 9

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
8	30966	4,91	80	1,33	6,24
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	80	1,33	4,94
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
6	80325	26,97	0	0,00	26,97
				8,33	132,70

Tabla C.59: Caso 6: Secuencia 10

Orden	Código	$t_p$	$t_c$ (min)	$t_c$	$t_{orden}$
9	48984	8,50	80	1,33	9,83
3	54662	19,40	30	0,50	19,90
1	77810	6,86	20	0,33	7,19
2	77804	35,88	20	0,33	36,22
4	77805	6,21	30	0,50	6,71
10	77800	8,81	90	1,50	10,31
5	81506	3,22	70	1,17	4,39
7	75807	3,60	70	1,17	4,77
8	30966	4,91	90	1,50	6,41
6	80325	26,97	0	0,00	26,97
				8,33	132,70

# Índice de tablas

---

3.1. Toneladas cosechadas anualmente de verduras junto con la temporada de cosecha. . . . .	12
3.2. Producción anual de verduras en toneladas. . . . .	13
3.3. Líneas de productos precocinados con la producción anual en toneladas. .	15
3.4. Líneas de envasado con la producción anual en toneladas. . . . .	16
3.5. Venta en toneladas de las 13 semanas anteriores. . . . .	20
3.6. Cálculo de la venta media ponderada y de la desviación respecto a la venta prevista de la semana anterior. . . . .	20
3.7. Venta en kilogramos de las 13 semanas anteriores. . . . .	20
3.8. Cálculo de la venta media ponderada y de la desviación respecto a la previsión dada por el cliente. . . . .	20
3.9. Venta en kilogramos de las 13 semanas anteriores. . . . .	21
3.10. Cálculo de la venta media ponderada y de la desviación respecto a la previsión dada por el cliente. . . . .	21
3.11. Ejemplos del cálculo del stock de seguridad en semanas. . . . .	23
3.12. Cálculo del lote óptimo de envasado. . . . .	25
3.13. Política actual. . . . .	27
3.14. Plan de envasado de las próximas 12 semanas. . . . .	32
3.15. Plan de envasado de las próximas 12 semanas. . . . .	32
3.16. Plan de envasado de las próximas 12 semanas. . . . .	32
3.17. Ejemplos de órdenes de producción de línea de precocinados y mezclas, resultado del MRP realizado en la semana 45. . . . .	34
3.18. Ejemplos de pedidos de aprovisionamiento a proveedores, resultado del MRP realizado en la semana 45. . . . .	34
3.19. Órdenes de fabricación asignadas a la línea M3 en la semana 49. . . . .	36
3.20. Líneas de envasado con la capacidad media semanal en toneladas. . . . .	37
3.21. Secuenciación de las órdenes de fabricación en la línea M3 durante la semana 49. . . . .	39
3.22. Temporización de las órdenes de fabricación en la línea M3 durante la semana 49. . . . .	40
4.1. Tiempo de cambio en minutos de cada factor en las distintas líneas. . . . .	46
4.2. Órdenes asignadas a la línea M3. . . . .	49
4.3. Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB®. . . . .	49
4.4. Secuenciación de la línea M3 en la semana 49. . . . .	50
4.5. Resumen de cada una de las secuencias junto con el $C_{max}$ . . . . .	51

4.6. Órdenes asignadas a la línea M2. . . . .	51
4.7. Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB® . . . . .	52
4.8. Secuenciación de la línea M2 en la semana 37. . . . .	52
4.9. Resumen de cada una de las secuencias junto con el $C_{max}$ . . . . .	52
4.10. Órdenes asignadas a la línea M3. . . . .	53
4.11. Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB® . . . . .	53
4.12. Secuenciación de la línea M3 en la semana 13 del año 2015. . . . .	54
4.13. Resumen de cada una de las secuencias junto con el $C_{max}$ . . . . .	54
4.14. Órdenes asignadas a la línea M4. . . . .	55
4.15. Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB® . . . . .	55
4.16. Secuenciación de la línea M4 en la semana 51. . . . .	56
4.17. Resumen de cada una de las secuencias junto con el $C_{max}$ . . . . .	56
4.18. Órdenes asignadas a la línea M6. . . . .	57
4.19. Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB® . . . . .	57
4.20. Secuenciación de la línea M6 en la semana 6. . . . .	58
4.21. Resumen de cada una de las secuencias junto con el $C_{max}$ . . . . .	58
4.22. Órdenes asignadas a la línea M7. . . . .	59
4.23. Tiempos de cambio resultado del programa en MATLAB® . . . . .	59
4.24. Secuenciación de la línea M7 en la semana 51. . . . .	60
4.25. Resumen de cada una de las secuencias junto con el $C_{max}$ . . . . .	60
4.26. Comparación de las distintas $C_{max}$ calculadas para cada secuencia. . . . .	61
B.1. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	73
B.2. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	74
B.3. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	75
B.4. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	76
B.5. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	77
B.6. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	78
B.7. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	79
B.8. Matriz de entrada con los datos de cada referencia de producto envasado.	80
C.1. Caso 1: Secuencia 1 . . . . .	82
C.2. Caso 1: Secuencia 2 . . . . .	82
C.3. Caso 1: Secuencia 3 . . . . .	82
C.4. Caso 1: Secuencia 4 . . . . .	82
C.5. Caso 1: Secuencia 5 . . . . .	83
C.6. Caso 1: Secuencia 6 . . . . .	83
C.7. Caso 1: Secuencia 7 . . . . .	83
C.8. Caso 1: Secuencia 8 . . . . .	83
C.9. Caso 1: Secuencia 9 . . . . .	84
C.10. Caso 1: Secuencia 10 . . . . .	84
C.11. Caso 1: Secuencia 11 . . . . .	84
C.12. Caso 1: Secuencia 12 . . . . .	84
C.13. Caso 1: Secuencia 13 . . . . .	85
C.14. Caso 2: Secuencia 1 . . . . .	85

---

C.15.Caso 2: Secuencia 2 . . . . .	85
C.16.Caso 2: Secuencia 3 . . . . .	85
C.17.Caso 2: Secuencia 4 . . . . .	85
C.18.Caso 2: Secuencia 5 . . . . .	86
C.19.Caso 2: Secuencia 6 . . . . .	86
C.20.Caso 3: Secuencia 1 . . . . .	87
C.21.Caso 3: Secuencia 2 . . . . .	87
C.22.Caso 3: Secuencia 3 . . . . .	87
C.23.Caso 3: Secuencia 4 . . . . .	87
C.24.Caso 3: Secuencia 5 . . . . .	88
C.25.Caso 3: Secuencia 6 . . . . .	88
C.26.Caso 3: Secuencia 7 . . . . .	88
C.27.Caso 3: Secuencia 8 . . . . .	88
C.28.Caso 3: Secuencia 9 . . . . .	89
C.29.Caso 3: Secuencia 10 . . . . .	89
C.30.Caso 3: Secuencia 11 . . . . .	90
C.31.Caso 3: Secuencia 12 . . . . .	90
C.32.Caso 3: Secuencia 13 . . . . .	90
C.33.Caso 4: Secuencia 1 . . . . .	91
C.34.Caso 4: Secuencia 2 . . . . .	91
C.35.Caso 4: Secuencia 3 . . . . .	91
C.36.Caso 4: Secuencia 4 . . . . .	91
C.37.Caso 4: Secuencia 5 . . . . .	91
C.38.Caso 4: Secuencia 6 . . . . .	91
C.39.Caso 4: Secuencia 7 . . . . .	92
C.40.Caso 4: Secuencia 8 . . . . .	92
C.41.Caso 5: Secuencia 1 . . . . .	92
C.42.Caso 5: Secuencia 2 . . . . .	92
C.43.Caso 5: Secuencia 3 . . . . .	93
C.44.Caso 5: Secuencia 4 . . . . .	93
C.45.Caso 5: Secuencia 5 . . . . .	93
C.46.Caso 5: Secuencia 6 . . . . .	93
C.47.Caso 5: Secuencia 7 . . . . .	93
C.48.Caso 5: Secuencia 8 . . . . .	93
C.49.Caso 5: Secuencia 13 . . . . .	94
C.50.Caso 6: Secuencia 1 . . . . .	94
C.51.Caso 6: Secuencia 2 . . . . .	94
C.52.Caso 6: Secuencia 3 . . . . .	94
C.53.Caso 6: Secuencia 4 . . . . .	94
C.54.Caso 6: Secuencia 5 . . . . .	95
C.55.Caso 6: Secuencia 6 . . . . .	95
C.56.Caso 6: Secuencia 7 . . . . .	95
C.57.Caso 6: Secuencia 8 . . . . .	95
C.58.Caso 6: Secuencia 9 . . . . .	96
C.59.Caso 6: Secuencia 10 . . . . .	96



## Índice de figuras

---

3.1. Clasificación de productos según su formato. . . . .	9
3.2. Clasificación de las ventas según el tipo de producto. . . . .	10
3.3. Clasificación de referencias y ventas según el cliente. . . . .	10
3.4. Referencias fabricadas contra almacén y contra pedido en [%] . . . . .	11
3.5. Familias de producto terminado. . . . .	38
4.1. Cálculo del tiempo de cambio entre órdenes. . . . .	47
A.1. Planta de producción de Ultra Congelados de la Ribera. . . . .	67
A.2. Zona de las líneas de producción de verduras. . . . .	68
A.3. Zona de las líneas de precocinado. . . . .	69
A.4. Zona de las líneas de envasado. . . . .	70