Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

Dinámica de Sistemas aplicada al proceso productivo de Gestamp Palencia S.A.

Presentado por:

Aitana Tamayo Morán

Valladolid, 17 de Julio de 2025

RESUMEN

Gestamp Palencia S.A. es una empresa dedicada al diseño, desarrollo y fabricación de componentes mecánicos para el automóvil.

El objetivo de este trabajo es emplear la Dinámica de Sistemas para analizar el proceso que siguen los componentes metálicos desde que llegan a la empresa en los camiones hasta que salen ya convertidos en piezas de automóviles para enviarlos a los clientes de empresas como Volkswagen, Porsche, Opel, Seat, Renault, Ford,...

Finalmente, también aplicaremos un análisis de sensibilidad.

Palabras clave: Gestamp, Dinámica de Sistemas, Proceso productivo, componentes metálicos

ABSTRACT

Gestamp Palencia S.A. is a company dedicated to the design, development and manufacture of mechanical components for the automotive industry.

The objective of this work is to use System Dynamics to analyse the process followed by the metal components from the moment they arrive at the company in the lorries until they leave already converted into car parts to be sent to customers of companies such as Volkswagen, Porsche, Opel, Seat, Renault, Ford,...

Finally, we will also apply a sensitivity analysis.

Key words: Gestamp, production process, System Dynamics, metal components

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....1

2. SECTOR DE AUTOMOCIÓN

2.1. Sector de Automoción.....2

2.2. Empresas dedicadas a la fabricación de piezas de automóviles.....4

2.3. Gestamp Palencia S.A.....4

2.4. Departamento de Logística.....6

3. DINÁMICA DE SISTEMAS

3.1. Origen histórico.....7

3.2. Concepto de Dinámica de sistemas.....7

3.3. Elementos de la dinámica de sistemas.....8

3.3.1. Diagrama causal.....8

3.3.2. Diagrama de Forrester.....10

4. **EVOLUCIÓN DINÁMICA DEL MODELO**

4.1. Investigación sobre el proceso productivo de las piezas 11

4.2. Hipótesis del modelo 21

4.3. Variables del modelo 24

4.4. Diagrama de Forrester.....29

4.5. Análisis de la evolución.....33

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO.....37

6. CONCLUSIONES.....41

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....43

8. ANEXO.....45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Piezas producidas por GESTAMP Palencia S.A.....5

Figura 2.2. Cadena de suministro que utiliza el departamento de Logística 6

Figura 3.1. Bucles de retroalimentación positivos y negativos 9

Figura 3.2. Sistema de estructura compleja 9

Figura 3.3. Sistema de estructura simple 10

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Comercio exterior de automoción (2010 -2024) 3

Gráfico 2.2: Producción de turismos y vehículos comerciales por países (2023) 3

Gráficos 4.4.1. Evolución del proceso productivo de la pieza Bumper D34- P24.....33

Gráficos 4.4.2. Evolución del proceso productivo de la pieza Refuerzo pie izquierdo del K9.....34

Gráficos 4.4.3. Evolución de los almacenes de la pieza Plancha a talón ASS. C41.....35

Gráfico 4.4.3.1. Evolución de los procesos productivos (Estampado, Láser y Soldadura) de la pieza Plancha a talón ASS. C41 36

Gráficos 5.1. Evolución del Estampado, el Almacén TPT y las Expediciones en función de las averías en Estampado.....39

Gráficos 5.2. Evolución del Estampado, el Almacén TPT y las Expediciones en función de la no realización de pedidos.....40

1. - INTRODUCCIÓN

En los últimos años, España es uno de los países más reconocidos globalmente por su excelencia en la fabricación de piezas de automoción (Autoparts from Spain, 2024), con más de 1.000 empresas dedicadas a esta industria. La clave del éxito para que esto haya sucedido es, en gran medida, su enfoque en la innovación y la tecnología.

Una de las empresas fundamentales dentro del sector de la automoción es Gestamp Palencia S.A., especializada en la fabricación de componentes metálicos para dicha industria. Su actividad se centra en el diseño y la producción de estructuras de carrocería, chasis y diversos elementos, empleando para ello tecnologías avanzadas como la estampación en caliente y procesos de soldadura de alta precisión.

En este trabajo nos vamos a centrar en esta empresa. El objetivo principal va a consistir en analizar el proceso que siguen los componentes metálicos de los automóviles desde que llegan a Gestamp en los camiones hasta que salen ya convertidos en piezas para ser enviados a los clientes. Para ello, vamos a emplear la metodología de la Dinámica de Sistemas, que surge a mediados del siglo XX con Jay Forrester como precursor, ya que es una metodología capaz de recoger este tipo de procesos productivos teniendo encuentra las estructuras de realimentación de los mismos (Aracil y Gordillo , 1997).

El trabajo se va a estructurar de la siguiente manera: tras esta introducción, el apartado 2 ofrece una explicación detallada del sector de la automoción, las empresas dedicadas a la fabricación de componentes, Gestamp S.A. y el departamento de logística de dicha empresa. El apartado 3 resume de una forma breve los principales conceptos de la dinámica de sistemas. A continuación, el apartado 4 incluye un análisis detallado del proceso de las piezas objeto de estudio, así como una descripción de las variables implicadas y el diagrama de Forrester junto con la evolución del modelo. El apartado 5 está dedicado a la realización de un análisis de sensibilidad aplicado al modelo. Por último, se establecen las conclusiones en el apartado 6.

2. SECTOR DE LA AUTOMOCIÓN

2.1. Sector de automoción

El sector de la automoción es un importante motor de crecimiento y prosperidad a nivel mundial al facilitar la movilidad de las personas de forma eficiente y segura. Según el enfoque económico, este sector es un generador de innovación, y de empleo de calidad, y es un pilar para el comercio internacional (Montoriol y Díaz, 2021).

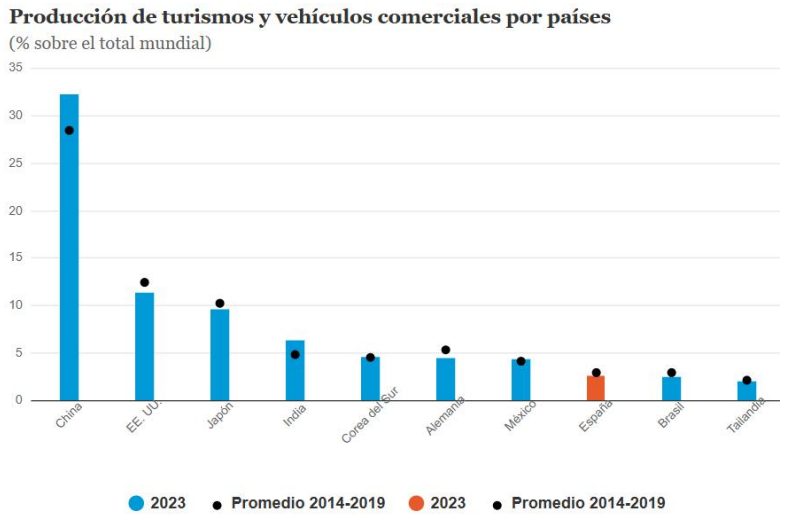
En España, el sector de la automoción es clave en la producción y toma una posición destacada a nivel mundial gracias a sus plantas de producción eficientes y automatizadas, y mano de obra altamente cualificada. Además, este sector es importante por su contribución al crecimiento del PIB y creación de empleo, y por ser una aportación positiva en la balanza comercial de nuestro país (Díaz, 2024).

Una vez superados los problemas de aprovisionamiento en los últimos años en los mercados internacionales de inputs (microchips y semiconductores), y los aumentos de precios y tipo de interés, el sector intenta encontrar su lugar en el nuevo ecosistema de la automoción mundial donde es muy importante la transformación tecnológica hacia la electrificación de los vehículos.

La evolución del sector hacia la producción de vehículos eléctricos, híbridos,etc. ha supuesto una transición ecológica de la movilidad. Este cambio hacia la movilidad eléctrica tiene implicaciones significativas para la salud del planeta y la búsqueda de desafíos ambientales y enérgicos como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero o el estímulo a la innovación tecnológica (Osorio, 2025).

En 2023, España fabricó más de 2,45 millones de vehículos y se colocó como el segundo productor de Europa. Para ilustrar las diferencias entre los países en cuanto a la producción de vehículos, utilizaré el Gráfico 2.1, donde podemos ver que España está entre los 10 países que más vehículos producen mundialmente, con una cuota del 2,6%. Además, es uno de los pocos países donde la automoción no ha perdido peso respecto al periodo de 2014-2019 (prepandemia).

Gráfico 2.1 : Producción de turismos y vehículos comerciales por países (2023)

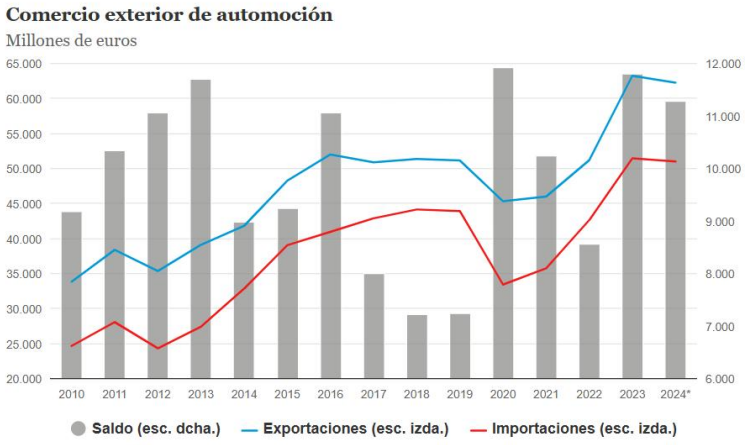


Fuente: Caixabank Research, a partir de datos de OICA

El sector está marcado por una orientación exportadora, donde más del 80% de los vehículos fabricados en España en 2024 fueron destinados al exterior. En el Gráfico 2.2. podemos ver cómo va avanzando a lo largo de los años el comercio exterior e interior de la automoción en España.

En este mismo gráfico podemos ver que en España se exporta más de lo que se importa y que un bajo porcentaje de vehículos producidos se venden en España, ya que la mayoría se exportan. El resto de las ventas nacionales, son vehículos importados de los países de la UE.

Gráfico 2.2: Comercio exterior de automoción (2010 -2024)



Fuente: Caixabank Research, a partir de datos de Data Comex

2.2. Empresas dedicadas a la fabricación de piezas de automóviles

España es un país reconocido a nivel mundial por su buen desempeño en la fabricación de piezas de automoción y los fabricantes de estas piezas ofrecen una amplia gama de productos tecnológicamente avanzados.

Existen numerosas empresas en España que se dedican a la fabricación de piezas y componentes de coches, como los accesorios para vehículos y componentes de tuning, piezas de carrocería, elementos del chasis y componentes para la dirección, la suspensión y el equipo de frenado, componentes electrónicos, metálicos, rodamientos, elementos de iluminación, piezas de estampación, fundición,...

Todos estos elementos son producidos por empresas como Gestamp, Enganches Aragón, Doga, Gonvarri Industries, Sadeca, Grupo Azpiaran, etc., las cuales se han comprometido con la innovación y calidad de sus productos para poder posicionar a España como un líder en la fabricación de piezas o componentes de automoción. (Autoparts, 2024)

2.3. Gestamp Palencia S.A.

Gestamp Palencia S.A. nace en 1997, ubicada en Dueñas (Palencia). Fue fundada por Francisco J. Riberas, y en sus orígenes solo se enfocaba en producir componentes. Hoy en día es un grupo internacional dedicado al diseño, desarrollo y fabricación de componentes metálicos para diversos fabricantes de vehículos, y tiene más de 40.000 trabajadores en todo el mundo, más de 100 plantas en 24 países y 13 centros de I+D.

Se podría decir que en los primeros 20 años de Gestamp, se le consideraba como proveedor local centrado en la fabricación de carrocerías. Más tarde Francisco J. Riberas apostó por aumentar el tamaño de la compañía hasta convertirse en un proveedor global para un cliente global, por lo que centró su estrategia en la orientación al cliente (López Quesada , 2018).

En Gestamp, la internacionalización ha sido uno de los objetivos que han guiado su política de expansión, la cual comenzó en 1999 en los mercados alemán, francés, argentino, brasileño y mexicano. A partir de 2004, la expansión fue imparable hasta

llegar a tener plantas productivas, oficinas y centros de I+D en China, Rusia, India, Turquía, Corea del Sur, Hungría, Marruecos y Bulgaria.

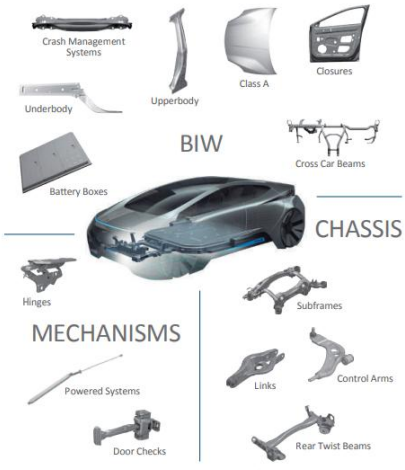
Tiene una amplia e innovadora gama de productos atendiendo a las necesidades de la industria, consiguiendo así el mejor equilibrio entre Seguridad, Rendimiento, Peso y Coste. Está especializado en el desarrollo de productos con un diseño innovador para que los vehículos cada vez sean más ligeros y seguros. (Gestamp (Flyer), s.f).

Para obtener esos productos utilizan procesos como la estampación en caliente, estampación en frío, soldadura, pintura, mástico y ensamblado.

Concretamente, producen 3 diferentes segmentos de piezas de automóvil como se aprecia en la Figura 2.1. (Gestamp (productos), s.f).

- Productos de carrocería (BIW): forman la estructura que soporta el vehículo y protege a los pasajeros. Se incluyen las cajas de batería, bajos de carrocería, el sistema de gestión de accidentes, las puertas, capós clase A, la parte superior de carrocería, las vigas transversales...
- Chasis: es la parte inferior de la estructura del vehículo donde se incluyen los bastidores auxiliares, ejes, brazos de control y las vigas de torsión traseras.
- Mecanismos: donde se incluyen cierres y bisagras de puertas, sistemas eléctricos, topes de puertas y dispositivos de control remoto.

Figura 2.1. Piezas producidas por GESTAMP Palencia S.A.



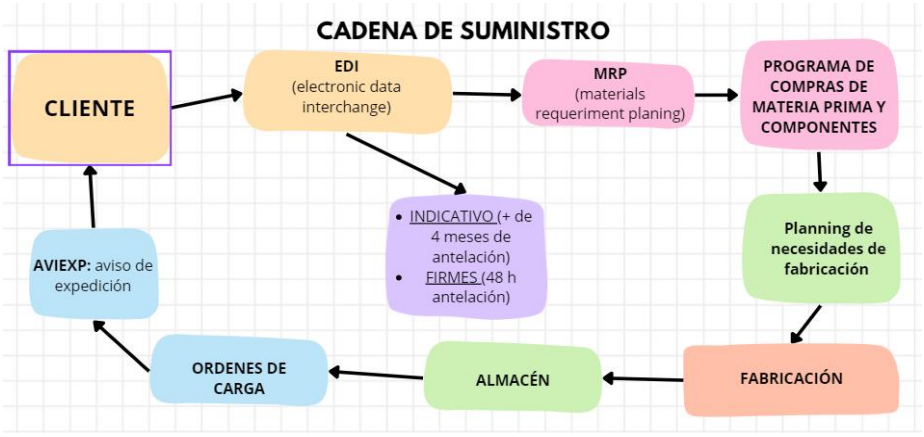
Fuente: Gestamp Flyer (s.f).

La presencia de Gestamp Palencia ha generado un impacto significativo en la economía local, proporcionando empleos a un gran numero de personas y contribuyendo al desarrollo industrial. Además, está comprometida con la sostenibilidad y el medio ambiente, ya que ha incluido tecnologías y procesos de producción respetuosos con el entorno y ha participado en la reducción de la huella ecológica. (Gestamp, s.f.a)

2.4. Departamento de Logística

Este departamento es el encargado de la gestión de las piezas a producir, los turnos de trabajo de las lineas, planificación de la producción, las órdenes de carga de caminos y las expediciones de los contenedores para enviárselos a los clientes de la empresa.

Figura 2.2. Cadena de suministro que utiliza el departamento de Logística



Fuente: elaboración propia

Como vemos en la Figura 2.2, los clientes realizan un EDI (electronic data interchange), que sirve para solicitar una cantidad de piezas de forma electrónica a la empresa. Después, se realizan las planificaciones del material necesario para la producción de esas piezas. Más tarde, se realiza el programa de compra de esos materiales y componentes necesarios para la producción, para luego poder realizar la planificación de lo que se necesita fabricar en cada línea, cuántos trabajadores se necesitan y cuántas piezas se producen por turno. Luego, se procede a la fabricación de las piezas, y una vez fabricadas, son llevadas al almacén, y ya en las oficinas de Logística, se realizan las órdenes de carga de los camiones para que lleguen a expediciones y sean enviadas al cliente. Cuando ya se haya cargado un camión y ha sido enviado, se da un

aviso de expedición al cliente para que sepa los bultos que va a recibir de las piezas solicitadas y, por último, las piezas llegan al cliente.

3. DINÁMICA DE SISTEMAS

3.1. Origen histórico

La Dinámica de Sistemas tiene sus bases en la teoría de los servomecanismos. Su origen esta muy ligado con la empresa Sprague Electric, que fabricaba componentes eléctricos. Se observó que esa empresa tenía una cartera de clientes bastante concentrada y por lo tanto el flujo de pedidos era constante, pero a mediados de los años 50, se descubrió que los pedidos sufrían oscilaciones, por lo que encargaron un estudio a un equipo que dirigía Jay Forrester en el Instituto Tecnológico de Massachussets. Durante el estudio de ese problema, Forrester descubrió la importancia de las estructuras de realimentación de información en el funcionamiento del proceso, y comenzó a aplicar la teoría de los sistemas de control. A partir de ahí, se determinaron los elementos que intervenían en el problema y sus relaciones, identificando los posibles bucles de retroalimentación negativa. Todo esto dio lugar a la "Industrial Dynamics" de Forrester en 1961.

A mediados de los 60, Forrester propone adaptar la aplicación de la técnica original para los estudios industriales a los sistemas urbanos, y así surgió la Dinámica Urbana (Forrester, 1969). A finales de los años 60 se realiza el estudio que más ha llegado a contribuir a la difusión de la dinámica de sistemas, el cual es el primer informe al Club de Roma. Este, se basaba en un modelo de dinámica de sistemas, en el cual se analizaba la previsible evolución de unas magnitudes agregadas a nivel mundial. A raíz de este informe, la metodología tomó el nombre de Dinámica de Sistemas (Aracil y Gordillo, 1997).

3.2. Concepto de dinámica de sistemas

La dinámica de sistemas surge como un método para el estudio del comportamiento de sistemas cambiantes mediante la construcción de un modelo de simulación informática

que pone de manifiesto las relaciones entre la estructura del sistema y su comportamiento durante un periodo de tiempo.

Se la considera como una metodología de construcción de modelos dinámicos, en la cual se tratan de aplicar de manera sistemática principios y métodos, para el estudio de sistemas socioeconómicos (Julele, 2003).

3.3. Elementos de la dinámica de sistemas

Según Billin (2024), en la dinámica de sistemas las variables se clasifican en:

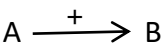
- Variables endógenas: se ven afectadas por otras variables dentro de un modelo o sistema, por lo que su valor depende de otros elementos
- Variables exógenas: no se ven afectadas por otras variables y su valor se considera independiente de los demás elementos y del contexto.

3.3.1. Diagrama causal

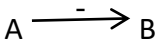
Según Martín García (2016), el diagrama causal es un diagrama que recoge los elementos clave del sistema y las relaciones causales entre ellos.

Las relaciones están representadas por flechas entre las variables afectadas con un signo, positivo o negativo, el cual indica la influencia que tiene una variable sobre la otra. Estas relaciones causa-efecto pueden ser:

- Positiva: sucede cuando un cambio en la variable origen de la flecha produce un cambio en el mismo sentido en la variable destino: cuando hay un incremento en A se produce un incremento en B.



- Negativa: sucede cuando el efecto producido tiene sentido contrario: un incremento de A produce una disminución de B.

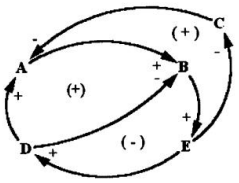


En la Figura 3.1, vemos una cadena cerrada de relaciones causales que recibe el nombre de bucle de retroalimentación, el cual puede ser positivo o negativo:

- Bucle de retroalimentación positivo: es un circulo vicioso que crece sobre sí mismo. Estos bucles causan crecimiento, evolución, el colapso de los sistemas y lleva al modelo hacia una situación inestable. El numero de relaciones causa-efecto negativas es par o nulo.

- Bucle de retroalimentación negativo: actúa como elemento estabilizador de los sistemas al dirigirlos hacia un determinado objetivo. El número de relaciones causa-efecto negativas es impar.

Figura 3.1. Bucles de retroalimentación positivos y negativos



Fuente: Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de sistemas (Martín García, 2016).

Hay dos tipos de sistemas en los diagramas causales según Aracil y Gordillo (1997):

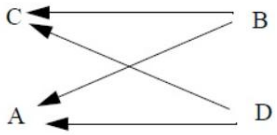
- Sistemas de estructura compleja: en la Figura 3.2 vemos unos diagrama cerrado donde existe un bucle de retroalimentación negativo. Si existiera más de un bucle, el comportamiento final dependería del bucle que fuera dominante en cada momento.

Figura 3.2. Sistema de estructura compleja

Fuente: Diagramas causales. Teoría de sistemas (Perez, 2008)

- Sistemas de estructuras simples: en la Figura 3.3 podemos ver este tipo de sistemas, que son diagramas abiertos de relaciones causa-efecto donde no se forman bucles de retroalimentación.

Figura 3.3. Sistema de estructura simple



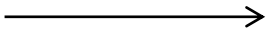
Fuente: Modelación dinámica de sistemas de información (GIMF, 2011)

3.3.2. Diagrama de Forrester

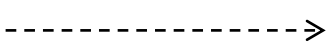
Según Aracil y Gordillo (1997), el diagrama de flujos o diagrama de Forrester se obtiene a partir del diagrama causal, clasificando sus nodos en variables de nivel, flujo o auxiliares con sus iconos correspondientes.

Según Flores (2012), todas estas variables están unidas mediante unos canales:

- Canales materiales: son canales de transmisión de una magnitud física que se conserva, de tal manera que los niveles acumulan flujos materiales.



- Canales de información: las variables de flujo y auxiliares se alimentan a partir de estos canales. Sirven para transmitir cierta información y no es factible que esta se conserve.

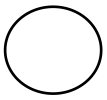


Hay varios tipos de variables en la Dinámica de Sistemas según Aracil y Gordillo (1997):

- Variables de nivel: son las variables mas importantes y representan las magnitudes cuya evolución es importante. Se representan en el diagrama con un rectángulo.

- Variables de flujo: van asociadas a las variables de nivel, y determinan su variación a lo largo del tiempo. Recogen las acciones resultantes de las decisiones tomadas en el sistema.

- Variables auxiliares : son unas variables que representan un paso intermedio en el cálculo de una variable del flujo a partir de las variables de nivel. Se representan mediante un círculo.



- Constantes: son elementos que no varían con el tiempo. Se pueden representar mediante una linea con un circulo en el centro o por un rombo.

- Nubes: representan una fuente o sumidero de una variable de nivel que no es relevante para la descripción del sistema. Un nivel puede vaciarse de un flujo sobre un nivel o sobre un sumidero exterior al sistema. El sumidero tiene una capacidad infinita. (Perez, 2024).

4. EVOLUCIÓN DINÁMICA DEL MODELO

4.1 Investigación sobre el proceso productivo de las piezas

He llevado a cabo un análisis exhaustivo de cuatro piezas fabricadas por la empresa Gestamp, con el objetivo de comprender en detalle el procedimiento que se sigue desde la solicitud del cliente hasta la expedición final del producto. Este estudio se ha realizado con la finalidad de proporcionar una visión más clara y estructurada del proceso productivo de dichas piezas.

La selección de estas cuatro piezas no ha sido aleatoria, sino que responde al criterio de representar distintos tipos de procesos dentro de la cadena productiva. De este modo, es posible ilustrar la diversidad de procedimientos que la empresa implementa en función de las características específicas de cada componente.

La obtención de los datos se llevó a cabo durante el período de mis prácticas universitarias en Gestamp Palencia S.A., que tuvieron una duración de tres meses y medio. Durante este tiempo, tuve la oportunidad de interactuar directamente con el personal del área de logística, quienes me proporcionaron la información necesaria, permitiéndome así elaborar el presente estudio.

Debido a la complejidad de la 4ª pieza descrita, solo se va a realizar el análisis dinámico de las 3 primeras piezas, ya que la producción de este último tipo de componentes es totalmente aleatoria.

4.1.1. Pieza EHP0698P00 => BUMPER D34 - P24

Es una pieza que solo pasa por un proceso productivo llamado estampación en caliente en la UN4 (es una nave dedicada a la estampación en caliente y el corte láser).

En este proceso, lo que se hace es coger el formato/componente con unas ventosas y se lleva a una zona de agujereado. Cuando ya se ha realizado el agujero, se lleva a un horno para calentar la pieza, alcanzando esta unos 940 grados. Cuando sale del horno, va a un troquel (molde) que expulsa agua a presión para dar forma a la pieza y así el acero se enfría. Cuando ya está realizada la forma final de la pieza, pasa por una zona de enfriado con ventiladores. Gracias a estos dos últimos procesos, la pieza pasa a estar a unos 100 grados.

Para esta pieza se realizan pedidos regulares, es decir, pedidos periódicos en los que se solicita la misma cantidad de piezas cada cierto tiempo, aunque puede variar dependiendo de las ventas de vehículos que haya realizado el cliente.

Esta pieza tiene un *leadtime* de 7 días laborables, que es el tiempo que transcurre desde que se hace el pedido de componentes hasta que el producto final empieza a expedirse al cliente.

En cuanto a su proceso productivo:

1. Empieza cuando el cliente hace un pedido. Gestamp hace un pedido de compra de componentes/formatos para producir la cantidad de piezas solicitadas. Este pedido del cliente se hace cada 7 días: primero, lanza un programa con previsiones y, 4 días antes de que acabe ese periodo, hace pedidos firmes, es decir, fija la cantidad prevista anteriormente, o la puede modificar. El pedido de componentes por parte de Gestamp también se realiza cada 7 días laborables.

2. Gestamp fabrica 12.000 piezas semanales y, para producirlas, se necesitan 9 turnos de estampación de 8 horas. Estas piezas se van expidiendo al cliente en función de sus necesidades diarias, por ejemplo, 2.400 piezas diarias de lunes a viernes.

3. Para producirse, cada pieza necesita tan solo un componente/formato, que es una lámina de acero que luego se estampa y se le da la forma correspondiente.

4. Cuando el cliente hace el pedido, y los planificadores realizan las compras de componentes, pasa 1 día de transición/transporte hasta que llega al almacén.

5. Los componentes permanecen en un almacén llamado TPM de la UN4 durante 2 días laborables hasta que pasan a las líneas productivas. Este almacén tiene un *stock* de seguridad de 1 día, es decir, los días que tiene el planificador para recibir los componentes para empezar a producir, o lo que es lo mismo, tiene que tener, un día antes de empezar a producir, los componentes necesarios para esta pieza. El almacén de componentes sigue un procedimiento: primero, recepcionan los componentes; después, los ubican en sus respectivos sitios y, por último, a medida que hacen falta, se llevan a las líneas que lo necesitan.

6. En la línea de estampación en caliente, se producen 1.300 piezas por turno (8 horas) de esta pieza.

7. Cuando las piezas están producidas, van al almacén de producto final (TPT) de la UN4, en el que pasan 2 días laborables hasta que se expiden al cliente. Este almacén de producto final tiene un *stock* de seguridad de 2.400 piezas, es decir, que tiene que tener siempre 2.400 piezas en almacén por si acaso hay alguna

avería en la línea o pedidos inesperados del cliente y no da tiempo a comprar componentes para empezar a producir en ese mismo momento. Como información adicional, el almacén es el mismo que el de la materia prima, pero las piezas están ubicadas en distintas zonas: una para el producto terminado y otra zona para los componentes.

4.1.2. Pieza LHC0392P00 ==> REFUERZO PIE IZQUIERDO DEL K9.

Es una pieza que pasa por dos procesos productivos:

- La estampación en caliente en la UN4: En este proceso, lo que se hace es coger el formato/componente con unas ventosas y se lleva a una zona de agujereado. A continuación, se lleva a un horno para calentar la pieza hasta los 940 grados. Cuando sale del horno, va a un troquel (molde) con el cual se le da forma mediante agua a presión para que el acero se enfríe y obtenga la forma deseada. Cuando ya está hecha la forma final de la pieza, ésta pasa por una zona de enfriado con ventiladores. Gracias a estos dos últimos procesos, la pieza pasa a estar a unos 100 grados.
- El corte láser en la UN4: una vez estampada la pieza, pasa al corte láser donde se quitan las partes sobrantes de la pieza.

Es una pieza con pedido regular, es decir, pedidos periódicos en los que se pide la misma cantidad de piezas cada cierto tiempo, aunque puede variar dependiendo de las ventas de vehículos que haya realizado el cliente. Tiene un *leadtime* de 9 días laborables, que es el tiempo que transcurre desde que se hace el pedido de componentes hasta que el producto final se expide al cliente.

En cuanto a su proceso productivo:

1. Primero, el cliente realiza un pedido y Gestamp, en base a ese pedido, realiza una compra de componentes para dicha pieza. El pedido del cliente es cada 9 días laborables y Gestamp hace los pedidos de compra de componentes cada 9 días para cubrir todas sus demandas semanales.

2. Se producen semanalmente 10.500 piezas en 7 turnos de estampación en caliente y 15 turnos de corte láser (el doble que de estampación). Estas piezas se van expidiendo al cliente en función de sus necesidades diarias, por ejemplo, 2.100 piezas diarias de lunes a viernes.

3. Para esta pieza tan solo se necesita un formato por pieza para poder conseguir el producto final, que es una lámina rectangular de acero que luego se lleva a estampar y al corte láser.

4. Después de que el cliente hace el pedido, y los planificadores realizan las compras de componentes, estos pasan 1 día de transición/transporte hasta que llegan al almacén de componentes de la UN4, que es el TPM.

5. En este almacén de componentes (TPM) de la UN4, los formatos pasan 2 días laborables hasta que se llevan a producir. En este almacén hay un *stock* de seguridad de 2 días, es decir, tiene que tener los componentes necesarios para el pedido 2 días antes de empezar a fabricar. El almacén de componentes sigue un procedimiento: primero, recepcionan los componentes; después, los ubican en sus respectivos sitios y, por último, a medida que hacen falta, se llevan a las líneas que lo necesitan.

6. Después, van a la línea de estampación en caliente. Cada 8 horas se producen 1.400 piezas.

7. Después de que las piezas ya están estampadas, van al almacén de componentes de la UN4 (TMP) y pasan allí 1 día hasta que van al proceso de corte láser.

8. En la línea de corte láser, se producen 800 piezas por turno.

9. Cuando ya están cortadas, van al almacén del producto final (TPT) de la UN4, dónde pasan 2 días laborables hasta que se expiden las piezas al cliente. Este almacén tiene un *stock* de seguridad de 4.200 piezas, es decir, siempre tiene que tener en el almacén como mínimo 4.200 piezas para casos de imprevisto.

4.1.3. Pieza SSC0401P00 ==> PLANCHA A TALON ASS. C41

Es una pieza que pasa por 3 procesos productivos:

- Primero, por la estampación en caliente en la UN4. Este proceso es similar al de las piezas anteriores.
- Después, va al corte láser de la UN4. Una vez estampada la pieza, pasa al corte láser donde se le quitan las partes sobrantes.
- Por último, va a soldarse a la UN2: en este caso, lo que se hace es juntar dos componentes estampados y cortados mediante la soldadura.

Con esta pieza se hacen pedidos regulares, es decir, pedidos periódicos en los que se pide la misma cantidad de piezas cada cierto tiempo, aunque puede variar dependiendo de las ventas de vehículos que haya realizado el cliente. Tiene un *leadtime* de 15 días laborables, que es el tiempo que transcurre desde que Gestamp hace un pedido de componentes hasta que se expide al cliente.

En cuanto al proceso productivo:

1. Como en los casos anteriores, primero el cliente realiza un pedido y Gestamp, en base a ese pedido, realiza una compra de componentes para dicha pieza. El pedido del cliente es cada 15 días laborables y Gestamp hace los pedidos de compra de componentes cada 15 días para cubrir todas sus demandas semanales.
2. Se producen semanalmente 7.500 piezas en 6 turnos de estampación en caliente, 13 turnos de corte láser y 13 turnos de soldadura. Estas piezas se van expidiendo al cliente en función de sus necesidades diarias, por ejemplo, 1.500 piezas diarias de lunes a viernes.
3. Para esta pieza se necesitan 3 componentes por pieza para poder conseguir el producto final:
    a. Un formato para la estampación en caliente: que es una lámina rectangular de acero. Este componente se encuentra ubicado en el almacén TPM de la UN4.

b. Dos componentes para la soldadura que son el refuerzo plancha talón izquierdo y el refuerzo plancha talón derecho. Estos dos componentes los fabrica otra empresa del Grupo de Gestamp y se los aprovisiona a Gestamp Palencia. Este componente está ubicado en el almacén de soldadura AS47.

4. Cuando el cliente hace el pedido, y los planificadores realizan las compras de componentes, los componentes comprados pasan 1 día de transición/transporte hasta que llegan al almacén de componentes de la UN4, que es el TPM.

5. En este almacén de componentes de la UN4 (TPM) pasan 2 días laborales hasta que se llevan a producir. En este almacén hay un *stock* de seguridad de 2 días, es decir, tiene que tener los componentes necesarios para el pedido 2 días antes de empezar a fabricar. El almacén de componentes sigue un procedimiento: primero, recepcionan los componentes; después, los ubican en sus respectivos sitios y, por último, a medida que hacen falta, se llevan a las líneas que lo necesitan.

6. En la línea de estampación en caliente, cada 8 horas (un turno) produce 1.200 piezas.

7. Después de que las piezas ya están estampadas, van al almacén de componentes de la UN4 (TPM) y pasan 2 días allí hasta que van al proceso de corte láser.

8. En la línea de corte láser, se producen 500 piezas por turno.

9. Cuando la pieza ya está cortada, va al almacén de componentes de la UN4 (TPM) y pasa allí 1 día hasta que va a la línea de soldadura de la UN2.

10. En la línea de soldadura, se producen 500 piezas por turno.

11. Cuando ya están soldadas, van al almacén del producto final (APT) de la UN1 y UN2. Pasan allí 2 días hasta que se expiden las piezas al cliente. Este almacén tiene un *stock* de seguridad de 3.000 piezas, es decir, siempre tiene que tener en el almacén como mínimo 3.000 piezas para casos de imprevisto.

Estas 3 primeras piezas se pueden hacer en el mismo turno a la vez en las diferentes líneas en las que se fabrican, ya que cada una se produce de distinta manera.

4.1.4. Pieza PPW0083P00 ==> CAPOT PINTADO DEL VOLKSWAGEN TOURAN

Esta pieza pasa por 4 procesos productivos:

- La estampación en frío en la UN1: el formato pasa por una serie de moldes llamados troqueles hasta que se forma la pieza final, sin necesidad de calentarla.
- Después, pasa al proceso de ensamble y engatillado (soldadura) en la UN2: en el ensamble, lo que se hace es unir diferentes componentes de la referencia final con puntos de soldadura. En el caso del engatillado, lo que se hace es doblar la pieza exterior contra el refuerzo interior de la misma pieza.
- Después, la pieza pasa a pintura en la UN1: es un proceso donde diferentes piezas se cuelgan de un enganche a la vez y van pasando por las diferentes fases de pintura hasta que salen ya pintadas.
- Por último, se le aplica el mástico en la UN1, que se trata de aplicar una especie de plástico para hacer cobertura entre las piezas y que no choquen entre ellas. En esta pieza se aplica el mástico en la zona donde se junta la zona doblada en el engatillado de la pieza exterior junto al refuerzo.

Esta pieza se realiza mediante un pedido irregular, totalmente diferente a las anteriores piezas descritas. Son pedidos irregulares porque estas piezas son repuestos que se envían a los talleres para realizar arreglos en los coches que llevan esas piezas, por eso no son pedidos regulares como los anteriores, que eran piezas para coches que producían esos clientes. Se trata de un pedido de piezas cada cierto tiempo aleatorio/irregular de una cantidad de piezas que no es fija y que varía dependiendo del pedido, ya que no son pedidos cerrados como en las 3 piezas anteriores (un pedido cerrado es cuando el cliente especifica que quiere una cantidad de piezas para una fecha). En este caso, al ser irregulares, los planificadores producen por lotes, no por pedidos como en las otras 3 piezas. Cuando hay una gran cantidad de piezas que habría

que producir, Gestamp las divide en lotes para ir produciéndolas poco a poco y no todas de golpe, ya que no es necesario.

Como ejemplo, para producir un lote de 339 piezas, el *leadtime* pasa a ser de 70 días laborables. Este *leadtime* solo es aplicable a este lote de piezas, porque puede variar dependiendo del lote que se produzca para expedir al cliente. El *leadtime* es el tiempo que transcurre desde que se hace el pedido de componentes hasta que se expide el producto final al cliente.

Se van enviando piezas a medida que el cliente lo necesite (sus demandas), y cuando se expide la totalidad de las piezas de ese lote, antes de ruptura (antes de que se envíen la totalidad de piezas y se queden sin ninguna producida (se queden sin *stock*)) se vuelve a producir otro lote de esas piezas para poder cubrir las demandas del cliente.

En cuanto al proceso productivo:

1. Como he dicho anteriormente, primero el cliente realiza un pedido, y Gestamp, en base a los pedidos del cliente, compra componentes para dicha pieza. El pedido del cliente no tiene una periodicidad fija como en el resto de piezas, ya que es un pedido irregular.

2. El tiempo que tarda en llegar al almacén el pedido de componentes que ha realizado Gestamp a sus proveedores es de 1 semana.

3. Este pedido pasa almacenado en el almacén de componentes (AMP) de la UN1 durante 2 días. El almacén de componentes tiene un *stock* de seguridad de 1 mes, pero solo para 3 componentes de la pieza, los cuales provienen de Alemania, es decir, tiempo que tiene para recibir los componentes de este proveedor antes de empezar a fabricar. El almacén de componentes sigue un procedimiento: primero, recepcionan los componentes; después, los ubican en sus respectivos sitios y, por último, a medida que hacen falta, se llevan a las líneas que lo necesitan.

4. En esta pieza, no podemos saber la cantidad de piezas totales por semana o por pedido, porque no es una pieza de pedido cerrado y va por lotes.

5. Para esta pieza se necesitan en total 8 componentes por pieza.

6. Para producir las 339 piezas del lote se tardan 2,8 horas en estampación, es decir, no llega a un turno completo. Cuando ya están estampadas las piezas, van al almacén de componentes (AMP) de la UN1 y pasan allí 6 días hasta que se llevan a la línea de soldadura.

7. Para producir las 339 piezas en la línea de soldadura se tardan 4 días, por lo que produce 85 piezas por turno de 8 horas. Cuando ya están producidas, pasan en el almacén de soldadura (AS46) 1 día hasta que las llevan a la línea de pintura. El almacén de componentes sigue un procedimiento: primero, recepcionan los componentes; después, los ubican en sus respectivos sitios y, por último, a medida que hacen falta, se llevan a las líneas que lo necesitan.

8. Para pintar las 339 piezas del lote se tardan 10 días laborales. Es decir, hacen 36 piezas por día; no hay turnos fijos, sino que a lo mejor en un día entero no se llega a completar un turno seguido porque cuando pasa por pintura, las piezas se van enganchando a la cadena de pintura de una forma desordenada, intercalándose con otras piezas, por lo tanto, nunca se hacen todas las piezas seguidas en turnos completos. Cuando ya están pintadas, van al almacén de componentes de la UN1 (AMP) para que se sequen y, al día siguiente, van a la línea de mástico.

9. También se tardan 10 días en aplicar el mástico a las 339 piezas, ya que las que se van pintando van yendo al día siguiente a la aplicación de mástico. Hacen 36 piezas por día; no cubre un turno completo en un día entero, ya que cada vez que algo está pintado pasa al proceso de mástico, y eso lleva su tiempo por el motivo explicado anteriormente.

10. Cuando ya se ha obtenido el producto final, todas las piezas van al almacén de producto final (APT) de la UN1 y UN2, y estas permanecen allí almacenadas durante 4 días hasta que se expiden al respectivo cliente. Este almacén tiene un *stock* de seguridad de 15 días, es decir, que tiene cubiertos los 15 días siguientes a la petición del cliente con respecto a las previsiones de compra que está pidiendo éste, y una vez que están por debajo de los 15 días de *stock* de seguridad, al planificador le salta una petición de fabricación para cubrir de

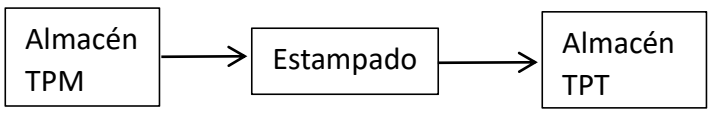
nuevo esos 15 días. El almacén, también en este caso, es el mismo que el de la materia prima.

11. Para producir la totalidad de piezas (339) en cada proceso se necesitan: menos de 1 turno en estampación, 4 turnos de ensamblaje, 10 turnos de mástico y 10 turnos de pintura.

4.2 Hipótesis del modelo

- En este trabajo vamos a suponer que el horizonte temporal es de 2023 a 2050.
- Cada pieza terminada pasa un mínimo de 2 días en el almacén.
- De cara al modelado, debido a que las piezas siempre pasan un mínimo de 2 días en cada almacén, dichos almacenes se dividen en dos partes: el almacén TPM se divide en TPM1 y TPM2 y el almacén TPT, enTPT1 y TPT2.
- La unidad de tiempo elegida es el día.
- Por simplicidad, supondremos que los procesos se realizan ininterrumpidamente, y que no existan ni días festivos ni fines de semana. Por lo tanto, tenemos que adaptar los datos reales de las cantidades expedidas y de los stocks de seguridad de los almacenes TPT a las hipótesis establecidas.

4.2.1. Bumper D34 - P24. (Leadtime: 7 días)



Para poder modelizar de forma simple el proceso de estampado, todos los turnos necesarios los vamos a traducir en días, de manera que suponemos que esta pieza va a tardar 2 días en completar dicho proceso.

Suponemos que llegan 12.000 componentes cada 7 días.

Asimismo, suponemos que el stock de seguridad en el Almacén TPM, que se mide en días, pasa a medirse en piezas, por lo tanto, si tenemos 6.000 piezas guardadas en el Almacén TPM, ese día está cubierto.

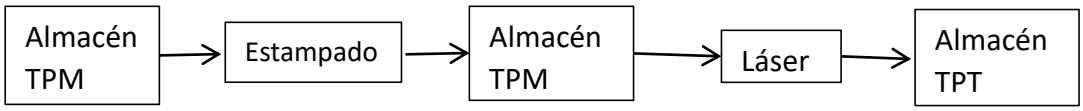
Las piezas van a ser estampadas en 2 días, por lo que pasan a este proceso 6.000 piezas un día y 6.000 piezas al día siguiente para cubrir las 12.000 piezas totales. Las piezas se quedan en el almacén esperando a que les toque su turno de estampado.

Suponemos que en el almacén TPT el stock de seguridad es de 2.400 piezas para cubrir al menos un día de expediciones y que no se produzca ruptura en ningún momento de la producción.

Como hemos supuesto, los almacenes TPM y TPT se modelan con 2 niveles, ya que así se cubren los dos días mínimos que tienen que permanecer las piezas en ellos.

Al suponer que la producción es ininterrumpida, consideramos que salen diariamente 1.714 piezas (12.000 en total en el leadtime de 7 días). El proceso se repite ya que se vuelven a pedir las 12.000 piezas para los siguientes 7 días, y así sucesivamente.

4.2.2. Refuerzo pie izquierdo del K9. (Leadtime: 9 días)



Suponemos que todos los turnos necesarios para el estampado los vamos a traducir en días, de manera que esta pieza tarda 1 día en completar dicho proceso, ya que todas las piezas pasan a estampación directamente.

En el proceso de corte láser, suponemos también que los turnos se van a traducir en días, de manera que esta pieza necesita 2 días para completar dicho proceso ya que se necesitan el doble de turnos de láser respecto a los de estampación..

Suponemos que llegan 10.500 componentes cada 9 días laborables.

El stock de seguridad en el Almacén TPM, que se mide en días, lo vamos a traducir en piezas, por lo tanto, si tenemos 5.250 piezas guardadas en el Almacén TPM, ese día está cubierto.

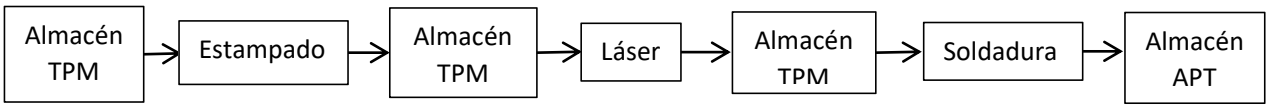
En este caso las piezas van a ser estampadas en 1 día, por lo que pasan las 10.500 piezas.

Asimismo, suponemos que, para esta segunda pieza, el stock de seguridad en el Almacén TPT es de 4.200 piezas para cubrir un día y que no se produzca ruptura en ningún momento de la producción.

Los almacenes TPM y TPT también están aquí modelados con 2 niveles, ya que así se cubren los dos días mínimos de almacenado. Además, el almacén TPM, va a tener una zona dedicada a las piezas estampadas, ya que van a almacén 1 día y ya pasan a la línea de corte láser para seguir su proceso.

Suponemos que salen 1.167 piezas diariamente. El proceso vuelve a empezar, y se volverían a pedir las 10.500 piezas para el siguiente periodo.

4.2.3. Plancha a talón ASS. C41. (Leadtime: 14 días)



Por razones de simplicidad en el modelado, vamos a suponer que llegan 7.500 componentes cada 14 días (en lugar de los 15 reales previstos por la empresa).

Para poder modelizar de forma simple el proceso de estampado, vamos a suponer que todos los turnos necesarios los vamos a traducir en días, de manera que suponemos que esta pieza va a tardar 2 días en completar dicho proceso.

Para estampar las 7.500 piezas hemos supuesto que vamos a emplear 2 días, por lo que entran en el proceso 3.250 piezas por día.

En los procesos de corte láser y soldadura, suponemos también que los turnos se van a traducir en días, de manera que suponemos que esta pieza necesita 2 días para completar cada uno de dichos procesos.

Supondremos asimismo que los componentes necesarios para completar la soldadura se van suministrando de forma automática según se necesitan.

Suponemos que el stock de seguridad en el Almacén TPM, que se mide en días, lo vamos a traducir en piezas, por lo tanto, si tenemos 3.250 piezas guardadas en el Almacén TPM1, ese día está cubierto.

En el almacén APT, el stock de seguridad de 3.000 piezas para cubrir un día y que no se produzca ruptura en ningún momento de la producción.

Los almacenes TPM y APT se han modelado con 2 niveles también, ya que así se cubren los 2 días de almacenado. El almacén TPM tiene una zona dedicada a almacenar piezas estampadas, donde pasan 2 días para continuar en la línea de corte láser y seguir su proceso. Cuando se realiza este último, vuelven al almacén TPM2 donde pasan 1 día hasta llegar a la linea de soldadura.

Suponemos que diariamente se expiden 536 piezas. Con estos pasos, el proceso vuelve a empezar ya que se volverían a pedir las 7.500 piezas para el siguiente periodo.

4.3. Variables del modelo

Una vez formuladas las hipótesis necesarias, se definirán las variables del modelo y la información que contiene cada una.

4.3.1. Bumper D34 -P24

- Alm TPM1: Nivel que recoge los pedidos de componentes que van entrando a la empresa cada semana. Valor inicial= 6.000, que es el valor de la cantidad de componentes que se almacenan como stock de seguridad.
  - Tasa_1 = Pedidos : Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM1. Representa la cantidad de pedidos de componentes que se realizan cada 7 días laborables.
    - Pedidos = PULSE (12.000 ; 1 ; 7): Es una variable auxiliar que permite realizar un pedido recurrente de 12.000 piezas cada 7 días laborables.
  - Tasa_2 = IF (Alm TPM1 < 6.000 ; 0 ; Alm TPM1 - 6.000): Es el flujo de salida del nivel Alm TPM1. Si hay menos de 6.000 piezas en el almacén, toma un valor de 0 y no pasaría ningún componente al segundo día de almacenado, y si

es superior a ese valor, toma el valor Alm TPM1 - 6000, que es el valor total de los componentes que hay que producir.

- Alm TPM2: Nivel que tiene un valor inicial de 0, ya que es el mismo almacén que el TPM1 pero en el segundo día de almacenado.
  - Tasa_2: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 y coincide con el flujo de salida del nivel anterior.
  - Tasa_3 = Alm TPM2 * Constante_1 : Es el flujo de salida del Alm TPM2. Proporciona la cantidad de piezas que se sacan del almacén cada día para llevarlas a estampado. Primero se envían 6.000 piezas, asignando un valor de 0,5 a la constante y luego al día siguiente se reparten el resto de piezas que quedan en el almacén, que es el caso en el que la constante tiene un valor de 1.
    - Constante_1=

      IF((TIME-7*FLOOR(TIME/7))=3;0,5;IF((TIME-7*FLOOR(TIME/7))=4;1;0))

      Es una constante que depende del tiempo. Puede tomar los valores 0, 0.5 y 1 dependiendo del momento del leadtime en el que nos encontramos.
  - Almacén TPM= Alm TPM1 + Alm TPM2: Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPM.
- Estampado: Nivel con un valor inicial de 0. Se trata del proceso productivo que necesita la pieza para estar finalizada.
  - Tasa_3: Es el flujo de entrada del nivel Estampado por el cual entran las piezas que llevan almacenadas 2 días. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.
  - Tasa_4 = Estampado: Es el flujo de salida del nivel Estampado por el cual salen las piezas que ya están producidas para llevarlas al almacén TPT1. Las piezas van saliendo de 6.000 en 6.000.
- Alm TPT1: Nivel al que suponemos un valor inicial de 6.000 piezas, ya que consideramos que el proceso productivo ya estaba en marcha cuando empezamos el estudio, y por lo tanto, ya había piezas en el almacén TPT. Es el almacén que

recibe las piezas finales para luego expedirlas después de al menos 2 días de almacenado.

- Tasa_4: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPT1 por el cual se reciben las piezas que han sido estampadas; y coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

- Tasa_5 = IF (Alm TPT1 < 2.400 ; 0 ; AlmTPT1): Es el flujo de salida del nivel Alm TPT1. Es un comando IF que quiere decir que si en el almacén hay menos de 2.400 piezas, que es el stock de seguridad, toma un valor 0, es decir, no se lleva nada al segundo día de almacenado. Y cuando sea un valor superior a 2.400, toma un valor de Alm TPT1, que son las piezas que se mandan al siguiente nivel de almacén. Así nos aseguramos de que si hay algún problema en el proceso productivo, haya al menos un día de expedición cubierto.

- Alm TPT2: Nivel al que le vamos a suponer un valor inicial de 6.000. Es el mismo almacén, pero se trata del segundo día de almacenado de las piezas antes de ser expedidas.

  - Tasa_5: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPT2 por el cual entran las piezas que han superado el mínimo para poder pasar al último día de almacenado, y coincide con el flujo de salida del nivel anterior

  - Tasa_6 = MAX (0 ; IF('Almacén TPT' >= 1714 ; 1714 ; 'Almacén TPT')): Es el flujo de salida del nivel Alm TPT2, y representa la cantidad de piezas que se van expidiendo diariamente al cliente después de que lleven como mínimo 2 días de almacenamiento. Si ha habido algún desajuste en el proceso productivo, se expedirán piezas hasta vaciar el almacén, teniendo en cuenta que el stock de seguridad cubrirá al menos un día de expedición.

  - Almacén TPT = Alm TPT2 + Alm TPT1 : Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPT donde se suman la cantidad de piezas almacenadas durante dos días.

4.3.2. Refuerzo pie izquierdo del K9

El proceso es similar al anterior hasta el Alm TPM2_2 [1], pero se producen 10.500 piezas en vez de 12.000, el leadtime ahora son 9 días en vez de 7, y el stock seguridad del almacén TPM ahora es de 5.250 piezas y el del almacén TPT es de 4.200 piezas. La descripción completa del proceso se puede ver en el Anexo 1.

Se añaden los niveles de almacén TPM2_parte b_2 y láser_2 con sus respectivos flujos. Desde el nivel Alm TPM2_2, tenemos:

- Tasa_3 _2 = Alm TPM2_ 2: Es el flujo de salida del Alm TPM2_2. Proporciona la cantidad de piezas que se sacan del almacén cada día para llevarlas a estampado.

- Estampado_2: Nivel con un valor inicial 0. Es el primer proceso productivo por el que pasa la pieza.
  - Tasa_3 _2: Es el flujo de entrada del nivel Estampado_2 por el cual entran las piezas que llevan almacenadas 2 días. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.
  - Tasa_4_2 = Estampado_2: Es el flujo de salida del nivel Estampado_2 por el cual salen las piezas estampadas al almacén TPM2 parte b_2 para luego ser llevadas al siguiente proceso productivo.

- Alm TPM2 parte b _2 : Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM, pero ocupa una parte diferente, porque ahí llegan las piezas finales estampadas que esperan 1 día para ser llevadas al corte láser.
  - Tasa_4_2 : Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 parte b_2 por el cual se reciben las piezas que van siendo estampadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.
  - Tasa_5_2 = Alm TPM2 parte b_2 * Constante_1_2: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte b_2. Representa la salida de piezas que ya han sido estampadas y almacenadas durante 1 día para llevarlas al siguiente proceso productivo. Primero se envían 5250 piezas, asignando un valor de 0,5 a la

[1] Las variables que se repiten llevan el añadido "_2" detrás del nombre para distinguirlas de las anteriores

constante y luego al día siguiente, se reparten el resto de piezas que quedan en el almacén, que es el caso en el que la constante tiene un valor de 1. En el resto de casos toma el valor 0.

- Constante_1_2=

  IF((TIME-9*FLOOR(TIME/9))=5;0,5;IF((TIME-9*FLOOR(TIME/9))=6;1;0)):

  Es una constante que depende del tiempo. Toma los valores 0, 0.5 y 1 dependiendo del momento del leadtime en el que nos encontramos.

- Almacén TPM_2 =Alm TPM2_1 + Alm TPM2_2 + Alm TPM2 parte b_2 : Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPM_2 donde se suma la cantidad de piezas que han sido almacenadas durante 3 días.

- Láser_2 : Nivel con un valor inicial 0. Es la línea de producción donde realizan el segundo proceso para obtener la pieza final.

  - Tasa_5_2: Es el flujo de entrada del nivel Láser_2 por el cual entran todas las piezas que ya han sido estampadas y llevan 1 día almacenadas en el almacén TPM. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior

  - Tasa_6_2 = Láser_2 : Es el flujo de salida del nivel Láser, por el cual van saliendo las piezas finales y pasan al almacén TPT1_2.

Una vez que llegan las piezas terminadas al almacén TPT1_2, el proceso de expedición sigue los mismos pasos que en la pieza anterior.

4.3.3. Plancha a talón ASS. C41

El proceso es similar al de la segunda pieza, pero se producen 7.500 piezas en vez de 10.500, el leadtime ahora son 14 días en vez de 9, y el stock seguridad ahora es de 3.250 piezas para el almacén TPM y de 3.000 piezas para el almacén APT. La tasa_3 es la misma que en la primera pieza. La descripción completa del proceso se puede ver en el Anexo 1.

Se añaden los niveles de almacén TPM [2] y soldadura con sus respectivos flujos:

[2] Las variables que se repiten llevan el añadido "_3" detrás del nombre para distinguirlas de las anteriores

- Tasa_5_3 = AlmTPM2 parte b1_3: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte b1_3, a través del cual, las piezas almacenadas pasan al segundo día de almacenado.

- Alm TPM2 parte b2_3: Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM pero es la parte b2 porque las piezas estampadas llevan un día almacenadas. Este es el día 2 de almacenado.

  - Tasa_5_3 = AlmTPM2 parte b1_3: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 parte b2_3. Recibe las piezas que ya llevan almacenado un día. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_6_3 = AlmTPM2 parte b2_3: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte b2_3. Salen las piezas que ya han sido almacenadas durante dos días para ser llevadas al segundo proceso productivo.

- Láser_3: Nivel con un valor inicial 0. Es el segundo proceso productivo que necesita la pieza para luego llevarla al almacén TPM y que vaya después al último proceso productivo para obtener la pieza final.

  - Tasa_6_3 = AlmTPM2 parte b2_3: Es el flujo de entrada del nivel Láser_3. Entran las piezas que llevan almacenadas los dos días estipulados. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_ 7 _3 = Láser_3 : Es el flujo de salida del nivel Láser por el cual salen las piezas que ya han sido cortadas con el Láser, para llevarlas al almacén TPM durante 1 día hasta llevarlas al último proceso productivo para obtener la pieza final.

- Alm TPM2 parte c_3 : Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM pero es la parte c, porque ahí llegan las piezas con el corte láser realizado y esperan ahí 1 día para llevarlas a soldar.

  - Tasa_ 7 _3 = Láser_3 : Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 parte c_3 por el cual recibe las piezas que ya han sido cortadas en el nivel de corte láser. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior

- Tasa_8_3 = AlmTPM2 parte c_3: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte c_3, por el cual salen las piezas almacenadas para ir a soldar.
- Almacén TPM_ 3 = Alm TPM1_3 + Alm TPM2_3 + AlmTPM2 parte b1_3 + AlmTPM2 parte b2_3 + AlmTPM2 parte c_3 : Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPM_3 donde se suman la cantidad de piezas almacenadas durante los 5 días estipulados en diferentes momentos de la producción.

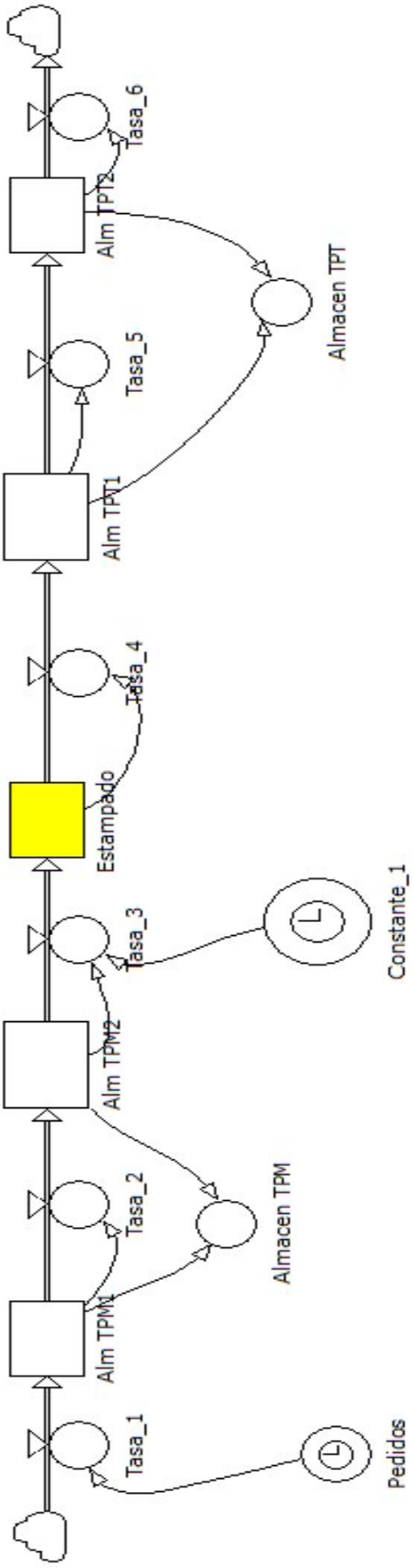
- Soldadura_3 :Nivel con un valor inicial 0. Es el último proceso productivo que necesita la pieza para ser terminada y poder llevarla al almacén APT.
  - Tasa_8_3 = AlmTPM2 parte c_3: Es el flujo de entrada del nivel Soldadura_3 por el cual se reciben las piezas que ya han sido estampadas, cortadas con láser y almacenadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior
  - Tasa_ 9_3 = Soldadura_3 : Es el flujo de salida del nivel Soldadura_3 por el cual salen todas las piezas finales que ya han sido soldadas para ser almacenadas y, posteriormente, expedidas.

Una vez que llegan las piezas terminadas al almacén APT1_3, el proceso de expedición sigue los mismos pasos que en la pieza anterior.

4.3 Diagrama de Forrester

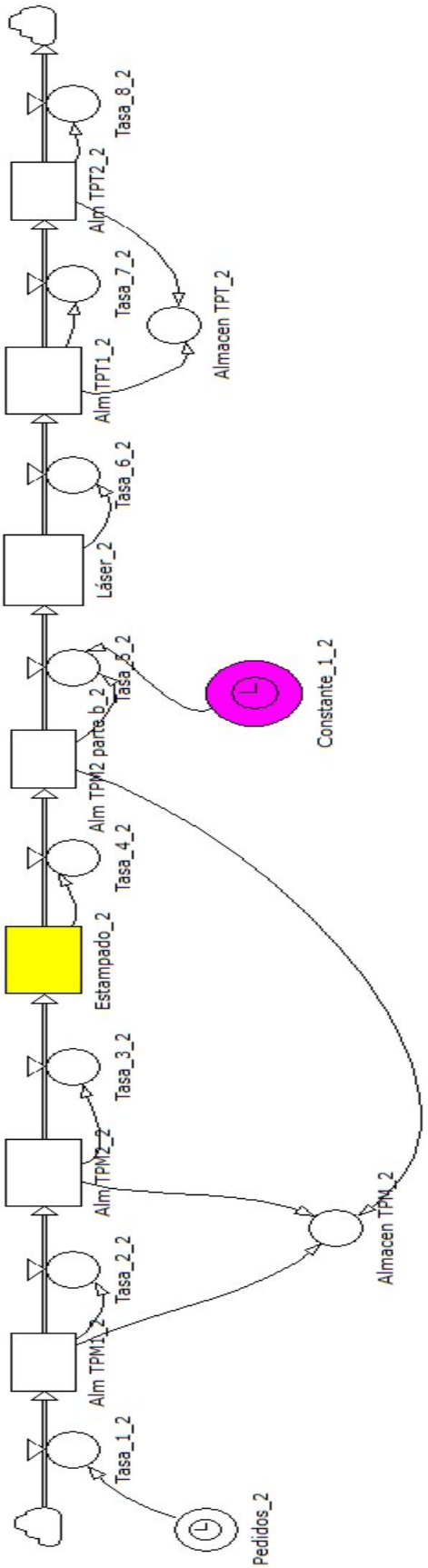
Después de plantear las hipótesis y presentar las variables de cada una de las piezas, se describe el Diagrama de Forrester para estas. Para ello, utilizamos el programa Powersim Studio 10 Express, que se emplea para modelar, simular y analizar sistemas complejos.

4.3.1 Bumper D34 - P24



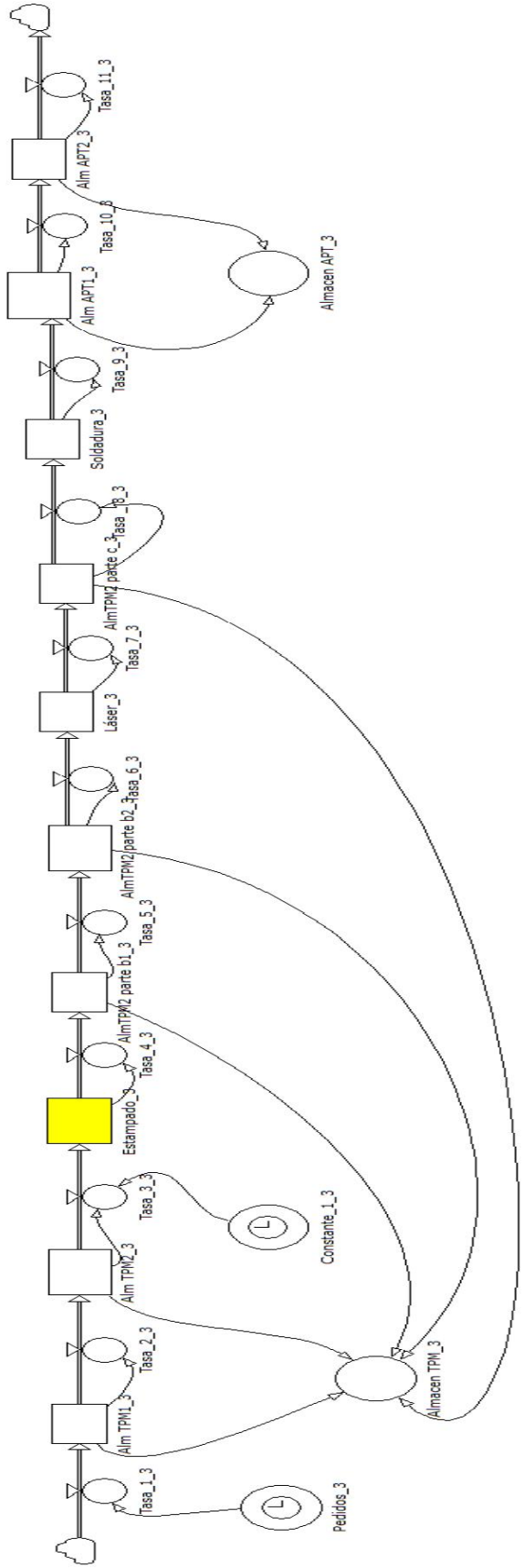
Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

4.3.2 Refuerzo pie izquierdo del K9



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

4.3.3 Plancha a talón ASS. C41

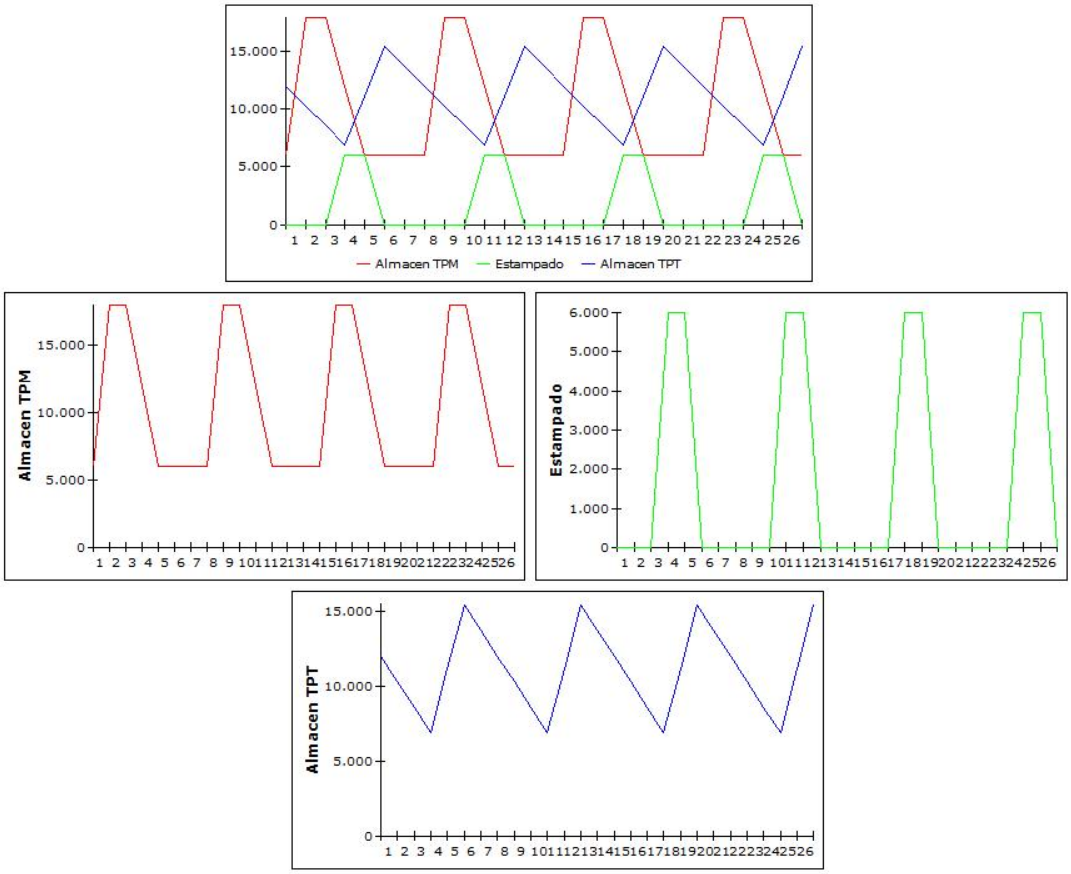


Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

4.4 Análisis de la evolución

4.4.1 Bumper D34 - P24

Gráficos 4.4.1. Evolución del proceso productivo de la pieza Bumper D34- P24



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En el Almacén TPM vemos que hay un stock de seguridad de 6.000 piezas y que cada 7 días compramos 12.000 componentes para producir dichas piezas. Esto se va repitiendo cíclicamente. Las piezas pasan al estampado a lo largo de 2 días, también de forma cíclica.

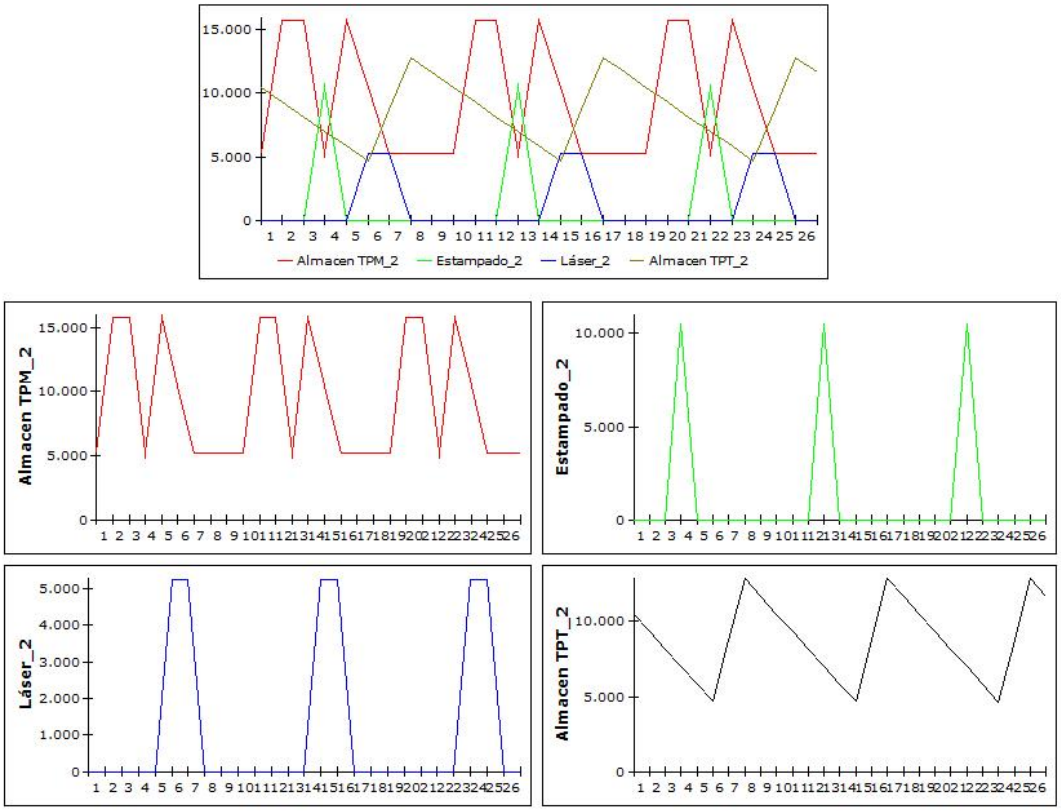
En el Estampado vemos que las piezas empiezan a producirse el día 4 del proceso productivo. Llegan del almacén TPM de 6.000 en 6.000 piezas y se van produciendo en esa misma cantidad. Cuando ya están finalizadas, pasan al almacén TPT y el proceso vuelve a empezar con el siguiente pedido.

En el Almacén TPT vemos que las piezas finalizadas se van expidiendo regularmente a partir del primer día del leadtime hasta que el proceso se repita y vuelvan a llegar las

piezas del siguiente pedido. El valor mínimo de este almacén, siempre que el proceso productivo no se interrumpa, dependerá del valor inicial que le hayamos asignado a los niveles

4.4.2 Refuerzo pie izquierdo del K9

Gráficos 4.4.2. Evolución del proceso productivo de la pieza Refuerzo pie izquierdo del K9



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

Como vemos en los gráficos, el Almacén TPM_2 tiene un stock de seguridad de 5.250 piezas y cada 9 días se compran 10.500 componentes para producir las piezas. Podemos ver que hay varios periodos de almacenado, el 2º y 3º día se almacenan los componentes recibidos y después van la totalidad de las piezas a estampar. Entre el 5º y 6º día se vuelven a almacenar las piezas ya estampadas para luego ir al proceso de Láser.

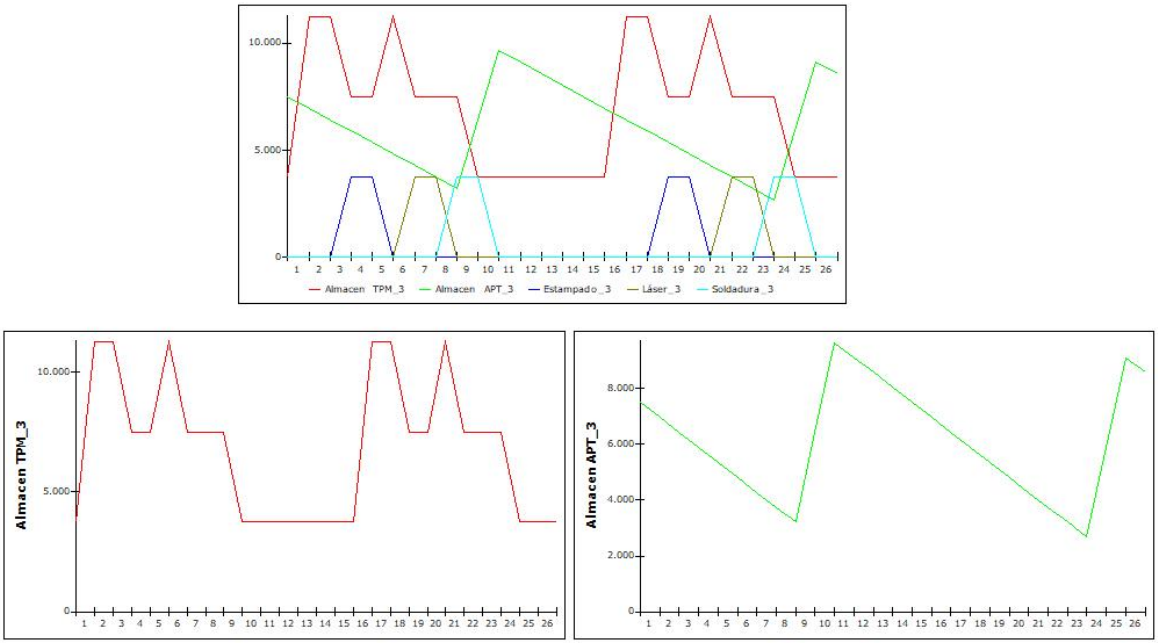
En el Estampado_2, vemos que entre el 4º del leadtime se estampan las 10.500 piezas. Cuando ya están producidas van al Almacén TPM_2 un día para luego ir al corte láser.

En Láser_2, vemos que las piezas se cortan de 5.250 en 5.250 entre el 6º y 7º día de producción. Cuando ya están producidas, van al Almacén TPT_2 para ser expedidas.

En el Almacén TPT_2 vemos que las piezas finalizadas se van expidiendo regularmente a partir del primer día del leadtime hasta que vuelvan a llegar las piezas del siguiente pedido. El valor mínimo de este almacén, siempre que el proceso productivo no se interrumpa, dependerá del valor inicial que le hayamos asignado a los niveles.

4.4.3 *Plancha a talón ASS. C41*

Gráficos 4.4.3. Evolución de los almacenes de la pieza Plancha a talón ASS. C41



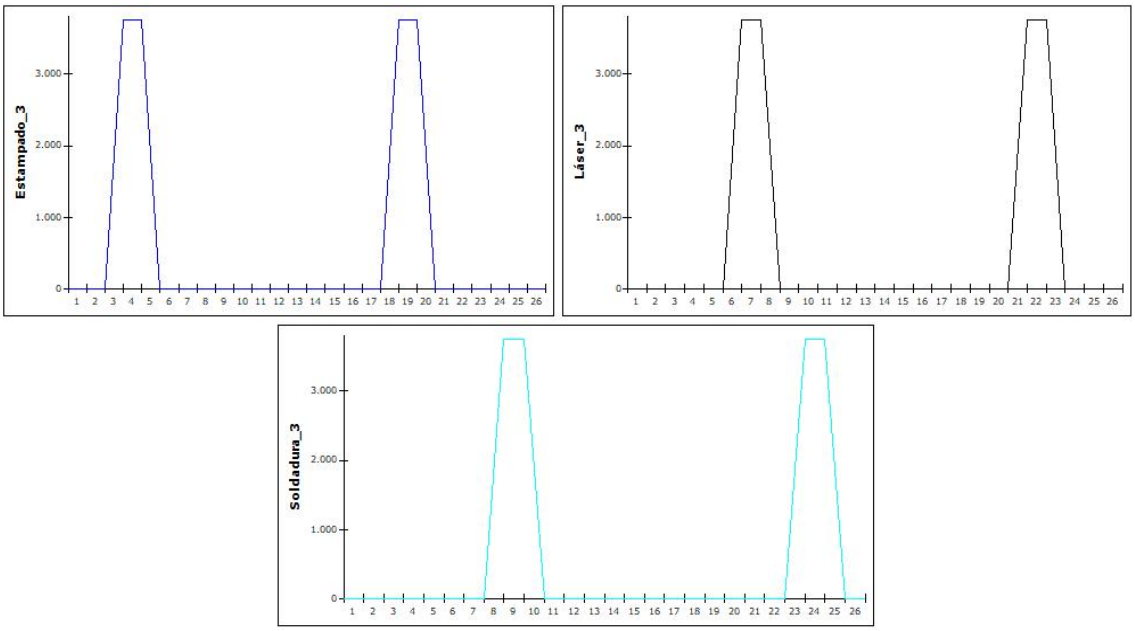
Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

El Almacén TPM_3 tiene un stock de seguridad de 3.750 piezas y cada 15 días compran 7.500 componentes para producir las piezas, las cuales van saliendo del almacén de 3.750 en 3.750. Las piezas se almacenan durante el 2º y 3º día para luego ser llevadas a Estampado. Cuando ya están estampadas, las piezas vuelven al almacén durante el 5º y 7º día hasta que van al proceso productivo de corte Láser. Cuando ya están cortadas las

piezas, vuelven al almacén entre el 8º y 9º, y por último van al proceso productivo de Soldadura. Esto sucede reiteradamente cada vez que llega un pedido.

En el Almacén APT_3 vemos que las piezas finalizadas se van expidiendo regularmente a partir del primer día del leadtime hasta que el proceso se repita y vuelvan a llegar las piezas del siguiente pedido. El valor mínimo de este almacén, siempre que el proceso productivo no se interrumpa, dependerá del valor inicial que le hayamos asignado a los niveles

Gráfico 4.4.3.1. Evolución de los procesos productivos (Estampado, Láser y Soldadura) de la pieza Plancha a talón ASS. C41



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En el Estampado_3 vemos que las piezas se empiezan a producir el 4º día hasta que se quedan sin stock. No se vuelve a estampar hasta que llegan un nuevo pedido.

En el Láser_3 vemos que las piezas se producen a partir del 7º día hasta que se queden sin stock. El proceso se repite cada vez que se recibe un pedido.

En Soldadura_3, las piezas empiezan a soldarse a partir del 9º día hasta que se quedan sin stock, y a partir de ahí, ya no se vuelven a soldar piezas hasta que llegue un nuevo pedido.

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

Se van a plantear 2 escenarios para la pieza Bumper D34 - P24:

En el primer escenario, vamos a suponer que dejan de salir piezas entre los días 7 y 15 debido a que uno de los moldes que se utilizan para estampar se ha averiado. Esta caída en la producción tiene un impacto negativo en el proceso productivo ya que se reducen las expediciones al cliente.

Se ha añadido una variable auxiliar llamada *"Avería en estampado_ entre el día 7 y el día 15",* la cual depende del tiempo. Va a tomar el valor 1 si no hay avería, que es el caso en el que el tiempo es menor o igual a 7 o mayor o igual a 15, y toma el valor 0 cuando hay avería, que es el caso en el que las piezas están entre 8º y 14º día de la producción.

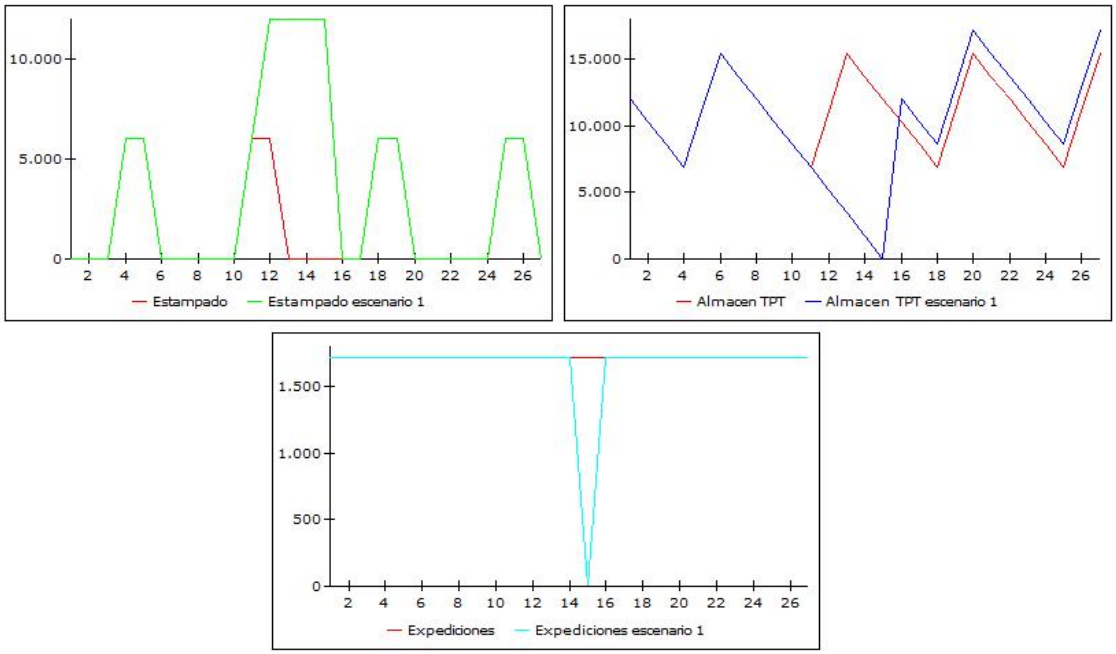
Esta variable auxiliar se ha integrado en el flujo *"Salidas estampado escenario 1",* de manera que se modifica dependiendo si hay avería o no en la maquina de estampado. En el caso de que la variable auxiliar "*Avería en estampado_ entre el día 7 y el día 15"* tome un valor 0, habría una avería en la máquina y por lo tanto dejarían de salir piezas y no podrían cubrir la demanda diaria del cliente. Debido a esto, la empresa acudiría al stock de seguridad del Almacén TPT para cubrir al menos 1 día de expediciones.

Tal como vemos en el Gráfico 5.1, el Estampado de este escenario varía con respecto al Estampado del escenario base ya que en el periodo del 10º al 15º día hay un cambio radical debido a que se han ido acumulando piezas sin estampar por la avería en la máquina. El 15º día cuando la máquina ya esta arreglada, vuelven a producir las piezas que no se produjeron desde el 12º día y el proceso vuelve a la normalidad.

El Almacén TPT también se ha visto afectado a partir del 11º día, ya que al no poder estampar ninguna pieza hasta el 15º día se ha tenido que agotar todo lo que había en el almacén para poder abastecer a los clientes, utilizando incluso el stock de seguridad de 2.400 piezas. A partir del 16º día vuelve a recibir piezas estampadas y el 17º día empieza a expedir al cliente con normalidad pero almacenando mayores cantidades de piezas que en el escenario base.

En las Expediciones también ha habido un cambio: el 15º día no se pueden expedir piezas, ya que el día anterior se utilizó el stock de seguridad del Almacén TPT. Sin embargo, al día siguiente vuelve a haber piezas en este almacén y se continúa expidiendo normalmente.

Gráfico 5.1. Evolución del Estampado, el Almacén TPT y las Expediciones en función de las averías en Estampado



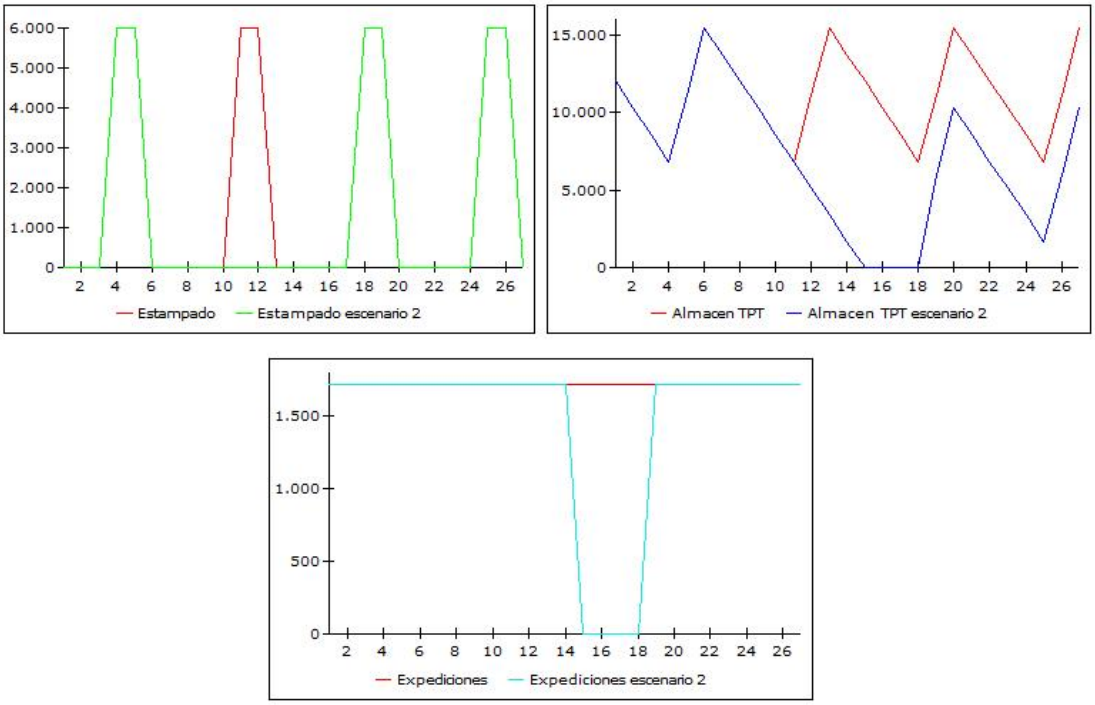
Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

En el segundo escenario, vamos a suponer que entre el 7º y 15º día no se realiza ningún pedido de componentes. Este suceso afectaría a todo el proceso productivo ya que no tienen componentes para producir.

Se ha añadido una variable auxiliar llamada *" No se realiza ningún pedido entre el día 7 y el día 15"*, la cual establece que si se encuentra en un periodo temporal menor o igual a 7 días toma el valor de un pedido recurrente de 12.000 componentes cada 7 días, y lo mismo sucedería si el tiempo es mayor o igual a 15 días. Pero en el caso de que el periodo de tiempo se encuentre entre el 8º y 14º día la variable toma el valor 0 y por lo tanto, no se realizaría ningún pedido.

Esta variable auxiliar se ha integrado en la “Tasa_1”, de manera que se modificará el flujo del proceso dependiendo del periodo de tiempo en el que se encuentren, lo cual está relacionado con si se hace pedido o no al proveedor. En el caso de que la variable tome el valor 0, la empresa no realizaría ningún pedido, el proceso productivo se detendría y la empresa no podría cubrir la demanda del cliente a su debido tiempo, ya que habría una ruptura de stock. Debido a esto, la empresa acude a los stock de seguridad del Almacén TPT para poder cubrir al menos un día de expediciones.

Gráficos 5.2. Evolución del Estampado, el Almacén TPT y las Expediciones en función de la no realización de pedidos



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

En el Gráfico 5.2, debido a que no se realiza ningún pedido entre los días 7 y 15 del proceso, podemos ver que el nuevo Estampado varia, ya que desde el 6º día no se estampa ninguna pieza hasta que vuelven a realizar un pedido (en el Estampado del escenario base sí que se estamparían piezas en ese lapso de tiempo).

El Almacén TPT, debido a la falta de pedidos, también sufre cambios, ya que el día 11º, en vez de recibir piezas, sigue utilizando las piezas que quedan en el almacén

incluyendo el stock de seguridad de 2.400 piezas, para ir expidiéndoselas al cliente hasta quedarse sin ninguna pieza. Entre los días 16º y 18º, no hay ninguna pieza en el almacén. A partir del 19º día empieza a recibir de nuevo las piezas estampadas y el proceso vuelve a la normalidad pero ahora almacenando menores cantidades que en el escenario base.

Las Expediciones también sufren cambios por esta nueva variable, ya que en el nuevo escenario entre el 16º y 18º día no se expide ninguna pieza al cliente, debido a que todavía no se han podido recuperar las piezas que tenían anteriormente en el almacén y las tienen que ir produciendo con el nuevo pedido.

6. CONCLUSIONES

El objetivo principal del trabajo ha sido aplicar la metodología de la Dinámica de Sistemas al análisis del proceso productivo de Gestamp Palencia S.A., una empresa reconocida en el sector de automoción. Esta investigación me ha permitido profundizar en los flujos de materiales, tiempos de producción y almacenamiento, y además, me ha ayudado a entender cómo interactuan las diferentes fases del proceso productivo en una empresa real.

Mediante la modelización de 3 piezas claves, se ha podido representar el comportamiento del sistema productivo de la empresa. La elección de estas piezas se debe a que reflejan distintos procesos, incluyendo diferencias entre los leadtime, cantidad de procesos productivos que son necesarios para obtener la pieza final, las cantidades de stock de seguridad de los almacenes, etc.

Los Diagramas de Forrester elaborados mediante Powersim Studio permiten convertir la realidad del proceso productivo en modelos dinámicos con capacidad explicativa y predictiva.

El análisis de sensibilidad demuestra que tanto la avería en la máquina de estampado como la interrupción en los pedidos de componentes entre los días 7 y 15 tienen un impacto significativo en el proceso productivo de la pieza Bumper C34 - P24. En ambos escenarios, hay una ruptura temporal en la cadena de suministro, lo que obliga a la

empresa a utilizar el stock de seguridad del Almacén TPT para cubrir la demanda del cliente. Aun así, esta solución es temporal, ya que el agotamiento del stock conlleva una interrupción en las expediciones, lo cual representa que hay una vulnerabilidad del sistema ante incidencias. Para darle una buena solución a esto, se necesitaría tener unos mayores niveles de stock de seguridad, un mantenimiento preventivo diario de las máquinas, etc. Con esto, se podría garantizar la continuidad del suministro y minimizar el impacto sobre el cliente.

Cabe destacar que la información recogida en este trabajo se basa en una experiencia práctica real, lo que ha aportado un valor añadido en cuanto a veracidad y aplicabilidad de los datos. Esto ha permitido que el análisis teórico esté dotado de observaciones directas.

En conclusión, la Dinámica de Sistemas es una herramienta estratégica para el análisis y mejora de los procesos productivos. Su capacidad para modelar comportamientos dinámicos y anticipar el impacto de las decisiones la convierte en una metodología crucial para el diseño de soluciones sostenibles y orientadas a la eficiencia operativa.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). Dinámica de Sistemas . Alianza Editorial.

Forrester, J. W. (1961). Industryal Dinamycs. MIT Press.

Forrester, J. W. (1969). Urban Dynamics. Pegasus Comminications.

Martín García, J (2016). Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Editorial: Juan Martín García. ISBN: 84 - 607 - 9304 - 4.

PÁGINAS WEB

Autoparts from Spain (Febrero 2024). "Fabricación de piezas de automoción". Disponible en : https://www.spainautoparts.com/blog/espana-referente-en-fabricacion-de-piezas-de-automocion [Consulta: 15/04/2025]

Billin (15/01/2024). "¿ Qué es una variable endógena? Definicion y características". Disponible en: https://www.billin.net/glosario/definicion-variable-endogena/#:~:text=Una%20variable%20end%C3%B3gena%20es%20aquella%20que%20es%20afectada,elementos%20presentes%20en%20una%20situaci%C3%B3n%20o%20contexto%20espec%C3%ADfico. [Consulta:02/02/2025]

Díaz, S. (29/11/2024). "El sector de automoción en España: el reto de mantener la competitividad en el nuevo ecosistema global". Disponible en: https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/observatorio-sectorial/sector-automocion-espana-reto-mantener-competitividad
[Consulta:29/01/2025]

Flores, A. (7/08/2012). "Diagramas causales y diagramas de Forrester". Disponible en: Modelación Dinámica de Sistemas de Información: DIAGRAMAS CAUSALES Y DIAGRAMA DE FORRESTER [Consulta: 03/02/2025]

Gestamp (s.f). "Gestamp - Gestamp Palencia". Disponible en: https://www.gestamp.com/About-Us/Gestamp-in-the-world/Centers/Europe/Spain/Gestamp-Palencia?lang=es-es [Consulta:31/01/2025]

Gestamp (s.f). “Gestamp- productos”. Disponible en: https://www.gestamp.com/Que-Hacemos/Productos [Consulta:31/01/2025]

Gestamp (25/03/2021). Flyer. Disponible en: https://www.gestamp.com/Gestamp11/media/GestampFiles/About%20Us/Corporate-Flyer_ES_calibri_digital_version_2021.pdf?ext=.pdf [Consulta: 31/01/2025]

GMIF (octubre 2011). Modelación dinámica de sistemas de información. Disponible: https://mdsi-gimf.blogspot.com/2011/10/clasificacion-de-diagramas-causales.html [Consulta: 23/05/2025]

Julele (17/02/2003). Capítulo 2.1. Dinámica de sistemas. Disponible en: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/2923/fichero/CAPITULO+2.1.pdf [Consulta:02/02/2025]

López Quesada, M. (26/01/2018). “La historia de Gestamp. Historia de 20 años de internacionalización y crecimiento”. Disponible en: https://institutofranklin.net/sites/default/files/revistas/%5B2020-11/TN26_web_la-historia-de-gestamp.pdf [Consulta: 30/01/2025]

Montoriol Garriga, J. & Díaz, S. (12/07/2021). “El sector del automóvil en España: estratégico y en transformación”. Disponible en: https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/industria/sector-del-automovil-espana-estrategico-y-transformacion [Consulta: 29/01/2025]

Osorio Cabrera, V. H. (18/02/2025). “La importancia del vehículo eléctrico en la transformación del transporte sostenible”. Disponible en: https://wegrant.com/la-importancia-del-vehiculo-electrico-en-la-transformacion-del-transporte-sostenible-y-el-aumento-de-la-vida-util-de-las-baterias-para-vehiculos-electricos/ [Consulta: 29/01/2025]

Perez,C. (11/10/2008). Diagramas causales. Teoría de sistemas. Disponible en: https://www.monografias.com/trabajos65/diagramas-causales/diagramas-causales2 [Consulta: 23/05/2025]

Perez, S. (30/04/2024). “Diagrama Forrester para universitarios”. Disponible en: Diagrama Forrester para universitarios.pptx [Consulta: 03/02/2025]

8. ANEXO

Aquí se complementa la información del apartado 4.3

PIEZA 2: **REFUERZO PIE IZQUIERDO DEL K9**

- Alm TPM1_2: Nivel que recoge los pedidos de componentes para luego llevarlos a producción. Valor inicial = 5.250, que es el valor de la cantidad de componentes que se almacenan como stock de seguridad.
  - Tasa_1 _2 = Pedidos_2: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM1_2. Representa la cantidad de pedidos de componentes que entran al almacén TPM.
    - Pedidos_2 = PULSE (10.500 ; 1 ; 9): Es una variable auxiliar que permite realizar un pedido recurrente de 10.500 piezas cada 15 días laborables.
  - Tasa_2_2 = IF (Alm TPM1_2 < 5.250 ; 0 ; Alm TPM1_2 - 5.250): Es el flujo de salida del nivel Alm TPM1_2. En este caso, quiere decir que si hay menos de 5.250 componentes en el nivel, toma un valor de 0, es decir, que no pasan al segundo día de almacenado, y si es superior a ese valor toma el valor Alm TPM1_2 - 5.250, que es el valor total de componentes que hay que producir.
- Alm TPM2_2: Nivel que tiene un valor inicial de 0, ya que es el mismo almacén que el TPM1_2 pero en el segundo día de almacenado.
  - Tasa_2_2: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2_2 y coincide con el flujo de salida del nivel anterior.
  - Tasa_3 _2 = Alm TPM2_ 2: Es el flujo de salida del Alm TPM2_2. Proporciona la cantidad de piezas que se sacan del almacén cada día para llevarlas a estampado.
- Estampado_2: Nivel con un valor inicial 0. Es el primer proceso productivo por el que pasa la pieza.
  - Tasa_3 _2: Es el flujo de entrada del nivel Estampado_2 por el cual entran las piezas que llevan almacenadas 2 días. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

- Tasa_4_2 = Estampado_2: Es el flujo de salida del nivel Estampado_2 por el cual salen las piezas estampadas al almacén TPM2 parte b_2 para luego ser llevadas al siguiente proceso productivo.

- Alm TPM2 parte b _2 : Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM, pero ocupa una parte diferente, porque ahí llegan las piezas finales estampadas que esperan 1 día para ser llevadas al corte láser.

  - Tasa_4_2 : Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 parte b_2 por el cual se reciben las piezas que van siendo estampadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_5_2 = Alm TPM2 parte b_2 * Constante_1_2: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte b_2. Representa la salida de piezas que ya han sido estampadas y almacenadas durante 1 día para llevarlas al siguiente proceso productivo. Primero se envían 5250 piezas, asignando un valor de 0,5 a la constante y luego al día siguiente, se reparten el resto de piezas que quedan en el almacén, que es el caso en el que la constante tiene un valor de 1. En el resto de casos toma el valor 0.

    - Constante_1_2=

      IF((TIME-9*FLOOR(TIME/9))=5;0,5;IF((TIME-9*FLOOR(TIME/9))=6;1;0)):

      Es una constante que depende del tiempo. Toma los valores 0, 0.5 y 1 dependiendo del momento del leadtime en el que nos encontramos.

  - Almacén TPM_2 =Alm TPM2_1 + Alm TPM2_2 + Alm TPM2 parte b_2 : Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPM_2 donde se suma la cantidad de piezas que han sido almacenadas durante 3 días.

- Láser_2 : Nivel con un valor inicial 0. Es la línea de producción donde realizan el segundo proceso para obtener la pieza final.

  - Tasa_5_2: Es el flujo de entrada del nivel Láser_2 por el cual entran todas las piezas que ya han sido estampadas y llevan 1 día almacenadas en el almacén TPM. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior

- Tasa_6_2 = Láser_2 : Es el flujo de salida del nivel Láser, por el cual van saliendo las piezas finales y pasan al almacén TPT1_2.

- Tasa_7_2 = IF (Alm TPT1_2 < 2.100 ; 0 ; Alm TPT1_2): Es el flujo de salida del nivel Alm TPT1_2. Si hay menos de 2.100 piezas en el Alm TPT1_2, no pasa ninguna pieza al segundo día de almacenado y toma el valor 0, pero si toman un valor superior a 2.100, pasan al segundo día de almacenado 5.250 piezas para ser expedidas y por lo tanto toma un valor de Alm TPT1_2.

- Alm TPT2_2: Nivel con un valor inicial de 5.250. Es el mismo almacén, pero se trata del segundo día de almacenado de las piezas antes de la expedición de la pieza.

  - Tasa_7_2: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPT2_2 por el cual entran las piezas que han superado el mínimo para poder pasar al último día de almacenado. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_8_2= MAX (0 ; IF('Almacén TPT_2' >= 1167 ; 1167 ; 'Almacén TPT_2')): Es el flujo de salida del nivel Alm TPT2_2, y representa la cantidad de piezas que se van expidiendo diariamente al cliente después de que lleve como mínimo 2 días de almacenamiento. Si ha habido algún desajuste en el proceso productivo, se expedirán piezas hasta vaciar el almacén. Teniendo en cuenta que el stock de seguridad cubrirá al menos 1 día de expedición.

  - Almacén TPT_2 = Alm TPT2_2 + Alm TPT1_2: Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPT_2 donde se suman la cantidad de piezas almacenadas durante dos días.

PIEZA 3: **PLANCHA A TALON ASS. C41**

- Alm TPM1_3: Nivel que recoge los pedidos de componentes que van entrando a la empresa de una forma periódica. Valor inicial = 3.750, que es el valor de la cantidad de componentes que se almacenan como stock de seguridad.

  - Tasa_1_3 = Pedidos_3: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM1_3. Representa la cantidad de pedidos de componentes que se realizan cada 15 días.

- Pedidos _3 = PULSE (7.500 ; 1 ; 15): Es una variable auxiliar que permite realizar un pedido recurrente de 7.500 piezas cada 15 días.

- Tasa_2_3 = IF (Alm TPM1_3 < 3.750 ; 0 ; Alm TPM1_3 - 3.750): Es el flujo de salida del nivel Alm TPM1_3. Si hay menos de 3.750 componentes almacenados, toma un valor de 0, es decir, no pasan componentes al segundo día de almacenado, y si es superior a ese valor toma un valor Alm TPM1_3 - 3.750, es decir, que pasan al segundo día de almacenado la totalidad de los componentes.

- Alm TPM2_3: Nivel con un valor inicial de 0, ya que es el mismo almacén que el TPM1_ 3 pero en el segundo día de almacenado.

  - Tasa_2_3: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2_3 y coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_3_3 = Alm TPM2_3 * Constante_1_3: Es el flujo de salida del Alm TPM2_3 en la cual se multiplica el nivel Alm TPM2 por la Constante_1 para obtener la cantidad de piezas que se sacan del almacén cada día para llevarlas a estampado. Primero se envían 1.071 piezas ya que la constante vale 0,5 y luego al día siguiente se reparten el resto de piezas que quedan en el almacén que es el caso en el que la constante tiene un valor de 1.

    - Constante_1_3=

      IF((TIME-15*FLOOR (TIME/15))=3; 0,5 ;IF((TIME-15*FLOOR (TIME/15))=4; 1; 0)):

      Es una constante que depende del tiempo. Toma los valores 0, 0.5 y 1 dependiendo del momento del leadtime en el que nos encontramos.

- Estampado_3: Nivel con un valor inicial 0. Es el primer proceso productivo que necesita la pieza.

  - Tasa_3_3 = Alm TPM2_3 * Constante_1_3: Es el flujo de entrada de Estampado por el cual entran las piezas almacenadas para ser estampadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior

- Tasa_4_3 = Estampado_3: Es el flujo de salida del nivel Estampado_3 por el cual salen todas las piezas estampadas para ir al Alm TPM2 parte b1_3. Las piezas van saliendo de 3.750 en 3.750.

- Alm TPM2 parte b1_3: Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM pero es la parte b1, porque es cuando llegan las piezas finales estampadas y se almacenan 2 días para llevarlas al corte láser.

  - Tasa_4_3 = Estampado_3: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPT2 parte b1_3 por el cual reciben las piezas estampadas para ser almacenadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_5_3 = AlmTPM2 parte b1_3: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte b1_3, a través del cual, las piezas almacenadas pasan al segundo día de almacenado.

- Alm TPM2 parte b2_3: Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM pero es la parte b2 porque las piezas estampadas llevan un día almacenadas. Este es el día 2 de almacenado.

  - Tasa_5_3 = AlmTPM2 parte b1_3: Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 parte b2_3. Recibe las piezas que ya llevan almacenado un día. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_6_3 = AlmTPM2 parte b2_3: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte b2_3. Salen las piezas que ya han sido almacenadas durante dos días para ser llevadas al segundo proceso productivo.

- Láser_3: Nivel con un valor inicial 0. Es el segundo proceso productivo que necesita la pieza para luego llevarla al almacén TPM y que vaya después al último proceso productivo para obtener la pieza final.

  - Tasa_6_3 = AlmTPM2 parte b2_3: Es el flujo de entrada del nivel Láser_3. Entran las piezas que llevan almacenadas los dos días estipulados. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

- Tasa_ 7 _3 = Láser_3 : Es el flujo de salida del nivel Láser por el cual salen las piezas que ya han sido cortadas con el Láser, para llevarlas al almacén TPM durante 1 día hasta llevarlas al último proceso productivo para obtener la pieza final.

- Alm TPM2 parte c_3 : Nivel con un valor inicial 0. Es el mismo almacén TPM pero es la parte c, porque ahí llegan las piezas con el corte láser realizado y esperan ahí 1 día para llevarlas a soldar.

  - Tasa_ 7 _3 = Láser_3 : Es el flujo de entrada del nivel Alm TPM2 parte c_3 por el cual recibe las piezas que ya han sido cortadas en el nivel de corte láser. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior

  - Tasa_8_3 = AlmTPM2 parte c_3: Es el flujo de salida del nivel Alm TPM2 parte c_3, por el cual salen las piezas almacenadas para ir a soldar.

  - Almacén TPM_ 3 = Alm TPM1_3 + Alm TPM2_3 + AlmTPM2 parte b1_3 + AlmTPM2 parte b2_3 + AlmTPM2 parte c_3 : Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén TPM_3 donde se suman la cantidad de piezas almacenadas durante los 5 días estipulados en diferentes momentos de la producción.

- Soldadura_3 :Nivel con un valor inicial 0. Es el último proceso productivo que necesita la pieza para ser terminada y poder llevarla al almacén APT.

  - Tasa_8_3 = AlmTPM2 parte c_3: Es el flujo de entrada del nivel Soldadura_3 por el cual se reciben las piezas que ya han sido estampadas, cortadas con láser y almacenadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior

  - Tasa_ 9_3 = Soldadura_3 : Es el flujo de salida del nivel Soldadura_3 por el cual salen todas las piezas finales que ya han sido soldadas para ser almacenadas y, posteriormente, expedidas.

- Alm APT1 _3: Nivel con un valor inicial de 3.750 piezas, ya que hemos considerado que el proceso productivo ya estaba en marcha cuando empezamos el estudio, y por lo tanto, ya había piezas en el almacén APT. Es el almacén que recibe las piezas finales para luego expedirlas al cliente después de al menos 2 días de almacenado.

- Tasa_ 9_3 =Soldadura_3: Es el flujo de entrada de Alm TPT1_3 por el cual se reciben las piezas que han sido soldadas. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

- Tasa_10_3 = IF (Alm APT1_3 < 1.500 ; 0 ; Alm APT1_3): Es el flujo de salida del nivel Alm TPT1_3. Es un comando IF que quiere decir que si la cantidad de piezas que salen del almacén es menor a 1.500, no pasan al segundo día de almacenado ninguna y toma valor 0. Y cuando hay más de 1.500 piezas almacenadas, toma un valor de Alm APT1_3, que son las piezas que se mandan al segundo día de almacenado para ser expedidas.

- Alm APT2_3: Nivel con un valor inicial de 3.750. Es el mismo almacén, pero se trata del segundo día de almacenado antes de ser expedidas.

  - Tasa_10_3: Es el flujo de entrada del nivel de Alm TPT2_3 por el cual se reciben todas las piezas que han superado el mínimo para poder pasar al último día de almacenado. Coincide con el flujo de salida del nivel anterior.

  - Tasa_11_3= MAX (0 ; IF('Almacén APT_3' >= 535,7143 ; 535,7143 ; 'Almacén APT_3')): Es el flujo de salida del nivel Alm TPT2_3, y representa la cantidad de piezas que se van expidiendo diariamente al cliente después de que lleve como mínimo 2 días de almacenamiento. Si ha habido algún desajuste en el proceso productivo, se expedirán piezas hasta vaciar el almacén, teniendo en cuenta que el stock de seguridad cubrirá al menos un día de expedición.

  - Almacén APT_3 = Alm APT2_3 + Alm APT1_3: Es una variable auxiliar que representa el valor total del Almacén APT_3 donde se suma la cantidad total de piezas que se almacenan durante 2 días.