



**CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR
- UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA -**



**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANÁLISIS Y VALORACIÓN TÉCNICA
SOBRE LA VIABILIDAD DE UNA
AUTOMATIZACIÓN PARCIAL O TOTAL
DEL SUMINISTRO Y MONTAJE DE
RUEDAS EN UNA FÁBRICA DE
AUTOMOCIÓN.**

AUTOR: JUAN JOSÉ ARTIGAS MINGUILLÓN

DIRECTOR: MIGUEL ÁNGEL GRIJALBA BLANCO

ponente: Dr. LUIS NAVARRO ELOLA

DEPARTAMENTO DE DIRECCIÓN Y ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS

Mayo 2011

ANÁLISIS Y VALORACIÓN TÉCNICA SOBRE LA VIABILIDAD DE UNA AUTOMATIZACIÓN PARCIAL O TOTAL DEL SUMINISTRO Y MONTAJE DE RUEDAS EN UNA FÁBRICA DE AUTOMOCIÓN.

RESUMEN

En el actual contexto de mercados de capital agresivo, competencia global y clientes exigentes, acentuado aún más si cabe por la actual situación de crisis económica, Volkswagen Navarra S.A., como integrante de la ya de por si competitiva industria automovilística, está sometida a un desafío constante. Unido todo ello al desarrollo de un número cada vez mayor de variantes, hace que la empresa tenga que ser capaz de adaptar continuamente sus sistemas de Producción, Logística y prestaciones de Servicio para dar respuesta a la demanda existente sin incrementar por ello los costes de su actividad y dentro del marco de la mejora continua.

Dicho esto, el presente proyecto, llevado a cabo en el marco la línea de Montaje de la ya mencionada empresa, propone un análisis y valoración de una automatización parcial o total del suministro y montaje de ruedas. Los objetivos concretados por la empresa son la mejora de: productividad, proceso, ergonomía, calidad y logística, siempre y cuando su rentabilidad económica sea aceptable.

El proyecto comenzará con una breve introducción acerca de la empresa para dar paso en el segundo capítulo a la exposición de la situación inicial, es decir, la comprensión de la instalación original. Se procederá a realizar una breve descripción de la misma, así como del proceso productivo objeto de estudio del presente proyecto. En el tercer capítulo se explica la metodología que se ha utilizado para llevar a cabo el estudio, y dentro del mismo se desarrollan las diferentes propuestas para la optimización de cada una de las áreas que afectan al proceso productivo estudiado. El capítulo cuarto presenta las diferentes alternativas propuestas como posibles soluciones al problema planteado y su posterior valoración para dejar el camino abierto a una decisión final.

Tras el filtrado de las alternativas anteriores, en el quinto y último capítulo se hace una valoración económica final para concluir la mejor de entre las propuestas soluciones.

Índice

Memoria

| | |
|---|----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1. Interés del proyecto..... | 2 |
| 1.2 Objetivos y alcance..... | 3 |
| 1.3 Marco del proyecto: Volkswagen Navarra..... | 5 |
| 2. Descripción de la situación inicial..... | 7 |
| 2.1. Descripción del taller de montaje..... | 8 |
| 2.2. Descripción del montaje de las ruedas..... | 9 |
| 2.3. Descripción de la logística interna..... | 10 |
| 2.4. Descripción de la logística externa..... | 12 |
| 3. Propuestas..... | 13 |
| 3.1 Propuestas de montaje..... | 14 |
| 3.2 Propuestas de la logística interna..... | 17 |
| 3.3 Propuesta del suministro externo..... | 20 |
| 4. Valoración de las alternativas..... | 23 |
| 4.1. Alternativas..... | 24 |
| 4.2. Indicadores..... | 25 |
| 4.3. Análisis de los valores..... | 27 |
| 5. Conclusiones..... | 29 |
| 5.1 Conclusiones..... | 30 |

Anexos

| | |
|---|----|
| A. Valoraciones económicas..... | 37 |
| A.1. Valoraciones para la mejora del montaje..... | 38 |
| A.2. Valoraciones para la mejora de la logística interna..... | 41 |
| A.3. Valoraciones para la mejora del suministro externo..... | 44 |
| A.4 Alternativas..... | 45 |
| B. Valoraciones de la productividad..... | 49 |
| B.1 Productividad..... | 50 |
| C. Valoraciones del proceso..... | 51 |
| C.1 Proceso..... | 52 |
| D. Valoraciones ergonómicas..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| D.1 Valoraciones ergonómicas..... | 54 |
| D.2 Estructura y aplicación de EAWS..... | 55 |
| D.3 Evaluación de los tipos de carga..... | 58 |
| D.4 Valoración de los puestos de trabajo del montaje de ruedas en Volkswagen Navarra..... | 74 |
| E. Valoraciones de calidad..... | 77 |
| E.1 Calidad..... | 78 |
| F. MTM..... | 81 |
| F.1 Definición de MTM..... | 82 |
| F.2 Antecedentes históricos y definición..... | 82 |
| F.3 MTM en Volkswagen Navarra..... | 84 |
| G. TPM..... | 89 |
| G.1 TPM..... | 90 |
| G.2 TPM en Volkswagen Navarra..... | 92 |
| G.3. TPM en la nueva instalación..... | 95 |
| H. Glosario..... | 97 |
| H.1 Glosario..... | 98 |
| Índice de figuras..... | 103 |
| Índice de tablas..... | 105 |
| Bibliografía..... | 107 |

Memoria

1. Introducción

1.1. Interés del proyecto

El presente proyecto surge a petición del departamento de Planificación Industrial de Volkswagen Navarra para acometer el diseño de una nueva instalación para el montaje de ruedas y la optimización del suministro.

La colocación de las ruedas es uno de los procesos más críticos que se tiene en la línea de montaje, por la importancia que tienen las ruedas para seguir adelante con el proceso de producción del propio coche. Un automóvil puede salir de la línea sin algún cable bien conectado o incluso sin una luna, dado que más tarde será arreglado en la zona de reparaciones. Pero un coche no puede salir de la línea sin las ruedas esto es así porque una vez colocadas las ruedas y hecho el llenado de depósitos, el transportador del coche que lo lleva suspendido, popularmente conocido como pulpo¹⁾, se retira y el coche se deja sobre una cinta que lo traslada hasta el final del último tramo.

Es por ello que esta instalación ha de ser muy fiable y además debe tener una estrategia de emergencia que pueda funcionar en caso de avería de la instalación en el menor tiempo posible.

El interés de la empresa Volkswagen Navarra reside en la optimización del suministro y montaje de las ruedas. Actualmente el suministro de las ruedas pasa por un operador logístico. Una vez en fábrica el proceso de colocación es totalmente manual, son cinco operarios por turno los encargados del montaje de las ruedas, con el consecuente gasto de personal que conlleva.

Lo que desea la empresa es una automatización total o parcial del proceso, sin perdida de productividad, sin incurrir en una inversión no rentable y en cuanto a la logística estudiar la viabilidad de mejora para su posterior implementación.

Asimismo algunas de las mejoras que se puedan introducir en este proyecto, tanto organizativas como de logística, podrían ser utilizadas también en la nueva línea de montaje, cuyo lanzamiento va a tener lugar en Junio de 2011.

1) En glosario, página 99.

1.2. Objetivos y alcance

La empresa Volkswagen Navarra por medio del departamento de Planificación Industrial tiene la idea de automatizar parcial o completamente la instalación del montaje de ruedas. Y como objetivo en paralelo, tener posible ahorro en el suministro de las mismas. El proceso de montaje de ruedas que tiene hoy en día esta empresa, si bien cumple con todas las especificaciones, está anticuada y desde el consorcio se pide una modernización.

Teniendo como referencia otras fábricas, que tienen el montaje de las ruedas totalmente automatizado o semiautomático, es idea del consorcio no tener un montaje manual de las ruedas en la fábrica de Pamplona. Por ello se ha planteado desde el departamento de Planificación Industrial realizar un estudio de distintas opciones para mejorar la situación actual. Asimismo se desea en la medida de lo posible mejorar los procesos logísticos.

Para mejorar este proceso, la empresa ha fijado unos objetivos, que el presente Proyecto Fin de Carrera pretende cumplir:

- Mejora de la productividad de la línea de montaje uno. Al optimizar el número de operarios de esa operación, la ratio de productividad aumentará.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Coches fabricados}}{\text{Operarios en fábrica}}$$

- Mejora del proceso. Se quiere tener un proceso más robusto, es decir, un proceso que tenga el menor numero de fallos posibles, por ser una de las fases más importantes dentro de la línea.
- Mejora ergonómica. La empresa intenta favorecer siempre, que las condiciones de trabajo de los operarios sean las mejores posibles.
- Mejora de la calidad. Se tienen reclamaciones de calidad por ralladuras en las llantas, sobre todo en las de aluminio. Éstas son producidas al embocar el atornillador múltiple. Con esta nueva instalación se desea evitar estas rallas mejorando la operación de emboque.

- Ahorros logísticos. Actualmente existe un operador logístico que hace de intermediario. Se desea también mejorar esta situación si es posible.

Con este proyecto se desea alcanzar una solución viable técnicamente pero todo ello sin olvidar que también debe ser rentable económicaamente.

Como ya se ha comentado con anterioridad ésta es una de las operaciones más críticas en el montaje del coche, por tanto se tendrán en cuenta otros factores que se comentarán más adelante que no tengan que ver con la rentabilidad económica ni con la viabilidad técnica.

La memoria del presente proyecto se desarrolla a lo largo de cuatro partes descritas a continuación:

La primera parte, que corresponde al Capítulo 2 en el cual se hará una breve descripción del proceso actual.

En la segunda parte que corresponde al Capítulo 3 se expondrán las distintas opciones que se han valorado.

En la tercera parte que corresponde al Capítulo 4 se hará una recapitulación de todas las opciones y una valoración en común de todas ellas.

Por último, en el Capítulo 5, se dan a conocer las conclusiones del proyecto; mediante un resumen de resultados que muestran en qué medida se han conseguido los objetivos que se habían planteado.

Además, como complemento a la memoria se presenta un volumen de anexos, los cuales profundizan en los aspectos que no han podido ser desarrollados más a fondo a lo largo de la presente memoria.

1.3 Marco del proyecto: Volkswagen Navarra

El Grupo Volkswagen, con sede en Wolfsburg es uno de los fabricantes de automóviles líderes del mundo, y el mayor de Europa. En el año 2009 el Grupo vendió 6,3 Millones de unidades, lo cual corresponde a una cuota de mercado mundial del 9,7%.

En doce países de Europa y en seis países de América, Asia y África, el Grupo Volkswagen produce vehículos en 61 fábricas. Cerca de 370.000 empleados producen cada día, en todo el mundo, más de 24.500 coches. Volkswagen ofrece sus coches a más de 150 países diferentes.

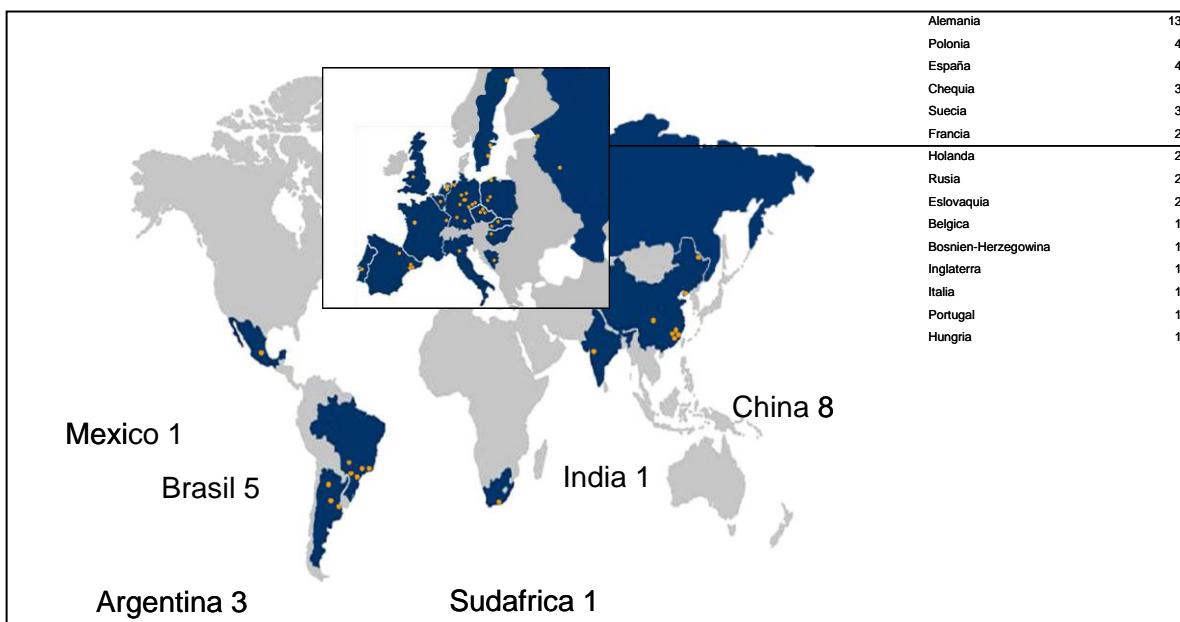


Figura 1.1 Ubicación mundial de las fábricas de VW.

Volkswagen Navarra es una de las tres fábricas, pertenecientes al consorcio Volkswagen AG, situadas en la península ibérica. Hay otra fábrica en Palmela, Portugal, que al igual que la fábrica de Pamplona solamente se dedica a la producción. Y Martorell, España, en la que se encuentra también el desarrollo de los coches. Ésta es la más grande de las tres, debido a que es Marca propia, SEAT.

Volkswagen Navarra está integrada por casi 5.000 trabajadores. Aunque indirectamente da trabajo a más de 10.000 personas en la comunidad autónoma de Navarra. Colocándose así en el mayor empleador de toda la comunidad Foral.

En la fábrica de Volkswagen Navarra tan solo se produce un modelo el Polo A05, que ha sido el coche del año 2010. Esto le ha llevado a que se halla batido el record de producción histórico con una producción total de 336.336 coches.

El Polo se ha convertido en el mejor producto de la marca Volkswagen en el año 2010, ganando galardones tales como “car of the year” y “world car of the year”. Con motivo de la crisis económica a nivel mundial, su precio asequible y bajo consumo ha llevado a mucha gente en todo el mundo a decantarse por este atractivo modelo.

La fábrica de Pamplona cuenta con gran confianza del consorcio por lo que se le ha otorgado para el año 2011 un aumento de producción de alrededor de 350.000 coches.



Figura 1.2 Planta de Volkswagen Navarra

El presente Proyecto Fin de Carrera surge en el marco del departamento de Planificación Industrial, para acometer el diseño de una nueva instalación de suministro y montaje de ruedas.

Algunos de los valores dados en esta memoria han sido cambiados por petición y motivos de privacidad de la empresa. Pero cabe destacar que estos cambios nunca van a presentar una desviación en los resultados y conclusiones a los que el proyecto ha llegado.

2. Descripción de la instalación inicial

2.1. Descripción del taller¹⁾ de montaje

La labor de este taller es completar totalmente el vehículo, añadiendo a la carrocería ya pintada los restantes componentes, tanto exteriores como interiores, que el cliente ha elegido en su pedido. La capacidad de producción, de éste, es de 1.550 coches diarios en tres turnos de ocho horas.

El montaje se estructura en cuatro tramos²⁾ paralelos, por los que el vehículo se traslada suspendido en un pulpo³⁾ tradicional que discurre a lo largo de una cadena mecánica. Una vez que llega al cuarto tramo, se le colocan las ruedas y el coche abandona este sistema para ser trasladado por una cinta transportadora de suelo.

Montaje { *Tramo 1 → Preparación de interiores y exteriores.*
Tramo 2 → Trabajos en el interior.
Tramo 3 → Trabajos en el exterior.
Tramo 4 → Completación (acabado) del coche.

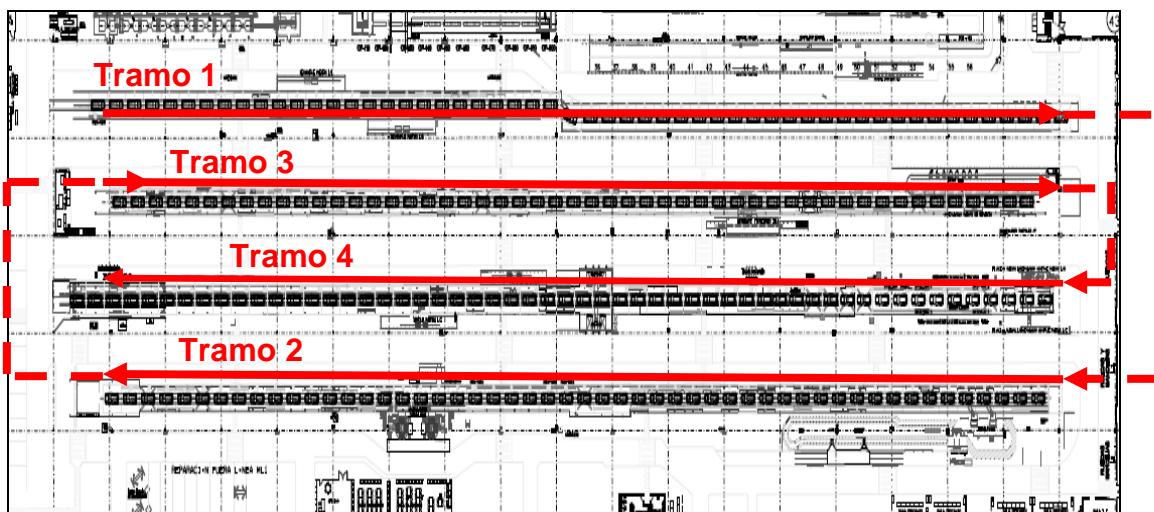


Figura 2.1 Tramos y flujo del taller de montaje

La actividad comienza cuando la carrocería, que sale secuenciada del almacén del taller de Pintura, llega al punto de lanzamiento. A partir de este momento incorpora un cartelino⁴⁾ donde se especifican las características del vehículo, según la composición requerida por el cliente. Basándose en él, todos los grupos de montaje comienzan a trabajar para el coche reconocido. A su paso por el punto de lanzamiento, paralelamente a la impresión del cartelito, se envía una orden de

1) en glosario, página 100; 2) en glosario, página 102; 3) en glosario, página 99; 4) en glosario, página 98

producción para los macroconjuntos (motor, cockpit, frontend) a los operadores JIT/JIS correspondientes, que serán los responsables del suministro de dichos conjuntos, justo a tiempo y en secuencia, en el punto de montaje correspondiente.

2.2. Descripción del montaje de las ruedas

El montaje de las ruedas se realiza al inicio del cuarto tramo. Hay tres tactos⁵⁾ reservados para el montaje de las ruedas, el 157, 158 y 159. Los coches llegan suspendidos de los pulpos⁶⁾ desde una altura de 4,1 metros y tienen que bajar a una cota 1,7 para que pueda trabajarse con las ruedas a una altura ergonómicamente adecuada para el operario, como se puede apreciar en la Figura 2.2.

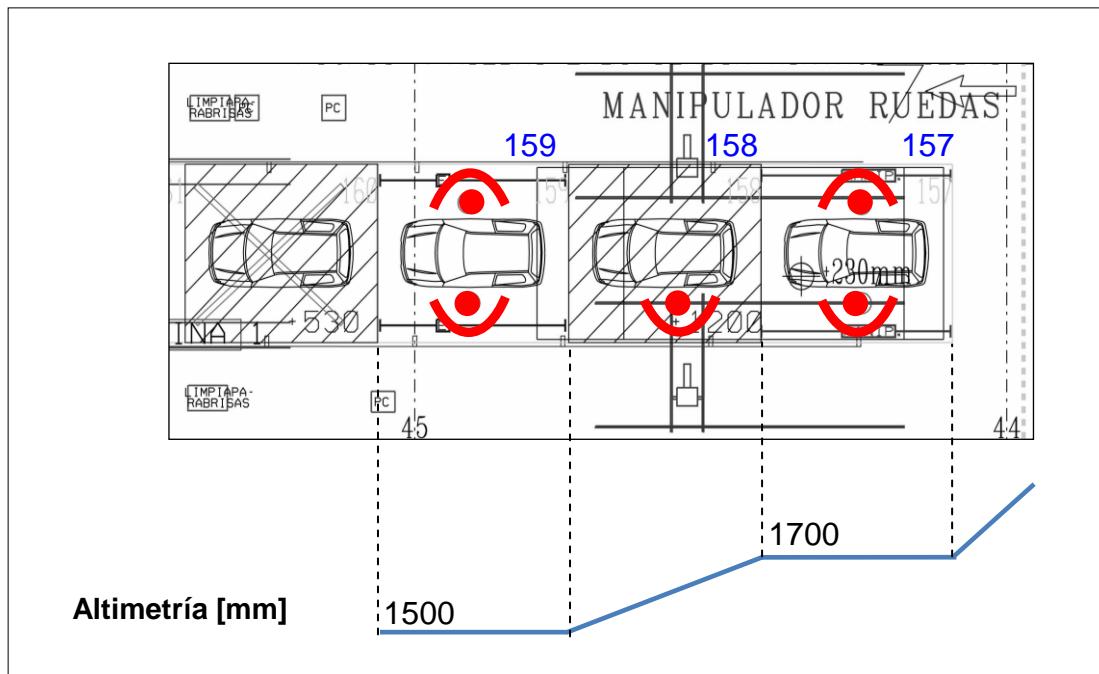


Figura 2.2 Disposición de los tactos del montaje de las ruedas

En el primer tacto, 157, dos operarios, uno por cada lado del vehículo, tienen que colocar la rueda en su posición con ayuda de un manipulador y amarrar con la mano un tornillo. Además los operarios deben de comprobar, en uno de cada siete coches si el contendor que el carretillero ha llevado a la línea llega con la secuencia correcta de ruedas.

5) en glosario, página 100; 6) en glosario, página 99.

2. Descripción de la instalación inicial

En el siguiente tacto, 158, el tercer operario coloca los tornillos restantes en todas las ruedas. Debe leer la ficha, o cartelino, en la que aparece si el coche lleva o no un tornillo especial, antirrobo⁷⁾. Este tornillo es un tornillo que necesita un adaptador adicional para ser ajustado o aflojado, de este modo hay mayor dificultad de robo de las ruedas. En el caso en que no lo lleve pondrá todos los tornillos iguales. Y en caso de que lo lleve, pondrá en cada rueda tres tornillos normales y uno especial.

Ya en el tacto 159, otros dos operarios, uno en cada lado del coche, manejando unos atornilladores múltiples⁸⁾, aplican los parámetros necesarios de apriete (par y ángulo) de seguridad a todos los tornillos de una vez. Si la rueda tiene tornillo antirrobo, previamente deberá tomar el adaptador y colocarlo en la boquilla del atornillador múltiple para poder fijar la rueda.

El apriete de seguridad es un requerimiento que viene definido desde el departamento de proyectos y debe asegurarse siempre. Es por ello que debe hacerse con unos atornilladores que puedan recoger los datos reales resultantes en un sistema informático, para en caso de fallo, de una o varias de las pistolas, tener registrada la información y poder corregir la operación en una fase posterior, siempre antes de la venta del coche.

2.3. Descripción de la logística interna

Una vez llega el camión desde el operador logístico al muelle de fábrica, un carretillero se encarga de descargar los contenedores llenos de ruedas y dejarlos situados en un área de almacenaje. Después llena el trailer de nuevo con los contenedores que han quedado vacíos.

Este mismo carretillero es el encargado de acercar los contenedores llenos desde el área de almacenaje intermedio hasta la línea conforme se van consumiendo las ruedas. Después lleva los contenedores vacíos hasta otra área donde se almacenan hasta que tengan que devolverse en el siguiente trailer que llegue cargado con más ruedas.

Además, este mismo carretillero es el encargado de suministrar los contenedores de la rueda de repuesto a la zona de montaje correspondiente.

7) en glosario, página 101; 8) en glosario, página 98

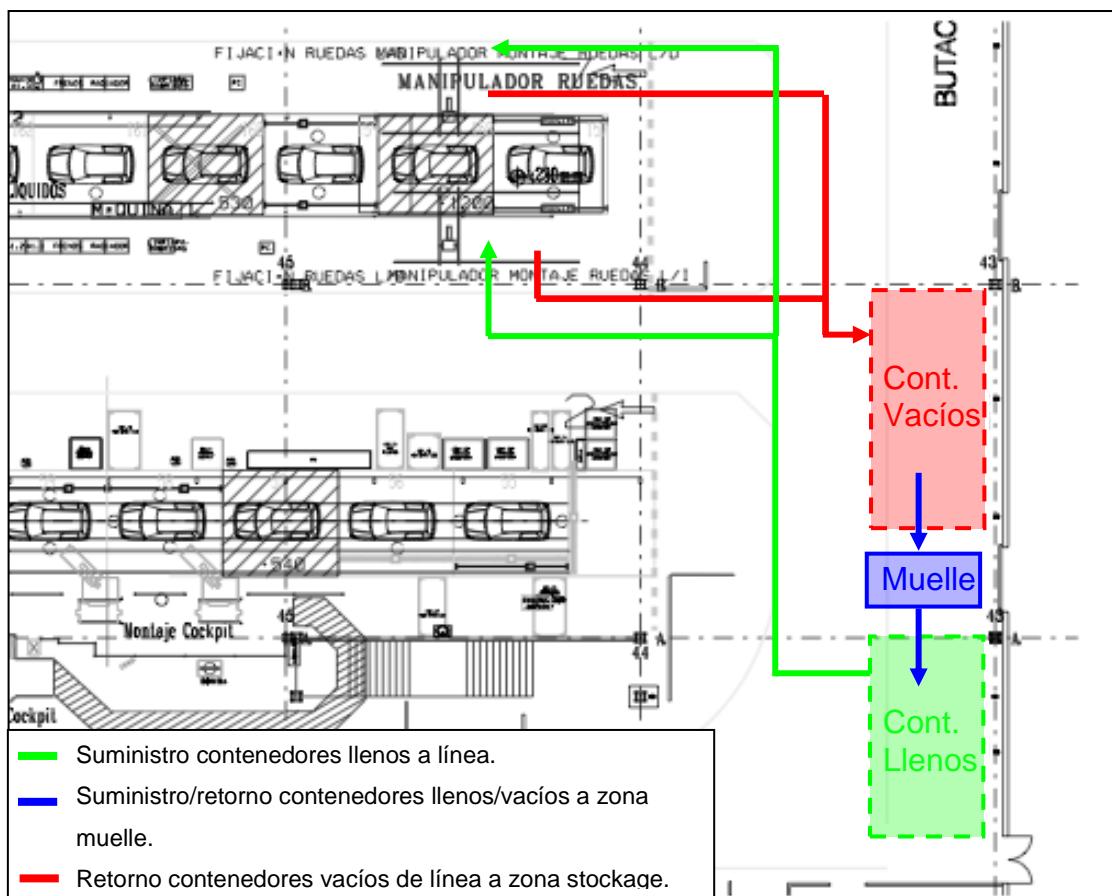


Figura 2.3 Diagrama de flujos carretilla de suministro ruedas.

2.4. Descripción de la logística externa

El proceso de suministro de las ruedas comienza en una empresa situada en Zaragoza, en la que el neumático se monta sobre la llanta. Una vez montadas las ruedas, se paletizan y se envían en camiones hasta un operador logístico que está situado en el parque de proveedores de Orcoyen, Pamplona, en las inmediaciones de la fábrica.

Ya en el operador logístico, los paleos son descargados del camión por un carretillero, que los coloca en estanterías dentro del almacén. Allí dos operarios se encargan de seleccionar las ruedas correspondientes y de ordenarlas en los contenedores en la secuencia correcta. La información de qué ruedas tienen que ser cargadas, va llegando en tiempo real desde fábrica. Esta información la manda un lector de código de barras. Éste lee el número y así todos los grupos encargados del montaje (proveedores JIT) saben la secuencia de los coches.

Por último, otro carretillero carga los contenedores en otro camión, que los llevará hasta el muelle de la fábrica. Tan sólo el 20% de los coches que salen diariamente de Volkswagen Navarra llevan rueda de repuesto, el resto, monta un kit especial de reparación de pinchazos. A pesar de que sólo la quinta parte de la producción cargue rueda de repuesto, este consumo no es uniforme. Esto es, pueden existir picos o valles en la demanda de dicha rueda, aunque esto no supone un problema, ya que cada 80 minutos (o lo que es lo mismo, 80 coches) llega un trailer de ruedas, y la capacidad de éste es suficiente para absorber dichas variaciones en la demanda.



Figura 2.4 Flujo de la logística externa

3. Propuestas

3.1 Propuestas de montaje

En las propuestas que se van a valorar, se considera la operación de montaje, es decir, desde que la rueda llega al puesto de trabajo hasta que queda fijada al vehículo. Para mejorar el proceso de montaje se dispone de dos propuestas: una automatización parcial o una automatización completa.

3.1.1 Montaje Semiautomático

Por instalación parcialmente automática se entiende, la instalación en la que la colocación de la rueda es manual, mediante un atornillador múltiple, y la llegada de la rueda hasta el punto de montaje es de forma automática.

La rueda llega sobre un transfer de rodillos en posición horizontal y sigue hasta llegar a la posición de un volteador, donde un cilindro sin vástago la empuja dentro de una cesta de recepción. Cada cesta está montada en un sistema flotante en Z y sobre raíles con desplazamiento en Y, inclinado dos grados en sentido hacia el eje de cadena, para facilitar el acoplamiento de la rueda en el disco del vehículo. Las cestas están libres en el sentido de avance hacia el vehículo y accionadas por un cilindro sin vástago para el movimiento de retroceso, posición de recepción rueda. Para que la rosca de la rueda y del eje del coche estén alineados y así el operario pueda amarrar los tornillos, éste ha de girarla manualmente con respecto a X. Una vez enroscados los tornillos se les dará el apriete mediante el atornillador múltiple.

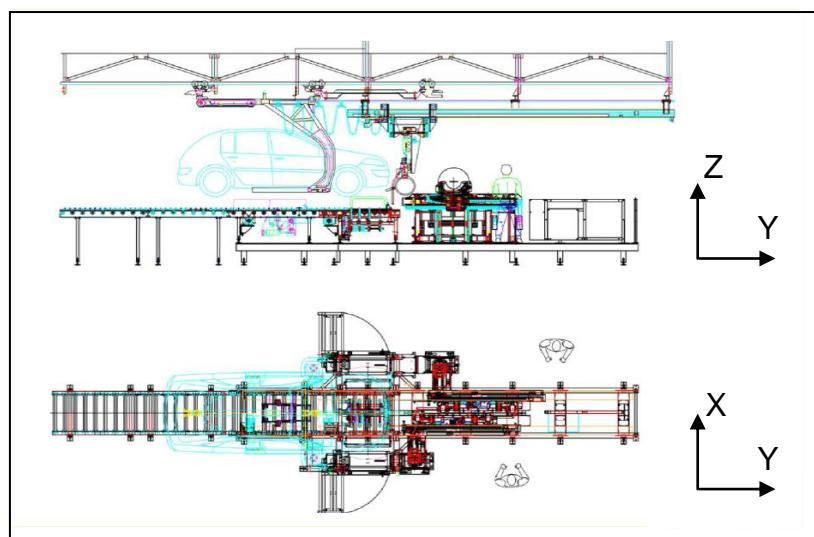


Figura 3.1 Esquema del montaje semiautomático

Tras las valoraciones de MTM¹⁾ realizadas para aprobar esta propuesta, se ha llegado a la conclusión de que existe un inconveniente en esta línea de montaje respecto al resto de fábricas que ya han implementado esta alternativa, el tiempo tacto²⁾. Éste es demasiado reducido, 57 segundos, por lo que es necesario adquirir unas pistolas de atornillar especiales³⁾ que amoren los cinco tornillos de la rueda a la vez. De esta manera sí es posible realizar todas las operaciones necesarias con una mayor optimización de los recursos. Gracias en parte a esta medida se consigue mejorar también la calidad, es decir, el DLQ⁴⁾. Esto es así ya que como ya se ha comentado con este atornillador en lugar de presentar cada tornillo individualmente se presentan todos ellos de una sola vez, evitándose de esta manera una mayor probabilidad de rallar la llanta con los tornillos.

Por otro lado al aumentarse la automatización del proceso habrá una perdida de disponibilidad. Esto afectará negativamente sobre la instalación, haciéndose necesaria una estrategia de emergencia. Sin embargo la estrategia de emergencia para esta propuesta no tiene una gran complicación ya que por un lado, las ruedas se apoyan gravemente sobre los transfer de rodillos, tan solo los primeros rodillos están motorizados. Y por otro lado la cesta de recepción no está cerrada por lo que en caso de avería es posible tomar la rueda con las manos y colocarla sin necesidad de paro de la línea de producción.

En cuanto a la ergonomía del puesto de trabajo, aunque en esta propuesta las operaciones que actualmente llevan a cabo cinco operarios ahora las realizan tan solo dos, ésta no se verá afectada de modo notorio. Aunque al operario que maneja el atornillador múltiple se le dé una carga adicional, la del amarre de los tornillos, esta no supone un empeoramiento ergonómico.

3.1.2 Automatización completa

Por automatización completa se entiende, la instalación en la que la rueda llega al puesto de manera automática y el montaje lo hace un robot, es decir, todo el proceso de montaje es totalmente automático. En esta alternativa se ha diseñado el montaje con dos robots que son los encargados de colocar y montar las ruedas. El funcionamiento de esta instalación es el siguiente.

1) en glosario, página 99; 2) en glosario, página 101; 3) en glosario, página 99; 4) en glosario, página 98

Las ruedas llegan sobre el transfer de rodillos hasta la instalación y se detienen ante un dispensador de tornillos. El dispensador deposita los tornillos en los agujeros, tras lo que el transfer de rodillos lleva la rueda hasta la posición de cogida de los robots. Allí el robot coge la rueda mediante unas garras y los tornillos son sujetados por unos husillos que son los encargados de atornillar posteriormente. Mientras el coche sigue en movimiento y una vez el robot ha tomado la rueda, se gira hacia el coche y se pone automáticamente en paralelo a la misma velocidad que el vehículo. Con una cámara con visión tridimensional el robot hace una foto para saber donde están exactamente los agujeros del eje de giro de las ruedas. Una vez tiene la posición de las bocas de los tornillos estas son ahora puntos fijos, ya que el robot va a la misma velocidad que el coche. Es ahora cuando el robot acerca la rueda a su posición y atornilla los cinco tornillos de una sola vez dándoles el apriete necesario. La distribución de los tactos es la que se muestra en la figura 3.2.

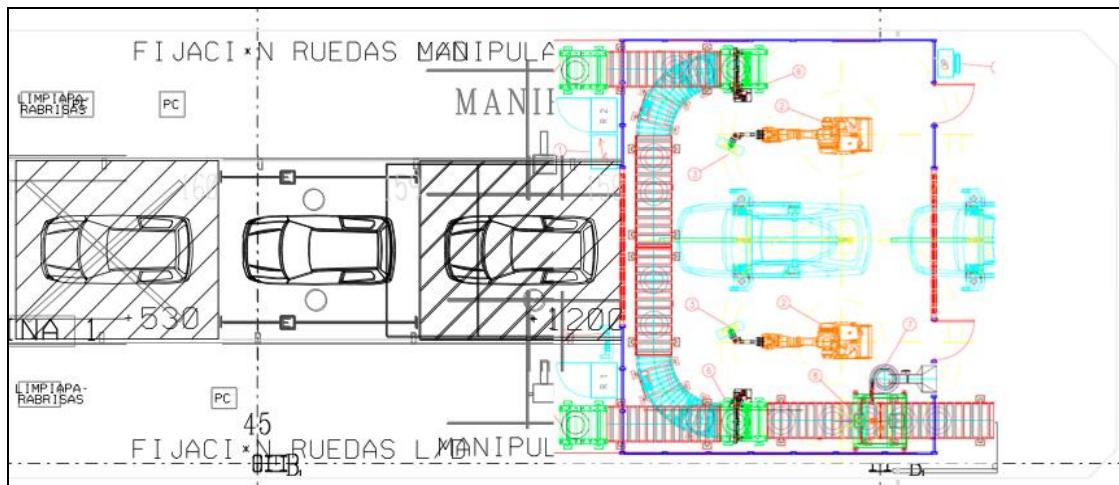


Figura 3.2 Lay-out del montaje automático

Los tactos 159 y 160, quedan reservados para poder colocar tanto el manipulador antiguo como el atornillador múltiple, para una estrategia de emergencia en la que la instalación automática se averíe. Ya que en esta propuesta todo el proceso es automático la disponibilidad del taller es todavía menor que en el caso anterior.

En este caso, el indicador de la calidad mejora en mayor medida que en el caso del montaje semiautomático ya que la repetitividad de todo el proceso es mayor con un robot.

3.2 Propuestas de la logística interna

En las alternativas de montaje se ha visto que tanto en la opción parcialmente automatizada como en la de automatización completa, las ruedas llegan al puesto de trabajo sobre un transfer de rodillos. Por tanto, han de ser colocadas, antes sobre éste. Así pues, con los cambios necesarios para implementar las alternativas del montaje, se tienen dos opciones para realizar mejoras en el suministro interno.

3.2.1 Trasvase con manipulador a transfer de rodillos

La primera alternativa tiene como objetivo realizar la operación de cambio de ruedas a transfer de rodillos del modo más sencillo posible.

Se ha estudiado la posibilidad de colocar a un operario, antes del tacto 157, en el espacio que queda libre entre el pasillo y el propio tacto. El operario debe, con ayuda de un manipulador, sacar las ruedas de los contenedores y colocarlas sobre el transfer de rodillos. Debido a que con un manipulador con una garra simple el operario no es capaz de abastecer el número de ruedas necesario dentro del tiempo tacto, se ha de colocar una garra doble al manipulador para que así pueda tomar dos ruedas de vez.

Al no haber superficie suficiente para colocar a un empleado con un manipulador y al menos tres contenedores de ruedas, junto al tacto 157, sin invadir la zona del pasillo, ha de acondicionarse una zona al otro lado del pasillo para realizar este trasvase. Esto lleva a una complicación de la instalación, ya que para salvar la distancia del pasillo han de elevarse las ruedas mediante un ascensor, construirse un transfer a 4.1 metros de altura y una vez en el otro lado descenderlas con otro ascensor. Así la instalación queda situada en una zona en la que hoy en día se almacenan los contenedores vacíos. Allí un operario cargaría las ruedas sobre el transfer de rodillos y la otra área quedaría reubicada enfrente del muelle de carga de los contenedores como muestra la siguiente figura 3.3.

Sin embargo colocar la nueva zona de almacenamiento de ruedas en el lado contiguo de la pared obliga a la carretilla a cruzar el pasillo cargada con los contenedores aumentando el riesgo de atropellos y accidentes con otras carretillas. Además de que la nueva configuración del puesto de trabajo no sale del estándar de configuración de puestos de Volkswagen.

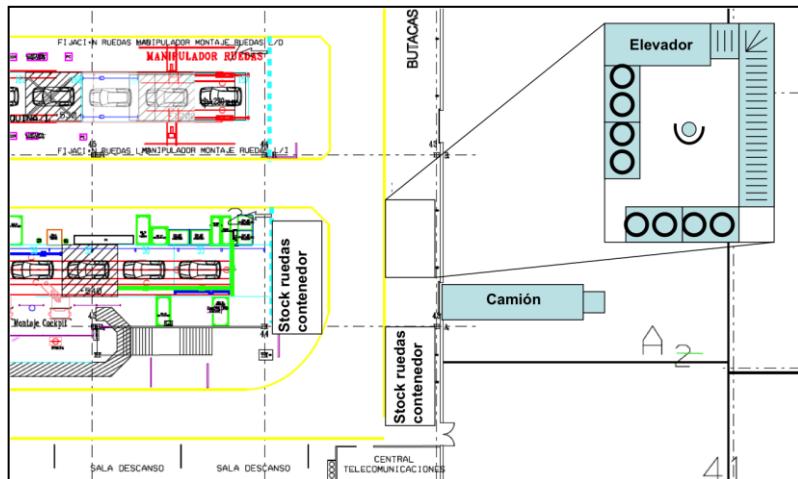


Figura 3.3 Área de traspase a transfer de rodillos con manipulador.

3.2.2 Almacén acumulador elevado

Una segunda alternativa tiene como objetivo la estandarización con otras fábricas y la consecuente modernización del proceso del suministro a la línea. Así pues, en esta opción se desea evitar la manipulación de la rueda desde el contenedor al transfer de rodillos, ya que esta operación no añade valor al producto.

En esta alternativa se prescinde de los contenedores y además, así, se evita el tráfico de las carretillas, que cargan con estos contenedores, por el taller de montaje. Para ello habría que hacer la descarga del trailer de manera automática. Asimismo, dado que en las dos alternativas de montaje las ruedas llegan al puesto de trabajo sobre un transfer de rodillos, no es conveniente realizar ninguna manipulación intermedia. Cabe destacar que en este caso han de apilarse las ruedas por coches, es decir, columnas de cuatro ruedas o bien de cinco en el caso de que el coche lleve rueda de repuesto. Así las ruedas en lugar de ir apiladas en columnas de siete, como hoy en día, van en columnas de cuatro. Esto lleva a un aumento de superficie de almacenaje tanto en el trailer como en el taller:

- **Trailer:** han de ser preparados dos trailers especiales. No sólo por el espacio sino también porque están equipados con una estructura que permite el acceso al interior del trailer, de una mesa de recepción, para realizar la descarga automáticamente. La mesa toma cinco filas de ruedas

de profundidad por tres de anchura de una sola vez. Así el camión queda descargado en cuatro ciclos. Al tener que apilarse las ruedas por coche (4 ruedas), como ya se ha comentado, la superficie que ocupan es mayor, por lo que en lugar de poder transportar 80 coches, solamente caben 60. Esta reducción de capacidad solamente afectará a la frecuencia de entrega, aumentándola, y no a un aumento de camioneros.

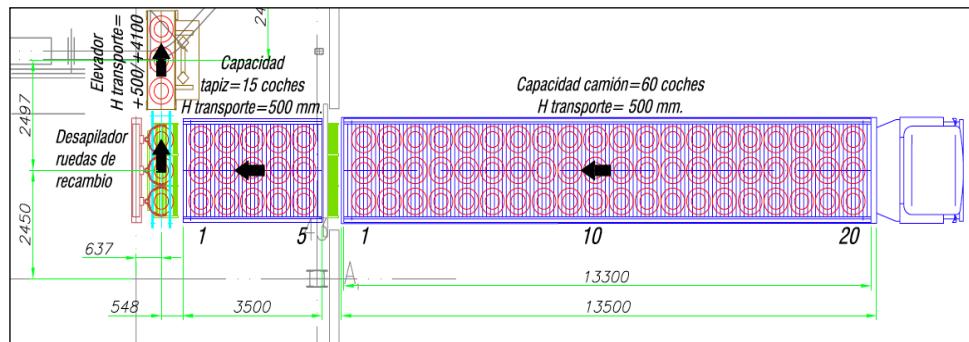


Figura 3.4 Trailer con sistema de descarga automática

- **Taller:** hoy en día los contenedores de las ruedas se almacenan en zonas de almacenaje en el suelo de la nave. En esta alternativa, al tener las ruedas almacenadas por coches, éstas ocupan una superficie mucho mayor de la que no se dispone a nivel del piso. Por ello propone realizar un almacén elevado. Como premisa, para realizar este almacén, ha de ser posible acumular un mínimo de 656 ruedas, o lo que es lo mismo 164 coches. Tras el estudio realizado por el departamento de Infraestructuras se ha determinado que la estructura actual de la nave no tiene suficiente capacidad portante para tal almacén, lo que implica tener que reforzar la estructura con la consecuente obra civil. Además ha de realizarse una adecuación de los muelles de carga y descarga tanto de la fábrica de Volkswagen como del operador logístico para el nuevo tipo de trailer.

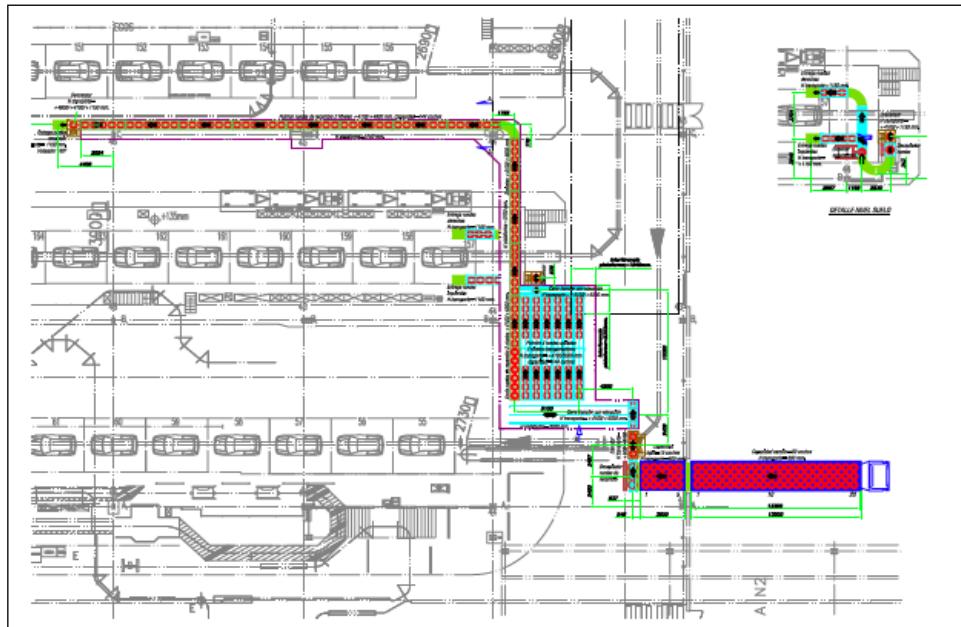


Figura 3.5 Lay-out almacén elevado.

Una vez la rueda sobre los rodillos ésta es elevada a una cota de 4,1 metros donde son almacenadas en canales y cogidas en el otro lado cuando son requeridas por el sistema.

3.3 Propuesta del suministro externo

La tendencia actual de la industria del automóvil es el outsourcing, es decir, externalizar las actividades que sean posibles. Sin embargo, en esta actividad, se puede prescindir del operador logístico actual, que simplemente realiza la secuenciación de las ruedas. Aunque esta operación es necesaria, no añade ningún valor al producto, es por esto que se ha pensado en automatizarla.

Surge así la idea de construir un almacén secuenciador automático dentro de fábrica. Las ruedas se seguirán montando en el mismo proveedor de Zaragoza, pero en este caso las ruedas llegarán directamente a fábrica desde el proveedor.

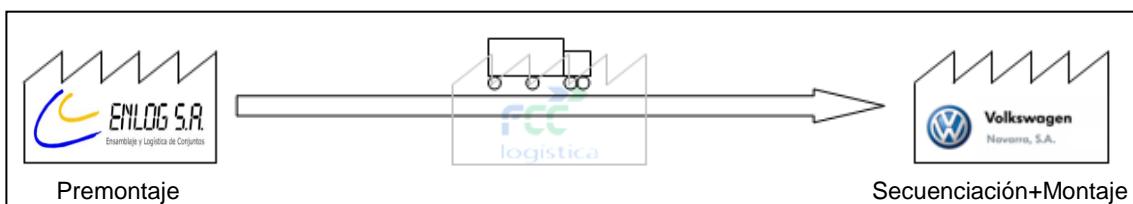


Figura 3.6 Flujo de la logística externa

El funcionamiento del almacén es el siguiente:

- Las ruedas llegan en palets desde la empresa zaragozana que las monta. Un carretillero descarga el trailer y sitúa los palets sobre una plataforma.
- Un ascensor toma el palet y lo clasifica en estanterías según tipos de rueda.
- Posteriormente, las ruedas son despaletizadas y almacenadas de manera selectiva según la necesidad.
- Por último, en un cuarto paso, las ruedas se colocan sobre un transfer de rodillos que las transporta hasta la línea.

En esta alternativa se construye un almacén secuenciador dentro de fábrica, adyacente al taller de montaje. Sin embargo, es necesaria la construcción de una nueva nave para el almacén secuenciador de ruedas, ya que no existe actualmente en fábrica una superficie que cumpla con los requisitos necesarios para esta operación. Ésta se situaría, entre la nave de montaje (N3) y la antigua nave de pintura (N2), donde actualmente se emplaza el supermercado¹⁾ de montaje. Esto se puede apreciar en la figura 3.7.

1) en glosario, página 100.

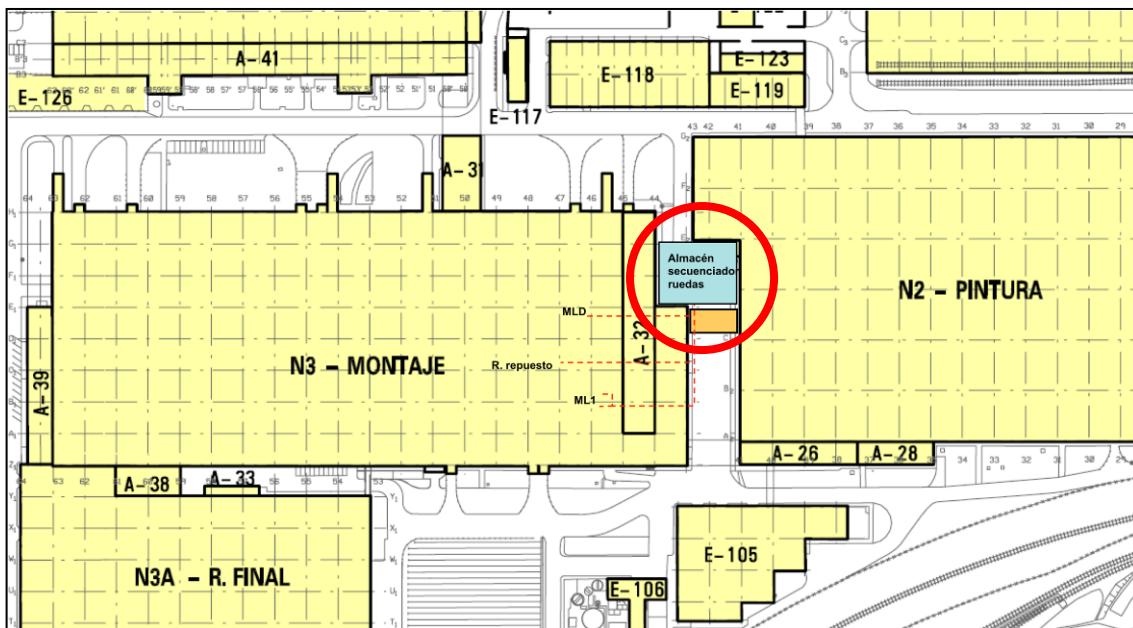


Figura 3.7 Ubicación del almacén secuenciador automático.

Así pues, esta alternativa propone automatizar completamente la secuenciación de las ruedas.

4. Valoración de las alternativas

4.1. Alternativas

Tras el desarrollo de las opciones consideradas en el capítulo 3, se ha llegado a un conjunto de alternativas que se presenta en la figura 4.1:

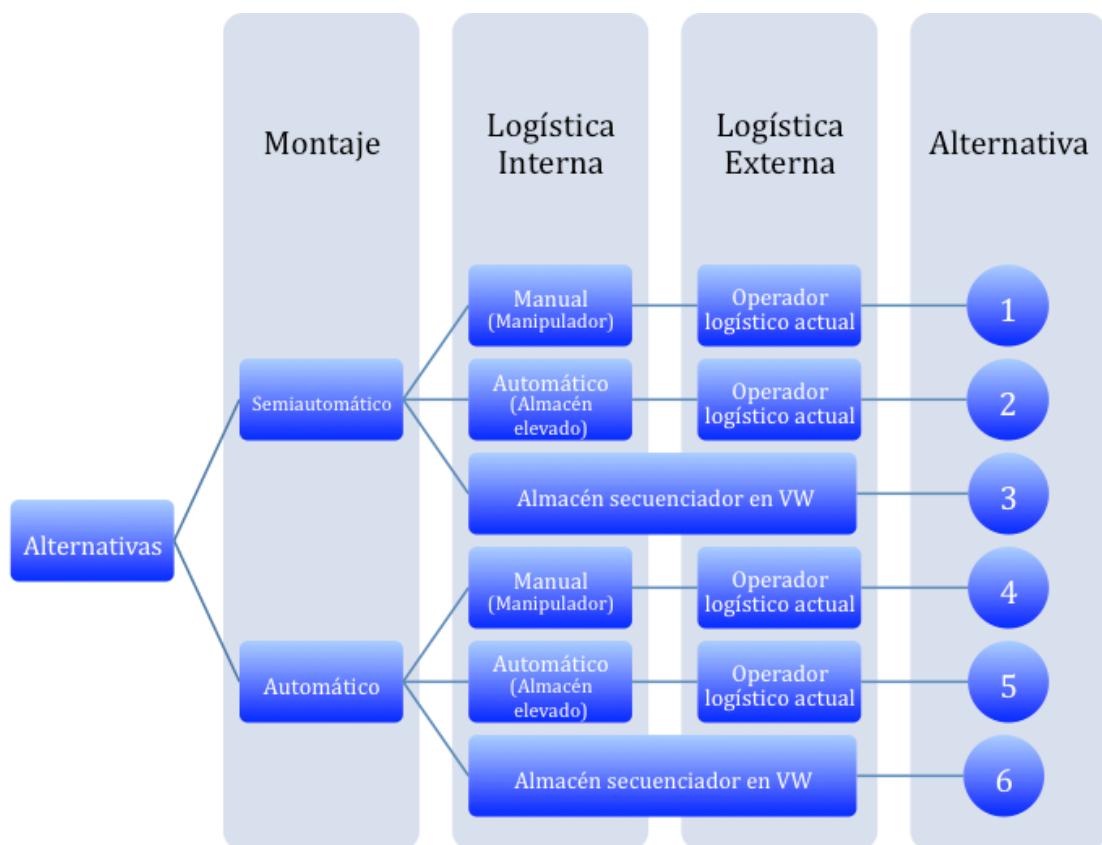


Figura 4.1 Esquema de las alternativas

- **Alternativa 1:** el montaje *parcialmente automatizado*, un *operario* carga las ruedas sobre el transfer de rodillos y se sigue teniendo el mismo *operador logístico* para secuenciar las ruedas que en la actualidad.
- **Alternativa 2:** el montaje *parcialmente automatizado*, la descarga *automática* del camión con el almacén elevado y se sigue teniendo el mismo *operador logístico* para secuenciar las ruedas que en la actualidad.

- **Alternativa 3:** el montaje *parcialmente automatizado* y se prescinde del operador logístico actual cambiándose por un *almacén secuenciador automático* en fábrica.
- **Alternativa 4:** el montaje es completamente *automático*, un *operario* carga las ruedas sobre el transfer de rodillos y se sigue teniendo el mismo *operador logístico* para secuenciar las ruedas que en la actualidad.
- **Alternativa 5:** el montaje es completamente *automático*, la descarga *automática* del camión con el almacén elevado y se sigue teniendo el mismo *operador logístico* para secuenciar las ruedas que en la actualidad.
- **Alternativa 6:** el montaje es completamente *automático* y se prescinde del operador logístico actual cambiándose por un *almacén secuenciador automático* en fábrica.

4.2. Indicadores

Previo al análisis de los datos se ha dispuesto una corta explicación de los indicadores.

- **La productividad:** es el indicador que mide la eficiencia de la fábrica, es decir, el cociente entre los coches construidos y los operarios que hay en fábrica.

$$\boxed{Productividad = \frac{Coches}{Operarios}}$$

En este caso se ha tomado como referencia, el número de operarios (directos o indirectos) necesario para el montaje de ruedas de un coche teniendo en cuenta también aquellos operarios encargados del suministro desde proveedor de las ruedas.

- **El proceso:** la mejora del proceso dependerá de la disponibilidad de la instalación, es decir, de las paradas no deseadas de la instalación. La disponibilidad de la instalación depende directamente del grado de automatización, es decir, cuantos más automatismos menor disponibilidad tiene una instalación.
- **La ergonomía:** existe un nuevo sistema dentro del consorcio llamado AP-Ergo donde se indica el nivel de adecuación ergonómica que tiene cada una de operaciones que se realizan en cada puesto de trabajo. Es un sistema de puntos en orden ascendente, un puesto bueno ergonómicamente tendrá de uno a treinta puntos. Y un lugar de trabajo a mejorar es partir de los 50 puntos.
- **La calidad:** mediante el sistema informático FIS-eQS, se saca el número de reparaciones producidos por rayas en la llanta por el golpeo con el manipulador o con el atornillador múltiple. Se saca un indicador que son reparaciones por año debidas a estas causas.
- **Ahorros logísticos** son aquellos ahorros derivados del transporte de las ruedas, por ello es deseable que este valor sea lo mayor posible. Se cuantifican en Euros por año.
- **Valoración económica:** se ha hecho con el indicador del retorno de la inversión, ya que éste es el más utilizado en la fábrica de Pamplona. Éste debe de ser lo más bajo posible.

$$\boxed{\text{Retorno de la inversión} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros}}}$$

4.3. Análisis de los valores

En la siguiente tabla se presentan los resultados para los distintos indicadores. Los cálculos y el origen de los datos se encuentran en los anexos los datos están en una matriz de decisión (tabla 4.1) en la que se hace una comparación de modo global sobre los indicadores que la empresa ha dado como objetivos a mejorar.

| | Situación inicial | Semiautomático | | | Automático | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 | Alternativa 5 | Alternativa 6 |
| Productividad [Coches/Operario] | 0,091 | 0,111 | 0,167 | 0,333 | 0,143 | 0,25 | 1 |
| Disponibilidad [Tf/Tt] | 97,5% | 96,8% | | | 94,4% | | |
| Ergonomía [Puntos] | 26,35 | 25,04 | | | 0 | | |
| Calidad [Rep.] | 314 | 295 | | | 283 | | |
| Ahorros logísticos [€/año] | - | 0 | 295.690 | 681.430 | 0 | 295.690 | 681.430 |
| Retorno de la inversión [años] | - | 5,90 | 3,72 | 2,51 | 4,92 | 3,76 | 2,70 |

Tabla 4.1 Matriz de decisión

De esta tabla se pueden desechar directamente, atendiendo solamente al retorno de la inversión, tanto la primera como la cuarta alternativa, ya que es premisa de fábrica que el retorno de la inversión sea menor de cuatro años.

| | Situación inicial | Semiautomático | | | Automático | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 | Alternativa 5 | Alternativa 6 |
| Productividad [Coches/Operario] | 0,091 | 0,111 | 0,167 | 0,333 | 0,143 | 0,25 | 1 |
| Disponibilidad [Tf/Tt] | 97,5% | 96,8% | 96,8% | | 94,4% | 94,4% | |
| Ergonomía [Puntos] | 26,35 | 25,04 | 25,04 | | 0 | 0 | |
| Calidad [Rep.] | 314 | 295 | 295 | | 283 | 283 | |
| Ahorros logísticos [€/año] | - | 0 | 295.690 | 681.430 | 0 | 295.690 | 681.430 |
| Retorno de la inversión [años] | - | 5,90 | 3,72 | 2,51 | 4,92 | 3,76 | 2,70 |

Tabla 4.2 Matriz de decisión

Teniendo en cuenta las alternativas restantes se observa que, en las propuestas del montaje semiautomático (alternativas 2 y 3) en el caso de la alternativa 3, los indicadores de productividad, ahorros logísticos y retorno de la inversión, son mejores que en el caso de la alternativa 2, siendo los demás (disponibilidad, ergonomía y calidad) iguales en ambas alternativas. Esto mismo ocurre en el caso del

4. Valoración de las alternativas

montaje completamente automático. Por ello se ha decidido desechar estas alternativas de inicio para una decisión final, como muestra la tabla 4.3.

| | Situación inicial | Semiautomático | | | Automático | | |
|---------------------------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 | Alternativa 5 | Alternativa 6 |
| Productividad [Coches/Operario] | 0,091 | 0,111 | 0,167 | 0,333 | 0,143 | 0,25 | 1 |
| Disponibilidad [Tf/Tt] | 97,5% | 96,8% | 96,8% | 96,8% | 94,4% | 94,4% | 94,4% |
| Ergonomía [Puntos] | 26,35 | 25,04 | 25,04 | 25,04 | 0 | 0 | 0 |
| Calidad [Rep.] | 314 | 295 | 295 | 295 | 283 | 283 | 283 |
| Ahorros logísticos [€/año] | - | 0 | 295.690 | 681.430 | 0 €/año | 295.690 | 681.430 |
| Retorno de la inversión [años] | - | 5,90 | 3,72 | 2,51 | 4,92 | 3,76 | 2,70 |

Tabla 4.3 Matriz de decisión

5. Conclusiones

5.1 Conclusiones

Como se ha visto en el capítulo anterior, tan solo han quedado dos alternativas de las seis iniciales. De entre las dos alternativas restantes, la propuesta que cambia es el método de montaje de las ruedas. Mientras que en la alternativa 3 el montaje es de manera parcialmente automática, la de la alternativa 6 propone un montaje completamente automatizado.

| | | Situación inicial | Semiautomático | Automático |
|-------------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|
| | | | Alternativa 3 | Alternativa 6 |
| Productividad | [Coches/Operario] | 0,091 | 0,333 | 1 |
| | [Tf/Tt] | 97,5% | 96,8% | 94,4% |
| Ergonomía | [Puntos] | 26,35 | 25,04 | - |
| Calidad | [Rep.] | 314 | 295 | 283 |
| Ahorros logísticos | [€/año] | - | 681.430 | 681.430 |
| Retorno de la inversión | [años] | - | 2,51 | 2,70 |

Tabla 5.1 Matriz de decisión final

Atendiendo a la tabla 5.1, con la imposibilidad de una comparación global de las alternativas para una decisión final, se ha optado por utilizar la unificación de las magnitudes en una sola de gran uso dentro del sector de la automoción, esta es [€/coche]. De esta manera todas las magnitudes pasan a ser una misma con la gran ventaja de ser un resultado más tangible. Ha de prestarse especial atención a cada uno de los indicadores ya que su aportación al nuevo margen no es siempre de manera positiva, es decir, algunos de los indicadores aumentarán el margen obtenido por coche mientras que otros lo reducirán.

- **La productividad**, dada en la tabla, es el número de operarios necesarios para la producción de un coche, en [coche/operarios]. Así pues, para que el valor de la productividad favorezca el aumento del margen de ganancia se ha considerado la optimización de recursos que se tiene en cada alternativa. Con lo que se ha utilizado la siguiente ecuación para hallar [€/coche]:

$$\text{Salario} \cdot N^{\circ} \text{operarios} \cdot \frac{1}{\text{Producción anual}} = \frac{\text{€}}{\text{coche}}$$

Salario operario = 42.860 €/operario·año.

Producción anual = 330.000 coches/año.

$$Nº\text{ operarios} \quad \begin{cases} \text{Semiautomática} = 24\text{ operarios} \\ \text{Automática} = 30\text{ operarios} \end{cases}$$

| | Semiautomático | Automático |
|-------------------------|----------------|---------------|
| Alternativa 3 | 3,12 | Alternativa 6 |
| Productividad [€/coche] | 3,12 | 3,90 |

Tabla 5.2 Productividad de las alternativas en [€/coche].

- Los valores que se obtienen referentes a la **disponibilidad** disminuirán el margen de ganancia por coche, ya que en ambos casos la disponibilidad es menor que en la situación inicial y como ya se ha indicado antes, esto implica una pérdida de producción con el consecuente aumento de coste por coche. Se tiene pues que de la disponibilidad de cada alternativa y la disponibilidad actual (97,5%), se ha calculado el margen de coches que se dejan de producir en cada caso, es decir:

$$\frac{Perdida}{Producción\ anual} = \frac{\epsilon}{Coche}$$

$$Reducción\ disponibilidad \cdot Margen = Perdida$$

$$\frac{Resultado\ del\ ejercicio\ año\ x}{Producción\ del\ año\ x} = Margen$$

Producción anual = 330.000 coches/año.

Reducción disponibilidad → función de cada alternativa.

| | Semiautomático | Automático |
|--------------------------|----------------|---------------|
| Alternativa 3 | 3,12 | Alternativa 6 |
| Disponibilidad [€/coche] | -1,06 | -5,17 |

Tabla 5.3 Disponibilidad de las alternativas en [€/coche].

- En el caso de la **ergonomía** no se va a realizar una conversión a tal magnitud ya que se trata de una valoración no cuantificable en [€/coche].

- La **calidad** es un valor que en ambos casos mejora ya que al haber menor manejo humano, la repetitividad es mayor y con ello la calidad mejora. Por tanto la calidad deberá aumentar el margen de ganancia por cada coche.

| | |
|---|----------------------------|
| $Coste\ reparación \cdot Disminución\ de\ reparaciones$ | $= \frac{\epsilon}{coche}$ |
| $Producción\ anual$ | |
| $Coste\ reparación = Coste\ llanta + Coste\ mano\ de\ obra$ | |
| $Coste\ mano\ de\ obra = Coste\ hora\ de\ reparación \cdot Horas\ de\ reparación$ | |

Coste llanta = 40 €.

Coste hora de reparación = 26 €/horas.

Horas de reparación = 2 horas.

Producción anual = 330.000 coches/año.

Disminución de reparaciones → función de la alternativa.

| | Semiautomático | Automático |
|---------------|----------------|---------------|
| Alternativa 3 | Alternativa 3 | Alternativa 6 |
| Calidad | [€/coche] | |
| | 0,00 | 0,01 |

Tabla 5.4 Calidad de las alternativas en [€/coche].

- Para calcular la aportación que tienen los ahorros logísticos para el cálculo total en [€/coche] ha de tenerse en cuenta que se ha de sustraer la parte proporcional a la optimización de recursos. Quedando así según la expresión siguiente:

| | |
|--|----------------------------|
| $Ahorros\ logísticos - Salario\ personal\ logístico$ | $= \frac{\epsilon}{coche}$ |
| $Producción\ anual$ | |

Ahorros logísticos = 681.430 €/año.

Salario personal logístico = 642.900 €/año

Producción anual = 330.000 coches/año.

| | Semiautomático | Automático |
|--------------------|----------------|---------------|
| Alternativa 3 | Alternativa 3 | Alternativa 6 |
| Ahorros logísticos | [€/coche] | |
| | 0,12 | 0,12 |

Tabla 5.5 Ahorros logísticos de las alternativas en [€/coche].

- Para calcular en función de los [€/coche] la inversión, se ha de calcular mediante la **amortización**. Ésta actuará de forma negativa sobre el margen, es decir, lo reduce.

$$\frac{Inversión}{Amortización \cdot Producción\ anual} = \frac{€}{Coche}$$

Amortización = 5 años.

Inversión → función de la alternativa.

Producción anual = 330.000 coches/año.

| | Semiautomático | Automático |
|------------------------|----------------|---------------|
| Alternativa 3 | Alternativa 3 | Alternativa 6 |
| Amortización [€/coche] | - 1,23 | - 1,54 |

Tabla 5.6 Amortización de las alternativas en [€/coche].

La tabla siguiente indica la variación del margen de ganancia de cada coche resultante tras el cambio de magnitud a [€/coche]:

| | Semiautomático | Automático |
|------------------------|----------------|---------------|
| Alternativa 3 | Alternativa 3 | Alternativa 6 |
| Productividad | 3,12 | 3,90 |
| Disponibilidad | (1,06) | (5,17) |
| Ergonomía | - | - |
| Calidad | 0,00 | 0,01 |
| Ahorros logísticos | 0,12 | 0,12 |
| Amortización | (1,23) | (1,54) |
| TOTAL [€/coche] | 0,95 | -2,68 |

Tabla 5.7 Matriz de decisión en [€/coche]

De la tabla 5.7 queda claro que en la tercera alternativa se obtiene un aumento de margen de 0,95€/coche, es decir, unos 313.500€/año. Sin embargo en la sexta alternativa se tiene un disminución del margen de 2,68 €/coche con lo que se tendría un aumento de costes de 884.400€/año. Por ello se concluye que la alternativa propuesta para implementar a la empresa es la número 3.

Finalmente para reforzar la afirmación que se ha hecho, se presenta la figura 5.1, un gráfico de araña que representa la valoración de las alternativas según los diferentes criterios planteados. Su interpretación es que en la que a mayor superficie ocupada mayor margen se obtendrá finalmente. Luego según se puede apreciar, la alternativa del montaje semiautomático ocupa mayor superficie que la del montaje automático, con lo cual se aprecia que, como se ha presentado en el párrafo anterior, la alternativa semiautomática es la que es preferible.

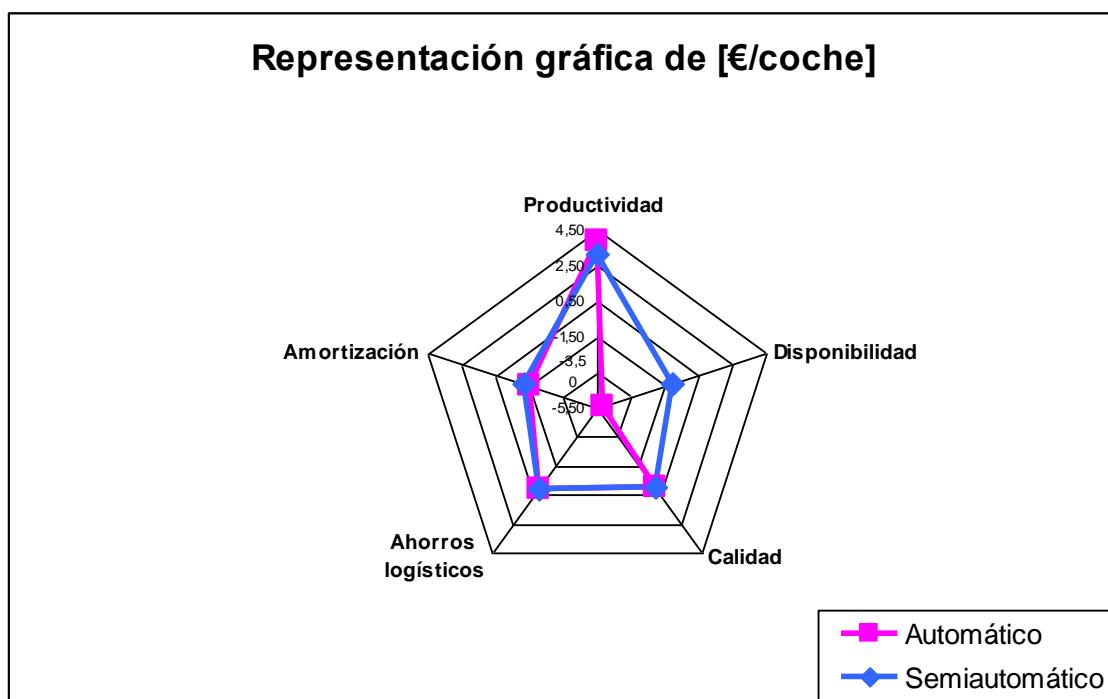


Figura 5.1 Gráfica de araña

Así pues tras el estudio realizado a petición de Volkswagen Navarra se concluye que una alternativa con el montaje semiautomático y un almacén secuenciador automático será la mejor alternativa a implementar.