



**Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN ECONOMÍA**

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE  
ESTAMPACIÓN EN LA PRENSA GT2**

**Nuria Villanueva Pérez**

**DIRECTOR**

**Teresa García Marco**

**Pamplona – Iruña**

**13 de Junio 2014**

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene por objeto analizar los paros en el proceso de estampación de Volkswagen Navarra antes y después de la introducción de un nuevo elemento, el Ojo de halcón. Se trata de una tecnología que se va utilizar por primera vez en el proceso y cuyo objetivo es reducir a cero los minutos de parada de la Prensa GT2 por contenedor defectuoso. Sin embargo, en este trabajo utilizando una serie de herramientas estadísticas, como el Diagrama de Pareto y los Gráficos de Calidad, hemos obtenido que las paradas originadas por contenedor son las menos significativas. Siendo los fallos de Matricería y Transferización que se producen en la propia prensa GT2 los que mayor coste suponen a la fábrica. Finalmente mediante una simulación se propone una metodología para analizar los posibles resultados que se obtendrán tras la implantación del Ojo de halcón.

## **PALABRAS CLAVE**

Ojo de Halcón, Contenedor, Prensa GT2, Reparación, Robot de prensa, Proceso de estampación, Desarrollo, Sistema, Puntos de medición, Distancia, Gráfico Pareto, Diagrama causa-efecto, Gráfico p, Gráfico x, Gráfico r.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2. VOLKSWAGEN</b> .....	<b>7</b>
2.1. Historia .....	7
2.2. Grupo Volkswagen .....	8
2.3. Estructura de la empresa .....	8
2.4. Dirección de Logística .....	8
<b>3. PROCESO PRODUCTIVO</b> .....	<b>10</b>
3.1. Proceso de estampación de la GT2 anterior al Ojo de halcón .....	11
<b>4. NUEVO PROCESO</b> .....	<b>12</b>
4.1. Descripción del Ojo de halcón .....	13
4.2. ¿Cómo funciona el nuevo proceso? .....	13
4.3. Diagrama de flujo .....	15
<b>5. ANÁLISIS DE LOS ERRORES DETECTADOS EN EL SISTEMA</b> .....	<b>16</b>
5.1. Diagrama causa-efecto .....	16
5.2. Definición de error de cada elemento .....	17
5.2.1. Errores recogidos en los partes de prensas .....	17
5.2.2. Errores recogidos en el Ojo de halcón .....	18
5.3. Diagrama de Pareto .....	19
5.3.1. Generación del diagrama de Pareto .....	19
5.4. Control Estadístico de Procesos .....	21
<b>6. SIMULACIÓN DE LA REALIDAD DEL PROCESO TRAS LA INTRODUCCIÓN DEL OJO DE HALCÓN</b> .....	<b>25</b>
6.1. Recolección de datos .....	26
6.2. Características del contenedor de Faldón .....	26
6.3. Asignación de números aleatorios .....	27
6.4. Herramientas para el análisis de los datos .....	28
6.4.1. Definición de estadísticos .....	29
6.4.2. Gráfico <i>x-r</i> .....	29
6.4.3. Índices de capacidad .....	31
6.5. Resultado del Análisis .....	31
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES</b> .....	<b>36</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>39</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Grado está vinculado a mi estancia de prácticas en el departamento de Planificación y Optimización Logística de Volkswagen Navarra, S.A.

Volkswagen Navarra S.A. es la empresa de automoción más importante de Navarra y es considerada fábrica líder dentro del Grupo Volkswagen. Ser fábrica líder significa que la planta es altamente productiva y por ello su volumen de producción es el más elevado de las fábricas dedicadas a la producción del mismo modelo de automóvil. Esto no puede lograrse sin el gran esfuerzo en innovación que lleva a cabo cada año y que le permite mantenerse en esa posición.

Desde el departamento de Planificación y Optimización Logística en el que ha transcurrido mi estancia de prácticas en la empresa se buscan continuamente nuevas soluciones o ideas que aseguren la calidad y eficiencia de los procesos logísticos. Uno de los problemas con los que se enfrentan en el departamento son las paradas de la Prensa GT2. Estas significan una pérdida de dinero significativa al año por el tiempo que dejamos de producir durante el proceso de estampación. El proceso de producción de un automóvil empieza por la estampación de las piezas de la carrocería. Uno de los proyectos que estaba en fase de lanzamiento en el momento en el que me incorporé a la empresa, dirigido a la mejora del proceso de estampación, era el del Ojo de halcón.

El objetivo del Ojo de halcón es el de reducir al 100% el coste que supone para el área de Prensas y Chapistería las paradas de la Prensa GT2 por contenedor defectuoso. Un contenedor defectuoso implica que sus dimensiones no son adecuadas para la prensa GT2. Los contenedores se utilizan para transportar las piezas de la carrocería del coche que se producen en las prensas a la siguiente área de producción, Chapistería, en la que se ensamblan. La particularidad que tiene la Prensa GT2 frente al resto de prensas de la fábrica es que es automática. Esto quiere decir que la descarga de las piezas se realiza mediante robots y no manualmente como ocurre en las otras dos prensas, GT1 y ERFURT. Por lo que, la precisión con la que trabajan los robots exige que seamos igual de rigurosos en cuanto al funcionamiento del resto de elementos del proceso.

Con esta nueva tecnología se espera hacer el sistema más eficiente y conseguir un ahorro significativo al año en paradas de la prensa por contenedor. La forma en que nos ayudará el Ojo de halcón es por medio de unos informes en los que determinará si las dimensiones del contenedor son correctas o no. Si son correctas el contenedor podrá utilizarse en el Proceso de Estampación, sino creará otro informe en el que nos dirá exactamente que

distancias entre dos puntos del contenedor son las que fallan y con el que se le facilitará la tarea al personal de reparación.

En el presente trabajo se pretende analizar el proceso de estampación de Volkswagen Navarra, S.A. antes y después de la introducción del Ojo de halcón. Para ello, el material con el que vamos a contar son los partes de prensas en los que vienen las causas de paro de la Prensa GT2 y su duración, y los datos que aporte el Ojo de halcón.

La metodología consistirá en la realización de un diagrama de flujo que describirá el proceso de estampación y un Diagrama causa-efecto para la descripción de los elementos del Proceso que causan las paradas de la Prensa GT2. Así, podremos localizar los lugares del proceso de estampación donde pueden surgir problemas de calidad o donde colocar puntos de inspección.

Analizaremos el comportamiento de los elementos que forman parte del Proceso mediante Diagramas de Pareto; estos clasifican errores, problemas o defectos para ayudar al personal de producción a dirigir sus esfuerzos a la resolución de los problemas. Por lo que el análisis de Pareto indicará qué problemas, una vez resueltos, pueden producir la mayor mejora del proceso. La evolución del comportamiento de los elementos será crucial para la valoración posterior del proyecto.

También, realizaremos unos gráficos estadísticos de control, basados en los Gráficos p de control de los atributos, que intenten analizar si el proceso de estampación está estadísticamente controlado. Queremos controlar el tiempo medio de parada de la GT2 que es una medida indirecta de defectos cometidos en el proceso de estampación. Entendemos que la calidad del proceso será mayor cuantos menos paros produzcan los elementos que forman el proceso.

Además, la empresa nos ha pedido obtener las medidas ideales o reales de cada tipo de contenedor. Calcularemos diversos estadísticos descriptivos como medias, mediana, medias acotadas, desviación típica, rango, etc. También, realizaremos gráficos x y r que al igual que el gráfico p sirven para el control estadístico de procesos. Llevaremos un control de las distancias que el Ojo de halcón vaya midiendo y recogiendo en su sistema y veremos si las desviaciones siguen un proceso natural. En caso de que no sea así, buscaremos el origen el problema para atajarlo. En principio como el Ojo de halcón llevará un control exhaustivo de los contenedores, no deberíamos encontrarnos con desviaciones extremas.

Los resultados obtenidos confirman la necesidad de mejorar el proceso de estampación. A pesar del esfuerzo llevado a cabo con el proyecto del Ojo de halcón, la prensa GT2 sigue parada un tercio del tiempo dedicado a la producción de piezas de carrocería. La propia prensa GT2, o mejor dicho, los fallos que ahí se producen de Matricería o Transferización, producen en torno a un 50% de los paros del proceso de estampación. Mientras que el contenedor no ha llegado a producir ni un 5% de los paros durante el tiempo de estudio del proceso.

El trabajo se estructura en varias secciones. En la sección 2 se describe la empresa y el departamento en el que he realizado las prácticas y que ha desarrollado el proyecto del Ojo de halcón. En la sección 3 se describe el proceso productivo y se hace hincapié en el proceso de estampación actual, al que va dirigido el proyecto. En la siguiente sección se describe el nuevo proceso de estampación con la introducción del Ojo de halcón. En la quinta se ha realizado un análisis de los errores detectados en el proceso de estampación. En la sección 6 se ha introducido una simulación de datos relativa a una parte del nuevo proceso. Y por último, están incluidas nuestras conclusiones.

## 2. VOLKSWAGEN

Volkswagen Navarra S.A. es una empresa de automoción situada en el Polígono Industrial de Landaben dentro del término municipal de Arazuri. La empresa se dedica exclusivamente al montaje del modelo Polo de la marca Volkswagen y este puede ser uno de los motivos por los que hoy en día sea considerada fábrica líder dentro del Grupo. La especialización le ha llevado ser una de las empresas más eficientes de la marca y por ello su volumen de producción es mayor que el del resto de fábricas dedicadas también a la producción del Polo. Esta decisión, sin embargo, se toma en Wolfsburg (Alemania) ya que la dirección y el control efectivo de la empresa se encuentran allí.

### 2.1. Historia

La actual fábrica de Volkswagen Navarra tiene su origen en 1965 cuando el marqués Eduardo Ruiz de Huidobro Alzurenna presidente de “Nueva Montaña Quijano” llegó a un acuerdo con la British Motor Corporation para la constitución de la empresa Automóviles de Turismo Hispano Ingleses (AUTHI).

En 1975 SEAT compra AUTHI, en suspensión de pagos, y en 1976 sale de la planta el primer coche SEAT fabricado en Pamplona. En ese momento, SEAT era una de las cinco firmas fabricantes de automóviles que trabajaban en España y la número uno en cuanto a producción. Se constituyó en 1950 con un capital de 600 millones, propiedad de una sociedad formada por el Instituto Nacional de Industria (51%), accionistas particulares (42%) y FIAT (7%).



En Septiembre de 1982 el INI y Volkswagen firmaron un acuerdo que contemplaba la fabricación en Landaben de 90.000 unidades de los modelos Polo-Derby de la multinacional alemana. La inversión para la adaptación de la planta a la nueva tecnología alemana fue enorme. Esto no solo supuso una mejora de la fábrica, también de los proveedores que buscaban adaptarse a esta nueva situación. En 1984 empieza a producirse el Polo A02 en Pamplona.

En 1993 se constituye Fábrica Navarra de Automóviles S.A., la nueva sociedad que gestionaría la factoría de Landaben, desvinculándose totalmente de SEAT a efectos productivos.

En 1994 coincidiendo con el inicio de la producción del siguiente modelo, Polo A03, el Grupo Volkswagen acaba haciéndose con el total del capital de Fábrica Navarra de Automóviles S.A. dando lugar a Volkswagen Navarra, S.A.

Actualmente Volkswagen Navarra, S.A. está produciendo el Polo A05 GP. Al día salen 1408 coches de fábrica, siempre bajo pedido, nunca para tenerlos en stock. Sólo el 7% de la producción se queda en el mercado español y el 93% restante se exporta. La distribución de las exportaciones es la siguiente: 21% Alemania, 18% Italia, 14% Francia y 12% a Reino Unido. Para lograr este volumen de producción son necesarios alrededor de 5000 trabajadores. Si tenemos en cuenta los empleados de las empresas proveedoras el número asciende a 8000.

## **2.2. Grupo Volkswagen**

El Grupo Volkswagen, con sede en Wolfsburg, es el mayor fabricante de automóviles de Europa y uno de los productores líderes de la industria automovilística del mundo. 105 plantas distribuidas por todo el mundo producen a diario una múltiple oferta de vehículos que se comercializan en 154 mercados.

Trece marcas procedentes de seis países europeos componen el Grupo Volkswagen: Volkswagen, AUDI, Bentley, Bugatti, Lamborghini, SEAT, Skoda, Scania, MAN, Porsche, Ducati, Volkswagen Vehículos Comerciales y Volkswagen Finance. Cada Marca mantiene su propio carácter y opera independientemente en el mercado. Todas las marcas del Grupo tienen un objetivo común: producir vehículos atractivos, seguros y respetuosos con el medio ambiente.

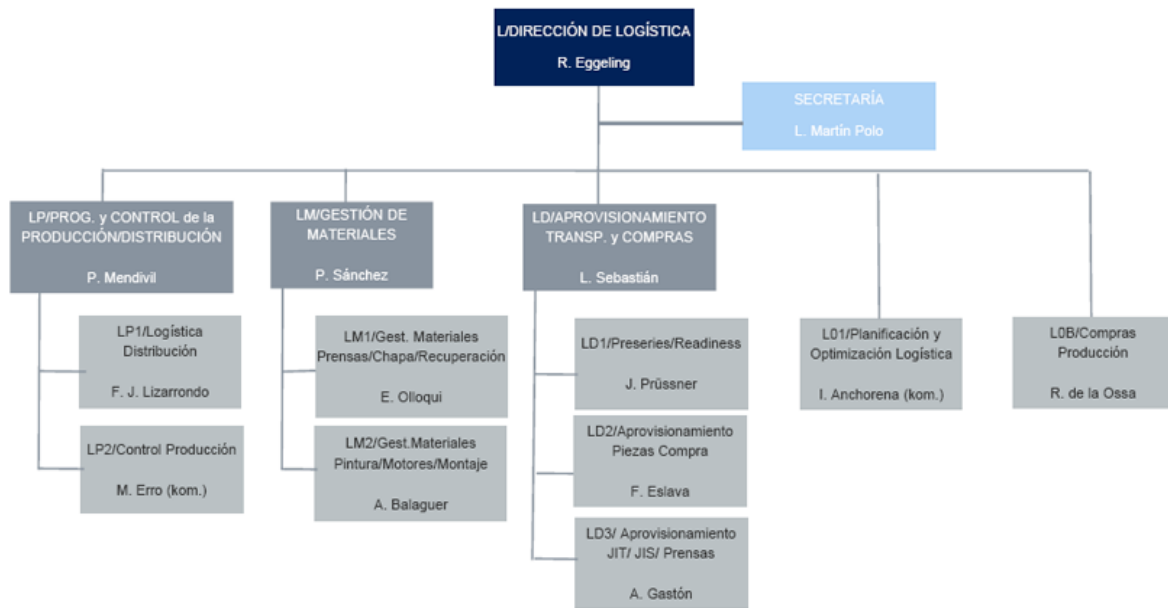
## **2.3. Estructura de la empresa**

Volkswagen Navarra está dividido en siete Direcciones: Dirección General, Área Técnica de Producto, Producción, Logística, Calidad, Recursos Humanos y Finanzas.

## **2.4. Dirección de Logística**



Gráfico 1: Organigrama de Logística



El área de logística en la que he realizado las prácticas curriculares abarca todas las actividades necesarias para asegurar la disponibilidad del material en tiempo y forma, comenzando por la planificación de la cadena logística, la coordinación de las compras, la gestión de órdenes de producción y el posterior aprovisionamiento y transporte del material a fábrica. Una vez recepcionado el material, se encarga de la gestión del mismo hasta su suministro a la línea y finalmente de la expedición de los vehículos terminados a su destino correspondiente.

Programación y Control de la Producción / Distribución es el departamento responsable de elaborar el programa de producción y de tramitar las órdenes, es decir, establece el orden en que se van a fabricar los coches. También gestiona la expedición de los vehículos terminados.

Gestión de Materiales es el departamento responsable de la manipulación y almacenaje del material desde que entra a fábrica hasta que se suministra a Producción.

Aprovisionamiento y Transporte es el departamento responsable de la petición y el abastecimiento de piezas y de la gestión y optimización del transporte del material proveedor-fábrica.

Compras Logística Material de Producción es responsable de la relación y coordinación con compras de material de producción centralizado en Wolfsburg y con los proveedores.

Así mismo se encarga de supervisar la contratación de servicios logísticos para suministros a la línea.

Planificación y Optimización Logística depende directamente de Dirección de Logística y es responsable de planificar la logística de fábrica. Abarca tanto suministro, como embalajes, valoraciones de costos e inversiones, pliegos de condiciones para la contratación de servicios, etc.

### 3. PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo de Volkswagen Navarra está compuesto por las siguientes áreas, en este mismo orden: Prensas, Chapistería, Pintura, Motores, Montaje y Revisión Final.

El proceso de producción de un automóvil en Volkswagen Navarra empieza por la estampación de las piezas de la carrocería. Esta operación se realiza en el Taller de Prensas desde el año 1994, cuando comenzó la fabricación del modelo Polo A03. La fábrica cuenta con tres prensas distintas: GT1, GT2 y ERFURT. Podemos distinguir tres procesos de estampación distintos, cada uno asociado a una prensa. La prensa GT1 y GT2 son más pequeñas que la ERFURT, en la que se estampan o producen las piezas más grandes de la carrocería. Mientras que la GT1 y ERFURT son de descarga manual, la GT2 es de descarga automática. Esto sí es algo determinante en el proceso de la GT2 que va a hacer que se diferencie del resto.



GT1



GT2

En el Taller de Chapistería tiene lugar la unión de las diferentes piezas de chapa procedentes de Prensas y otros proveedores externos para conformar la carrocería del coche.

Primero se lleva a cabo la construcción de la carrocería sin elementos móviles (puertas, capó o portón) y al final del proceso se ensamblan las partes móviles. El proceso productivo en Chapistería está automatizado casi en su totalidad.

Tras el ensamblaje de la carrocería en el Taller de Chapa, ésta entra en la nave de Pintura colgada en eslingas, un sistema de transporte aéreo por medio de cadenas. El proceso de pintado, uno de los más complejos y delicados en la producción de un automóvil, se divide fundamentalmente en dos fases. En la primera, la carrocería recibe tratamientos que la protegen y hacen resistente a las agresiones externas, con los que se facilita, además, la adherencia posterior de la pintura. En la segunda fase se aplican masillas de sellado, el PVC, el color y por último la cera de protección de huecos.

El Taller de Motores de Volkswagen Navarra comienza su fabricación en serie en el año 1991, y desde 1994 se incorporan los medios necesarios para montar todo el conjunto motopropulsor (Triebatz).

En el Taller de Montaje se completa el vehículo, añadiendo a la carrocería ya pintada los componentes exteriores e interiores elegidos por el cliente. Su construcción se inició en 1979. Esta nave tiene una superficie total de 36.125 m<sup>2</sup> y se trata del taller con mayor número de trabajadores.

El Taller de Montaje ha dado el coche por terminado. Ya sólo resta probarlo y que Calidad dé su visto bueno. Verificar el correcto funcionamiento de los elementos eléctricos y mecánicos, detectar posibles ruidos y entradas de agua o retocar las posibles anomalías son, entre otros, los cometidos del Taller de Revisión Final.

### **3.1. Proceso de estampación de la GT2 anterior al Ojo de halcón**

En el presente trabajo nos centraremos en el proceso de estampación que tiene lugar en la prensa GT2, ya que el Ojo de halcón es un elemento que se ha creado en exclusiva para la reducción de los paros de la prensa GT2.

Los elementos que formaban parte del proceso de estampación en la GT2 antes de la introducción del Ojo de halcón eran: Contenedor, Prensa GT2, Robot de la Prensa y Reparación.

El funcionamiento del proceso era el siguiente:

Los desarrollos o chapas que vienen de proveedores son introducidos en unos pales a la Prensa GT2 y van entrando uno a uno de forma mecánica. El desarrollo dentro de la Prensa recibe unos “golpes” que son los que dan forma a la chapa y crean la pieza.

Cuando sale la pieza un robot la coge e introduce en un contenedor. Si el proceso ha ido bien, no ha salido ninguna pieza defectuosa ni se ha parado la prensa, en el momento que se llenen dos o cuatro contenedores (dependiendo de la pieza que se haya estampado) un operario llevará los contenedores al área de Chapistería.

El contenedor entra en el proceso de estampación conforme queda libre del área de Chapistería y pasa por un calibrado que se realiza mediante útiles. La importancia de que sus dimensiones sean correctas radica en que la prensa GT2 es automática. Los robots trabajan con tal precisión que es necesario que el contenedor esté en perfectas condiciones, porque de no ser así podrían chocar el robot y el contenedor produciendo daños en las piezas o incluso paradas en la prensa.

Si el proceso de estampación ha seguido su curso, sin haberse producido ni paradas en la prensa ni piezas defectuosas, el contenedor lleno se llevará a Chapistería. En cambio, si el contenedor produce un paro en la prensa o daña alguna pieza, hay que llevarlo a reparar. Una vez reparado podrá volver a entrar en el proceso de estampación.

Aparte de los fallos de contenedor existen otros fallos originados por otros elementos del sistema o proceso como la propia Prensa GT2 o el Robot de la Prensa.

#### **4. NUEVO PROCESO**

Los elementos que forman parte del proceso de estampación de la Prensa GT2 tras la introducción del Ojo de halcón son: Contenedor, Ojo de halcón, Prensa GT2, Robot de la Prensa y Reparación. Los mismos que antes más la nueva tecnología del Ojo de halcón.

La principal diferencia entre el viejo y nuevo sistema tiene que ver con el elemento contenedor y la reparación, sobre la forma en la que se determinará qué distancias del contenedor son las que fallan. Hasta 2014 en la reparación de contenedores se utilizaban unos calibres con los que de manera totalmente manual y prácticamente “a ojo” se determinaba si las dimensiones del contenedor eran correctas. Con estos calibres se redujo considerablemente los fallos del contenedor, en torno a un 50%, pero no se eliminaron del todo y muchas veces los reparadores se equivocaban determinando qué parte del contenedor era la que fallaba, deteriorando todavía más el contenedor. Por tanto, el calibre ha sido una herramienta eficaz pero nada eficiente. El Ojo de halcón sustituirá a los calibres y proporcionará una información totalmente precisa y fiable a los reparadores, facilitando su tarea. Por tanto, la primera parte del proceso será igual, la parte relativa al contenedor es la que va a cambiar.

#### 4.1. Descripción del Ojo de halcón

El Ojo de halcón estructuralmente es un túnel en el que están integradas 12 cámaras que sacan fotografías a alta velocidad de los contenedores vacíos. Esta es la principal característica del Ojo de halcón y la que le da su nombre. El Ojo de halcón es un sistema que se utiliza en tenis y permite saber con total precisión si la pelota ha entrado o no dentro



de los límites del campo de juego. Nuestro Ojo de halcón analizará las fotografías a partir de las coordenadas de las dimensiones de un contenedor que tomamos como referencia y contra el que comparará las dimensiones del resto de contenedores que pasen por el túnel.

El programa producirá un informe en el que estarán determinadas cuantas distancias del contenedor son correctas y cuantas se han desviado por encima o debajo de las tolerancias fijadas en el sistema del Ojo de halcón y por tanto no puede ser utilizado en el proceso de estampación.

Además, el Ojo de halcón tiene una función especial que no tenía los calibres que es la de prevención y control, ya que no entrará ningún contenedor en el proceso hasta que estemos totalmente seguros de sus dimensiones y al mismo tiempo controlaremos el deterioro de los contenedores. Así, podremos determinar el momento preciso para sustituir los contenedores. Y con los datos de los contenedores cuyas dimensiones son correctas para los robots de la prensa intentaremos determinar las dimensiones ideales, que nos servirá para el momento en el que necesitemos pedir más contenedores a nuestro proveedor.

#### 4.2. ¿Cómo funciona el nuevo proceso?

Caso uno:

Un operario pasa por el Ojo de halcón con un carro en el que irán dos o cuatro contenedores vacíos. Si el Ojo de halcón da el visto bueno a todos los contenedores, todas las distancias están dentro de las tolerancias fijadas, se llevarán directamente a la prensa GT2.

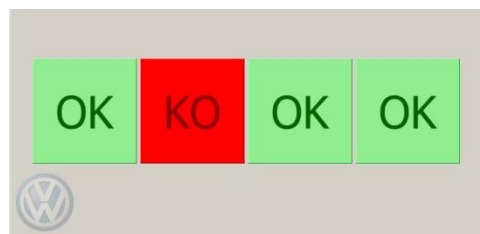


Caso dos:

Un operario pasa por el Ojo de halcón con un carro en el que irán dos o cuatro contenedores vacíos. Si uno de los contenedores está KO, una o más distancias no se encuentran dentro de los límites tolerables, habrá que llevarlo a reparar. Primero deberá sustituir el contenedor defectuoso por otro que esté libre y volver a pasar por el Ojo de halcón hasta que nos dé el visto bueno a todos los contenedores. Después, deberá llevar el contenedor o contenedores defectuosos a la zona de reparación.

Los contenedores que se lleven a reparar deben pasar de nuevo por el Ojo de halcón antes de que puedan entrar en el proceso de estampación.

A continuación tenemos una imagen que puede encontrarse el operario en una pantalla situada en uno de los laterales del túnel, justo después de haber pasado con un carro en el que van cuatro contenedores, y que deberá interpretar de la siguiente manera:



Cada recuadro representa un contenedor, van en el mismo orden en el que han pasado por el Ojo de halcón, siendo el de más a la derecha el primer contenedor y el de más a la izquierda el último contenedor que ha pasado. En este caso, el operario lo que deberá hacer es retirar el segundo contenedor para que lo puedan arreglar, coger otro contenedor del mismo tipo y volver a pasar por el Ojo de halcón hasta que todos los contenedores sean OK y pueda llevarlos a la Prensa GT2.

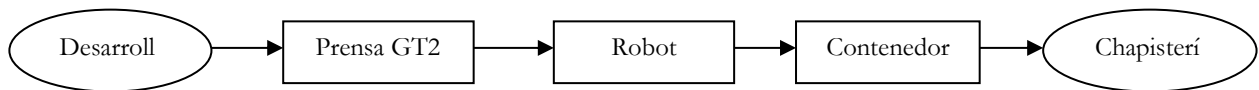
El resultado del nuevo proceso será igual que el del proceso anterior, ya que con esto no vamos a eliminar todos los paros de la GT2. Y aunque esperemos reducir a cero los paros por contenedor, contemplamos la posibilidad de que el contenedor produzca algún paro en el proceso al principio del experimento, ya que las tolerancias que hemos fijado en el programa del Ojo de halcón son más bien una aproximación o estimación de la flexibilidad en la visión de los robots.

La solución que se nos ocurre cuando un contenedor produce un paro es cambiar las tolerancias en el Ojo de halcón, reduciendo los límites tolerables. Al final, con la experiencia lograremos unas medidas que sean igual de correctas para el Ojo de halcón y la prensa. Cuando el origen del fallo sea el robot o la prensa habrá que arreglarlo o cambiarlo en el caso del robot; según considere el técnico.

### 4.3. Diagrama de flujo

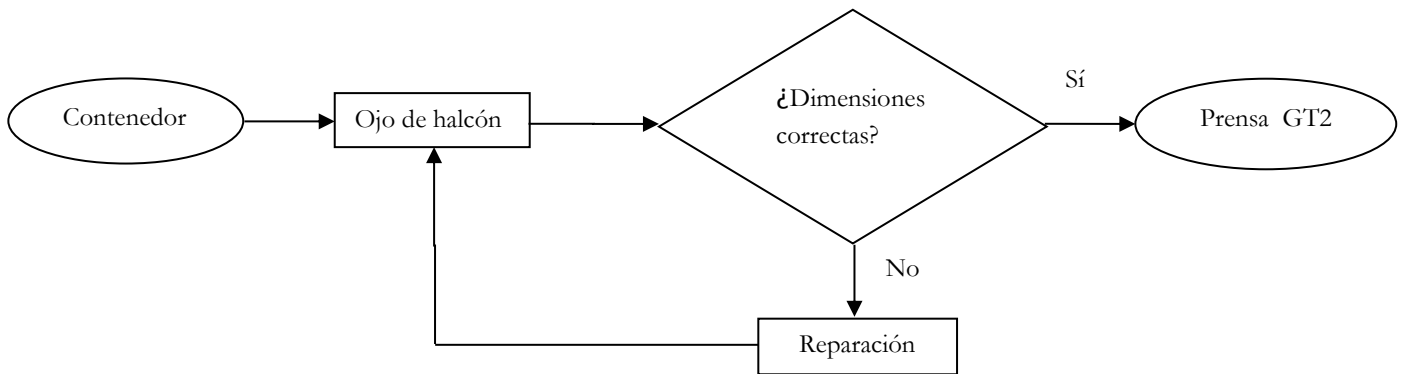
Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un proceso. Cada paso del proceso está representado por un símbolo diferente que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo del proceso. Las elipses abren y cierra el proceso, los rectángulos representan actividades necesarias para el proceso y el rombo las decisiones que tomamos a lo largo del proceso.

Gráfico 2: Proceso de Estampación



Este diagrama flujo representa el proceso de estampación cuando sigue su curso normal, no se produce ningún fallo en cualquiera de los elementos. Si la prensa, el robot o el contenedor producen un paro en el proceso, el diagrama se acabará en ese recuadro o actividad. Esa actividad ya no debería estar representada por un rectángulo, sino por una elipse.

Gráfico 3: Movimiento del contenedor en el proceso de estampación



En este momento, el contenedor es para nosotros el principal elemento del proceso y el que abre el diagrama, ya que la misión del Ojo de halcón es la de llevar un control de sus dimensiones para que el proceso de estampación nunca se pare por un contenedor defectuoso. La prensa GT2 es el último elemento del proceso de estampación y por ello cierra el diagrama. Los procedimientos necesarios para que el contenedor acabe siendo utilizado en la prensa GT2 son el análisis del Ojo de halcón y a veces la reparación. Si el análisis del Ojo de halcón es positivo el contenedor irá directamente a la prensa.

Cuando sea negativo habrá que llevar el contenedor a reparar y tendrá que volver a pasar por el mismo procedimiento hasta que sus dimensiones sean correctas.

## **5. ANÁLISIS DE LOS ERRORES DETECTADOS EN EL SISTEMA**

Queremos comparar el comportamiento de los elementos del sistema antes y después de la introducción del Ojo de halcón y ver si podemos llegar a predecir los futuros paros de la prensa GT2. Esta información puede ser útil para los responsables de prensas ya que de esta forma quizá puedan adelantarse a los paros de la prensa con tareas de prevención más que de resolución y lograr ahorrar tiempo y dinero con el cambio.

### **5.1. Diagrama causa-efecto**

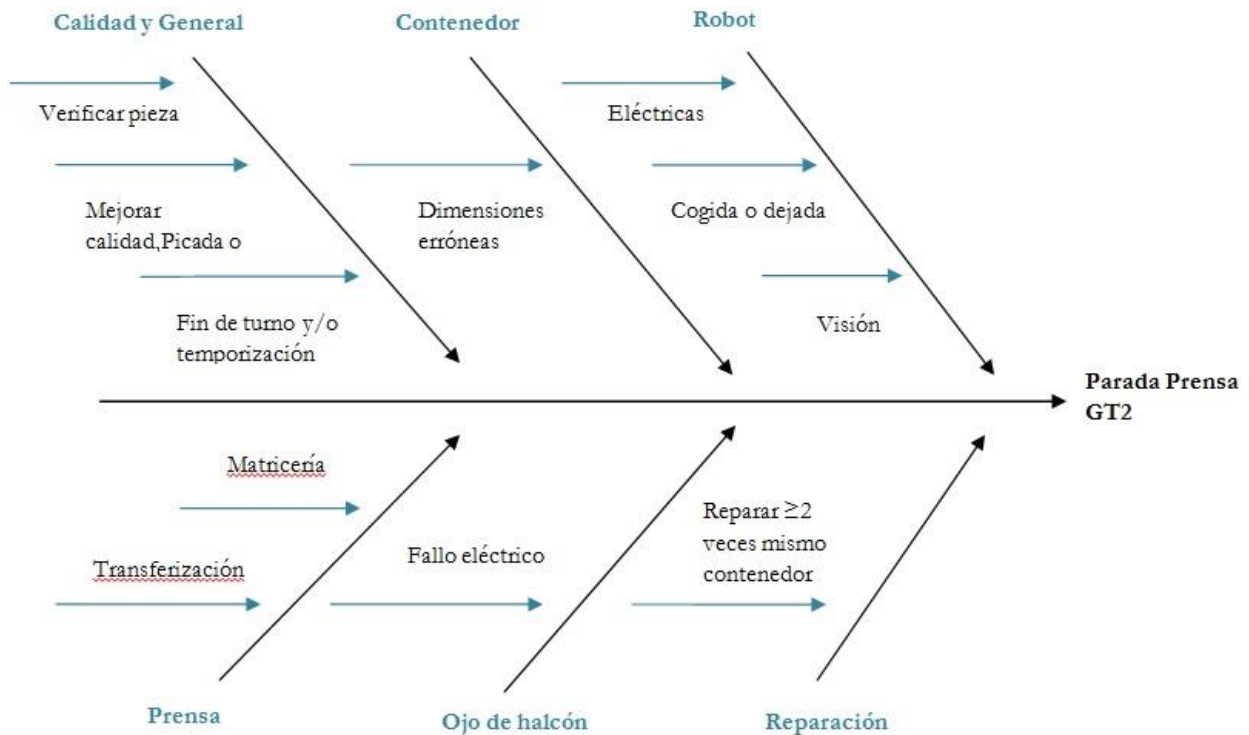
El diagrama causa-efecto fue desarrollado por K. Ishikawa para facilitar el análisis de problemas mediante la representación de la relación entre un efecto y todas sus causas o factores que originan dicho efecto.

Un gráfico o tabla de control es un método organizado de registro de datos que puede ayudarnos para la realización del diagrama causa-efecto. Esto prácticamente nos lo dan hecho, a diario recibimos un parte de prensas en el que están definidos todos los motivos de paro de la prensa GT2 durante la estampación del día anterior. Aunque luego seleccionamos de ahí la información que nos interesa y creamos una nueva tabla en Excel con la que es más sencillo el tratamiento de los datos. Ya que, en el parte la información viene muy desagregada, primero por tipo de pieza y después por tipo de fallo secundario.

Tenemos un eje horizontal que representa el problema que nos hemos encontrado en el proceso de estampación y queremos minimizar con el Ojo de halcón: parada de la prensa GT2. A este eje van llegando líneas oblicuas que representan las causas de parada de la prensa: Calidad, General, Contenedor, Robot, Prensa, Ojo de halcón y Reparación. A su vez, cada una de estas líneas que representa una posible causa, recibe otras líneas perpendiculares que representan las causas secundarias. Ejemplo: en el caso de Robot el fallo puede deberse a un fallo eléctrico, de cogida o dejada o de visión de la pieza. Cada grupo formado por una posible causa primaria y las causas secundarias que se le relacionan forman un grupo de causas con naturaleza común.



Gráfico 4: Diagrama causa-efecto



## 5.2. Definición de error de cada elemento

### 5.2.1. Errores recogidos en los partes de prensas

Consideraremos fallo de Contenedor cuando sus medidas no sean correctas para el Robot de la prensa GT2, es decir, el Ojo de halcón dé el OK al contenedor pero este genere un fallo en la prensa.

Al principio del experimento suponemos que el contenedor fallará más que al final. Razón: En las primeras pruebas hemos fijado una tolerancia máxima para cada tipo de contenedor de más o menos 6 mm respecto al contenedor “master”. El “master” es un contenedor utilizado como modelo y que hace tiempo que no entra en el proceso de estampación. Por tanto, sabemos que estas tolerancias no son reales y que las iremos modificando conforme el experimento avance.

Los fallos del Robot de la prensa GT2 pueden ser: cogida y dejada de la pieza en el contenedor por un problema en la garra del robot, de visión de las piezas por problemas en detectores o eléctrico. Aunque el robot en realidad forma parte de la prensa, hemos preferido distinguirlo del resto de fallos que se producen ahí porque tiene un contacto directo con las piezas y los contenedores, elemento del sistema que más nos interesa.

Ya que el objetivo del Ojo de halcón es evitar que contenedores defectuosos entren en el proceso de estampación y por tanto entren en contacto el robot de la prensa.

En la Prensa GT2 se pueden producir los siguientes fallos: Matricería y Transferización. Los fallos de Matricería están relacionados con suciedad en las matrices, que son las que dan forma a los desarrollos y crean la pieza. Esto significa que las piezas salen defectuosas, principalmente con picadas, y por eso es preciso cambiar la matriz. La Transferización es el mecanismo que permite que el desarrollo pase por la prensa de una matriz a otra de forma automática o mecánica. Una prensa como la GT2 está compuesta por seis matrices que son intercambiables en función de la pieza que se quiere estampar en cada momento. El desarrollo es una chapa lisa que se introduce en la prensa y va pasando de una matriz a otra, cada una da un “golpe” distinto al desarrollo y cuando este ha recibido todos los golpes necesarios (pueden ser hasta catorce) la pieza sale de prensa y está lista para el proceso de ensamblaje. Lo que ocurre aquí es que a veces la mecánica falla, produciéndose un cuello de botella en alguna parte de la prensa y por tanto también en el proceso.

Calidad es otra de las causas de paro en la prensa GT2. Los responsables de calidad paran la prensa conscientemente para realizar comprobaciones. Normalmente estos paros se suelen producir al comienzo de la estampación para verificar que las piezas están saliendo bien, que no tengan defectos como bollos o picadas. Esto es algo inevitable y que no intentaremos corregir o eliminar del sistema. También nos vamos a encontrar con paradas en la prensa con el nombre General, de acuerdo a los documentos que nos han facilitado, se producen como consecuencia del fin de turno o temporización.

### *5.2.2. Errores recogidos en el Ojo de halcón*

Un fallo en el Ojo de halcón tendrá lugar por un fallo eléctrico. Veremos si no se produce algún otro fallo. Si el Ojo de halcón dejara de funcionar entonces supones que el proceso de estampación en la prensa GT2 se pararía. Aunque, se nos ocurren dos alternativas para que no se produzca esto, que no pasen por el Ojo y arriesgarnos a que den error o calibrarlos como se hacía antes, reduciendo la probabilidad de error respecto a la solución anterior. Habrá que ver qué decisiones toman si se produce un caso tan especial y creemos improbable como este.

En el caso de la reparación podremos obtener la repetitividad del error porque el Ojo de halcón echará para atrás el contenedor siempre que sus medidas no estén dentro de las tolerancias. Podemos fijar un tope de reparaciones por contenedor a partir del cual

empezaremos a contar como fallo de reparación. Dado el sistema que hemos definido, de la segunda reparación y en adelante contará como fallo.

### 5.3. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta de gestión que ayuda a tomar decisiones en función de prioridades. Nos va ayudar saber cuál es el factor o factores más importantes que causan los paros de la Prensa automática GT2 y conocer si se ha conseguido los efectos deseados con la introducción de una nueva tecnología (Ojo de halcón) en el sistema mediante la comparación con los Paretos iniciales.

El diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice: "El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan"<sup>1</sup> En otras palabras: en el origen de un problema, siempre se encuentran un 20% de causas vitales y un 80% de triviales. Una gráfica de Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. A este principio también se le denomina como regla del 80-20.

Con objeto de realizar correctamente un diagrama de Pareto hemos de realizar los siguientes pasos:

- Recolectar o recoger datos y clasificarlos por categorías; causas de fallo que encontremos en los partes de prensas.
- Ordenar las categorías de mayor a menor indicando el número de veces que se ha producido; número de minutos que ha parado la prensa por cada motivo.
- Calcular los porcentajes individuales y acumulados de cada categoría, el acumulado se calcula sumando los porcentajes anteriores a la categoría seleccionada.
- Construcción del diagrama en función de los datos obtenidos anteriormente.

#### 5.3.1. Generación del diagrama de Pareto

El diagrama es un gráfico que contiene las categorías en el eje horizontal y dos ejes verticales, el de la izquierda con una escala proporcional a la magnitud medida (valor total de los datos) y el de la derecha con una escala porcentual del mismo tamaño. Por tanto, en el eje vertical izquierdo estarán representados los minutos de parada de la prensa y en el derecho el porcentaje acumulado de minutos que ha parado la prensa.

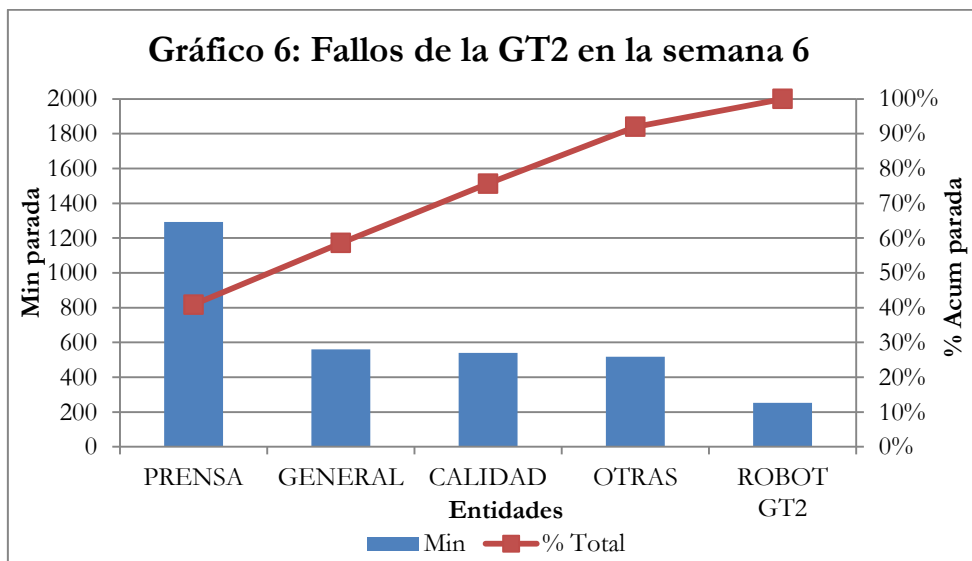
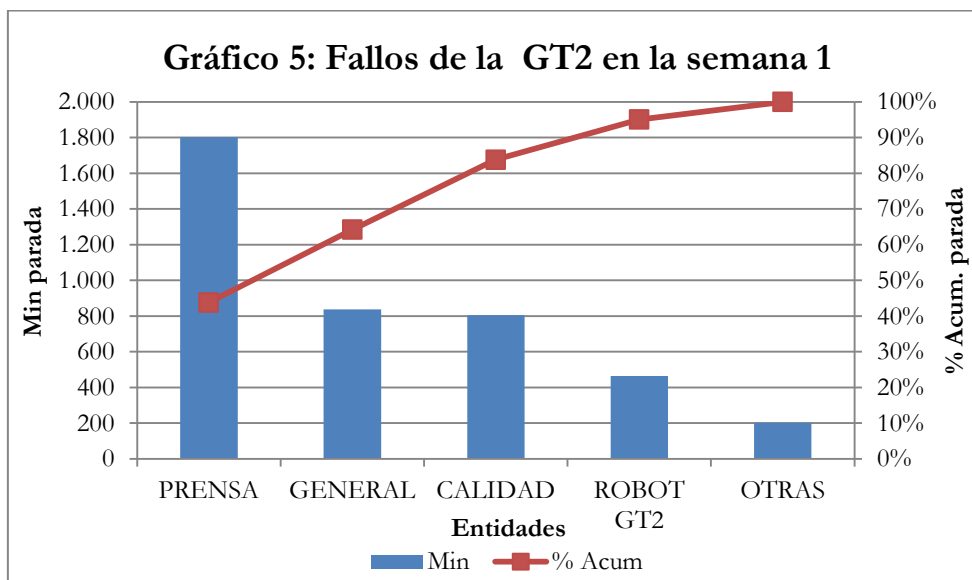
---

<sup>1</sup> Web [quees.info](http://quees.info)

Los minutos de parada de la prensa estarán representados por barras en orden descendente, de izquierda a derecha, del elemento que más paros produce en la prensa al elemento que menos paros produce. Por tanto, el elemento más importante lo encontraremos en la parte izquierda del gráfico.

Para crear la línea roja lo que haremos será marcar en el gráfico con un punto cada uno de los porcentajes acumulados y unir los puntos mediante líneas rectas. La línea de porcentaje acumulado será creciente, cóncava y finita. Acaba cuando llega a la última y menos relevante causa de error del sistema, momento en el que la suma del porcentaje acumulado de minutos de parada llega a 100.

Diagrama de Pareto para las semanas una y seis del estudio (antes de la introducción del Ojo de halcón):



Estos dos gráficos son una muestra de lo que nos hemos ido encontrando semana a semana. El primero contiene los datos de la primera semana de estudio mientras que el segundo corresponde a los datos de la última semana. La conclusión es la misma para los dos gráficos: los fallos que se producen en la propia prensa GT2 son el principal causante de los paros en el proceso de estampación. Si bien ha habido una disminución considerable en los tiempos de parada en los fallos en prensa en la semana sexta en comparación con la primera semana, alrededor de un 20 % de disminución, los fallos de Matricería y Transferización están produciendo entre un 40% y 50% de los paros en la Prensa GT2.

Normalmente los paros producidos por Calidad y General son los siguientes más importantes, sin embargo, estos son inevitables porque aseguran la calidad del proceso. Y por tanto, no es algo que queramos eliminar del sistema.

#### **5.4. Control Estadístico de Procesos**

Un proceso industrial como el Proceso de Estampación está sometido a variaciones estocásticas que están incluidas dentro de lo que sería la variabilidad natural de cualquier proceso, y a otros factores puntuales que pueden producir una variación más pronunciada. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirlo lo más posible o al menos mantenerlo dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este objetivo y permite aumentar el conocimiento del proceso, lo que puede dar lugar a la mejora del mismo.

Nos vamos a basar en el gráfico p de control por atributos para estudiar la variabilidad de los paros de la Prensa GT2 en el Proceso de Estampación. Los gráficos p tiene como objetivo específico detectar y corregir variaciones de calidad en el proceso para lograr que el producto llegue sin defectos y sobre todo a tiempo a nuestro cliente, el área de chapistería. El atributo o frecuencia que estudiaremos serán los minutos de parada de la prensa por estampación.

Para la construcción del gráfico de control de fracción defectuosa consideraremos el tiempo total de producción que viene recogido en cada parte de prensas, normalmente un día, como una muestra. Por lo que nos quedarán muestras de tamaño variable, ya que hay días en los que la prensa produce en los tres turnos, mañana, tarde y noche y veces en las que no hay producción en alguno de los turnos. Esto se debe al sistema de producción Pull que sigue Volkswagen, esto es, se produce cuando hay demanda, nunca tendremos existencias en stock. Por esto, utilizaremos la media del tamaño de las muestras para el

cálculo de los límites estadísticos. En caso de que el tamaño de las muestras sea muy disperso, buscaremos una alternativa.

El resto de variables que necesitamos son: los minutos que ha parado la prensa durante la estampación, el número de atributos que han producido paros en la prensa y la fracción defectuosa que sale de la división entre los minutos de parada de la prensa y el tiempo total de producción de cada muestra.

La interpretación del gráfico es simple, cuando un punto del gráfico que representa una fracción defectuosa está por encima del límite superior significa que el proceso no está estadísticamente controlado y que hay que estudiar el por qué. Mientras que todos los puntos que estén dentro de límites no nos preocuparán porque significará que el tiempo que ha parado la prensa está dentro lo que consideramos algo normal. Los puntos que estén por debajo del límite inferior serán igualmente un dato positivo, ya que parada de la prensa durante ese día habrá sido menor de lo habitual.

Hay que tener cuidado con la interpretación de los puntos de diagrama que se encuentran por debajo del límite inferior de control. Tales puntos no representan a menudo una mejora real en la calidad del proceso. Frecuentemente son el resultado de errores en el método de inspección o recogida de datos. En nuestro caso puede deberse a que el tamaño de la muestra de estos puntos es significativamente inferior al del resto, mientras que las muestras deberían no distar mucho entre sí. Tenemos que buscar la forma de unificar y hacer que la interpretación sea lo más sencilla y cercana a la realidad.

Los fundamentos teóricos en que se basa el gráfico de control de fracción defectuosa  $p$ , con tamaño de muestra variable, son los mismos fundamentos del gráfico de control  $p$  para un tamaño de muestra constante. De la misma manera, los límites de control para el gráfico  $p$  con tamaño de muestra variable, se derivan de los límites de control del gráfico  $p$  con tamaño constante.

Los límites superior e inferior se calculan a partir de estas fórmulas:

$$\text{Límite superior: } UCL_p = \bar{p} + z \sigma_{\bar{p}}$$

$$\text{Límite inferior: } LCL_p = \bar{p} - z \sigma_{\bar{p}}$$

$$\text{Donde } \bar{p} = \text{fracción media de parada del proceso} = \frac{\text{minutos de parada}}{\text{minutos de producción} * n^{\circ} \text{ de muestras}}$$

$$z = n^{\circ} \text{ de desviaciones estándar}$$

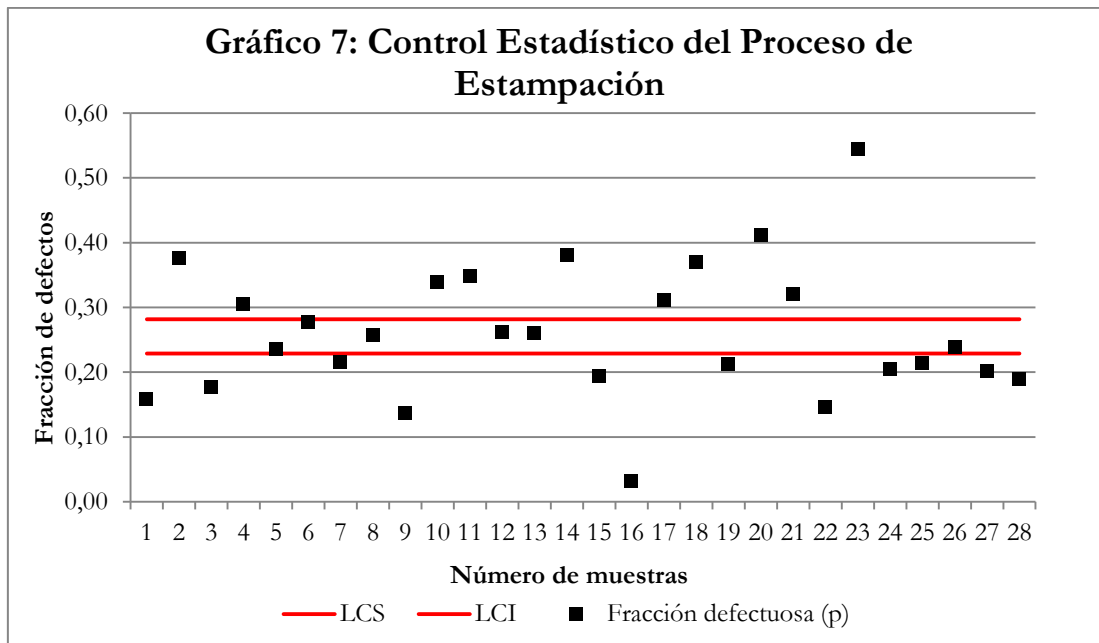
Opciones:  $z=2$  para límites del 95,5% o  $z=3$  para límites 99,73%

$\sigma_{\hat{p}}$ =desviación n estándar de la distribución de la muestra

$$\text{Formula de } \sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

Donde n es el tamaño de la muestra.

Como el tamaño de las muestras es variable podemos realizar los gráficos de dos formas distintas:



Calculamos los límites utilizando la media muestral:

$$UCL_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0,26 + 3 \sqrt{\frac{0,26(1-0,26)}{\bar{n}}} = 0,2862803$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0,26 - 3 \sqrt{\frac{0,26(1-0,26)}{\bar{n}}} = 0,2331147$$

$$\bar{p} = 0,2596975$$

$$\bar{n} = 2448,6056$$

Sin embargo, la dispersión del tamaño de las muestras es muy elevada,  $\sigma = 765,17$ , por lo que esta solución no nos vale. Ya que el gráfico no estaría dando una imagen real de lo que ocurre en el Proceso de Estampación. Los puntos que están por debajo del límite inferior o

entre límites pueden encontrarse ahí porque el tiempo de producción ese día ha coincidido ser menor que en otros.

Otra forma de realizar el gráfico de Control Estadístico de Procesos en principio más preciso y fiable es calculando unos límites para cada muestra. La parte de las fórmulas que varía de una muestra a otra es la desviación estándar de la distribución de la muestra ( $\sigma_{\hat{p}}$ ). En vez de dividir dentro de la raíz por el tamaño medio de las muestras, dividiremos por el tamaño de cada muestra individualmente. Por tanto, los límites no serán rectas paralelas al eje de abscisas sino que aumentarán o disminuirán en sentido contrario al tamaño de la muestra. La distancia que separa los límites de control de la línea central aumentará conforme el tamaño muestral ( $n_i$ ) disminuya.

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}}$$

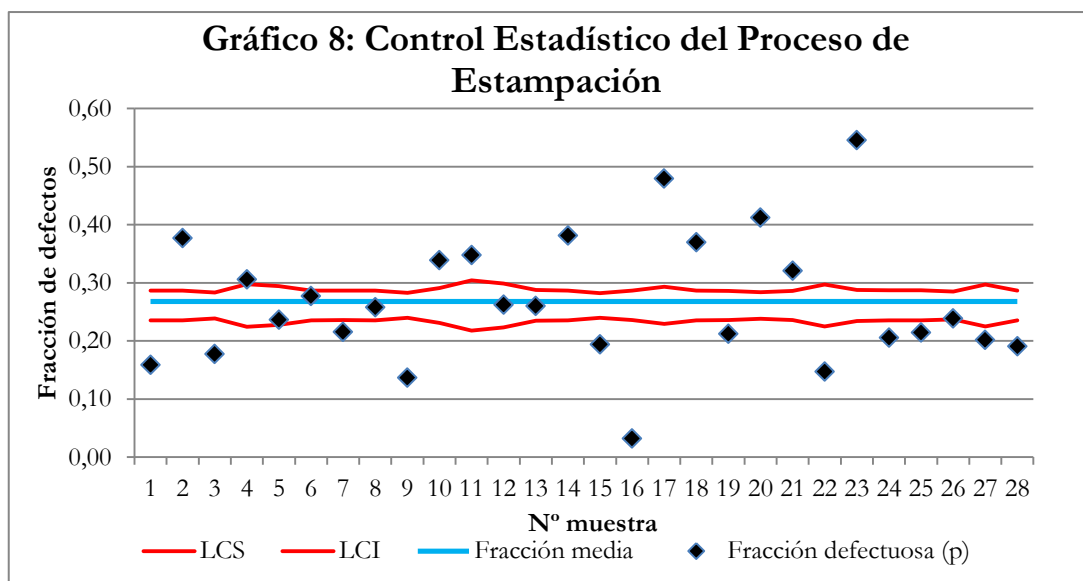
Calculamos los límites superior e inferior para cada muestra:

$$\bar{p} = \frac{\sum n_i \cdot p_i}{\sum n_i} = 0,261056$$

$n_i$  es el tamaño de cada muestra y  $p_i$  la fracción defectuosa o minutos de parada de cada muestra.

Límite superior o  $UCL_p$  en un rango de entre 0,2822 y 0,3045.

Límite inferior o  $LCL_p$  en un rango de entre 0,2399 y 0,2176.





La diferencia entre el máximo y mínimo para ambos límites es muy pequeña, de alrededor de dos centésimas.

En el gráfico podemos apreciar tendencias no aleatorias, muestras que se sitúan más allá de los límites de control y que demuestran que el proceso no está bajo control. Por lo que nos reafirmamos en la necesidad manifestada por la empresa de mejorar el proceso de estampación.

Veintiuno de las veintiocho muestras se encuentran fuera de los límites de control, 9 por encima del límite superior y 12 por debajo del límite inferior. Cuando un punto que corresponde a una muestra se sitúa por encima del límite superior implica que la fracción defectuosa durante ese día o estampación fue muy superior a la media, y al revés, cuando un punto se sitúa por debajo del límite de control inferior significa que la fracción defectuosa o minutos de parada de la prensa en ese día fue muy inferior a la media. Solo las muestras 4, 5, 6, 8, 12, 13, 26 se encuentran alrededor de la fracción de parada media, dentro de límites.

## **6. SIMULACIÓN DE LA REALIDAD DEL PROCESO TRAS LA INTRODUCCIÓN DEL OJO DE HALCÓN**

Uno de los objetivos de la empresa con el análisis estadístico es el de determinar las dimensiones ideales de todos los contenedores que se utilizan en la prensa GT2 con los datos que aporte el Ojo de halcón. Ya que los contenedores tuvieron que ser modificados cuando se compraron años atrás y estas modificaciones no fueron recogidas. Así, cada vez que se pidan nuevos contenedores no incurriremos en gastos adicionales como la vez pasada.

Durante el lanzamiento del proyecto nos hemos encontrado con varios contratiempos que han atrasado su puesta en marcha. Por esto, no contaremos con datos reales para este trabajo y tendremos que hacer una simulación de sistema del Ojo de halcón. En cualquier caso, la metodología a seguir será la misma una vez tengamos los datos del Ojo de halcón.

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo de un sistema o proceso real y conducir experimentos con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias, dentro de límites impuestos por un criterio o conjunto de criterios, para la operación del sistema. (Robert Shannon, 1987)

El proceso de simulación incluye recopilación de datos, asignación de números aleatorios, formulación del modelo y análisis.

## 6.1. Recolección de datos

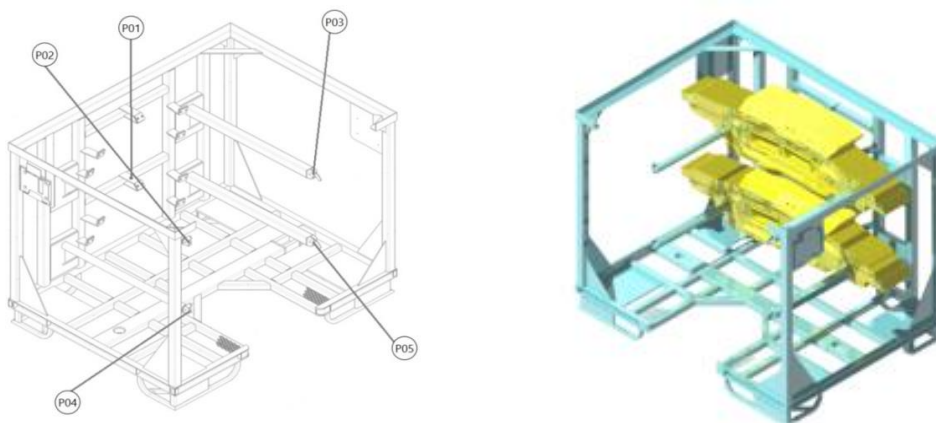
El contenedor que hemos seleccionado para la simulación es el de la pieza Faldón. En la fábrica contamos con un total de 54 contenedores y cada vez que se estampa faldón se utilizan en el proceso alrededor de 25. Teniendo en cuenta esta información hemos decidido que el análisis se realizará sobre 15 muestras que corresponderán a 15 estampaciones de faldón distintas y cada muestra estará compuesta por los mismos 25 contenedores.

En el momento que el Ojo de halcón esté funcionando, tendremos que ir cada día a recoger los datos del día anterior al ordenador que se encuentra en uno de los laterales del Ojo de halcón. Por lo general, todos los días no se estampan las mismas piezas. Tendremos que seleccionar en el informe el contenedor que nos interesa, en este caso el de Faldón y coger todas las distancias de aquellos que han entrado en el proceso de estampación.

## 6.2. Características del contenedor de Faldón

La principal característica del contenedor de faldón es que está compuesto por cuatro barras horizontales en las que va encajada la pieza. Al final de cada una de ellas, como muestra el plano, están los puntos de medición P02, P03, P04 y P05. El punto de referencia o base P01 se encuentra en otra barra más corta que a diferencia de las otras no entra en contacto con la pieza y por tanto no hay posibilidad de que se desvíe.

Gráfico 9: Imágenes del contenedor de Faldón

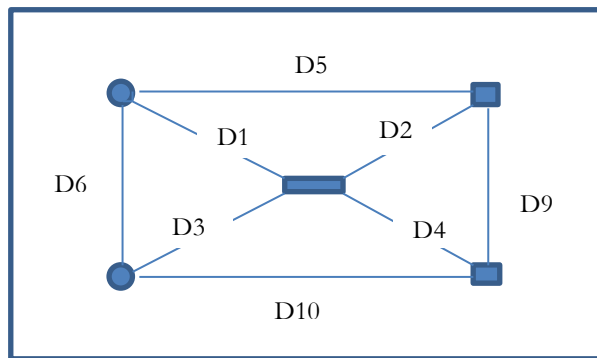


El Ojo de halcón medirá todas las distancias entre todos los puntos del contenedor. Esto es, P01 con el resto de puntos, P02 con el resto, etc. en total 10 distancias.

Tabla 1: Definición de las distancias del contenedor de Faldón

	P1	P2	P3	P4	P5
P1		D1	D2	D3	D4
P2			D5	D6	D7
P3				D8	D9
P4					D10
P5					

Gráfico10: El alzado del contenedor de Faldón



### 6.3. Asignación de números aleatorios

Antes de analizar el comportamiento distancias de los contenedores por medio de la simulación, debemos especificar la forma en la que vamos a generar estas distancias.

Para obtener las distancias D1, D2, D3 y D4 de los 25 contenedores en las 15 muestras utilizaremos la función de Excel “ALATORIO.ENTRE”. Estas distancias son las existentes entre los puntos de las barras y el punto de referencia o base. Para saber aproximadamente el rango en el que se moverán las distancias, hemos tomado como referencia las medidas de un contenedor “Master” (M) con una desviación máxima de  $\pm 6$  milímetros, que es lo que esperamos que ocurra en la realidad. Con una desviación de 6 milímetros respecto al “Master” existe una probabilidad muy alta de que el contenedor produzca un paro en el proceso de estampación de la GT2.

Tabla 2: Distancias del contenedor “Master”

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
“Master”	528	528	502	502	900	500	1030	1030	500	900

El resto de distancias al ser las existentes entre los puntos móviles del contenedor, como podemos observar en el gráfico en el que tenemos el alzado, las hemos sacado por medio de unas fórmulas y las medidas del “Master”.

Para las distancias D5, D6, D9 y D10:

Ejemplo: D5 mide la distancia entre el punto P02 y P03. Se ve claramente que si el punto P03 se mueve hacia la derecha o el P02 hacia la izquierda, la distancia entre ambos puntos aumenta. Pero, si ambos puntos se mueven en el mismo sentido y además han sufrido la misma desviación, podemos llegar a extraer conclusiones erróneas de nuestro análisis. Ya que en ese caso la distancia entre ambos puntos podría llegar a ser la misma que la del “Master”, siendo las dimensiones o estructura del contenedor totalmente defectuosa. Y con el consiguiente resultado en el proceso de estampación, el paro de la prensa GT2. Por eso, nos parece más conveniente que la distancia D5 salga de una fórmula en la que dependa de las distancias D1 y D2, en vez de que Excel que de un valor cualquiera que no tenga sentido.

$$D5 = D5M + (D1 - D1M) + (D2 - D2M)$$

Siendo D5, D1 y D2 las distancias que calcula el Ojo de halcón.

D5M, D1M Y D2M las distancias en el contenedor “Master”.

Lo mismo para el resto de distancias:

$$D6 = D6M + (D1 - D1M) + (D3 - D3M)$$

$$D9 = D9M + (D2 - D2M) + (D4 - D4M)$$

$$D10 = D10M + (D3 - D3M) + (D4 - D4M)$$

Para las distancias D7 y D8 se nos ocurren dos formas:

Al tratarse de las diagonales, podemos hacer la suma de las dos distancias que van del punto base a la barra, que ya hemos sacado con la fórmula de “ALEATORIO.ENTRE” o sacando la hipotenusa.

$$D7 = D1 + D4 \text{ o } D7^2 = D6^2 + D10^2$$

$$D8 = D2 + D3 \text{ o } D8^2 = D9^2 + D10^2$$

#### 6.4. Herramientas para el análisis de los datos

Calcularemos los estadísticos descriptivos: media, mediana, media acotada, desviación típica, moda y rango.

También, realizaremos gráficos x-r que al igual que el gráfico p que nos servirá para el control estadístico del proceso del Ojo de halcón. Para saber si el proceso además de bajo control es capaz, calcularemos unos índices de capacidad  $C_{pk}$ . Y con esto tomaremos una decisión sobre la definición de las distancias ideales del contenedor.

#### 6.4.1. Definición de estadísticos

La media aritmética es la medida de posición central utilizada con más frecuencia. Si  $X_1, X_2, \dots, X_n$  constituyen una muestra de  $n$  observaciones, la media aritmética se define de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Mediana: Es el valor que ocupa la posición central en un conjunto de datos, ordenados en forma creciente o decreciente. Así definida, la mitad de las observaciones es menor que la mediana, mientras que la otra mitad es mayor que la mediana. Resulta apropiada cuando el conjunto de datos posee observaciones extremas.

La Moda es el valor de un conjunto de datos que aparece con mayor frecuencia. Tampoco depende de los valores extremos, pero es más variable que las otras medidas de posición para las distintas muestras.

Para ver si la media puede ser o no válida para el análisis calcularemos la desviación típica. El grado en que las distancias que ha medido el Ojo de halcón se acercan a la distancia media. Cuanto menor valor nos da la desviación típica, mayor es la concentración de datos, datos más homogéneos. Y al revés, cuanto mayor sea su valor, más dispersos estarán los datos; siendo en este caso la media poco significativa. En ese caso, podemos calcular una media acotada. La media de un conjunto de datos después de eliminar el porcentaje de los extremos inferior y superior de los puntos de datos.

El rango es la diferencia entre la distancia máxima y la distancia mínima calculadas. Lo haremos para las diez distancias en las 15 muestras. Este, junto con la media nos servirá para la realización de los gráficos x y r.

#### 6.4.2. Gráfico x-r

Este gráfico trata de mostrarnos el comportamiento del contenedor en el proceso de estampación mediante la distribución que siguen en el tiempo los estimadores como la media y el rango o recorrido de las muestras, identificativos del valor central y la dispersión

de los valores de cada muestra extraída. Los valores de estos estimadores variarán de una muestra a otra en el proceso de simulación. Por tanto, lo que nos interesa predecir, son los límites entre los que variarán dichos estimadores, supuesto en el que el proceso está bajo control, cuando no existen causas especiales que distorsionen el proceso.

El control de variables se realiza mediante variables susceptibles de ser medidas, como es el caso de las distancias del contenedor. Con llevar un control de las distancias entre los puntos de las barras y el punto base del contenedor será suficiente. Si las desviaciones de las distancias D1, D2, D3 y D4 se encuentran estadísticamente controladas (entre los límites) el resto de distancias también lo estarán.

Pautas de comportamiento que representan cambios en el proceso:

- a) Un punto exterior a los límites de control.
  - Se estudiará la causa de una desviación del comportamiento tan fuerte.
- b) Dos puntos consecutivos muy próximos al límite de control.
  - La situación es anómala, estudiar las causas de variación.
- c) Cinco puntos consecutivos por encima o por debajo de la línea central.
  - Investigar las causas de variación pues la media de los cinco puntos indica una desviación del nivel de funcionamiento del proceso.
- d) Fuerte tendencia ascendente o descendente marcada por cinco puntos consecutivos.
  - Investigar las causas de estos cambios progresivos.
- e) Cambios bruscos de puntos próximos a un límite de control hacia el otro límite.
  - Examinar esta conducta errática.

En los gráficos de Control por Variables como herramienta de análisis se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Los errores de los datos o los cálculos utilizados para su construcción pueden pasar inadvertidos durante su utilización y provocar interpretaciones totalmente erróneas.
- b) El hecho de que un proceso se mantenga bajo control no significa que sea un buen proceso, puede estar produciendo fuera de los límites de especificación. Hacer un Estudio de Capacidad Potencial de Calidad para comprobar esto último.
- c) Controlar una característica de un proceso no significa necesariamente controlar el proceso.

Si no se define bien la información necesaria y las características del proceso que, en consecuencia, deben ser controladas, tendremos interpretaciones erróneas debido a informaciones incompletas.

d) Muchos de los conceptos que se manejan en este procedimiento están basados en el supuesto de que el fenómeno en estudio se comporta como una distribución normal, si se aplican a fenómenos cuyo comportamiento difiera mucho de este, las interpretaciones subsiguientes serán erróneas.

### 6.4.3. Índices de capacidad

Una vez que hemos determinado que el proceso está bajo control, queremos saber si el proceso es capaz, es decir, si cumple con las especificaciones técnicas deseadas. Los índices de capacidad vienen determinados por los cocientes entre la variación natural del proceso y el nivel de variación especificada.

Calcularemos el índice de capacidad  $C_{pk}$  asociados con la variación a corto plazo. Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, teniendo en cuenta la media del proceso respecto al punto medio de ambos límites de especificación.

$$\text{Min} \left\{ \frac{\text{LES}-\mu}{3\sigma}; \frac{\mu-\text{LEI}}{3\sigma} \right\}$$

LES: Límite de Especificación Superior

LEI: Límite de Especificación Inferior

El  $C_{pk}$  considera la media de las distancias y por tanto mide la capacidad real del proceso. Cuando el valor que nos proporcione el índice sea superior a 1,3 diremos que el proceso es capaz.

## 6.5. Resultado del Análisis

### Estadísticos descriptivos

En general, no hay diferencia entre la media, media acotada, mediana y moda de los datos. Este es un dato muy positivo puesto que de esta manera no se nos complica la tarea que nos han pedido. La mayor diferencia la encontramos entre los tres primeros estadísticos y la moda, pero aun así es de tan solo dos milímetros, lo cual es menor que los límites tolerables fijados en el programa del Ojo de halcón de  $\pm 5$  milímetros.

Tabla 3: Resultado de los estadísticos descriptivos

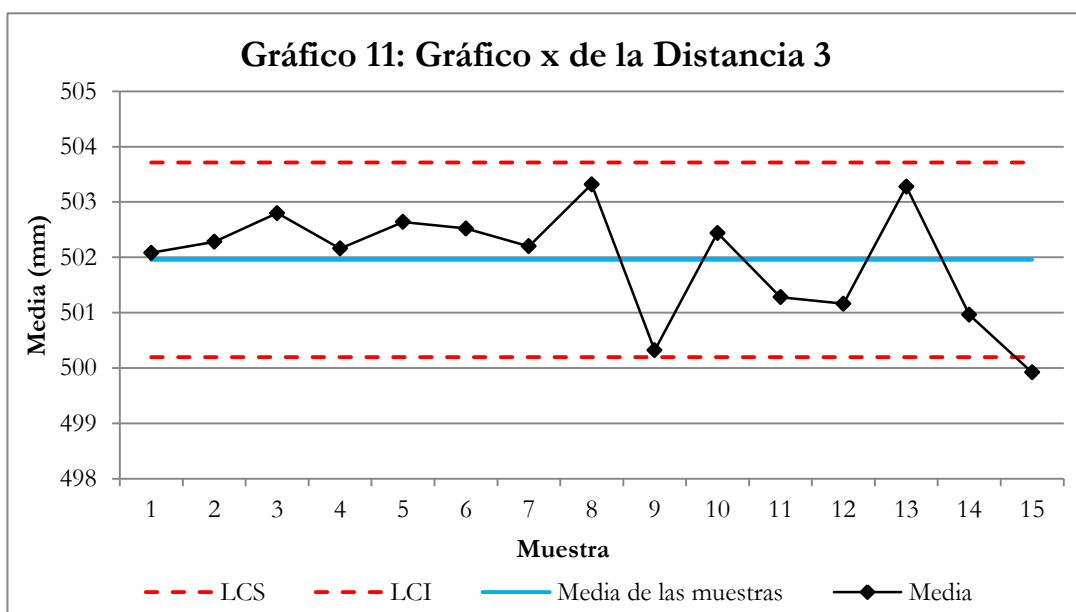
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Media	528,38	528,04	501,96	501,73	900,55	500,26	1030,16	1029,84	499,71	899,64
Media acotada	528,10	527,57	501,52	501,46	899,82	499,82	1029,79	1029,42	499,50	899,24
Mediana	528	528	503	502	901	501	1030	1030	500	900
Moda	532	528	503	501	901	501	1032	1030	500	900

Además, hemos calculado la media acotada para eliminar los valores extremos que pudieran distorsionar el cálculo. Hemos probado eliminando el 10%, 25% y 50% de los datos más extremos y en los tres casos ha salido un valor que no dista en más de medio milímetro de la media. Los valores de la tabla corresponden a la media acotada después de eliminar el 25% de los datos extremos.

Por tanto, nos quedaremos con las distancias que nos proporciona la media como medida ideal de los contenedores.

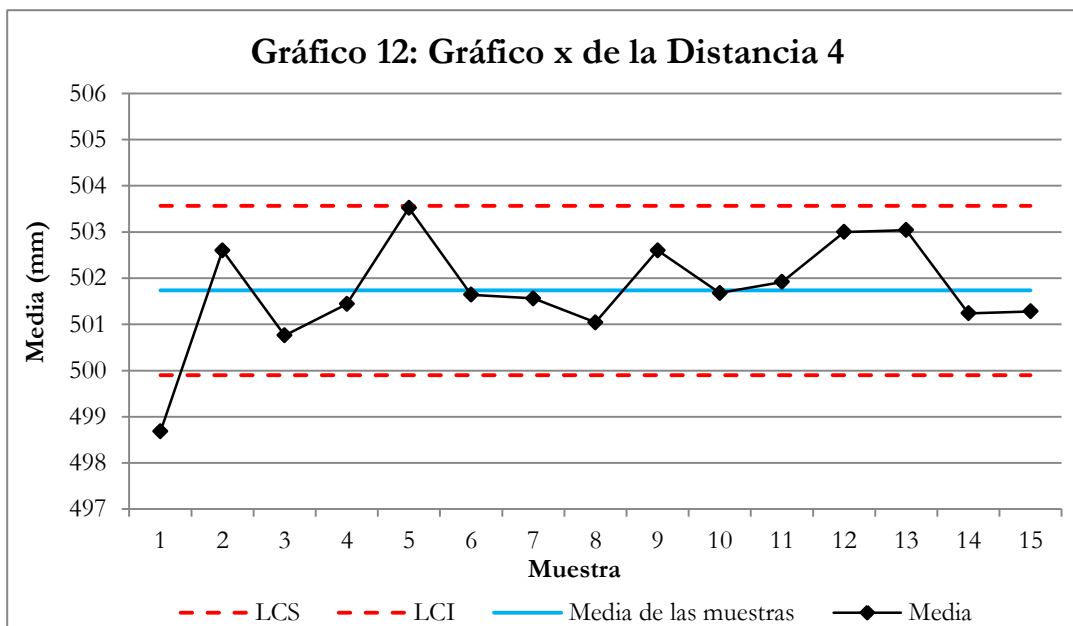
### Gráficos x-r

Contrariamente a lo que esperábamos nos hemos encontrado en los gráficos x de las distancias D3 y D4 con muestras que se encuentran fuera de los límites de control. En el gráfico x de la distancia D3 tenemos tres muestras cercanas a los límites de control (8, 9 y 13) y una fuera de límites, la muestra 15.





En el gráfico x para distancia 4 tenemos también una de las muestras, la primera, por debajo del límite inferior y otras tres cercanas o en el límite de control superior (5, 12 y 13).



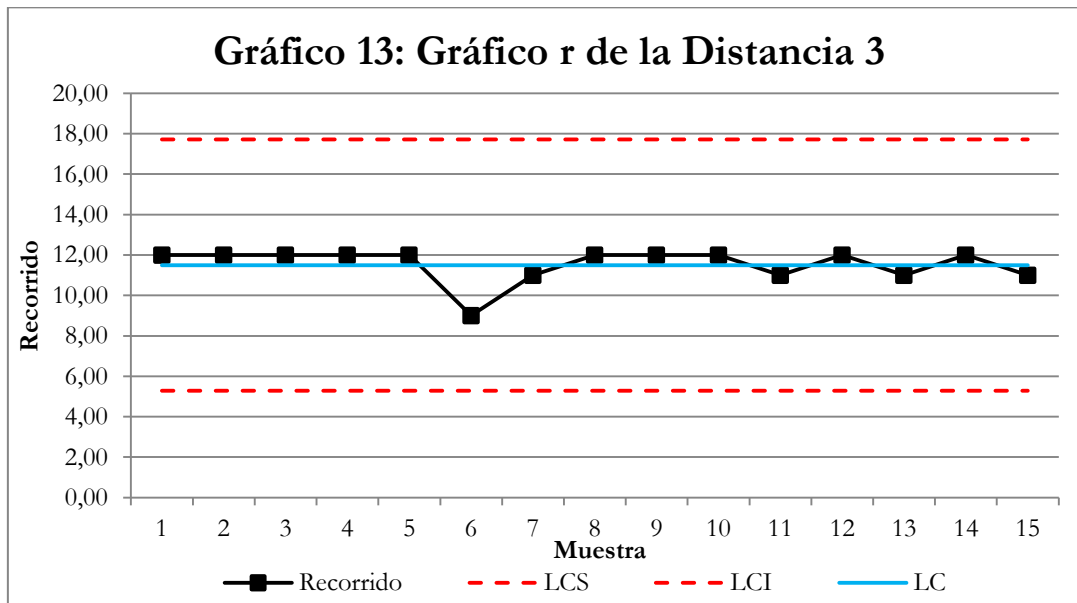
A pesar de que el Ojo de halcón llevará un control estricto de los contenedores, es posible que haya causas externas al proceso que no hemos contemplado y hacen que las distancias de los contenedores sufran tales desviaciones.

Sabemos que los contenedores cuando quedan libres del área de Chapistería van a un almacén próximo al área de prensas en el que hay continuamente movimiento de contenedores. A veces, los operarios al maniobrar en el almacén para coger o dejar contenedores vacíos, dan involuntariamente con las carretillas golpes a contenedores. Esto puede ser una de las causas de que sus dimensiones no se encuentren dentro los límites tolerables en momentos puntuales como los que observamos en ambos gráficos. Puede ser que en algunas estampaciones por los motivos que sean, por ser el turno de noche o el final de un turno, las incidencias de este tipo aumenten.

Analizando los gráficos r nos hemos encontrado con que el rango en el que se mueven las distancias de los contenedores en la mayoría de las muestras utilizadas en el análisis es prácticamente igual. Por tanto, en casi todas las muestras nos encontramos con contenedores cuyas dimensiones se acercan al estado de defectuosos para el proceso de estampación en la GT2.

En el gráfico r correspondiente a la distancia tres, tenemos cinco puntos o muestras consecutivas por encima de la línea central.

De acuerdo al documento de en el que nos hemos apoyado para el análisis, debemos investigar las causas de la variación. Ya que esta pauta de comportamiento significa una desviación en el nivel de funcionamiento del proceso.



Como estos datos están sacados de una simulación en la que los datos han salido a partir de unos límites que hemos establecido en las fórmulas, como que la variación máxima de las distancias 1, 2, 3 y 4 puede ser de más menos seis milímetros, imputamos esta pauta de comportamiento a esta decisión. Por tanto, para nosotros una vez sean eliminados los problemas de las carretillas el proceso estará bajo control.

### Índices de capacidad

Los límites de especificación superior e inferior son, para todas las distancias medidas por el Ojo de halcón, las distancias del contenedor “master” ±5 milímetros.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Distancias del master	528	528	502	502	900	500	1030	1030	500	900

Fórmula genérica:

$$\text{Min} \left\{ \frac{\text{LES}-\mu}{3\sigma}; \frac{\mu-\text{LEI}}{3\sigma} \right\}$$

D1:

$$\text{Min} \left\{ \frac{533-528,38}{3 \times 0,453}; \frac{528,38-523}{3 \times 0,453} \right\} = \{3,399; 3,958\} = 3,399$$

D2:

$$\text{Min} \left\{ \frac{533-528,04}{3 \times 0,348}; \frac{528,04-523}{3 \times 0,348} \right\} = \{4,751 ; 4,828\} = 4,751$$

D3:

$$\text{Min} \left\{ \frac{507-501,96}{3 \times 0,431}; \frac{501,96-497}{3 \times 0,431} \right\} = \{3,898 ; 3,836\} = 3,836$$

D4:

$$\text{Min} \left\{ \frac{507-501,73}{3 \times 0,529}; \frac{501,73-497}{3 \times 0,529} \right\} = \{3,32 ; 2,980\} = 2,980$$

Como el resultado del índice  $C_{pk}$  para las cuatro distancias se encuentra por encima de 1,3 concluimos que esta parte del proceso además de estar bajo control es capaz. Es cierto que nos han salido unos valores muy elevados y que no es algo habitual, pero se debe a que las distancias las hemos obtenido mediante la simulación, la que gran parte de los valores se sitúan cerca de los límites de control.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

El resultado del análisis de los paros del proceso de estampación anterior a la introducción del Ojo de halcón determina que el proceso no está bajo control. El gráfico de Control Estadístico de Procesos muestra claramente esta situación, con un 75% de las fracciones defectuosas (puntos del gráfico) fuera de los Límites de Control Superior e Inferior. Recordemos que la fracción defectuosa la obtenemos del cociente entre los minutos de parada de la prensa GT2 y el tiempo total destinado a la producción que viene recogido en cada parte de prensas. Gracias a los Gráficos de Pareto sabemos que el 50% de los paros de la prensa GT2 se deben a los fallos de Matricería y Transferización que se producen en la propia GT2, seguidos por los paros originados por Calidad y los denominados General (no siempre en el mismo orden). Sin embargo, estos no los podemos eliminar porque se trata de paradas necesarias que aseguran la calidad del proceso en el primer caso y el fin de turno en el segundo. Los fallos del Robot de descarga en la prensa y Otros generan en torno al 15% de los paros de la GT2. Los fallos de contenedor estarían incluidos en el grupo Otros.

En la simulación de los datos que nos proporcionará el Ojo de halcón hemos tenido en cuenta todas las características del proceso de estampación y del contenedor de faldón para que fuera lo más ajustado a la realidad. Como por ejemplo que en la estampación se utilizan alrededor de 25 contenedores o la forma de obtener las distancias. Esto nos ha permitido analizar un escenario posible al que podemos enfrentarnos y del cual extraemos que la parte del proceso relativa al contenedor se encuentra bajo control y por tanto se cumpliría el objetivo del proyecto Ojo de halcón. Aunque en dos de las distancias nos hemos encontrado con una de las muestras fuera de los Límites de Control, hemos investigado y encontrado que la causa de estas desviaciones pueden ser golpes que proporcionan las carretillas cuando maniobran en el almacén al que se llevan los contenedores que se quedan vacíos en Chapistería. Se trata de hechos puntuales, fáciles de controlar y evitar, simplemente habrá que ser más precavidos para encontrarnos con ningún fallo en esta parte del proceso en concreto.

Una vez analizado el proceso de estampación anterior y el comportamiento esperado del contenedor en el proceso, llegamos a la conclusión de que aunque el Ojo de halcón supondrá una indudable mejora en la eficiencia del proceso, no veremos los resultados deseados en el mismo. Los motivos son varios.

En primer lugar, en los partes de prensas de las últimas seis semanas no ha habido ningún paro en la prensa GT2 por contenedor defectuoso.

Esto no quiere decir que no se produzcan, simplemente ha coincidido así. Pero si antes de la introducción del Ojo de halcón se están produciendo pocos paros por contenedor, entendemos que con su introducción la probabilidad de paro será todavía menor y por tanto no habrá diferencia entre los Gráficos de Control Estadístico de Procesos y Gráficos de Pareto anteriores y posteriores al Ojo de halcón.

Sí puede haber diferencias en los Gráficos x-r porque los contenedores van a estar ahora sometidos a un control más estricto. Sin embargo, esto no lo vamos a poder saber con seguridad porque antes de la introducción de esta tecnología no teníamos forma de obtener con precisión las medidas del contenedor.

En segundo lugar, controlar una característica del proceso, como las dimensiones de los contenedores que se utilizan en el proceso de estampación, no significa necesariamente controlar el proceso. Si en vez de centrarnos en solucionar el problema del contenedor, hubiéramos probado con los fallos de la Prensa, Matricería y Transferización, el resultado quizá hubiera sido distinto. La regla de Pareto nos dice que el 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan; porque en el origen de un problema, siempre se encuentran un 20% de causas vitales y un 80% triviales. En los gráficos de Pareto hemos visto claramente que la prensa GT2 forma parte del grupo de causas vitales.

También es cierto que la solución del problema del contenedor en el proceso de la GT2 es más barata y quizá en estos momentos la única viable en comparación con las necesarias en la propia prensa GT2. En cualquier caso, no deberíamos mirar el coste, sino la rentabilidad de la inversión. Más aun en una fábrica como Volkswagen Navarra en la que la perspectiva empresarial es tan positiva.

Mi experiencia en la empresa me dice que llevar a cabo un proyecto de las características del Ojo de halcón no es sencillo y que todas las partes implicadas consigan sus objetivos es más complicado todavía. En el Ojo de halcón han participado Planificación y Optimización Logística, Procesos Prensas, Chapistería, STT Ingeniería y Sistemas y RESA. Esto requiere una capacidad organizativa y comunicativa de las empresas externas y áreas de Volkswagen Navarra enorme. Es esencial que se establezca un flujo multidireccional de la información, porque cuando la información ha fluido de unas organizaciones a otras, las actuaciones acordadas en las reuniones se han llevado a cabo con extrema rapidez.

Otro aspecto importante es el de la capacidad para solucionar problemas. Al tratarse de un proyecto que se ha construido desde cero, nos hemos encontrado con problemas que no habíamos contemplado. Por ejemplo, contábamos con que los puntos de medición de los contenedores fueran los agujeros que ya tenían en su estructura, pero algunos de los puntos, por su posición o por el tamaño, no los veían bien las cámaras del Ojo de halcón. Se plantearon dos soluciones a este problema: poner pegatinas o hacer agujeros nuevos. Finalmente, optamos por la segunda opción, la solución más conveniente para el largo plazo. Y aunque ha retrasado la puesta en marcha del proyecto, con lo que no hemos podido obtener observaciones reales para este trabajo, la organización y comunicación entre Volkswagen Navarra y RESA, la empresa externa que se ha encargado de hacer los agujeros y se encarga de la reparación de los contenedores, ha hecho que esta tarea sea lo más rápida posible.

Por tanto, con el Ojo de halcón lograremos que el proceso de estampación sea más eficiente. Ya que la parte del proceso relativa al contenedor se encontrará totalmente bajo control. Llevaremos a cabo una revisión de todos los contenedores antes de que puedan entrar en el proceso. De esta forma potenciamos el mantenimiento preventivo frente al correctivo. Además el personal de reparación de los contenedores contará con una información totalmente precisa y fiable de la desviación en las dimensiones del contenedor, con lo que se les facilitará su tarea. A pesar de esto, no veremos que los paros en el proceso de estampación de la GT2 disminuyan significativamente. Las paradas en el proceso por contenedor defectuoso no suponen una cuarta parte del total.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad. Gráficos de control por atributos [en línea]. Disponible en: [http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/graficos\\_de\\_control\\_por\\_atributos.pdf](http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/graficos_de_control_por_atributos.pdf)
- Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad. Gráficos de control por variables [en línea]. Disponible en: [http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/graficos\\_de\\_control\\_por\\_variables.pdf](http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/graficos_de_control_por_variables.pdf)
- Intranet de Volkswagen Navarra, S.A.
- Krajewski, L., Ritzman, L. y Malhotra, M (2008), Administración de Operaciones, Procesos y cadenas de valor, pp. 164-167, 168-169, 187-193
- Optimización y Estadística (SOE SC). Gráfico de control p, o de fracción defectuosa (Tamaño de muestra variable) [sitio web]. Disponible en: [http://optyestadistica.wordpress.com/2008/12/04/graficos-de-control-p-o-de-fraccion-defectuosa-tamano-de-muestra-variable/?preview=true&preview\\_id=600&preview\\_nonce=1c0efccac7](http://optyestadistica.wordpress.com/2008/12/04/graficos-de-control-p-o-de-fraccion-defectuosa-tamano-de-muestra-variable/?preview=true&preview_id=600&preview_nonce=1c0efccac7)
- Quees.info. Diagrama de Pareto [sitio web]. Disponible en: <http://www.quees.info/diagrama-de-pareto.html>
- Universitat Oberta de Catalunya. Capacidad de procesos [en línea]. Disponible en: [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_6.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_6.pdf)
- Volkswagen Navarra [sitio web]. Disponible en: <http://www.vw-navarra.es/portada/>
- Wikipedia. Medidas de tendencia centra [sitio web]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Medidas\\_de\\_tendencia\\_central](http://es.wikipedia.org/wiki/Medidas_de_tendencia_central)
- Wikipedia. Diagrama causa-efecto [sitio web]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_Ishikawa](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa)

## ANEXOS

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

Fuente: Optimización y Estadística (SOE SC) [sitio web]. Disponible en: <http://optyestadistica.wordpress.com/>