

EL CASO DE LAS LLANTAS DE ALUMINIO

**Caso práctico de aplicación
de técnicas estadísticas**

MANUAL DEL ALUMNO

*CON EL SOPORTE DEL PROGRAMA GROWTH DE LA COMUNIDAD EUROPEA Y DEL THEMATIC
NETWORK - PROENBIS – EC CONTRACT NUMBER G6RT-CT-2001-05059*

GREENFIELD RESEARCH

www.greenfieldresearch.co.uk

tony@grnflld.demon.co.uk

UPC. Technical University of Catalonia

www.upcq.net

xavier.tort@upc.es

The Aluminium Wheels Case

with the support of the growth programme of the European Community and the
Thematic Network - ProEnBIS - EC contract number G6RT-CT-2001-05059

Version ProENBIS 1.0 May 2003

EL CASO DE LAS LLANTAS DE ALUMINIO

Caso práctico de aplicación de técnicas de diseño de experimentos
en el proceso de mejora Seis Sigma

LA EMPRESA

La empresa ALINJECT se dedica fundamentalmente a la producción de llantas de aluminio para el sector automoción. Sus principales clientes son dos conocidos fabricantes de automóviles que no dejan de presionarle para que entregue mejor calidad, en series más cortas y a precios cada vez más bajos.

En los últimos años la empresa ha sufrido diversas fusiones y adquisiciones. A pesar de que los cambios en la gestión han ido parejos a los cambios de dueño, la planta de llantas ha mantenido una línea coherente en temas de calidad y está certificada según la ISO 9000 (en proceso de adaptación para la versión 2000) y otros referenciales propios del sector como la QS 9000 y la VDA. En este momento están estudiando la adopción de la ISO-TS1649-2002, el recientemente aparecido referencial unificado para el sector.

La calidad suministrada es buena, pero se consigue cumplir con las especificaciones a costa de reprocesar (volver a fundir) entre el 20 y el 25 % de las llantas fabricadas. Esto incrementa los costes de forma significativa y hace disminuir considerablemente la productividad, cosa que provoca con cierta frecuencia retrasos en las entregas con las consiguientes quejas y en ocasiones penalizaciones económicas.

Hace un año la empresa pasó a formar parte de un grupo multinacional cuyos propietarios dejaron claro que a menos que la planta consiguiese reducciones importantes en sus costes de operación, sería cerrada. Los costes de reprocesado se estimaban en 850.000 € anuales.

El Director de Producción que recientemente había atendido una presentación de Pro-ENBIS explicando las posibilidades y beneficios de los métodos estadísticos inició los esfuerzos para reducir el reprocesado de llantas.

EL PROCESO

El primer paso fue preparar un diagrama de flujo detallado del proceso, presentamos aquí una versión muy simplificada que junto con una breve explicación resulta suficiente para el ejercicio que se propone:

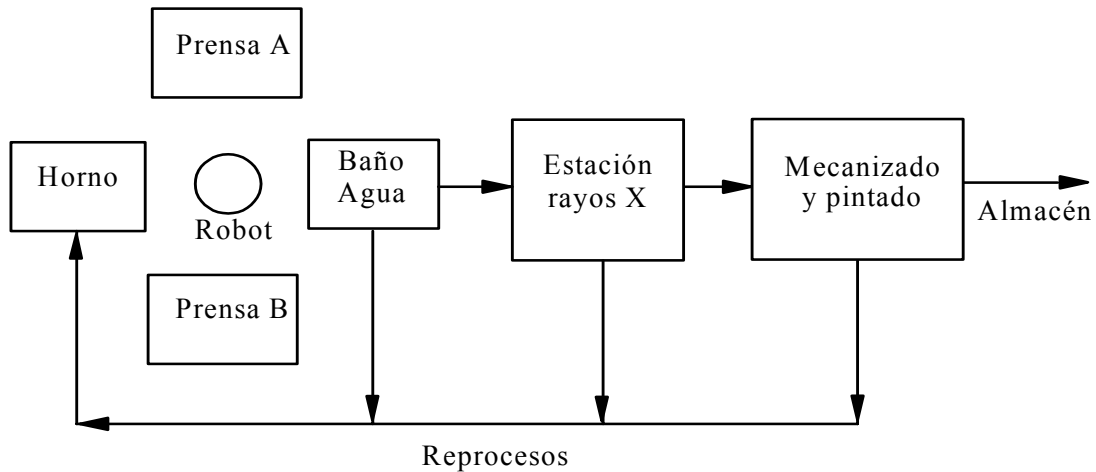


Figura 1: Esquema del proceso de fabricación de llantas

El proceso se inicia con la fusión del aluminio, que permanece en un horno a una temperatura de unos 650° C. Un robot recoge con una cubeta la cantidad necesaria de aluminio para llenar los moldes que se hayan situados en dos prensas próximas al horno. Una vez llena la parte inferior del molde, dejando caer el aluminio líquido, descende la parte superior cerrando herméticamente y aplicando una presión durante un cierto tiempo (inyección por gravedad). El molde es refrigerado por el exterior para que el aluminio se solidifique.

Transcurrido un cierto tiempo, el molde se abre automáticamente y un operario con ayuda de una grúa extrae la llanta, la sumerge en un baño de agua durante breves instantes y la somete a una primera inspección visual para detectar defectos por falta de llenado, de agarres y de material pegado. Si los hay, el operario la pone en la cinta de reprocesado que lleva las llantas de nuevo al horno donde son refundidas. En caso contrario, la sitúa en una cinta transportadora que la lleva hasta la estación de Rayos X donde se examina la porosidad. Esta estación de Rayos X es muy sofisticada y tras examinar la llanta desde diferentes posiciones, un sistema experto realiza una clasificación dando una puntuación de 0 a 10 (0 sería una llanta perfecta y 10 un queso de gruyere). La estación decide automáticamente si la llanta debe ser

reprocesada (puntuación superior a 3.75) o debe continuar el proceso hacia las estaciones de mecanizado y pintura donde, esporádicamente, son detectados nuevos defectos.

PRIMEROS ESFUERZOS DE MEJORA

Como ya ha quedado explicado, el proyecto se llevó a cabo por iniciativa del Director de Producción, con el objetivo de reducir los reprocesados en la línea de producción de llantas. Sus primeros pasos fueron reclutar un equipo de mejora al cual explicó los objetivos y que iban a basar todas sus decisiones en datos y por tanto realizar un uso intensivo de herramientas estadísticas.

El equipo realizó cuidadosamente el diagrama de flujo del proceso e identificó y tipificó los tipos de defecto que producían reprocesados. Con los datos disponibles y un primer esfuerzo de recogida de datos, anotando el motivo de todas las llantas de un determinado tipo reprocesadas durante un mes se pudo realizar el siguiente Diagrama de Pareto:

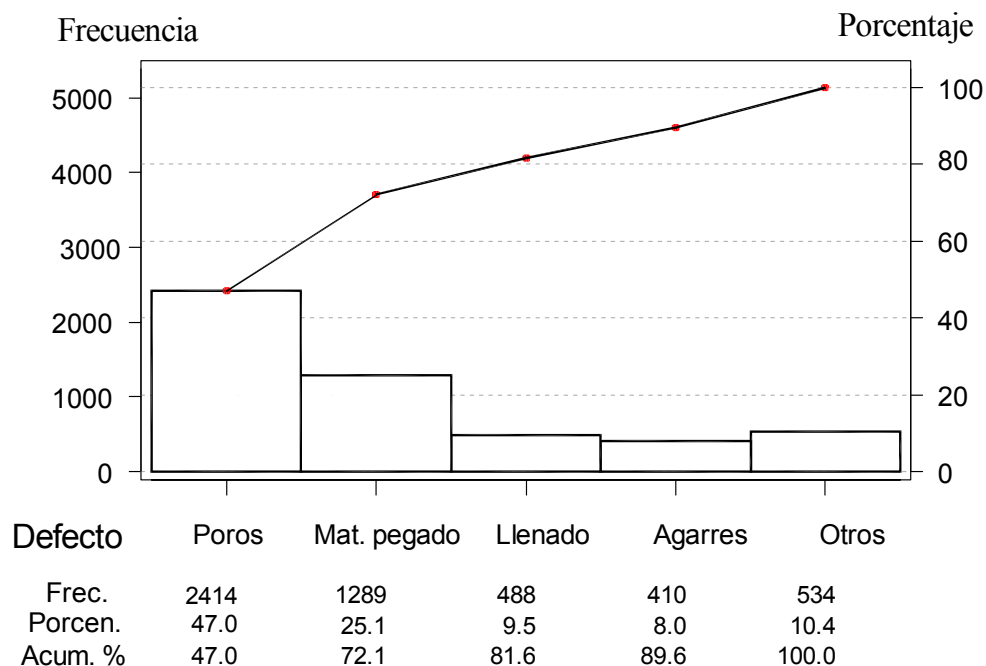


Figura 2: Diagrama de Pareto de las causas de reprocesamiento durante un mes tipo

A la vista del diagrama, resultaba claro que para reducir la Y de interés: porcentaje reprocesado, había que concentrarse en intentar reducir el número de defectos

debidos a porosidad y a material pegado. A efectos del ejercicio¹ que nos ocupa vamos a perseguir la reducción de defectos debidos a la porosidad y en adelante consideraremos la medida de la porosidad dada por el aparato de Rayos X como la Y de interés (su correlación con el reprocesado es obvia).

El siguiente paso fue elaborar un diagrama de causa-efecto (añadiendo para ello algunas personas al equipo de trabajo), que sirvió de guía para hallar los factores controlables del proceso (variables X). El diagrama construido fue el siguiente:

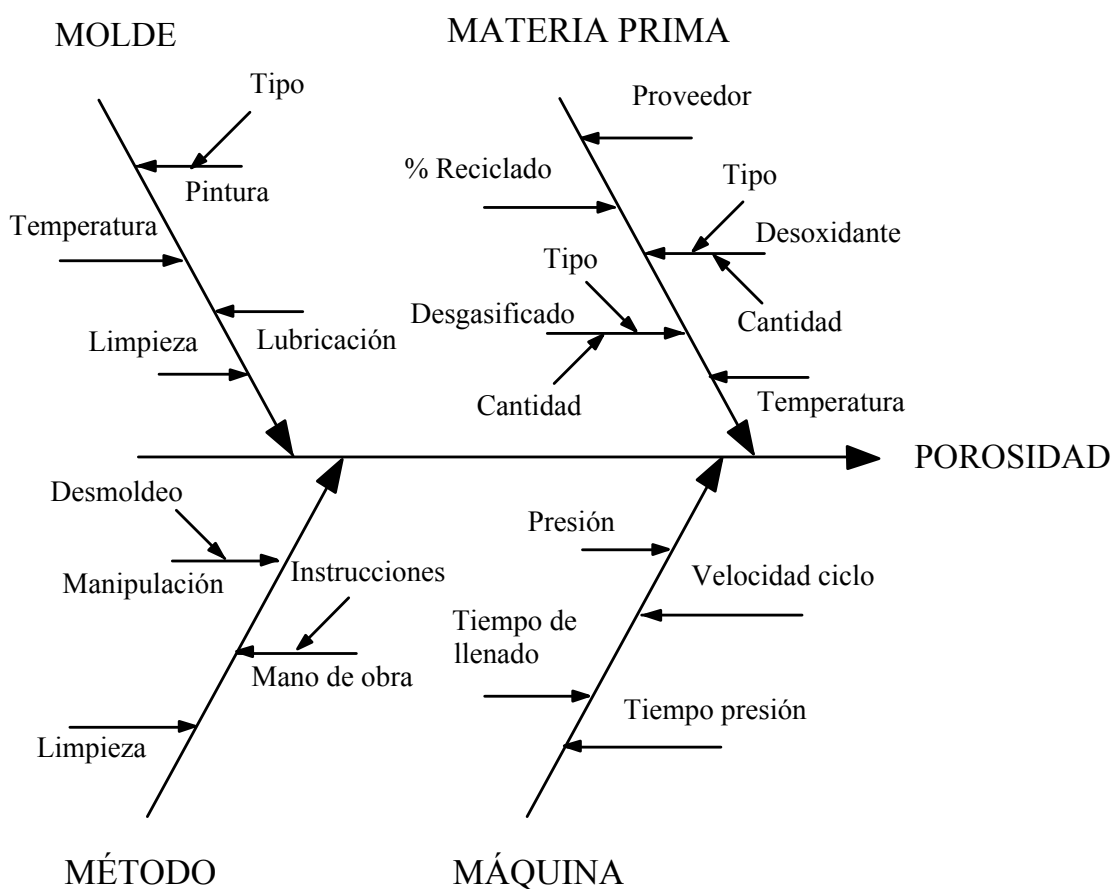


Figura 3: Diagrama causa-efecto sobre los factores que pueden influir en la porosidad

Tras un análisis de los datos existentes y posterior discusión se llegó a la conclusión de que los factores (X) que más podían afectar a la aparición de poros en las llantas

¹ El ejercicio de los “Filtros de Aceite” contempla una situación más compleja, en la que el proceso tiene varios pasos y diversas respuestas de interés.

eran 6 y que para confirmar y cuantificar su relación con la porosidad era necesario experimentar con ellos.

INFORMACIÓN ADICIONAL

El posible rango de variación de cada uno estaba limitado por las condiciones de fabricación y por los conocimientos técnicos y experiencia del equipo de trabajo.

La siguiente tabla refleja las conclusiones del equipo:

FACTORES	RANGO	
Prensa	A	B
Temperatura Al	620	700
Presión Inyección	800	1000
Pintura Molde	Tipo A	Tipo B
Reciclaje	0%	20%
Desgasificación	No	Si

Las condiciones actuales de funcionamiento, descritas en los procedimientos anexos al manual de calidad son:

Prensa	Ambas
Pintura molde	Tipo A
Temperatura Al	640°C
Presión molde	900 kg/cm ²
Reciclaje	Si (20 %)
Desgasificación	Si

Con lo que se obtiene un índice de porosidad (promedio de 10 llantas) de 3.6.

PRESENTACIÓN. EJERCICIO 1: Manejo del Simulador

Objetivo: Aprender a manejar el simulador

Tareas:

- Familiarizarse con el manejo de las variables (nótese que son las mismas que se han visto en la descripción del proceso)
- Explorar las opciones
- Asegurarse de que se saben transferir los datos desde el simulador al Excel, el Minitab o su software favorito
- Genere 5 respuestas en las condiciones de operación actuales. Transfiera los datos a su software estadístico y confirme que la porosidad media de sus datos es similar a la proporcionada por el proceso a largo plazo
- En caso de duda consulte con su instructor

ESCUCHAR AL PROCESO. EJERCICIO 2: Análisis Exploratorio de Datos

Objetivo: Aprender el máximo posible sobre el proceso a base de gráficos

Tareas: Produzca dos conjuntos de llantas (dos respuestas) en cada una de las siguientes condiciones:

Pintura	Temperatura	Presión	Reciclado	Desgasificación	Num. de pruebas
A	640	900	10	Si	5
A	638	911	8	Si	2
A	637	914	11	Si	2
B	641	909	12	Si	2
B	636	912	9	No	2
A	638	906	15	No	2
A	644	904	14	Si	2
A	639	914	11	Si	2
A	638	897	9	No	2
A	643	903	16	No	2
A	640	906	13	Si	2
B	637	911	10	Si	2
A	642	899	10	Si	2
A	644	905	7	Si	2
B	635	916	9	Si	2
A	639	920	12	No	2

- Transfiera los datos al Excel o un paquete estadístico
- Estos datos representan la producción de una semana
- Realice gráficos para “explorar” y entender el comportamiento del proceso, especialmente con respecto al índice de porosidad
- Prepare una presentación de 5 minutos con sus hallazgos

ESCUCHAR AL PROCESO. EJERCICIO 3: Regresión

Objetivo: Hallar modelo que expliquen y a ser posible ayuden a prever el comportamiento del proceso con respecto al índice de porosidad

Tareas (utilizando los datos generados en el Ejercicio 2):

- Ajustar un modelo de regresión simple (una variable x) utilizando como x la variable que usted crea que es la más adecuada para predecir el índice de porosidad
- Identifique el “mejor” modelo (en su opinión) para la porosidad, utilizando tantas variables x como considere necesarias
- Prepare una presentación de 10 minutos con sus hallazgos, especialmente:
 - Los modelos elegidos y sus razones para elegirlos. ¿Son útiles para prever el índice de porosidad?, ¿porqué?
 - Cuestiones aprendidas: variabilidad explicada, selección de variables y colinealidad, análisis de residuos, ...

HABLAR CON EL PROCESO. EJERCICIO 4: Comparación de dos tratamientos (t-test)

Objetivo: Aprender a diseñar y analizar experimentos para comparar tratamientos

Tareas: Utilizando un máximo de 20 pruebas decida si la Prensa A y la B producen llantas con un índice de porosidad similar o una de ellas es mejor que la otra

- Decida cómo va a utilizar las 20 pruebas, ¿en qué condiciones de las variables?, si durante las pruebas se produjesen cambios en las condiciones “ambientales”, ¿afectaría esto a sus conclusiones?
- Realice las pruebas, analice los datos y tome una decisión
- ¿Si pudiese realizar 20 pruebas más en qué condiciones las haría?. Hágalas y revise su decisión
- Prepare una presentación de 10 minutos incluyendo:
 - Cómo ha utilizado las 20 primeras pruebas y sus conclusiones
 - Cómo ha utilizado las 20 pruebas siguientes y sus conclusiones
 - Cuestiones aprendidas: importancia de diseñar las pruebas, p-valor, influencia del tamaño de la muestra, ...

HABLAR CON EL PROCESO. EJERCICIO 5: Diseño de experimentos

Objetivo: Aprender a diseñar y analizar diseños factoriales

Tares: Hallar las mejores condiciones para operar la planta para minimizar el índice de porosidad.

Información adicional

El equipo dispone de un máximo de 30 experimentos (aunque el director de producción está a favor del proyecto, desea realizar el mínimo de pruebas posible por si estas interfiriesen con su ya muy apretado programa de producción).

Procedimiento sugerido:

- Decida con cuantas variables experimentará y cuantas pruebas quiere realizar.
- Decida los niveles para las variables y el diseño
- Imprima la matriz de diseño (experimentos a realizar)
- Utilice el simulador para obtener las respuestas
- Utilice estos resultados para calcular los efectos, juzgar su significación y, si lo considera necesario vuelva al primer punto siguiendo una estrategia secuencial.
- Prepare una presentación de 15 minutos explicando:
 - La estrategia seguida en el diseño de su primer experimento y los resultados obtenidos. ¿Qué variables ha utilizado?, ¿A qué niveles? Justifique sus decisiones.
 - Explique, de forma similar (estrategia y resultados) su segundo experimento.
 - Si ha realizado una tercera tanda de experimentos, sumarice el progreso de sus hallazgos.
 - Conclusiones finales: explique como las variables del proceso afectan el índice de porosidad de las ruedas. Exponga cuales son en su opinión las mejores condiciones para operar el proceso y el índice que porosidad que cree que se obtendrá.

CARACTERIZANDO Y CONTROLANDO EL PROCESO. EJERCICIO 6: Estudios de Capacidad

Objetivo: Entender los estudios e índices de capacidad

Tareas:

- Realice 50 pruebas en las condiciones operativas históricas. Transfiera los datos a su paquete estadístico. Compruebe la estabilidad del proceso y la normalidad de los datos (¿Es el modelo normal adecuado para describirlos?). Calcular la capacidad del proceso (índice unilateral ya que sólo hay límite de especificación superior).
- Realice 50 pruebas en las condiciones operativas que usted a considerado óptimas y repita el análisis. ¿Ha mejorado la capacidad del proceso? Prepare una presentación de 10 minutos explicando sus hallazgos.

CARACTERIZANDO Y CONTROLANDO EL PROCESO. EJERCICIO 7: Control Estadístico de Procesos

Objetivo: Entendiendo la diferencia entre límites de tolerancia (especificaciones) y límites de control

Tares:

- Sitúe el límite superior en 3.75 (especificaciones). Coloque los factores a los niveles que usted considere óptimos según sus hallazgos previos y produzca 50 llantas con la causa asignable 1 activada. ¿Cuánto ha tardado en detectar con ese límite que algo está ocurriendo en el proceso?
- Transfiera los datos a su paquete estadístico y reinicie el simulador
- Repita el ejercicio para las causas asignables 2, 3 y 4
- Produzca 50 llantas en sus condiciones óptimas. Transfiera los datos a su paquete estadístico y utilícelo para calcular límites de control. Vuelva a activar el simulador, introduzca los límites calculados y produzca 50 llantas más con la causa asignable 1 activada. ¿Cuánto ha tardado en detectar con ese límite que algo está ocurriendo en el proceso?
- Repita el ejercicio para las causas asignables 2, 3 y 4
- Transfiera los datos a su paquete estadístico y utilícelos para comparar los dos tipos de límite.
- Utilice los datos para caracterizar el comportamiento del proceso bajo el efecto de cada una de las cuatro causas asignables
- Prepare una presentación sobre las ventajas y desventajas de los límites de control ilustrada con sus hallazgos en este ejercicio.