

EL CASO DE LAS LLANTAS DE ALUMINIO

MANUAL DEL INSTRUCTOR

Tony Greenfield (tony@grnfld.demon.co.uk)
Greenfield Research

Lluís Marco (Lluís.Marco@upc.es)
Technical University of Catalonia (UPC)

Xavier Tort- Martorell (Xavier.Tort@upc.es)
Technical University of Catalonia (UPC)

*Con el soporte del programa growth de la Comunidad Europea y del Thematic Network -
ProENBIS – EC contract number G6RT-CT-2001-05059*

Caso de las Llantas de Aluminio

- **PRESENTACION: Producto, Proceso y Simulador**
- **ESCUCHANDO AL PROCESO: Análisis Exploratorio de Datos y Regresión**
- **HABLANDO CON EL PROCESO: Comparaciones (t-test, ANOVA), Diseño de Experimentos**
- **CARACTERIZANDO Y CONTROLANDO EL PROCESO: Estudios de Capacidad y Control Estadístico de Procesos**

Caso de las Llantas de Aluminio

Uso de los ejercicios:

- Estos ejercicios pueden ser utilizados en combinación con charlas conceptuales y explicaciones teóricas a personas con pocos o ningún conocimiento estadístico previo, o como curso autocontenido cuando se utiliza con personas más versadas en el tema.
- El instructor puede tomar sus propias decisiones sobre los ejercicios a realizar (en general son independientes entre sí aunque se pueden relacionar entre ellos dando así la visión de la estadística como conjunto de técnicas relacionadas)
- Además de los expuestos hay muchos otros usos posibles del caso, desde ejercicios para ilustrar otros métodos hasta pedir a los asistentes que expliquen el caso con el DMAIC como framework.

Puesta en escena:

- Aunque los ejercicios se pueden realizar individualmente, se aconseja que trabajen en grupos de entre dos y cuatro personas
- Los tiempos asignados para cada ejercicios son orientativos y las necesidades reales pueden variar dependiendo de los conocimientos previos, tamaño y número de equipos, nivel de profundidad deseado, ... En general los tiempos reales tenderán a ser mayores que los recomendados en esta guía.
- Es conveniente que los alumnos dispongan de “portátiles” que se puedan conectar fácilmente a un cañón de forma que puedan incluir en sus presentaciones proyecciones de sus gráficos o outputs estadísticos para su estudio y discusión en grupo

El papel del instructor:

- El instructor debe actuar como facilitador, hacer preguntas provocadoras y ayudar a los equipos a concentrarse en el aprendizaje sin perder tiempo en detalles o cuestiones de procedimiento

**La compañía ALINJECT,
produce llantas de aluminio
para el sector del automóvil**



Caso de las Llantas de Aluminio

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.

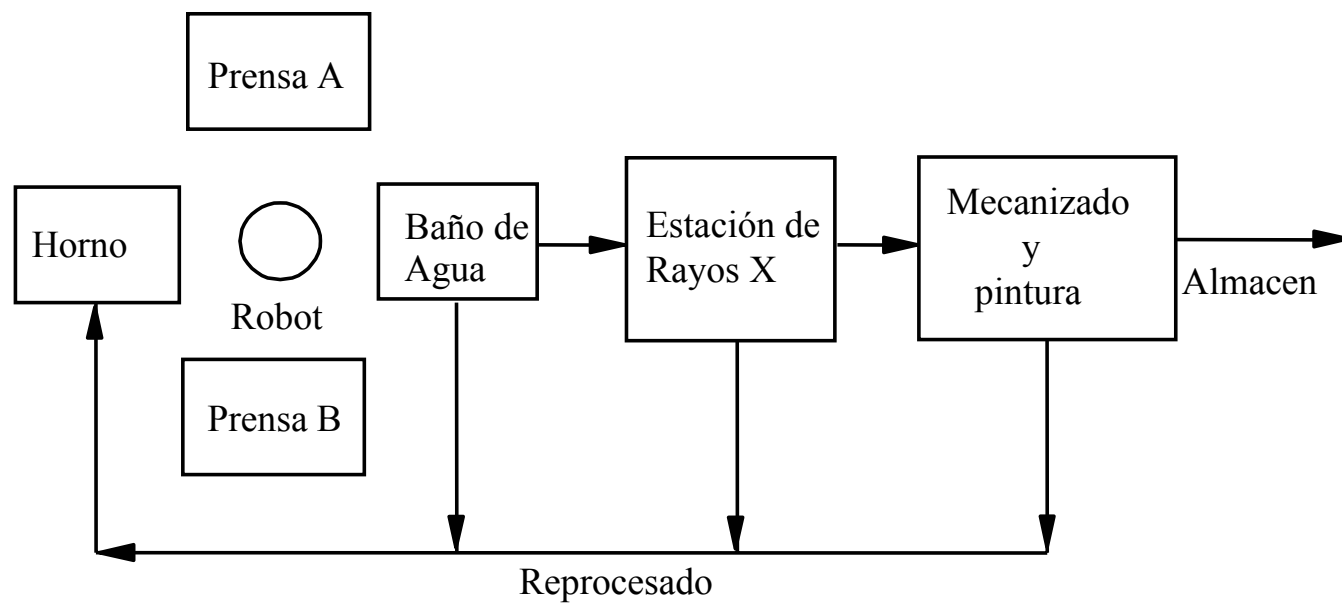
En los últimos años la empresa ha sufrido diversas fusiones y adquisiciones. A pesar de que los cambios en la gestión han ido parejos a los cambios de dueño, la planta de llantas ha mantenido una línea coherente en temas de calidad y está certificada según la ISO 9000 (en proceso de adaptación para la 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.

PRESENTATION: Process



Caso de las Llantas de Aluminio

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, desciende 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.

PRESENTACIÓN: Manejo del Simulador

Definición de las condiciones de la prueba

Resultado

Run	Press	Paint	Temp	Pressure	Recycle	Degas	Defects
1	Both	A	660	900	10	Yes	2.84
2	Both	A	660	900	10	Yes	2.88
3	Both	A	660	900	10	Yes	2.89
4	Both	A	660	900	10	Yes	3
5	Both	A	660	900	10	Yes	3.04
6	Both	A	660	900	10	Yes	2.83

Caso de las Llantas de Aluminio

Utilización del simulador

Utilice el simulador para obtener los índices de porosidad de sus pruebas.

1. Seleccione las condiciones de la prueba utilizando los botones de la parte izquierda.
2. Clique en Ejecutar la Prueba para obtener el resultado de la prueba (los resultados tienen variabilidad, repetir la prueba en las mismas condiciones producirá dos resultados diferentes)
3. Las condiciones de las pruebas con sus resultados son almacenados en la tabla de la derecha. Utilice el botón Salvar Resultados para copiar los datos en el portapapeles y estar de esta forma preparados para ser copiados en su software de análisis favorito.

Objetivo: Aprender a manejar el simulador

Tareas:

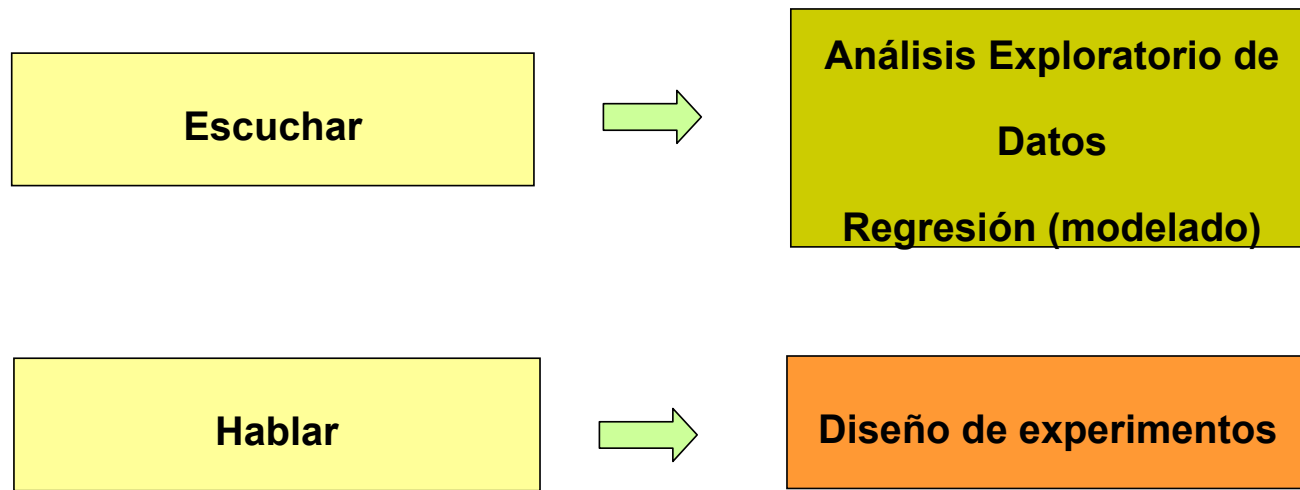
- **Familiarizarse con el manejo de las variables (nótese que son las mismas que se han visto en la descripción del proceso)**
- **Explorar las opciones**
- **Asegurarse de que se saben transferir los datos desde el simulador al Excel, el Minitab o su software favorito**
- **Genere 5 respuestas en las 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**

Caso de las Llantas de Aluminio

(10-15 minutos)

- Se supone que los participantes ya están familiarizados con su software de análisis
- Asegúrese de que los participantes han entendido el proceso, las variables y la respuesta.
- Asegúrese de que los participantes entienden como hacer funcionar el simulador
- Asegúrese de que los participantes saben transferir datos del simulador a su software de análisis
- Pregunte sobre las medias obtenidas. Comente sobre la existencia de variabilidad (al realizar dos veces la misma prueba no se obtiene las dos veces el mismo resultado)

ESCUCHAR vs. HABLAR CON EL PROCESO



Caso de las Lantas de Aluminio

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

Caso de las Llantas de Aluminio

45 - 60 minutos + presentaciones y discusión general

Dependiendo de la duración del workshop y experiencia de los participantes el instructor puede decidir guiar la exploración de los participantes con preguntas abiertas y algunas indicaciones o sugerencias.

Se recomienda comenzar por este ejercicio para que los participantes se familiaricen con los datos. Es conveniente tener en cuenta que debido a la variabilidad y las exploraciones parciales las conclusiones de los participantes pueden no coincidir.

Explicación de los datos:

Los datos representan una semana de producción. En la empresa están convencidos de que desgasificar proporciona un menor porosidad y por ello siempre que disponen del aditivo para desgasificar lo utilizan. Lo mismo ocurre con la pintura A. Con respecto a las otras variables, se mantienen más o menos fijas (los operarios las mueven ligeramente reaccionando, con criterios diversos, a variaciones e incidencias) alrededor de los valores considerados óptimos. En ocasiones se atribuyen altos índices de porosidad a elevados niveles de reciclaje en las producciones precedentes.

Posibles preguntas o pistas:

Tipos de gráficos y sus usos:

Variabilidad: Histograma

Relaciones y variabilidad: Gráficos de correlación

¿Qué variables influyen en el índice de porosidad?, ¿Cómo influyen?

¿Están relacionadas entre sí las variables de proceso?

- **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**

Caso de las Lantas de Aluminio

Posibles hallazgos y puntos a resaltar:

- Variabilidad.
- La respuesta está relacionada con la Temperatura, la Presión y el Desgasificado
- Pídale que confirmen sus hallazgos realizando 3 o 4 pruebas adicionales. Probablemente se encontrarán con algunas sorpresas.
- Enfatice el hecho de que los datos obtenidos en condiciones normales de operación del proceso presentan en muchas ocasiones correlaciones entre las variables de proceso (X). Enfatice asimismo el hecho de que en muchas ocasiones los rangos de variación de las variables están limitados como consecuencia del control y que por tanto es imposible prever sus efectos cuando su rango de variación es mayor.

Este ejercicio puede ser utilizado por si mismo o como paso previo para el ejercicio sobre Regresión

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, ...**

Caso de las Llantas de Aluminio

45 - 90 minutos + presentaciones y discusión general

Dependiendo de la duración del workshop y experiencia de los participantes el instructor puede:

- Utilizar sólo la primera pregunta, relativa a regresión simple
- Limitar la segunda parte del ejercicio a la utilización de únicamente dos variables
- Pedir a los participantes que generen nuevas variables a base de transformaciones o interacciones (productos de variables). Recuerde que el Desgasificado y la Presión tiene una fuerte interacción y que la Temperatura presenta un efecto cuadrático, aunque no es detectable a través del conjunto de datos proporcionado
- Pedir a los participantes que generen datos con la Prensa B y utilicen una variable indicadora (dummy) para medir la diferencia entre prensas

Posibles preguntas o pistas:

Recordar a los participantes que utilicen sus hallazgos del Análisis Exploratorio de Datos

En la primera pregunta la mayoría de participantes elegirán la Temperatura como variable regresora (X). Dígales que ajusten dos rectas, una para los datos con Desgasificado y otra para los datos sin Desgasificado (el efecto del desgasificado debería ser uno de sus hallazgos del análisis exploratorio. Pregunte por las implicaciones de ajustar una sola línea a todos los datos sin estratificar según el desgasificado.

Recuérdelos la importancia de analizar los residuos y de realizar gráficos con las posibles variables regresoras

Posibles hallazgos y puntos a resaltar:

La dificultad de construir buenos modelos con datos provenientes de las operaciones habituales

Peligros de la regresión

- Relaciones causa-efecto vs. relación (colinealidad)
- Variables en teoría importantes que no entran en el modelo por tener restringido (controlado) su campo de variación

Importancia del análisis de residuos.

Este ejercicio puede ser utilizado por si mismo o como paso previo para el ejercicio sobre Diseño de Experimentos. En ese caso haga que los participantes resuman sus hallazgos y hágalos ver que ese es el primer paso de la estrategia secuencial de avance del conocimiento que supone todo experimento.

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, ...

Caso de las Llantas de Aluminio

20 - 30 minutos + presentaciones y discusión general

Dependiendo de la duración del workshop y experiencia de los participantes el instructor puede:

- Pida a los participantes que generen datos con las variables niveles prefijados para todos los factores excepto la Temperatura, que en este caso se pedirá a los asistentes que la consideren como un factor no controlado del que se desconoce su existencia y su influencia en el proceso, que se incrementará un grado cada prueba. Los datos así generados (sin aleatorizar) pueden conducir a conclusiones erróneas. Esto puede servir para ilustrar la necesidad de aleatorizar y el tipo de protección que proporciona.
- Realizar solamente la parte del ejercicio y descartar la influencia del tamaño de la muestra en el p-valor y la discusión sobre interacciones que aparecerá si les hace hacer las 20 pruebas adicionales en condiciones diferentes de las variables de proceso (con los primeros 20 datos las interacciones no son detectables)
- Puede extender el ejercicio incorporando como tratamientos la Presión o la Temperatura (elija tres o cuatro niveles para cada una de ellas) y practicar de esta forma ANOVA con más de dos tratamientos

Posibles preguntas o pistas:

Comentar la existencia de factores no controlables que pueden afectar la respuesta y que su existencia puede ser desconocida por el experimentador

Enfatizar la utilización de gráficos antes de proceder a análisis formales

Preguntar por las condiciones (hipótesis) que deben cumplirse para poder utilizar el t-test

Posible hallazgos y puntos a resaltar:

Las pruebas de comparación de datos tienen dos partes diferenciadas:

- Diseño y recogida de los datos.
- Análisis de los datos.

Importancia de aleatorizar: es difícil llegar a conclusiones correctas con datos pobres (*garbage in, garbage out*).

Los análisis formales deben servir más como confirmación de lo que se ha visto en el Análisis Exploratorio que como herramienta principal

Este ejercicio puede ser utilizado por si mismo o como paso previo para el ejercicio sobre Diseño de Experimentos. En ese caso haga que los participantes resuman sus hallazgos y hágalos ver que ese es el primer paso de la estrategia secuencial de avance del conocimiento que supone todo experimento.

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

Caso de las Llantas de Aluminio

120 - 180 minutos + presentaciones y discusión general

Dependiendo de la duración del workshop y experiencia de los participantes el instructor puede:

- Incluir la Prensa (A o B) como variable.
- Pedir a los participantes que hagan experimentos utilizando su intuición (seguramente realizarán pruebas variando los factores de uno en uno (one at a time experiments)).
- Guiar a los participantes sugiriendo que utilicen un diseño 2^{5-1} al comienzo (la experiencia enseña que los grupos que comienzan con ese diseño suelen llegar a conclusiones mejores más rápidamente).
- Ayudar a los participantes en la selección de niveles

Posibles preguntas o pistas:

No se cansen de preguntar: “¿Qué habéis aprendido sobre el proceso de las llantas hasta ahora?”

Recuérdelos la necesidad de utilizar la estrategia secuencial y por tanto reservar parte del presupuesto para pruebas futuras

Fuércelos a interpretar los resultados, especialmente las interacciones

- **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, sumalice 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.**

Caso de las Llantas de Aluminio

Posibles hallazgos y puntos a resaltar:

Al finalizar el proceso experimental los asistentes deben haber descubierto como cada factor afecta a la respuesta:

- La Prensa afecta a la respuesta, pero no interaccione con ningún otro factor (los asistentes pueden haber descubierto esto durante el ejercicio 4 o el t-test). El hecho de que no interaccione facilita la posibilidad de excluir la prensa como factor para simplificar el ejercicio.
- La Pintura y el Reciclaje son factores inertes.
- La Presión y el Desgasificado interaccionan.
- La Temperatura tiene un efecto cuadrático.

Comente la importancia de la selección de niveles y de la estrategia secuencial. Enfátice como la información adquirida sobre el proceso en los ejercicios previos ha sido útil para planificar el experimento.

Este ejercicio puede ser utilizado por si mismo o tras la realización de alguno o varios de los anteriores. Se recomienda haber realizado como mínimo el ejercicio 2 (Análisis Exploratorio de Datos).

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.**

Caso de las Llantas de Aluminio

20 - 30 minutos + presentaciones y discusión general

Se recomienda realizar este ejercicio a continuación del de diseño de experimentos. Si no es el caso deberá proporcionar a los asistentes unas condiciones de operación para que puedan realizar la segunda parte del ejercicio. Por ejemplo: Ambas Prensas, Temperatura de 680, Presión de 800 y Desgasificando, el resto de variables no afectan. Alternativamente puede realizar únicamente la primera parte del ejercicio.

Posibles preguntas o pistas:

¿Qué pasaría si realizásemos el estudio de capacidad con sólo 25 observaciones?.

Puede definir un límite de especificación inferior (aunque, obviamente, en este caso no tiene ningún sentido. Explicarlo a los asistentes), de manera que se puedan calcular y explicar el Cp y el Cpk. Con este objetivo didáctico se puede utilizar como límite de especificación inferior 2.7 y cambiar el superior a 3.3 (una buena explicación para el nuevo límite superior es que los clientes se han vuelto más exigentes con el tiempo).

Puede complementar la comparación entre el antes y el después con un t-test.

Si dispone de tiempo suficiente puede pedir a los participantes que generen datos en sus condiciones óptimas sólo con la prensa A, sólo con la B y que vean que utilizar las dos prensas a la vez incrementa la variabilidad.

Posibles hallazgos y puntos a resaltar:

Relacionar los índices de capacidad con la media y la desviación tipo

Para los interesados en Seis Sigma relacionar los índices de capacidad con las sigmas del proceso

Resaltar la importancia de chequear la normalidad de los datos

Resaltar la importancia de tener en cuenta la forma de recoger los datos según el propósito. Capacidad a largo y a corto plazo

Comentar la implicaciones de las especificaciones unilaterales en el cálculo de índices

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**

Caso de las Llantas de Aluminio

45 - 120 minutos + presentaciones y discusión general

Dependiendo de la duración del workshop y experiencia de los participantes el instructor puede:

- Discutir los diferentes tipos de gráfico de control.
- Con tiempo suficiente y una cierta manipulación de datos, estos se pueden agrupar en subgrupos y comentar el concepto e implicaciones de controlar subgrupos
- Explicar la técnica del PreControl como alternativa si lo que se desea es controlar con respecto a las especificaciones
- Incluir una o varias causa asignables . La causa asignable 1 produce un salto en el índice de porosidad (el salto se produce a intervalos aleatorios), la causa asignable 2 produce una tendencia creciente en el índice de porosidad, la 3 aumenta gradualmente la variabilidad y se estabiliza cuando esta es el doble que al inicio, y la causa asignable 4 provoca oscilaciones en el índice de porosidad.
- La causa asignable 4 resulta especialmente indicada para explicar gráficos de medias móviles ya que el patrón que produce se ve mucho más claro con una media móvil de rango tres o cuatro.
- Utilizar el hecho de que el nivel de porosidad es diferente para las prensas A y B para que los participantes detecten este cambio por medio de los gráficos.
- Utilizar la prensa como un criterio para definir subgrupos y explorar sus consecuencias
- Pedir a los participantes que imaginen la existencia de un límite de especificación inferior. Uno útil para fines didácticos es 2.8 y cambiar además el límite superior a 3.1. Pídale que produzcan en las mejores condiciones halladas y que ajusten el proceso de acuerdo con los efectos que ellos saben que tienen los factores (conocimientos adquiridos en los ejercicios previos). Reaccionar a las señales de fuera de control con esos límites llevará a sobre ajustar el proceso. Discutir las causas y consecuencias del sobre ajuste. Se pueden posteriormente utilizar los mismos datos definiendo límites de control estadísticos y comparar el comportamiento global del proceso en los dos casos.

- **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.**

Bibliografía

- **George E. P. Box and Patrick Y. T. Liu. (1999). “Statistics as a Catalyst to Learning by Scientific Method Part I – An Example”. *Journal of Quality Technology Vol. 31*, pp. 1-15.**
- **George E. P. Box and Patrick Y. T. Liu. (1999). “Statistics as a Catalyst to Learning by Scientific Method Part II – A Discussion”. *Journal of Quality Technology Vol. 31*, pp. 16-29.**
- **Ellis R. Ott, Edward G. Schilling and Dean V. Neubauer (2000). *Process Quality Control: Troubleshooting and Interpretation of Data*. McGraw-Hill Professional Publishing**
- **Albert Prat, Xavier Tort-Martorell, Pere Grima and Lourdes Pozueta (1997). *Métodos estadísticos. Control y mejora de la calidad*. Edicions UPC, Barcelona.**