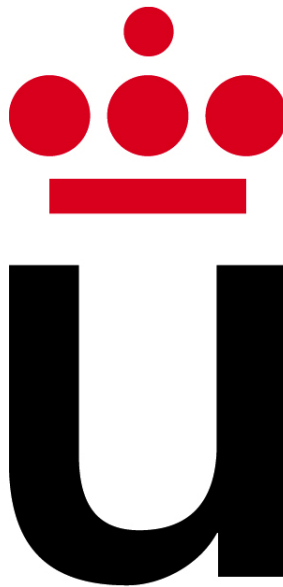


EJEMPLO PRÁCTICO

Calidad Seis Sigma

PROCESO DE PRODUCCIÓN DE HELICÓPTEROS

José Ignacio Escribano



MÓSTOLES, 26 DE NOVIEMBRE DE 2015

Índice de figuras

1.	Diagrama del proceso actual de alto nivel	3
2.	Diagrama del proceso actual	6
3.	R&R del sistema de medición	8
4.	Resultado del test de Anderson-Darling	9
5.	Análisis de capacidad del proceso actual	10
6.	Diagrama de causas y efectos para el tiempo de vuelo	11
7.	Resultados del test de normalidad para los datos del sistema de medida	12
8.	Diagrama de efectos principales para el tiempo de vuelo	12
9.	Diagrama de efectos principales para el tiempo según el tipo de prototipo	13
10.	Capacidad del proceso según el tipo de prototipo	14
11.	Histograma según el tipo de prototipo	15
12.	Diagrama de serie temporal según el prototipo	16
13.	Diagrama de puntos para el tiempo de vuelo	16
14.	Diagrama de cajas para el tiempo de vuelo	17

Índice de tablas

1.	Número de unidades diarias por tareas	2
2.	Tres prototipos de helicópteros	4
3.	Tiempos de vuelo por prototipo y tiempo de vuelo	4
4.	Tiempos de vuelo del prototipo 2 para calcular la capacidad del proceso	8

Índice

1. Definición	1
2. Medida	3
3. Análisis gráfico	11
3.1. Análisis numérico	17
4. Mejora	17
4.1. Optimización del diseño y del proceso de fabricación	17
5. Control	17
6. Conclusiones	17

1. Definición

La empresa Parasafe S.A. se dedica al diseño, producción y venta de helicópteros de papel.

Estos helicópteros se utilizan para realizar estudios de aerodinámica en diseño de túneles de viento, separadores ciclónicos y sistemas de ventilación especiales.

El proceso de fabricación de estos helicópteros consta de cuatro etapas básicas: el aprovisionamiento de materia prima, el montaje, la prueba de vuelo y el etiquetado final previo al envío al cliente.

El montaje consta de dos subprocesos: el corte del papel y el pegado del mismo. El corte consiste en separar el borde del patrón y realizar los cortes señalados; el pegado consiste en unir los bordes del cuerpo con cinta adhesiva corriente. El proceso se hace de forma manual.

La prueba de vuelo consiste en lanzar cada helicóptero, en posición vertical, desde una altura de 2 metros, y midiendo el tiempo que tarda en caer al suelo. Se considera que el helicóptero pasa la prueba si el tiempo de vuelo es mayor o igual a 1 segundo. La prueba se realiza con un cronógrafo manual, capaz de medir 1/100 segundos.

El equipo de producción de Parasafe S.A. consta de 10 personas, que trabajan un único turno de 8 horas/día. El reparto de empleados entre las diferentes tareas es el siguiente:

- Etapa de inspección: 1 personas más medio turno de otra
- Etapa de corte: 2 personas más medio turno de otra
- Etapa de pegado: 1 persona más medio turno de otra
- Etapa de la prueba de vuelo: 3 personas
- Etapa de etiquetado: 1 persona más medio turno de otra

El tiempo que se emplea en la fabricación de un helicóptero se desglosa a continuación:

- Etapa de inspección: 35 segundos/unidad
- Etapa de corte: 55 segundos/unidad
- Etapa de pegado: 35 segundos/unidad
- Etapa de la prueba de vuelo: 55 segundos/unidad
- Etapa de etiquetado: 35 segundos/unidad

Los costes de producción se describen a continuación:

1. Costes fijos

- Salario de los empleados
 - 1200 €/mes por operario
 - 1900 €/mes por técnico
- Alquiler y gastos de mantenimiento: 4000 €/mes

2. Coste del papel (tamaño DIN A4)

- Suministrador A (buena calidad): 0.8 €/hoja
- Suministrador B (mala calidad): 0.6 €/hoja

3. Coste de inspección: 0.55 €/unidad

4. Coste del corte: 1.5 €/unidad

5. Coste del pegado: 0.45 €/unidad

6. Coste de la prueba de vuelo: 1.5 €/unidad

7. Coste del etiquetado: 0.55 €/unidad

El precio de venta actual es de 6 €/unidad.

Teniendo en cuenta los tiempos diarios dedicados a cada tarea (sumando a todos los empleados) y el tiempo de realización de cada tarea en cada unidad se tiene que las unidades que se pueden realizar en cada tarea son las siguientes:

Tabla 1: Número de unidades diarias por tareas

Tarea	Tiempo diario (en horas)	Tiempo en realizar tarea por unidad (en segundos)	Número de unidades diarias
Inspección	12	35	1 234
Corte	20	55	1 309
Pegado	12	35	1 234
Prueba vuelo	24	55	1 570
Etiquetado	12	35	1 234

A la vista de la Tabla 1 tenemos una producción de 1 234 unidades diarias, que al mes son 37 028 unidades.

Estas 37 028 suponen unos ingresos de 222 168 € mensuales.

Los costes mensuales asociados son de 220 400 €.

Por tanto, el beneficio mensual es de 1 768.2 €.

Los objetivos generales del proyecto son los siguientes:

- El tiempo de vuelo debe ser mayor de 1 segundo. Sólo 1 de cada 2000 helicópteros podrá no cumplir este requisito de calidad.
- El coste de producción debe ser mínimo

2. Medida

En primer lugar, representamos el diagrama del proceso actual. Comenzamos con el diagrama de alto nivel para finalizar con el diagrama completo.

Para representar el diagrama del proceso de alto nivel, debemos identificar las entradas (inputs) y salidas (outputs) del proceso. De las primeras identificamos a los empleados, la materia prima (el papel en el que vienen los helicópteros) y las herramientas. De las segundas identificamos solamente al helicóptero. La Figura 1 el diagrama de alto nivel del proceso actual.



Figura 1: Diagrama del proceso actual de alto nivel

Para representar el diagrama del proceso actual, debemos identificar las fases de las que consta el proceso. Éstas son: aprovisionamiento de materia prima, montaje, prueba de vuelo y etiquetado.

En la fase de aprovisionamiento tenemos como entrada el papel que nos proporcionan, donde un empleado revisa cada hoja midiendo el ancho del patrón y descarta los que no cumplan el criterio (12 ± 0.1 cm).

En la fase de montaje, tenemos como entrada el papel inspeccionado de la fase anterior donde un empleado corta y pega el helicóptero, que es nuestra salida de esta fase. Dentro de esta fase, tenemos dos subprocesos: el corte y el pegado. En el primero, un empleado separa el borde del patrón y realiza los cortes; y el segundo, donde el empleado une los bordes con cinta adhesiva.

En la fase de prueba de vuelo, tenemos como entrada nuestro helicóptero ya construido. En esta fase, un empleado mide el tiempo de vuelo del helicóptero desde una altura de dos metros de alto, atendiendo a los siguientes parámetros: largo del ala, largo del cuerpo, ancho del cuerpo, si lleva o no lleva clip, si lleva cinta o si lleva cinta en el cuerpo. Con el tiempo de vuelo, se desechan aquellos que no cumplen el tiempo de vuelo impuesto por el cliente (> 1 segundo).

En la última fase, la de etiquetado, un empleado etiqueta los helicópteros (nuestra entrada en esta fase) y descarta los que no cumplen el tiempo de vuelo especificado por el cliente.

El diagrama completo del proceso actual se puede ver en la Figura 2

Una vez que hemos definido el diagrama de proceso actual, estamos en disposición de analizar el sistema de medida actual con la técnica R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad).

Para ello, definimos tres prototipos de helicópteros (Tabla 2) con distintas características de diseño y medimos el tiempo de vuelo dos veces por cada uno de los tres operarios (A, B y C).

Tabla 2: Tres prototipos de helicópteros

	Prototipo N°1	Prototipo N°2	Prototipo N°3
Clip	Sí	Sí	No
Celo ala	Sí	Sí	Sí
Celo cuerpo	Sí	Sí	Sí
Largo ala	8	6.5	9.5
Largo cuerpo	8	8	6.5
Ancho cuerpo	5	5	5

Por lo que debemos realizar 18 mediciones del tiempo de vuelo. Estos tiempos de vuelo se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 3: Tiempos de vuelo por prototipo y tiempo de vuelo

Prototipo	Operario	Tiempo
3	B	2.271
1	B	1.391
3	B	2.365

Continúa en la página siguiente

Tabla 3 – Continúa de la página anterior

Prototipo	Operario	Tiempo
2	C	1.025
1	A	1.392
2	B	0.854
1	A	1.47
3	A	2.467
3	C	2.026
2	B	0.799
1	C	1.409
2	A	1.152
3	A	2.335
1	C	1.267
1	B	1.041
2	A	1.318
2	C	0.679
3	C	2.133

Con esta información ya estamos en disposición de analizar el sistema de medida. Para ello, introducimos los datos en Minitab y ejecutamos el comando para analizar el sistema de medida.

La salida de Minitab es la siguiente:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Prototipo	2	5,36825	2,68412	94,7562	0,000
Operario	2	0,25410	0,12705	4,4851	0,095
Prototipo * Operario	4	0,11331	0,02833	1,5141	0,277
Repetibilidad	9	0,16838	0,01871		
Total	17	5,90403			

α para eliminar el término de interacción = 0,05

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Prototipo	2	5,36825	2,68412	123,875	0,000
Operario	2	0,25410	0,12705	5,863	0,015

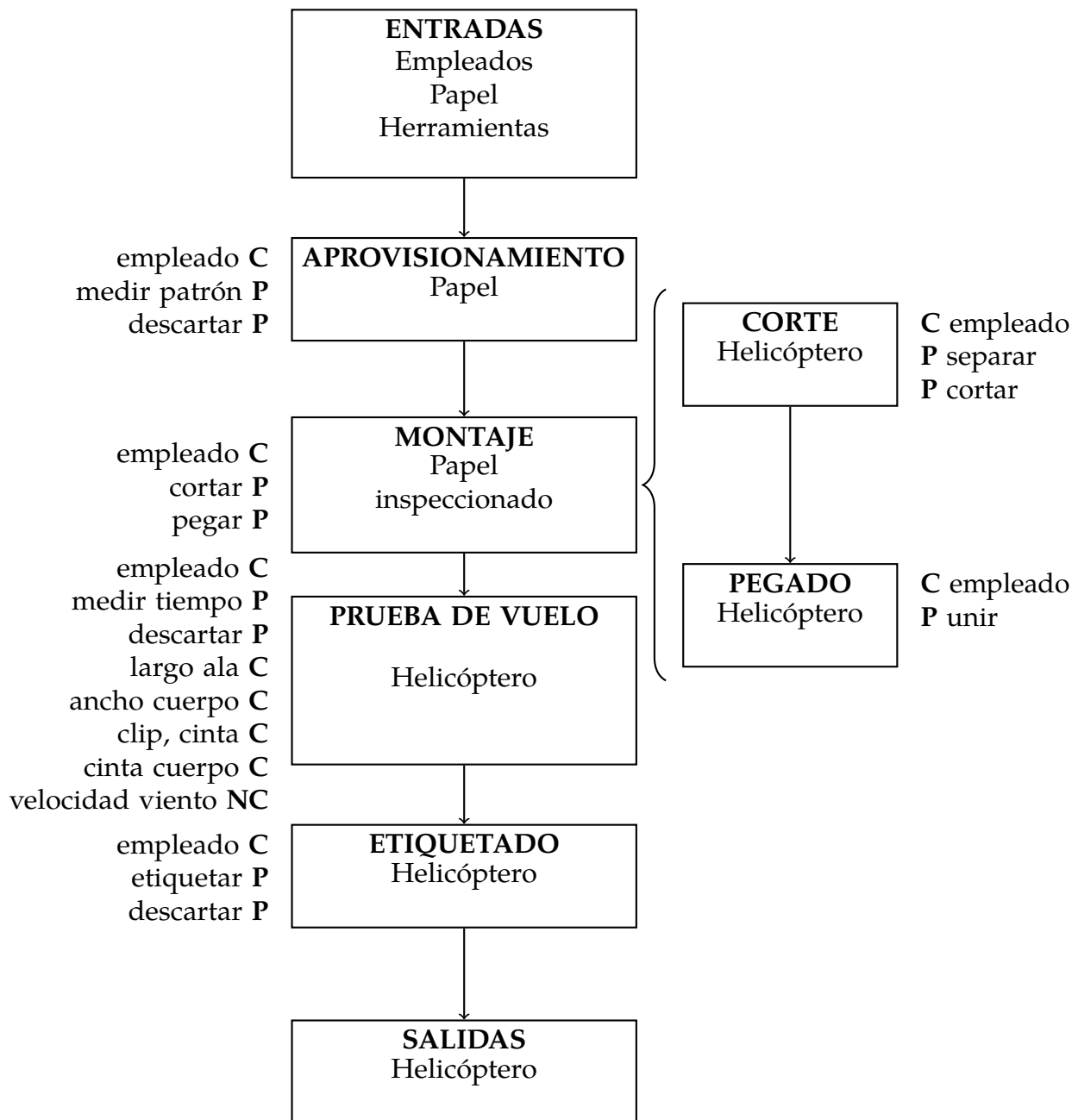


Figura 2: Diagrama del proceso actual

Repetibilidad	13	0,28168	0,02167
Total	17	5,90403	

R&R del sistema de medición

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0,039231	8,12
Repetibilidad	0,021668	4,49
Reproducibilidad	0,017563	3,64
Operario	0,017563	3,64
Parte a parte	0,443743	91,88
Variación total	0,482974	100,00

%Var.

Desv.Est.	Var. estudio	estudio	
Fuente	(DE)	(6 × DE)	(%VE)
Gage R&R total	0,198069	1,18841	28,50
Repetibilidad	0,147200	0,88320	21,18
Reproducibilidad	0,132527	0,79516	19,07
Operario	0,132527	0,79516	19,07
Parte a parte	0,666140	3,99684	95,85
Variación total	0,694963	4,16978	100,00

Número de categorías distintas = 4

De la salida se desprende que el sistema de medición es bastante bueno, ya que el R&R total es del 8.12 %, inferior al 10 %. Además, el número de categorías distintas es 4.

Además, vemos que la repetibilidad es del 4.49 % y la reproducibilidad es del 3.64 % (sólo aporta Operario y no hay interacción entre Prototipo y Operario). La aportación Parte a Parte es del 91.88 %.

En la Figura 3 se puede observar el informe del sistema de medición de forma más gráfica. Se puede observar en la gráfica Componentes de variación lo comentado anteriormente: el R&R total del sistema es muy bajo, por debajo del 10 % (concretamente del 8.12 %). En gráfica R por Operario se observa que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control. En la gráfica Xbarra por Operario, se observa que la mayoría de puntos se encuentran fuera de control. En la gráfica Tiempo por Prototipo, vemos que el prototipo 3 destaca notablemente con respecto a los otros 2 en el tiempo de vuelo. Este prototipo parece que es el mayor tiempo de vuelo ofrece de los tres prototipos. En la

gráfica de Tiempo por Operario, parece que el operario influye poco o muy poco en el tiempo total de vuelo de nuestro helicóptero. Por último, en la gráfica de Interacción Prototipo*Operario, parece que hay poca interacción, ya que hay poca diferencia en el tiempo de vuelo según el prototipo y el operario.

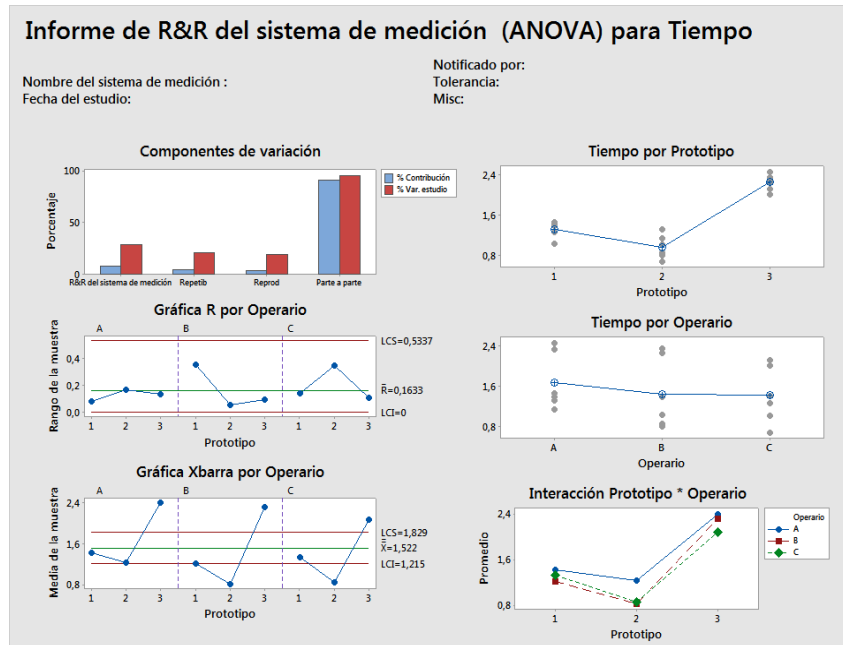


Figura 3: R&R del sistema de medición

Ahora, procedemos a realizar el análisis de capacidad del proceso actual. Para ello, tomamos 20 medidas del tiempo de vuelo para un mismo prototipo. En nuestro caso, el prototipo 2. Los tiempos de vuelo recogidos se pueden ver la Tabla 4.

Tabla 4: Tiempos de vuelo del prototipo 2 para calcular la capacidad del proceso

Tiempo
1.150
1.574
1.210
1.471
1.234
1.294
1.471
1.057

Continúa en la página siguiente

Tabla 4 – Continúa de la página anterior

Tiempo
1.138
1.110
0.971
1.067
1.072
1.199
1.177
1.305
1.287
1.188
0.964
1.134

Antes de calcular la capacidad del proceso, comprobamos si los datos están distribuidos de acuerdo a una distribución normal. Para ello, aplicamos el test de Anderson-Darling en Minitab. Los resultados de este test se pueden ver en la Figura 4.

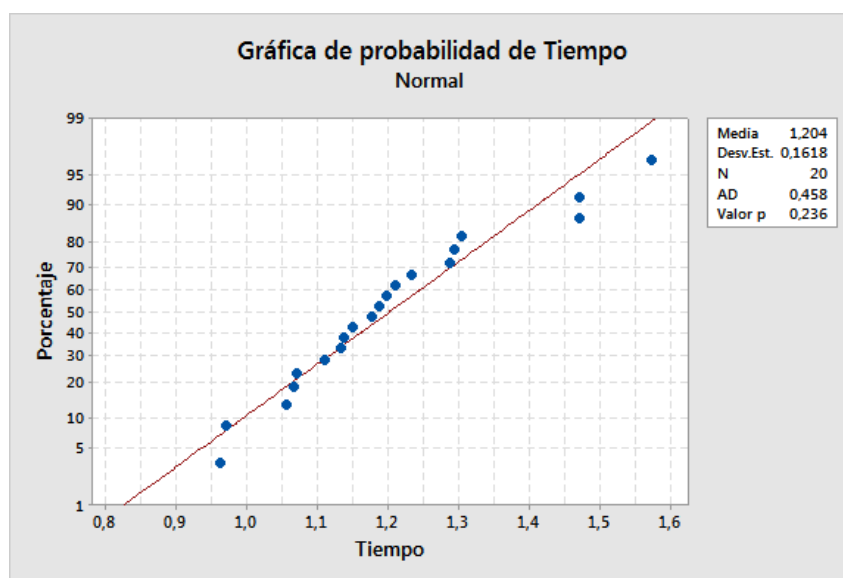


Figura 4: Resultado del test de Anderson-Darling

El test arroja un p-valor de 0.236, mayor que 0.05. Por lo que no tenemos evidencia para rechazar la hipótesis de que los datos siguen una distribución normal.

Ya estamos en disposición de calcular la capacidad del proceso actual. El resultado del análisis de capacidad se puede ver en la Figura 5.

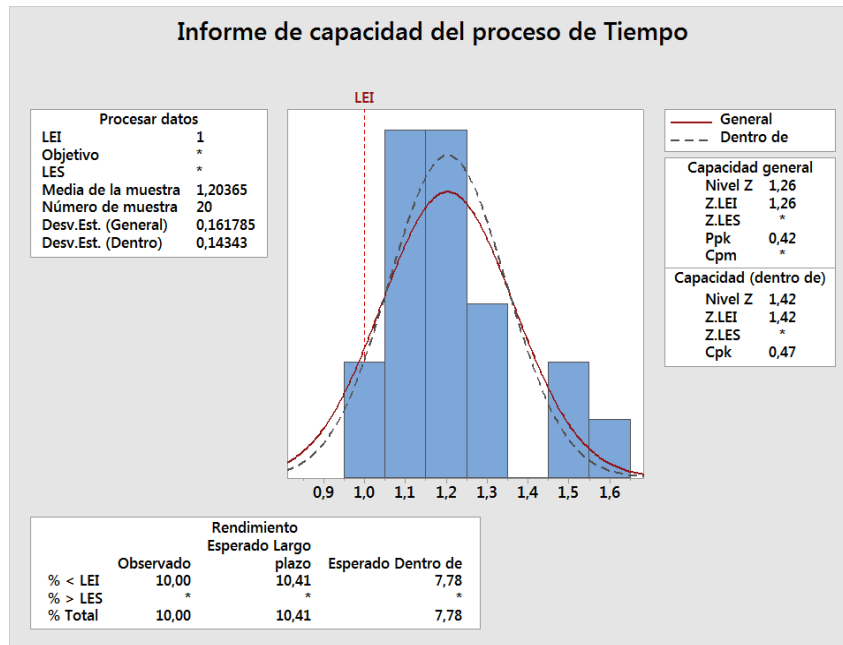


Figura 5: Análisis de capacidad del proceso actual

Vemos que nuestro proceso tiene 1.26 sigmas, por lo que tenemos un gran margen de mejora en el proceso actual. Si siguiéramos con este proceso a largo plazo, nuestro proceso mejoraría hasta las 1.42 sigmas, insuficiente para los objetivos que marca el cliente.

Antes de analizar las causas que influyen en el tiempo de vuelo de nuestro helicóptero, debemos determinar las causas que pueden afectar al tiempo de vuelo. Para ello, aplicamos la regla de las 6 M's (mediciones, material, personal, medio ambiente, métodos y máquinas)

En el grupo de las mediciones identificamos como causas el largo de ala, el ancho del cuerpo y largo del cuerpo. En material identificamos la calidad y el peso. En personal, la experiencia, la motivación y la formación. En el medio ambiente, la velocidad del viento. En métodos la calidad del corte, del doblado y del pegado y la prueba de vuelo. Por último, en máquinas identificamos la edad y el mantenimiento. Todo esto se puede ver de forma gráfica en el diagrama de causas y efectos o diagrama de Ishikawa (Figura 6).

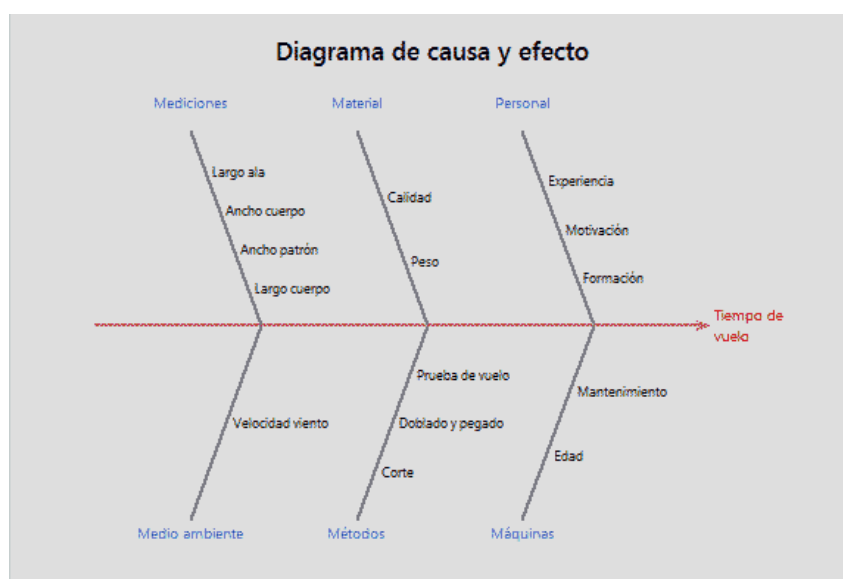


Figura 6: Diagrama de causas y efectos para el tiempo de vuelo

3. Análisis gráfico

Con las causas definidas que pueden causar las variaciones en el tiempo de vuelo de nuestros helicópteros, procedemos a analizar tanto desde un punto gráfico como numérico. Sólo nos centraremos en las condiciones de diseño (largo del ala, largo del cuerpo, ancho del cuerpo, si tiene clip o no, etc) y los operarios. Las causas como el mantenimiento de las herramientas o la edad las consideramos irrelevantes para el tiempo de vuelo.

Con los datos recogidos para el sistema de medición (Tabla 3) y para la capacidad del proceso (Tabla 4) analizamos de forma gráfica estos datos con la ayuda de Minitab.

En primer lugar, analizamos la normalidad de los datos del sistema de medición. Aplicamos el test de Anderson-Darling con Minitab. Los resultados de este test se pueden ver en la Figura 7.

Podemos observar que el p-valor es 0.059, mayor que 0.05, por lo que no hay evidencias para rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal.

Ahora, podemos comprobar los efectos de cada factor (prototipo y operario) sobre el tiempo de vuelo. Para ello, aplicamos un diagrama de efectos principales. La Figura 8 muestra los resultados de este diagrama.

Se puede observar que entre los tiempos medios de vuelo para cada uno de los operarios (A, B, C) no hay una gran diferencia, lo que hace indicar que el operario que realice el

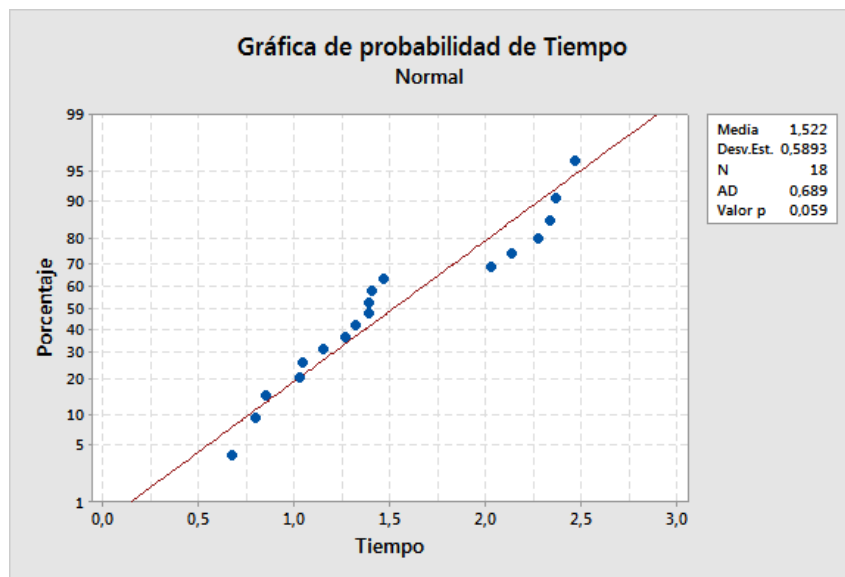


Figura 7: Resultados del test de normalidad para los datos del sistema de medida

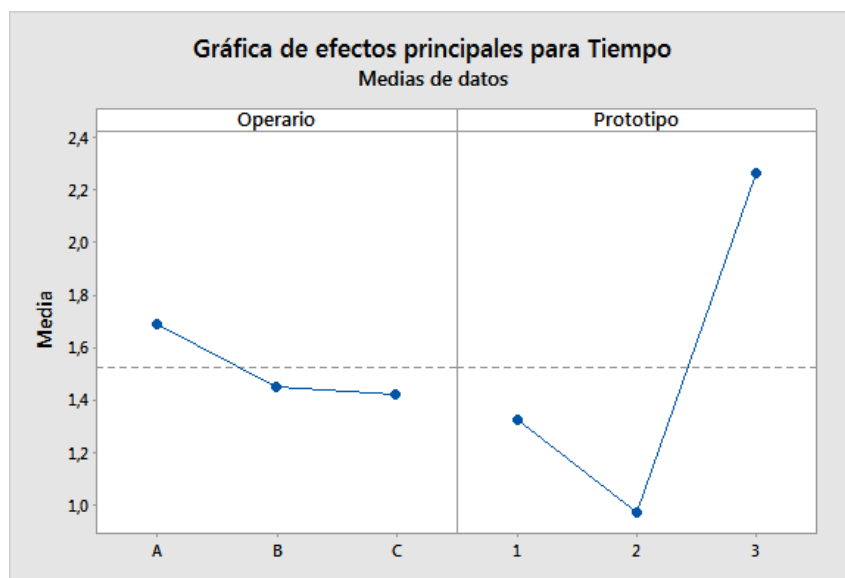


Figura 8: Diagrama de efectos principales para el tiempo de vuelo

helicóptero apenas influye en el tiempo de vuelo. Sin embargo, en los tiempos medios según el prototipo, existen grandes diferencias de tiempo. El que más sobresale es el prototipo número 3, que parece indicar que la combinación de las variables de diseño (longitud del ala, longitud del cuerpo, anchura del cuerpo, con clip o sin clip, etc) parece influir bastante en el tiempo de vuelo.

A continuación, analizamos el tiempo de vuelo según el prototipo realizando gráficas de efectos principales como en el caso anterior (Figura 9).

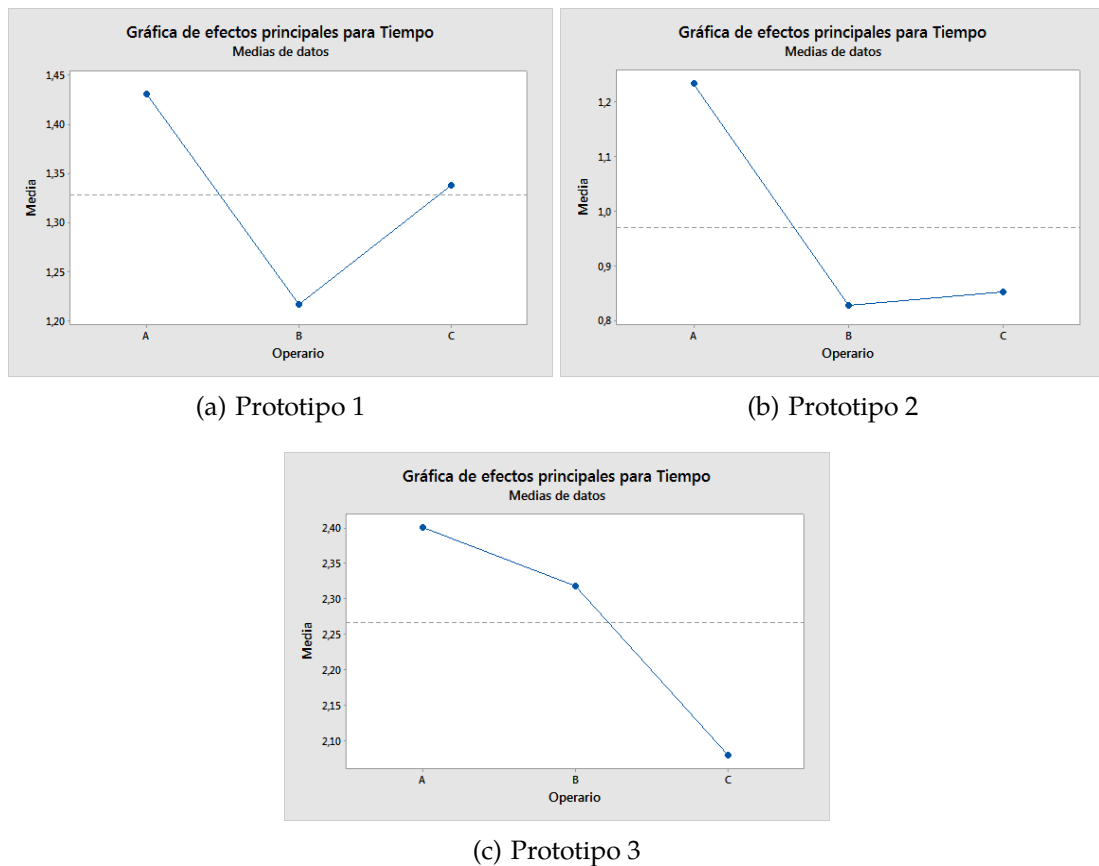


Figura 9: Diagrama de efectos principales para el tiempo según el tipo de prototipo

Observamos que los tiempos según el tipo de prototipo, sí parece estar influido por el operario que realizó el helicóptero. En el caso del prototipo 1, el mayor tiempo medio se consiguió con el operario A, aunque todos cumplen con el objetivo mínimo del tiempo de vuelo fijado por el cliente. En el prototipo 2, de nuevo, el mayor tiempo de vuelo se consigue con el operario A, pero con los operarios B y C no se consigue el objetivo mínimo de 1 segundo de vuelo. Por último, con el prototipo 3, se cumple de sobra con el objetivo mínimo de tiempo de vuelo, y con el operario A se realizan los mejores tiempos de vuelo. Parece que el operario A es el que mejor realiza los helicópteros, ya que con él se consiguen los mejores tiempos de vuelo (independientemente del prototipo elegido).

A continuación, analizamos la capacidad de cada uno de los procesos si sólo fabricáramos un solo tipo de prototipo (Figura 10).

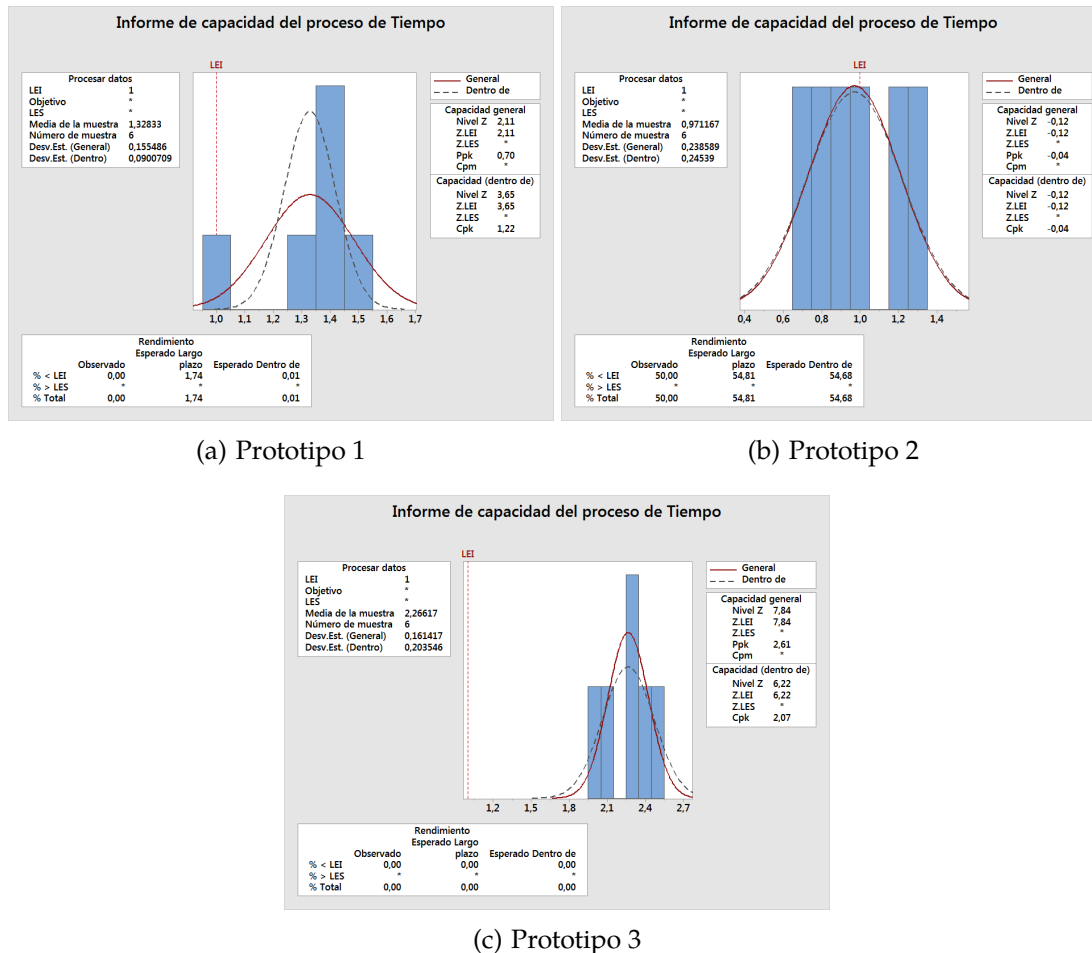


Figura 10: Capacidad del proceso según el tipo de prototipo

Si sólo fabricáramos prototipos como el número 1, nuestro proceso mejoraría hasta las 2.11 sigmas a corto plazo. En el caso del prototipo 2, tenemos un proceso de -0.12 sigmas. Debido al pequeño tamaño muestral $n = 6$, consideraremos esta capacidad como no válida, y usaremos el nivel obtenido en la Figura 5. Recordar que la capacidad del proceso se calculó usando sólo prototipos del segundo tipo. El tercer prototipo, tiene una capacidad de 7.84 sigmas, que cumple con los objetivos de calidad. Es de esperar que para obtener la calidad pedida por el cliente, necesitemos fabricar los helicópteros más parecidos a las especificaciones del tercer prototipo que a los de los otros dos.

A continuación, realizamos un histograma para cada uno de los tipos de prototipo (Figura 11).

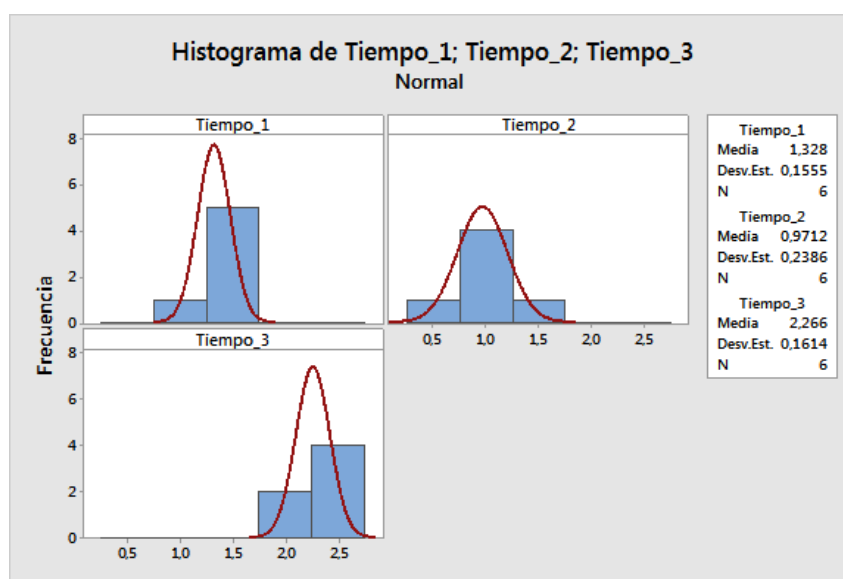


Figura 11: Histograma según el tipo de prototipo

Se puede observar como el prototipo que obtiene mayores tiempos es el número 3, superando los dos segundos de vuelo, el tiempo del prototipo 1 se sitúa en torno a 1.4-1.5 segundos de vuelo, mientras que el prototipo 2 tiene una media que no llega al segundo, y por tanto, no cumple el tiempo mínimo fijado por el cliente. Aunque, hay que tener en cuenta que estamos con una muestra muy pequeña $n = 6$.

A continuación realizamos una gráfica de serie temporal, según el tipo de prototipo (Figura 12).

Vemos que el prototipo 3 es el que mayor tiempo de vuelo tiene, superando con mucha diferencia a los otros dos prototipos. El prototipo 1 mantiene el tiempo de vuelo mucho más uniforme, siempre por encima de los límites de calidad especificados. Por el contrario, el prototipo 2 no llega al límite de calidad en la mayoría de las veces.

Si representamos ahora el diagrama de puntos (Figura 13), vemos que existen dos tiempos de vuelos: los que son superiores a los 2 segundos y los que son inferiores a 1.5 segundos. Los primeros corresponden a los del prototipo 3, mientras que los segundos vienen de los prototipos 1 y 2.

También observamos 3 datos que están por debajo del tiempo especificado. Éstos se corresponden con los obtenidos del prototipo 2.

Si, por último, representamos un diagrama de cajas (Figura 14), vemos que el prototipo 3 es el que mayor tiempo de vuelo tiene, aunque con el operario C es con el que menor tiempo se consigue. Los tiempos del prototipo 1 varían poco, salvo en el caso del operario

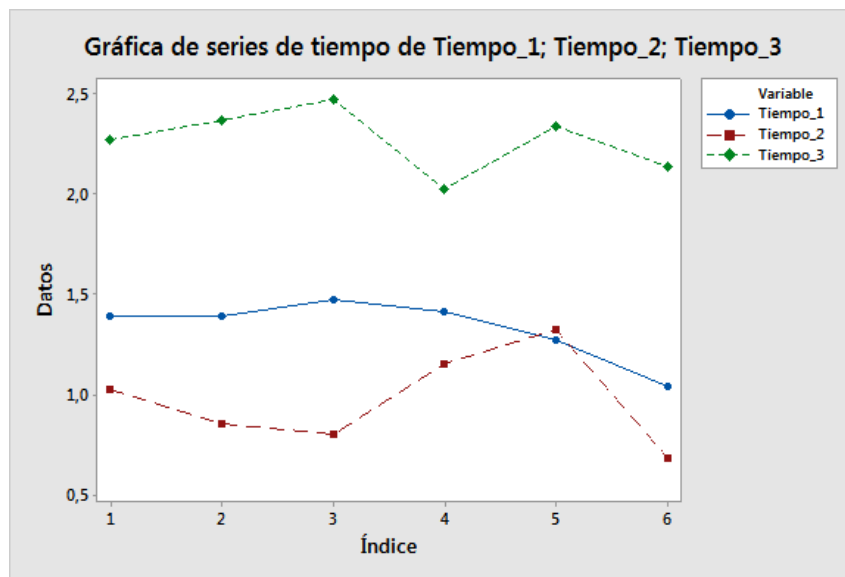


Figura 12: Diagrama de serie temporal según el prototipo

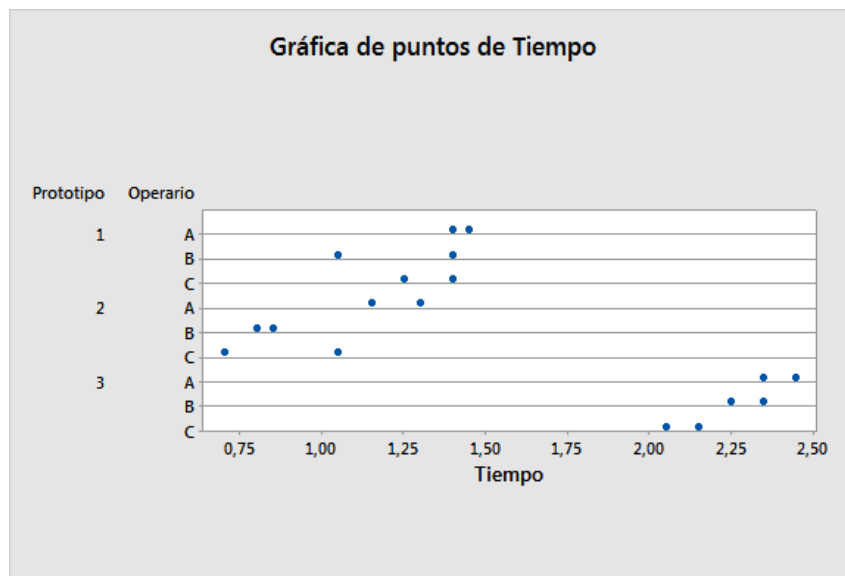


Figura 13: Diagrama de puntos para el tiempo de vuelo

B que sus tiempos tienen mayor amplitud, aunque dentro del límite marcado. Los tiempos del prototipo 2, con el operario A, están dentro de los límites especificados. Con el operario B, están todos fuera y los del operario C hay algunos que están dentro y otros fuera.

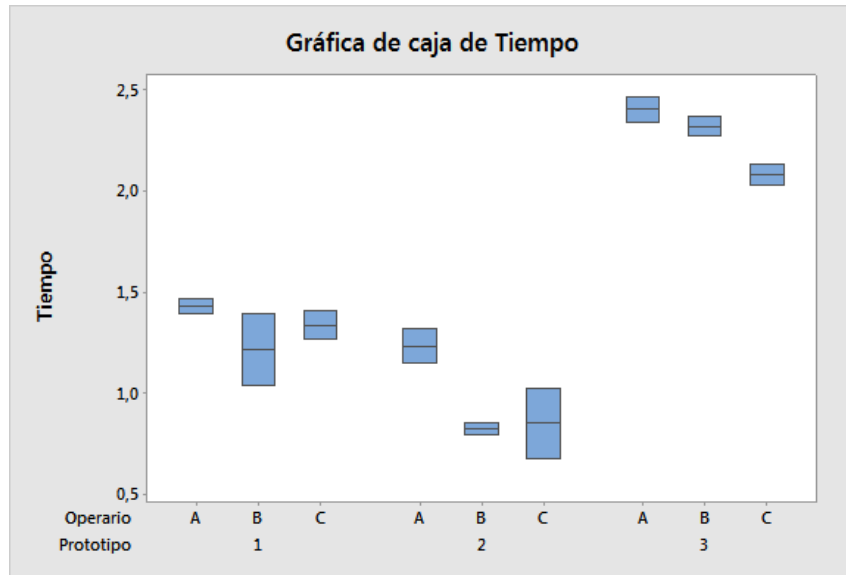


Figura 14: Diagrama de cajas para el tiempo de vuelo

3.1. Análisis numérico

4. Mejora

4.1. Optimización del diseño y del proceso de fabricación

5. Control

6. Conclusiones