

Lección 8.3
Taller de diseño de experimentos: Helicóptero

Alfaomega

Alfaomega-UAQro CIMAT

2017

Contenido

- Ejemplo de un proyecto en varias etapas, éste fue propuesto por el equipo de trabajo de G. Box.
- Ilustra el desarrollo de un proyecto que se puede realizar por grupos de trabajo.
- La finalidad que con este tipo de artefactos se puedan desarrollar diseño de experimentos.
-

Objetivo

Presentar como se construye un proyecto real, se consideran varias etapas.

Proyecto: Helicóptero

Antecedentes

Se tiene un artefacto el cual se lanza de una cierta altura y se desea que dilate el mayor tiempo en caer. Además, se quiere que la caída sea vistosa. En ese sentido se tienen dos características de calidad, una cuantitativa y otra cualitativa. Forme su equipo de trabajo, defina los papeles que desempeñara cada quién, así como la metodología de trabajo. ¿Puede adelantar estrategias de medición?

Etapas: Definir

Existe un proceso cuyo finalidad es producir este artefacto. De manera ideal el proceso es como sigue: la entra es una hoja, esta para por un área de corte y luego se dirige a la etapa de doblado.

De esta manera las variables principales del proceso tienen que ver con las dimensiones de la hoja y los cortes. Así como el tipo de material. Nuevamente un plan de lluvia de ideas permitirá conseguir que se alcancen las metas deseadas.

Observe el prototipo y defina que factores considera como relevantes.

Ancho de ala

Cortar

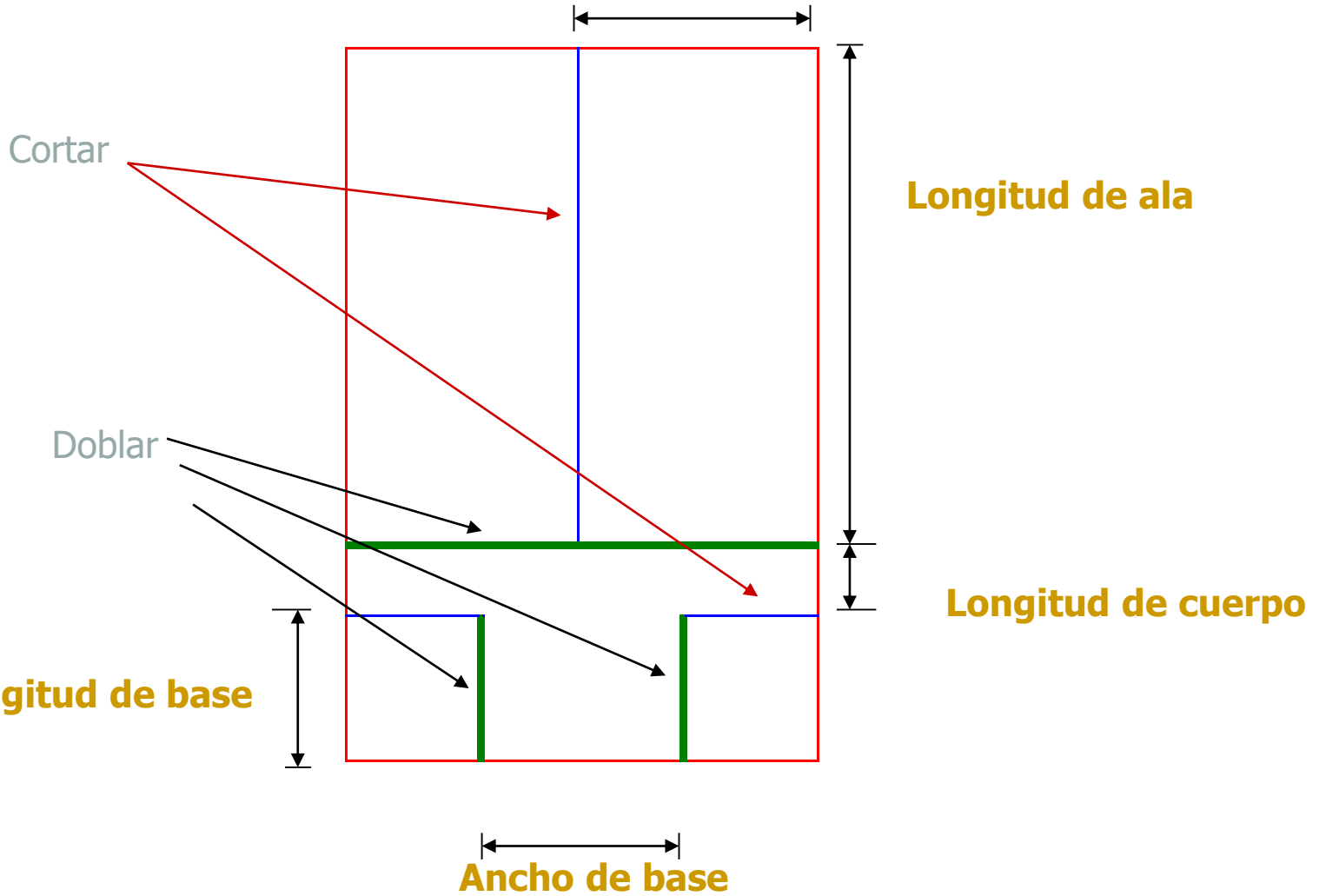
Doblar

Longitud de ala

Longitud de cuerpo

Longitud de base

Ancho de base

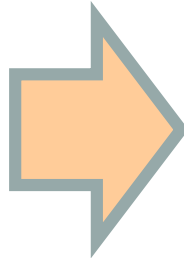


Proyecto: Helicóptero

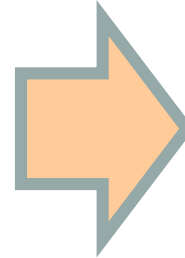
Vinculación de entradas variables críticas de entrada y salidas

Factores de control

Factores de ruido



PROCESO



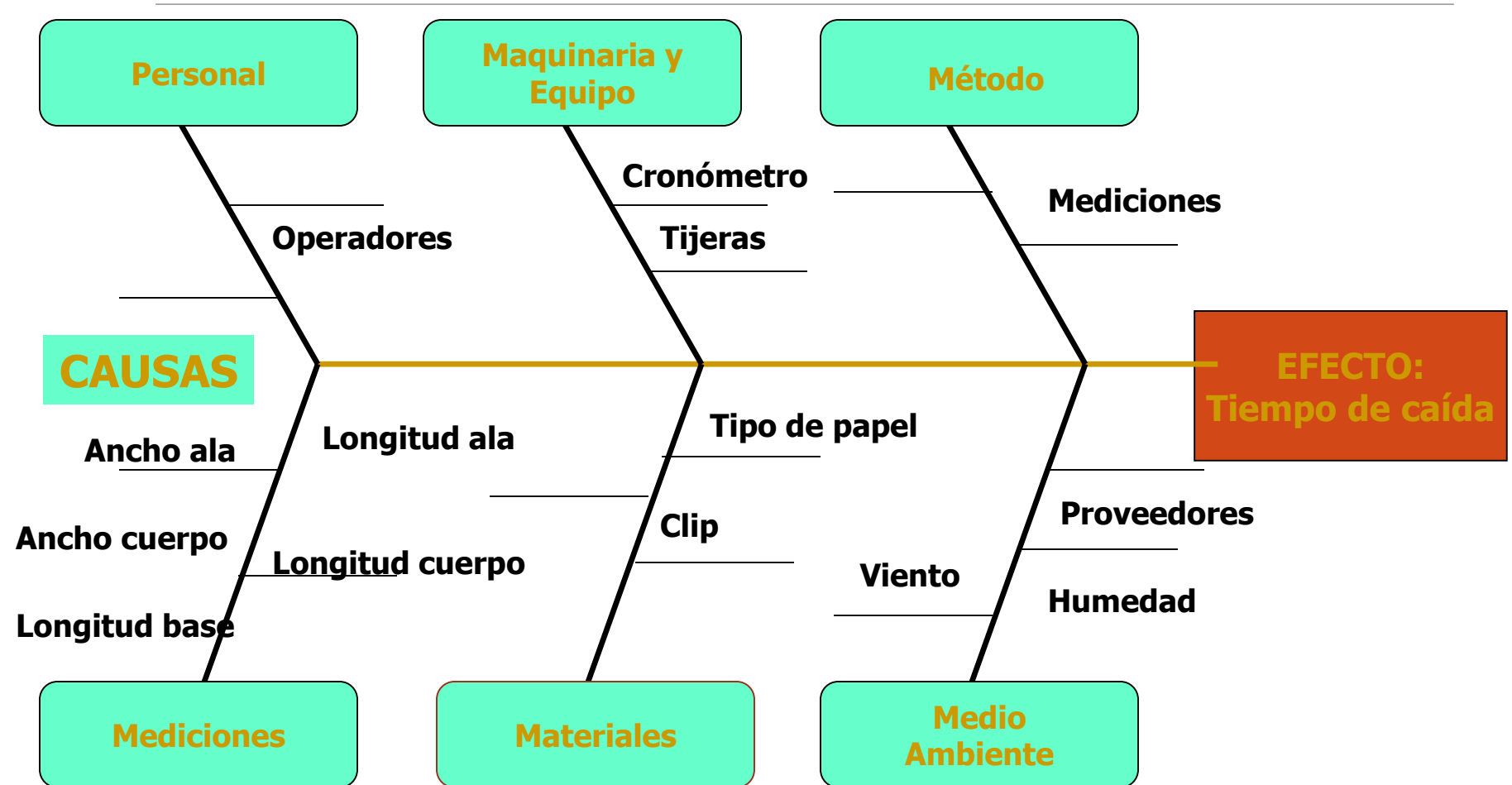
**Tiempo de caída
Número de giros**

Requisitos del cliente



**Aumentar el tiempo de caída
Disminuir la variabilidad
Mejorar el estilo de caída**

Diagrama Espina de Pescado



Indicador de entrada: Dimensiones

	Dimensiones
Ancho de ala	5
Longitud ala	8
Longitud de cuerpo	1
Longitud de la base	3
Doblez base	3
Clip	Si
Base	No atada
Tipo de papel	Blanco

Etapa: Medir.

Haga pruebas para ajustar su proceso de medición y experimentación

- **Producto:** Prototipo de helicóptero.
- **Objetivo:** Elaborar un prototipo que dilate el mayor tiempo posible en caer y que además gire adecuadamente.
- **Variable de Respuesta:** Tiempo de caída, número de giros

- **Factores de Control:**

▪ A: Longitud ala	8	12
▪ B: Ancho de ala	5	7
▪ C: Longitud de cuerpo	1	2
▪ D: Longitud base	2.5	4
▪ E: Doblez base	3	4
▪ F: Tipo de papel	verde	rojo
▪ G: Clip	sin	con
▪ H: Ala atada	no	si

- **Estrategia experimental:**

- Llevar a cabo el experimento con esquema de un factorial fraccionado 2^{7-4} . D= - AB, E= - AC, F= - BC, G= ABC.

- **Datos:** Ver esquema siguiente y realice el experimento, aleatorizar cada tratamiento y haga cinco repliche del experimento.

Esquema experimental.

tra	I	A=BD	B=AD	C=AE	D= -AB	E= -AC	F=-BC	G=ABC
1	1	8	5	1	2.5	3	R	S
2	1	12	5	1	4	4	R	C
3	1	8	7	1	4	3	V	C
4	1	12	7	1	2.5	4	V	S
5	1	8	5	2	2.5	4	V	C
6	1	12	5	2	4	3	V	S
7	1	8	7	2	4	4	R	S
8	1	12	7	2	2.5	3	R	C

Es recomendable continuar el proyecto hasta alcanzar un óptimo. Esto se hará en función de los resultados alcanzados.

Descripción del análisis estadístico de los resultados. Nota. En este caso se agrego el factor ala atada. En la siguiente diapositiva se muestran los resultados.

Proyecto

A continuación, se reporta un trabajo similar al planteado este se reproduce aquí con el propósito de ilustrar la estrategia de experimentación secuencial que se siguió. Además para mostrar el procedimiento de optimización. Es recomendable hacerlo como ejercicio para verificar el procedimiento.

Diseño 2^{8-4}

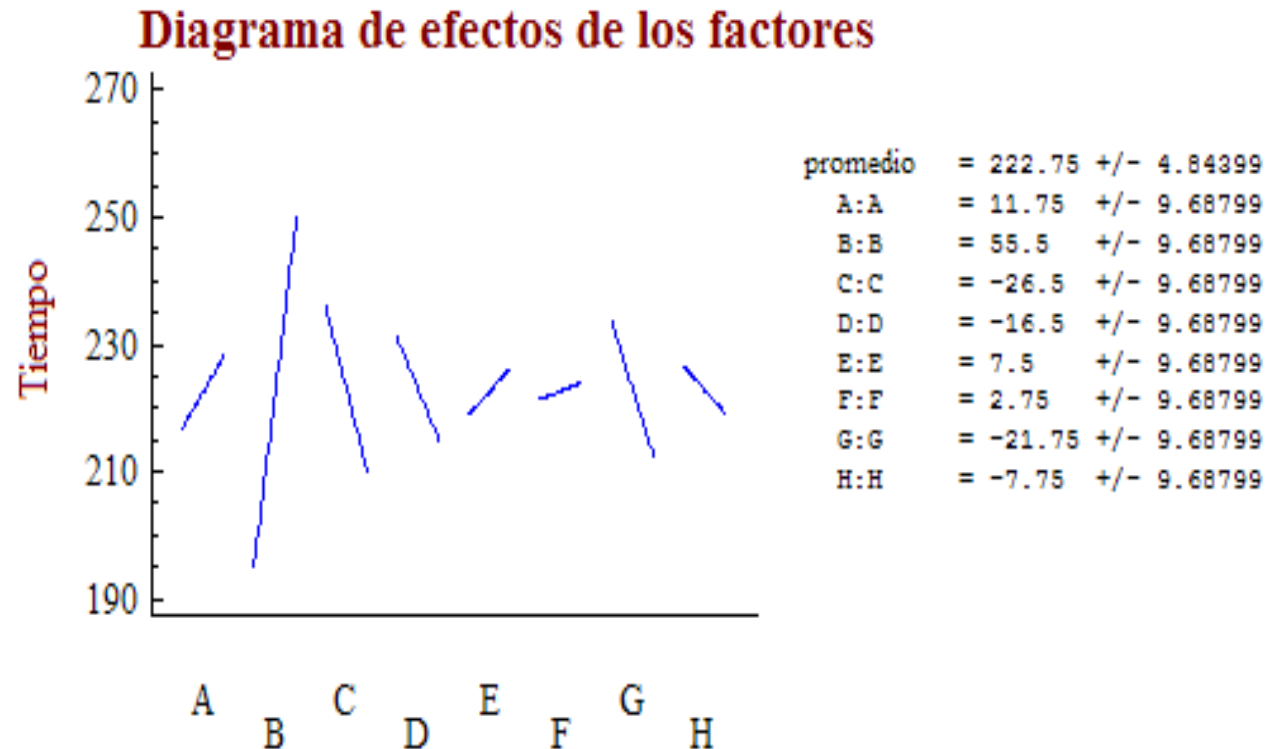
Se lanzaron 5 helicópteros para cada tratamiento. Los resultados del experimento del helicóptero son:

t	I	A	B	C	D	E	F	G	H	Me	DS
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	236	2.1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	185	4.7
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	259	2.7
4	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	318	5.3
5	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	180	7.7
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	195	7.7
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	246	9.0
8	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	229	3.2
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	196	11.5
10	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	203	10.0
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	230	2.9
12	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	261	15.3
13	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	168	11.3
14	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	197	11.7
15	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	220	16.0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	241	6.8

Haga el análisis completo tanto para la media como para la desviación estándar.

Resumen del análisis estadístico para la media del tiempo de caída.

- A: Longitud ala
- B: Ancho de ala
- C: Longitud de cuerpo
- D: Longitud base
- E: Doblez base
- F: Tipo de papel
- G: Clip
- H: Ala atada



Efectos significativos para la media: B, C y G.

Resumen del análisis estadístico de la desviación estándar del tiempo de caída

- A: Longitud ala
- B: Ancho de ala
- C: Longitud de cuerpo
- D: Longitud base
- E: Doblez base
- F: Tipo de papel
- G: Clip
- H: Ala atada

El factor D es significativo Para reducir la varianza.

Diagrama de Pareto

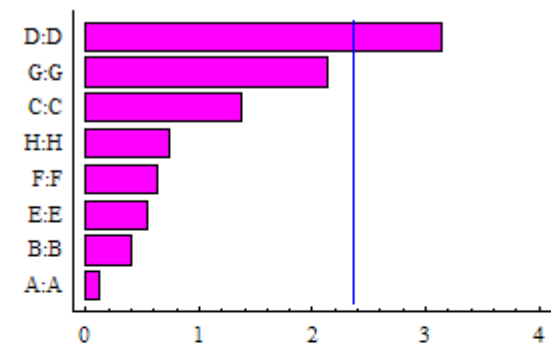
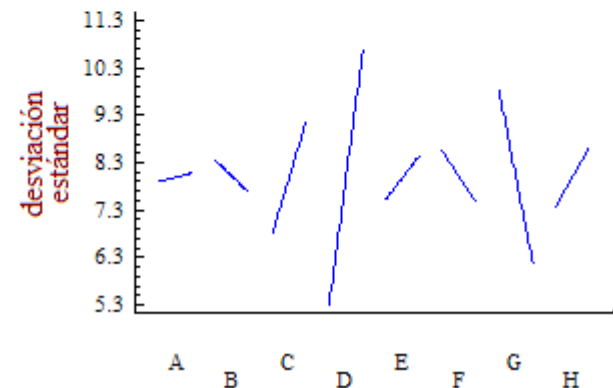


Diagrama de efectos de los factores



Haga el reporte del análisis en esta diapositiva.

- Efectos de los factores.
- Haga un Pareto y señale que factores considera importantes.
- Escriba los modelos e intérpretelos.
- En función de los objetivos y los resultados: ¿qué recomienda para el proceso?

Segunda etapa del diseño: experimentación secuencial.

Columna 1 base, siguientes columnas base más incrementos (1.5,0.5,0.3)

Helicópteros	1	2	3	4	5
B: Longitud ala	10	11.5	13	14.5	16
C: Longitud base	4	3.5	3	2.5	2
D: Ancho de cuerpo	4.5	4.2	3.9	3.6	3.3

Se lanzaron 8 helicópteros en cada uno de los cinco casos, los resultados son:

	1	2	3	4	5
\bar{Y}	275	304	347	275	227
S	9.4	13.5	20	57.3	39.9
100 log(s)	97	113	130	176	160

Nuevo plan experimental

Con base en los resultados anteriores se plantea realizar un nuevo experimento.

En esta nueva situación se consideran cuatro factores.

Sólo que ahora dos factores se plantean como una relación entre la longitud de ala y ancho de ala.

- Área del ala
- Razón longitud/ancho

Los factores son:

Factores de Control:

	Niveles	1	2
A: Área del ala		55	82.5
B: Razón longitud/ancho ala		2.2	2.7
C: Doblez base		2.5	3.5
D: Longitud base		3	4

Datos: respuestas promedio y desviación estándar después de haber lanzado cinco artefactos.

t	I	A	B	C	D	E	F	G	H	Me	DS
1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	331	9.0
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	339	22.6
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	335	14.3
4	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	348	17.3
5	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	330	9.1
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	354	11.9
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	355	14.9
8	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	346	15.1
9	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	301	11.9
10	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	326	14.9
11	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	313	37.7
12	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	327	25.5
13	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	299	30.3
14	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	319	3.0
15	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	277	23.9
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	310	10.5

Análisis estadístico: Obtenga el modelo y haga el estudio gráfico para encontrar la mejor solución.

El complemento del estudio en computadora.

Gráficas finales (tiempo de caída en promedio Ancho de cuerpo, X_3) (log (S), X_3), (peso del helicóptero, X_3), (dimensiones X_3)

Repaso: (los tres puntos da la solución inmediata, los siguientes formaliza los resultados técnicos)

1. Estima el efecto de cada factor
2. Haga el diagrama de Pareto y obtenga sus conclusiones
3. Con la información anterior escriba el modelo de regresión e interprete
4. Calcule la suma de cuadrados del error: eliminando los efectos de interacción mayor de dos.
5. Si $t(5,0.025) = 2.571$, elabore el diagrama de Pareto estandarizado

Solución en la siguiente transparencia

Mejora

Haga el análisis, la interpretación de sus resultados y

$$\hat{\delta} = \frac{\bar{y}_{2\cdot} - \bar{y}_{1\cdot}}{2}$$

Efectos

promedio	=	325.625	+/-	2.24014
A:A	=	16.0	+/-	4.48028
B:B	=	1.5	+/-	4.48028
C:C	=	-3.75	+/-	4.48028
D:D	=	-33.25	+/-	4.48028
AB	=	-3.25	+/-	4.48028
AD	=	7.0	+/-	4.48028
BC	=	-5.0	+/-	4.48028
BD	=	-6.0	+/-	4.48028
CD	=	-11.75	+/-	4.48028

Coefficientes del modelo

constant	=	325.625
A:A	=	8.0
B:B	=	0.75
C:C	=	-1.875
D:D	=	-16.625
AB	=	-1.625
AD	=	3.5
BC	=	-2.5
BD	=	-3.0
CD	=	-5.875

$$\hat{\beta} = \frac{\hat{\delta}}{2}$$

Diagrama de Pareto

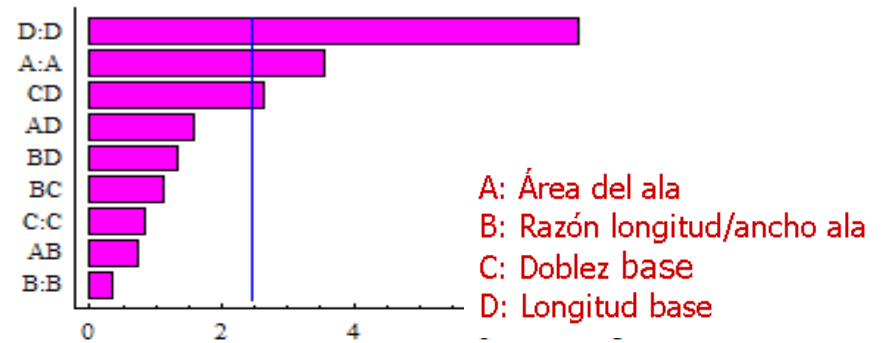


Diagrama de efectos de los factores

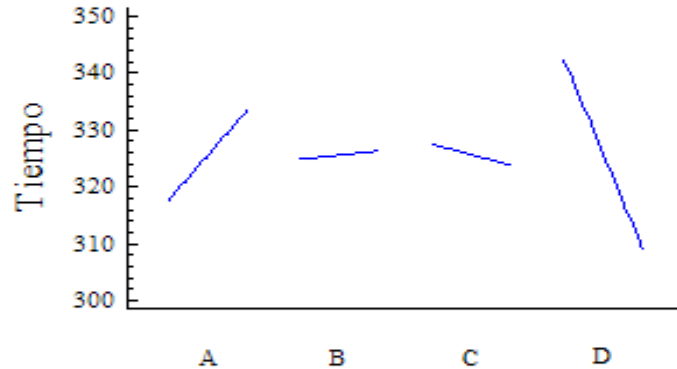
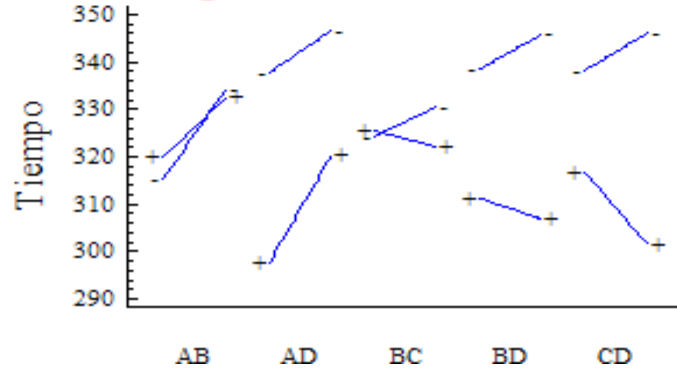


Diagrama de efectos de interacción



Tercera etapa del diseño: experimentación secuencial.

En la etapa de optimización se propone: un diseño central compuesto

Factores de Control:

Niveles	$-\alpha$	- 1	0	1	α
A: Área del ala	62.5	70.5	78.5	86.8	95.7
B: Razón longitud/ancho ala	2.5	2.59	2.68	2.77	2.84
C: Doblez base	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
D: Longitud base	1.8	2.1	2.4	2.7	3
Longitud ala	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Ancho ala	5	5.2	5.4	5.6	5.8

$\alpha=2$

Número de pruebas dcc= $2^4+2*4+6=30$

Número de pruebas al centro $n_0=6$

Proyecto

Se realizaron las pruebas y los resultados para las primeras 18 son:

Tratamiento H3	A	B	C	D	Bloq	\bar{y}	S
1	1	1	1	1		331	9
2	2	1	1	1		339	22.6
3	1	2	1	1		335	14.3
4	2	2	1	1		348	17.3
5	1	1	2	1		330	9.1
6	2	1	2	1		354	11.9
7	1	2	2	1		355	14.9
8	2	2	2	1		346	15.1
9	1	1	1	2		301	11.9
10	2	1	1	2		326	14.9
11	1	2	1	2		313	37.7
12	2	2	1	2		327	25.5
13	1	1	2	2		299	30.3
14	2	1	2	2		319	3
15	1	2	2	2		277	23.9
16	2	2	2	2		310	10.5
17	0	0	0	0		331	9
18	0	0	0	0		348	17.3

Se realizaron las siguientes 12 pruebas y los resultados son:

19	-2	0	0	0	330	9.1
20	2	0	0	0	354	11.9
21	0	-2	0	0	355	14.9
22	0	2	0	0	346	15.1
23	0	0	-2	0	301	11.9
24	0	0	2	0	326	14.9
25	0	0	0	-2	313	37.7
26	0	0	0	2	327	25.5
27	0	0	0	0	299	30.3
28	0	0	0	0	319	3
29	0	0	0	0	277	23.9
30	0	0	0	0	310	10.5

Análisis estadístico: Obtenga el modelo y haga el estudio gráfico para encontrar la mejor solución.

El complemento del estudio en computadora.

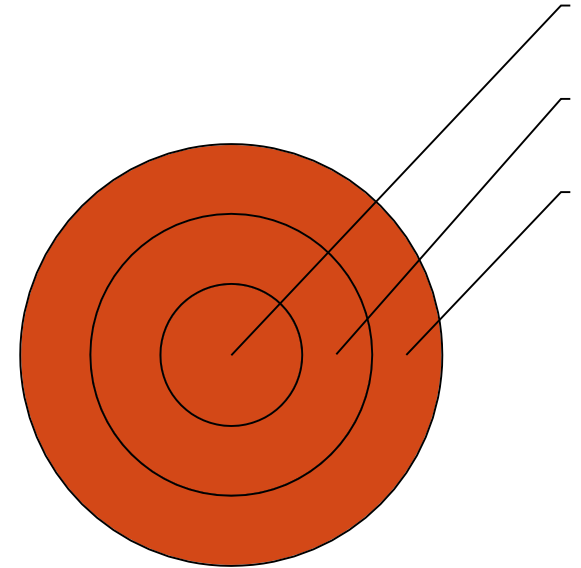
Gráficas finales (tiempo de caída en promedio Ancho de cuerpo, X_3) (log (S), X_3), (peso del helicóptero, X_3), (dimensiones X_3)

Repaso: (los tres puntos da la solución inmediata, los siguientes formaliza los resultados técnicos)

1. Estima el efecto de cada factor
2. Haga el diagrama de Pareto y obtenga sus conclusiones
3. Con la información anterior escriba el modelo de regresión e interprete
4. Calcule la suma de cuadrados del error: eliminando los efectos de interacción mayor de dos.
5. Si $t(5,0.025) = 2.571$, elabore el diagrama de Pareto estandarizado

Cierre de proyecto

- Se alcanza la meta planteada.



Una artículo sobre la aplicación del diseño de experimentos lo puede consultar en:

J. Domínguez-Domínguez, J.A. Domínguez-López. Domínguez. Learning to Design Experiments Using Computer Simulations. International Journal of Engineering Education Vol. 27, No. 4.pp 1-10, 2011.