

**ADQUISICIÓN DE LAS BASES DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS  
UTILIZANDO HELICÓPTEROS DE PAPEL  
(ID2016/0201)**

Las asignaturas del Grado en Estadística ‘Diseño de Experimentos’ y ‘Diseño Óptimo de Experimentos’ tienen un fuerte contenido matemático. Tradicionalmente se intenta aliviar en lo posible este hecho destacando su indudable aplicación, especialmente en la industria, y salpicando la explicación con una variedad de ejemplos de experimentos realizados en agricultura, fábricas, hospitales, etc., pero hasta ahora siempre desde el punto de vista teórico (sin ‘mancharse las manos’), y siempre se trataba de ‘cosas que han hecho otros’.

El objetivo principal de este proyecto era romper esta dinámica, implicando al alumno en la realización de un experimento real: la construcción de helicópteros de papel, que construyen y lanzan ellos mismos para comprobar estadísticamente, por medio de los contrastes adecuados, qué factores influyen en su vuelo. La experiencia está basada en el artículo de Box ‘Teaching engineers experimental design with a paper helicopter’ (Box G.E.P. (1992), *Quality Engineering* 4(3), 453-459). Mediante este proyecto se ha incorporado como parte de las prácticas docentes de las asignaturas.

Inicialmente se expuso el objetivo del experimento: investigar los factores que pueden influir en el vuelo de un helicóptero de papel, haciendo ver que los mismos principios se pueden aplicar a un experimento ‘real’ (por ejemplo diseñar un helicóptero militar) o industrial. Los helicópteros de papel son relativamente sencillos de construir, los materiales necesarios son baratos y normalmente disponibles en cualquier departamento, y la experimentación (lanzamiento de los helicópteros, registro de la variable de interés) es también rápida y sencilla. El profesor efectuó varias pruebas con helicópteros de distintas dimensiones y pidió opinión a los estudiantes sobre cuál de ellos proporciona el vuelo más ‘bonito’. Este debate está directamente relacionado con la elección de la variable que se va a observar (relacionada con el vuelo del helicóptero). Suele ser más ‘bonito’ el vuelo del helicóptero que efectúa más giros sobre sí mismo, pero el problema es decidir cómo medir esa característica con los materiales disponibles. Tras hacer ver la dificultad de contar el número de giros (sin poder grabar en vídeo los experimentos y pasarlos a cámara lenta), se comprueba este número está relacionado con el tiempo de caída (cuantos más giros, más tiempo pasa en el aire), por lo que se decidió medir este tiempo. Para ello no hace falta material adicional, ya que hoy en día todos los teléfonos móviles pueden cronometrarlo.

El siguiente paso llevó al examen de los factores que a tener en cuenta que pueden influir en la variable observable: diseño del helicóptero (dimensiones-, tipo de papel), el uso de clip o celo,... Se fijaron 8 posibles factores de influencia, la mayoría los del artículo de Box.

Seguidamente, tras dividirse por grupos (3-4 personas), se procedió a la construcción de los helicópteros. Inicialmente cada grupo construyó un helicóptero 'piloto', con el que experimentaron y realizaron modificaciones, para finalmente elegir los tres factores que a ese grupo le parecieran más importantes.

Cada grupo construyó los  $8(=2^3)$  helicópteros correspondientes a un diseño factorial para los 3 factores elegidos. Para evitar la influencia de otros factores externos (persona que dibuja, recorta o dobla los helicópteros), se repartieron estas funciones, cada una de las cuales fue ejecutada por el mismo miembro del grupo.

Una vez que construidos los helicópteros se aleatorizó el orden de lanzamiento de los mismos (mediante un sorteo aleatorio de los 8 números), y se procedió a la realización del experimento propiamente dicho. Los miembros de cada grupo se repartieron las distintas funciones: lanzamiento de los helicópteros, medición de la variable de interés, registro de los valores observados. Para los lanzamiento se utilizó un hueco de escaleras poco transitadas en el Edificio de la Merced, de unos 5.5 metros de altura. Aunque no era necesario, todos los grupos utilizaron el mismo lugar de lanzamiento. Desde allí se volaron todos los helicópteros, en el orden dado por el sorteo efectuado anteriormente.



Fig 1: Realización de los experimentos en las escaleras del Edificio de la Merced

Tras obtener los datos numéricos se realizó el cálculo de los estadísticos correspondientes. En esta ocasión los estudiantes estaban más motivados que de costumbre a la hora calcular e interpretar los resultados, ya que su implicación en el proceso había sido total, y los datos los habían obtenido ellos mismos.



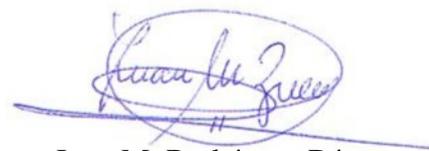
Fig 2 y 3: Medición del tiempo de vuelo y comprobación de resultados

Se efectuaron los contrastes adecuados y cada grupo decidió qué factores de los que han elegido influyen verdaderamente en el vuelo del helicóptero y cuáles no son tan importantes. En realidad el objetivo del proyecto no era tanto el obtener unas 'maravillosas' conclusiones finales (que podrían variar enormemente, ya que para empezar cada grupo podría estar trabajando con distintos conjuntos de factores), sino que los estudiantes se implicaran y comprendieran todo el proceso de diseñar un experimento, desde el origen mismo del proceso hasta la conclusión final derivada de las respuestas obtenidas en las pruebas.

Los alumnos tenían que cumplimentar individualmente una práctica (véase Anexo I) con los factores elegidos, las respuestas observadas, los cálculos realizados a partir de ellas y los resultados obtenidos. Adicionalmente se les pedía que detallaran y evaluaran el trabajo de los compañeros de su grupo. En casi todos los casos se evaluó por igual el trabajo de todo el equipo. Todo el proceso se realizó en un ambiente relajado y distendido, pero al mismo tiempo con interés de realizar los procedimientos de una manera adecuada y sin perder el tiempo. Los estudiantes se implicaron profundamente en el procedimiento y eso les ha llevado a una comprensión práctica de todo el proceso. Muchos de los conceptos tratados superficialmente en esta primera práctica y definidos de una manera intuitiva, fueron estudiados posteriormente a lo largo del curso, haciendo a menudo referencias a esta primera práctica, y provocando que ahora encontraran el verdadero sentido de los mismos.

La consecuencia principal es que esta experiencia les ha proporcionado un conocimiento más profundo de la esencia de la asignatura: la intervención en todo el proceso del diseño y realización de un experimento, seguido de la obtención de resultados y la extracción de conclusiones adecuadas a partir de los mismos. El hecho de obtener los datos ellos mismos, el no haberlos transcrito de un libro o unos apuntes, ha supuesto una motivación extra, los han sentido como propios y les ha hecho implicarse con gran interés en el proceso, además de despertar su interés y curiosidad sobre los posibles resultados finales que se podían obtener (que, como se ha dicho, podrían ser muy variables y no eran el objetivo principal del proyecto). Finalmente, creo que han entendido por sí mismos la máxima 'Pensar antes que actuar', reconociendo la importancia que tiene la realización de un buen diseño de experimentos antes de ponerse a tomar observaciones.

Salamanca, a 19 de mayo de 2017



Juan M. Rodríguez Díaz

Coordinador Proyecto ID2016/0201

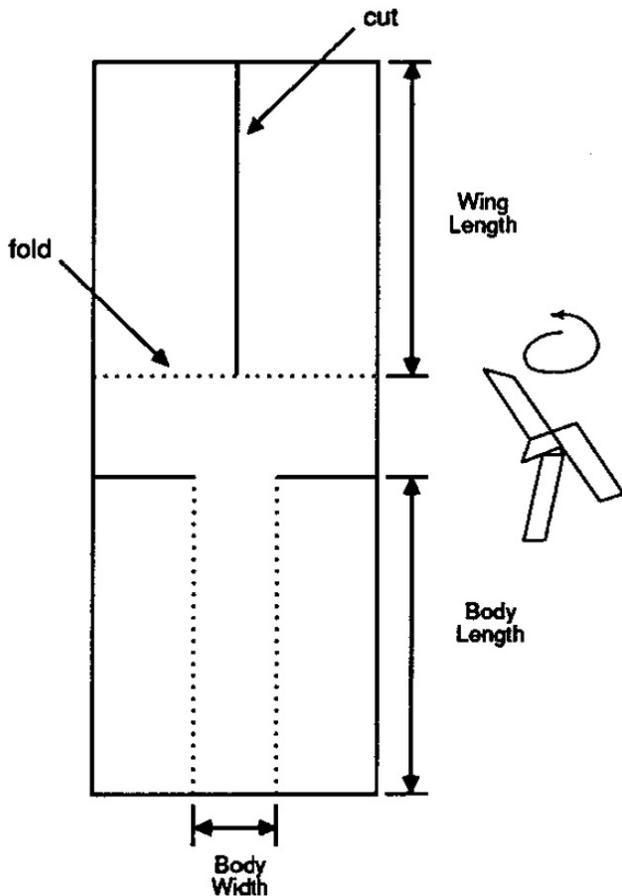
# Diseño de Experimentos.PRACTICA 1

*J.M.Rodríguez Díaz*

## El helicóptero de Box

### 1. Realización del experimento

- (a) Dividirse en grupos (3-5 personas)
- (b) Construir un primer helicóptero (experimento piloto)
- (c) Decidir qué tres factores se van a estudiar y numerarlos (1-3)
- (d) Confeccionar los  $2^3 = 8$  helicópteros del diseño factorial completo, aleatorizando el orden elaboración. Numerarlos según el orden estándar de los factores
- (e) Buscar una posición elevada (al menos 3.5 metros) desde donde lanzarlos, midiendo el tiempo de vuelo (variable respuesta)
- (f) Escribir los tiempos de vuelo registrados según el orden estándar de los factores



Factores		Niveles	
		-	+
1			
2			
3			

Número	$F_1$	$F_2$	$F_3$	Orden	Tiempo
1	-	-	-		
2	+	-	-		
3	-	+	-		
4	+	+	-		
5	-	-	+		
6	+	-	+		
7	-	+	+		
8	+	+	+		

2. Escribir el modelo inicial.....

3. Estimación de los efectos y de los coeficientes del modelo

.....

.....

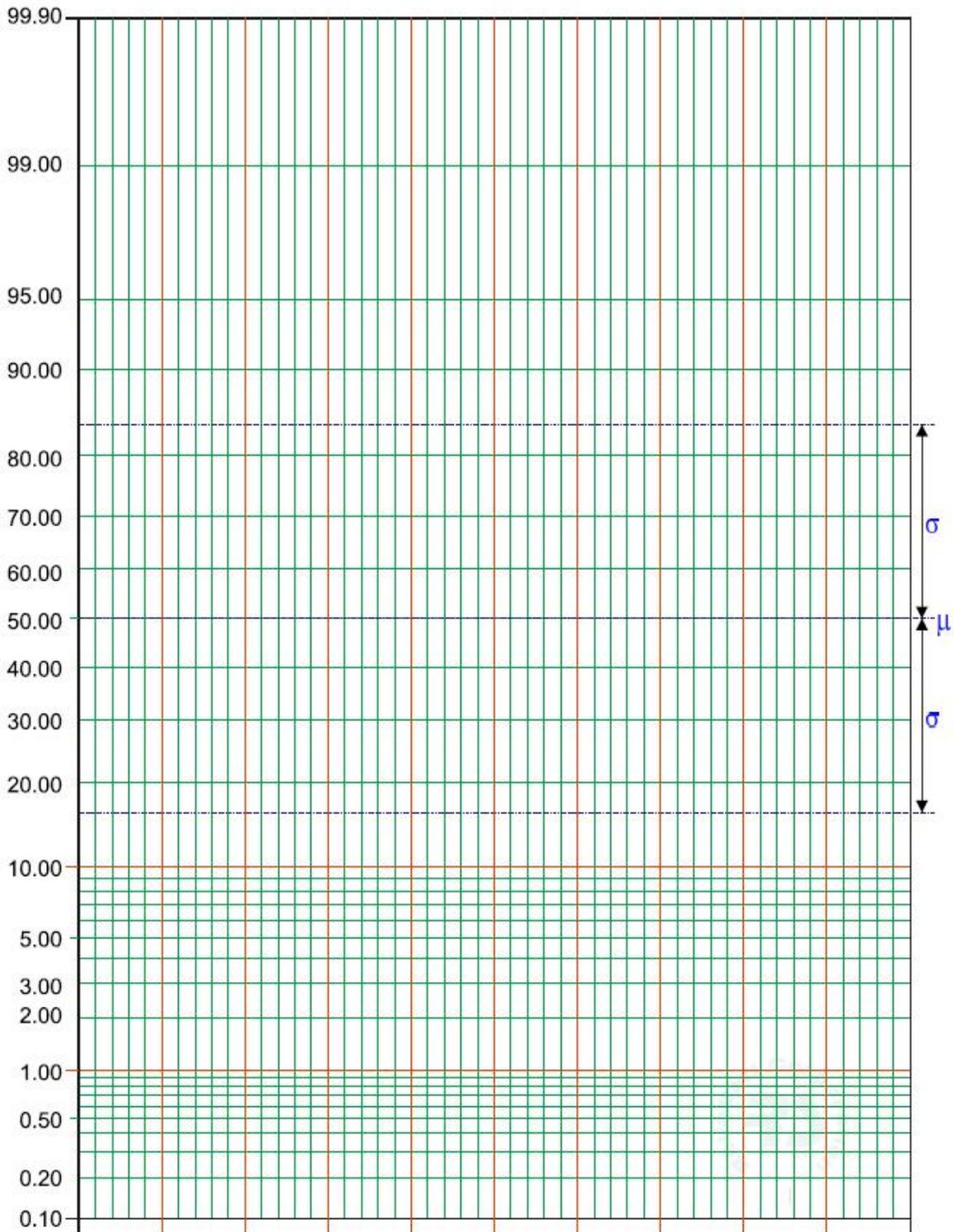
.....

.....

.....

4. Representar los efectos en papel probabilístico ¿cuáles son significativos?

.....  
.....



5. Modelo final: .....

Nombres de los otros componentes del grupo. Reparte 20 puntos entre ellos según su participación en el trabajo