EXPERIMENTACIÓN EN EVACUACIÓN CON INFANTES DE MARINA

Dedicado a los infantes de Marina que hicieron posible este estudio, que es «de, por y para ellos».

Heitor MARTÍNEZ GRUEIRA

(Ing.)

Introducción

A capacidad de controlar y mejorar la calidad de un proceso se ha convertido en una estrategia esencial para una amplia gama de organizaciones, que engloba fabricantes, distribuidores, instituciones públicas, etc., al objeto de velar por la calidad como modelo de excelencia para tratarla como ventaja competitiva frente a adversarios.

El procedimiento del diseño de experimentos es una de las herramientas más relevantes de la metodología 6σ. Actúa en un ciclo temprano del proceso de investigación, tratando de identificar los diferentes factores que intervienen y cuantificando su grado de implicación en una posterior fase de optimización.

La aplicación efectiva de un Diseño Estadístico de Experimentos (DEE) sólido permite emplear un método de estudio de los diferentes factores que intervienen en un proceso para lograr un producto final optimizado, de calidad, de gran confiabilidad o de mejor rendimiento.

Esta metodología se basa en un diseño factorial resumido en dos niveles de significación (2^k), puesto que estos diseños resultan particularmente más útiles para determinar qué variables o factores intervienen en un proceso de estudio y en qué grado se implican. Pueden concluir igualmente una contracción o rechazar la hipótesis inicial planteada, verificando la ínfima o nula influencia de las variables de estudio.

De acuerdo con el Principio de Pareto (1), que presupone que el 80 por 100 de las consecuencias suelen estar debidas a un 20 por 100 de las causas y, como consecuencia de la inevitable limitación de recursos, tendrá que velarse por su asignación óptima, tratándose el mayor ratio de efectos indeseados posible.

Para tratar esta problemática, resulta indispensable identificar sobre qué factores de un proceso y con qué grado se podría tratar la optimización de consecuencias adversas con los recursos disponibles. Por ello, el estudio convenido deberá discernir qué variables o factores influyen realmente en determinadas consecuencias de un proceso, aunque ello implique el tratamiento de parámetros de dificultoso control.

Aunque tradicionalmente se ha modelado el diseño de una población en base a un muestreo estratificado o en virtud de la función característica que define al grupo objeto del estudio, posteriormente se aplicaban técnicas de análisis de la varianza (*ANalysis Of VAriance,* ANOVA). Actualmente disponemos de otras metodologías y técnicas mediante las cuales es posible adentrarse en el diseño de experimentos, que resultarán igualmente representativos, sin necesidad de aplicar técnicas de análisis un tanto complejas.

En este artículo se llevará a cabo la descripción de los pasos seguidos en base a la metodología del DEE, al objeto de modelar el desplazamiento de una población embarcada y mostrar sus características más relevantes, haciendo especial énfasis en la potencia de resolución e inferencia de conocimiento logradas.

Actualidad

El tema de evacuación de buques ha cobrado gran protagonismo en la Armada, para dar cumplimiento a la nueva normativa OTAN con su *Naval Ship Code* (2) (NSC), en aras de aplicarla en las nuevas construcciones navales proyectadas. Esta normativa resulta relevante (capítulo VII), puesto que regula por primera vez el Escape, Evacuación y Rescate (EER).

Desde la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), y en el marco del Programa COINCIDENTE, se ha mostrado gran interés por el desarrollo de proyectos de estudio para la aplicación de esta nueva normativa y máxime tras resultar seleccionado un proyecto de esta índole entre más de doscientos proyectos diferentes.

---

(1) Vilfredo Federico Pareto (1846-1923) fue un filósofo, economista e ingeniero italiano.
(2) (ANEP-77) *Allied Naval Engineering Publication*.

Desde un punto de vista tecnológico, resulta muy atractivo el estudio de parametrización y configuración de un sistema con las características propias de una fuerza embarcada de la Armada, así como el desarrollo de un modelo matemático perfectamente validado que permita diseñar, optimizar y simular una determinada situación de emergencia.

Para lograr una correcta parametrización de las características o factores implicados y garantizar el desarrollo de un proceso de simulación lo suficientemente representativo, se justifica la necesidad de recurrir al diseño de una gama de ensayos cuyos resultados han de justificar su validez, además de ajustarse a la resolución del problema planteado.

La problemática que se le presenta a la Armada fue tratada mediante un proyecto de investigación gestado en el Gabinete de Investigación Militar Operativa y Estadística de la Armada (GIMOE), dadas sus capacidades y su labor investigadora, dirigido al estudio de un buque cualquiera en situación de servicio activo o en fase de diseño. Se inicia con ensayos diversos y el posterior análisis de los datos recopilados, al objeto de disponer de un repositorio con el que tratar la configuración de la herramienta de simulación (*maritimeEXODUS*) (3) incluida en la normativa IMO (4), la cual validará el modelo de evacuación que proceda a ejecutar el protocolo de abandono del buque y se concluirá un patrón y unas directrices procedimentales que determinarán las rutas óptimas de evacuación habilitadas en el buque, de acuerdo con una gama de averías perfectamente definidas y de su correspondiente probabilidad de ocurrencia. Asimismo, el empleo de esta herramienta de simulación hará posible la identificación de los cuellos de botella que pueda ocasionar la afluencia masiva de miembros de la fuerza embarcada en determinadas ubicaciones del buque y, al mismo tiempo, validar o invalidar el modelo definido.

Problemática

Todos los ensayos, análisis y procesos fueron diseñados y dirigidos en su momento únicamente para dotaciones propias de un buque; por ello, en cumplimiento del capítulo VII sobre la Normativa de Seguridad ANEP-77, tendría que realizarse un estudio equivalente dirigido al diseño de un procedimiento de evacuación de las fuerzas embarcadas en un buque militar.

Independientemente de la naturaleza, funcionalidad o características específicas de las fuerzas embarcadas, este artículo se centrará únicamente en el estudio de contingentes de Infantería de Marina (IM) embarcados en buques

---

(3) Universidad de Greenwich (Reino Unido). Facultad de Arquitectura, Computación y Humanidades.

(4) *Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships* (MSC.1/Circ.1238).

anfibios, que por entidad y volumen pasan a constituir el personal a bordo más numeroso en un buque anfibio. A pesar de que estos contingentes están constituidos por personal militar debidamente adiestrado, las fuerzas embarcadas no disponen del mismo al nivel de preparación, conocimiento del entorno, experiencia o capacidad de respuesta que la dotación a la hora de afrontar una avería de cierta entidad.

Aunque una fuerza embarcada adolezca de las mencionadas aptitudes, tampoco debe caerse en el error de compararla con una fuerza de pasaje en un buque civil, puesto que dispone de un adiestramiento básico y de un conocimiento suficiente del entorno del buque suficiente para afrontar con éxito un proceso de evacuación.

Planteamiento

Al igual que la dotación propia de un buque de guerra, una fuerza embarcada puede ser modelada en función de unas determinadas características o factores debidamente parametrizados que delimitarán el desplazamiento de un individuo a lo largo de la estructura del buque.

Esta parametrización podría ceñirse a la edad, el sexo, la amplitud de los corredores, las restricciones de visibilidad producidas por una avería determinada o incluso por unas condiciones atmosféricas claramente adversas.

Para ello, en este artículo se procederá a aplicar la metodología del DEE con la finalidad de analizar las características propias de una fuerza embarcada en función de los datos obtenidos en los ensayos, apoyados por las imágenes captadas y las encuestas y entrevistas realizadas.

De este modo, se tratará de inferir el conocimiento imprescindible para acometer el modelado del desplazamiento de una población, importándose para ello las conclusiones del estudio (5) de los pormenores de las características o factores intervinientes. Determinado el punto de partida, resta únicamente evaluar los efectos y la contribución de estos para sentar las bases del modelo de desplazamiento.

Para disponer de los datos suficientes para acometer un análisis a la medida de esta metodología, se llevaron a cabo una serie de ensayos durante las maniobras MARFIBEX-72, que tuvieron lugar en la bahía de Cádiz del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2017 a bordo del buque de asalto anfibio *Galicia*, designado como buque de estudio.

Con la intención adaptar unos datos que se ajusten a las características implícitas del desplazamiento de una fuerza embarcada, es indispensable tener

(5) «La antigüedad es un grado». *Boletín Técnico de Ingeniería*,14 mayo 2018, ETSIAN. NIPO IBD 083-17-203-7, en línea 083-17-202-1.

Ejercicio MARFIBEX-72 desarrollado en el golfo de Cádiz.
(Foto: *www.flickr.com/photos/armadamde*).

en cuenta los diversos obstáculos configurados en las rutas de evacuación, tales como escotillas, escalas, etcétera.

La metodología DEE es una clara ventaja a la hora de evaluar el ahorro de esfuerzo de las fases de análisis, diseño y desarrollo de un estudio respecto a la metodología tradicional del muestreo estratificado y, más si cabe, como consecuencia de los amplios tamaños muestrales que demanda esta técnica para logar un determinado error aceptable respecto a la población de estudio.

Para constatar esta afirmación, en la siguiente tabla se representan los tamaños muestrales exigidos para una muestra estratificada (6) como la que

Población	1 por 100	5 por 100	10 por 100
500	—	222	83
1.000	—	286	91
2.500	—	345	96
5.000	—	370	98

Tamaño muestral en función del poblacional y del error admisible.

(6) Tamaños fijados por un intervalo de confianza de distribución t de Student ($t_{st} \pm Z_{\alpha/2}\sqrt{(v/n)}$).

nos incumbe, delimitada por el tamaño de la población y por el error máximo admisible.

Tomando como referencia que las fuerzas embarcadas en buques anfibios pueden estar constituidas por una agrupación reforzada de desembarco procedente del Tercio de Armada (TEAR), la cual cuenta aproximadamente con unos 2.500 efectivos y suponiendo un error admisible del 5 por 100, resulta por la tabla anterior que para una población como el TEAR el tamaño muestral necesario ascendería a 345 efectivos.

Por lo tanto, en caso optarse por aplicar un muestreo estratificado para la población de estudio y con un error máximo admisible como el referenciado, el tamaño muestral exigido para el grupo de control coincidiría con el del contingente embarcado.

Metodología DEE

Esta metodología fue desarrollada por la industria automovilística japonesa de los años ochenta, y mediante ella es posible identificar los factores realmente influyentes y su grado influencia en una gama de experimentos diseñados y ejecutados a tal efecto. De este modo, se pueden gestionar las consecuencias adversas mitigando o neutralizando las causas que las generan.

La DEE está basada en un diseño multifactorial [n^f], donde el número de ensayos totales resultará del de niveles de significación (n) definidos, y que en nuestro estudio será de ($n = 2$), elevado al número de factores (f) designados [2^f].

Puesto que finalmente se selecciona la metodología DEE y se dispone de un diseño de ensayos con sus correspondientes conclusiones, aportadas por un estudio previo, se procede a enumerar los tres factores que sustentan la problemática presentada:

— Índice de Masa Corporal (IMC, kg/m2), siendo este el factor mayor influencia en el estudio.
— Edad (años), segundo en grado de influencia.
— Antigüedad (años), tercer elemento del estudio y tercero por su grado de influencia en el trabajo.

Así, el diseño quedaría estructurado en base a tres factores para los que habrían designado dos niveles de significación, con lo que finalmente el DEE quedaría constituido por ocho ($2^3 = 8$) experimentos.

De acuerdo con los factores enumerados y la determinación del número de niveles de significación establecidos, se construye el siguiente cuadro, donde se recogen sus correspondientes umbrales de significación:

FACTOR	NIVEL ALTO	NIVEL BAJO
IMC (kg/m^2)	Superior a la media	Inferior a la media
Edad (años)	Superior a la media	Inferior a la media
Antigüedad (años de embarque)	Superior a la media	Inferior a la media

Enumeración de factores y niveles correspondientes.

Para ello, es indispensable hacer una encuesta representativa previa a la población de estudio para obtener datos con los que calcular los umbrales de significación estimados (medias poblacionales), para lo cual se diseñan los campos con los que se pretende captar ciertas referencias individuales, antropométricas y profesionales.

Para que esta encuesta garantice su representatividad respecto a la población de estudio (TEAR), el subconjunto constituido por la fuerza embarcada replica la distribución estratificada poblacional como consecuencia de su estructura jerárquica y además considerándose que la elección de miembros embarcados serán equiprobables dentro de una misma categoría.

SEXO	Hombres			Mujeres			Totales		
CATEGORÍA	[illegible]	Núm	%	[illegible]	Núm	%	[illegible]	Núm	%
Teniente Coronel	49,11	9	0,075				49,11	9	0,073
Comandante	44,89	18	0,150				44,89	18	0,145
Capitán	37,75	53	0,442	38,00	3	0,750	37,77	56	0,452
Teniente	28,53	40	0,333	26,00	1	0,250	28,46	41	0,331
Oficiales	40,87	120		32,00	4		40,06	124	0,055
Suboficial Mayor	57,00	3	0,012				57,00	3	0,011
Subteniente	55,26	43	0,165				55,26	43	0,162
Brigada	47,54	63	0,242				47,54	63	0,237
Sargento Primero	42,14	73	0,281	39,00	3	0,500	42,01	76	0,286
Sargento	32,44	78	0,300	35,00	3	0,500	32,53	81	0,305
Suboficiales	46,87	260		37,00	6		46,87	266	0,119
Cabo Mayor	48,42	19	0,011				48,42	19	0,010
Cabo Primero	41,15	443	0,261	39,40	10	0,068	41,11	453	0,246
Cabo	35,03	396	0,233	37,00	45	0,308	35,23	441	0,239
Soldado	29,55	841	0,495	33,90	91	0,623	29,98	932	0,505
Tropa	34,34	1699		34,77	146		34,40	1845	0,826
TOTALES	41,83	2079	0,93	35,26	156	0,07	41,37	2235	1

Ratios de distribución efectivos del TEAR. (Fuente: SIPERDEF 17).

Con los datos obtenidos, se procede al cálculo de los umbrales que determinan los niveles de significación de los factores y la configuración de los experimentos de cada ensayo al objeto de inferir el conocimiento sobre las peculiaridades del desplazamiento de un grupo de control determinado.

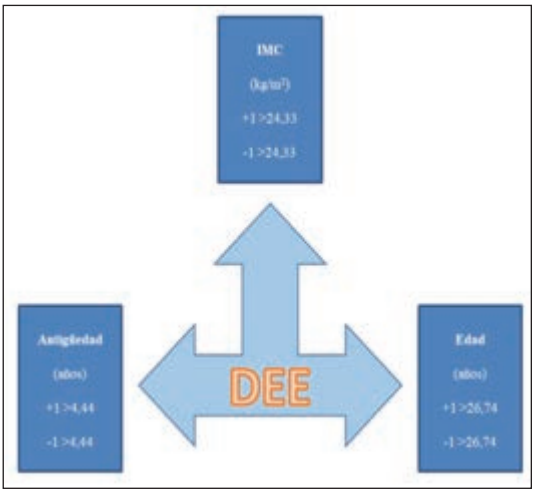


Diagrama de factores y niveles, DEE.

Como consecuencia de todo lo expuesto, finalmente el DEE es diseñado para ocho experimentos, como resultado del número de niveles de significación remarcados, elevado por el número de factores enumerados, será dotado por un máximo de 10 miembros del grupo de control para realizar la gama de ensayos configurados y, con ello, captar los tiempos empleados en su ejecución. De esta manera, el grupo de control estará compuesto por un total de 80 miembros, seleccionados aleatoriamente entre los que cumplen con la configuración definida por la combinación de niveles de significación de los factores de estudio.

A la vista de los valores resultantes, el tamaño muestral finalmente obtenido para un DEE está muy alejado del de la muestra exigida por la técnica de muestreo estratificado.

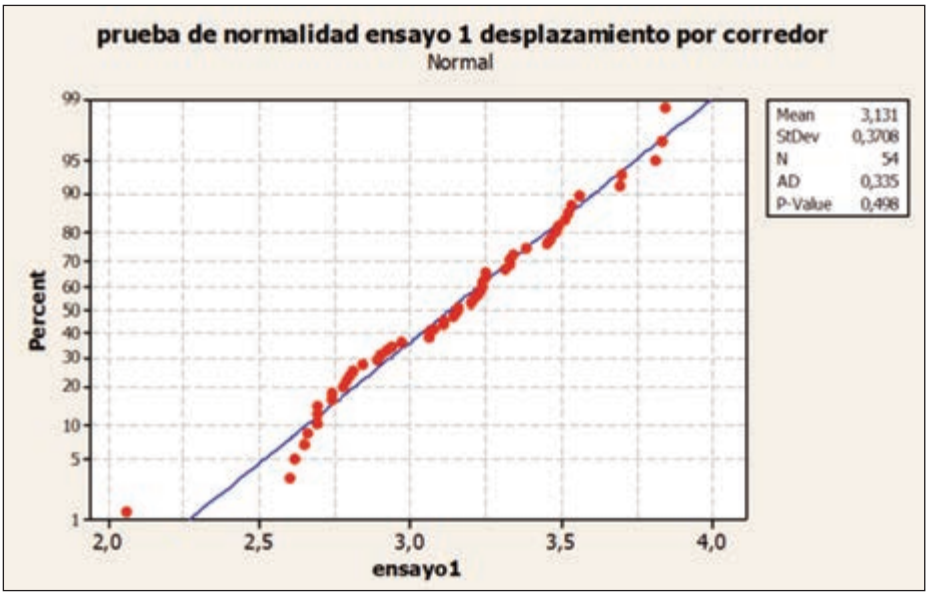
Tratamiento y depuración de datos

Una vez disponibles los datos captados en los ensayos, es necesario en primera instancia proceder a su depuración y análisis antes de continuar con su procesado de acuerdo con la metodología implementada.

De este modo, se procede a depurar todos los datos ausentes (en blanco) o aquellos que se encuentran fuera de rango (*outliers*) mediante la aplicación de diferentes técnicas que permiten la generación aleatoria de datos acotados o que son capaces de identificar elementos que fomentan la generación de ruido.

Independientemente de los procesos previos, se hace indispensable verificar si los datos superan el test de normalidad. Para ello, se exportan los obtenidos de cada ensayo al paquete estadístico (MINITAB v.14), al objeto de verificar que cumplen con los criterios de normalidad.

Como ejemplo, se muestran en la figura siguiente los resultados obtenidos de la prueba de normalidad aplicada a los tiempos tomados en el primer ensayo, en el que los miembros del grupo de control se desplazaban por un corredor de cinco metros en el buque de estudio.



Prueba de normalidad, Test Anderson-Darling (p-valor > 0,05).

La prueba de normalidad seleccionada (Test Anderson-Darling) exige la obtención de un p-valor > 0,05 para la superación del test, que ha sido ampliamente rebasado. Desde el punto de vista técnico, puede afirmarse conceptualmente que con los datos aportados *no* disponemos de indicios suficientes para rechazar la hipótesis nula (H_0) y por tanto se acepta, de modo que supera la prueba de normalidad. Ahora se puede afirmar que se dispone de unos datos depurados y válidos para proceder con la fase siguiente.

Desarrollo del DEE

Verificada la validez de estos datos como adecuados para un estudio al uso, el primero definido por esta metodología, se pasa a la construcción de «la matriz del plan de experimentos multifactorial», en la que se configuran las diferentes pruebas del ensayo, como la combinación de los factores y de sus niveles de significación, de acuerdo a la siguiente tabla del plan de ensayos multifactorial completo.

En la construcción de esta matriz se constata el plan de experimentos como resultado de la combinación entre los diferentes factores y sus correspondientes niveles de significación, identificados estos últimos mediante el sistema binario de numeración (segundo bloque de columnas por la izquierda).

	2^0	2^1	2^2	Matriz del plan de experimentos						
	1	2	4							
	Factores			Factores			Interacciones			
	A	B	C	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Identificador decimal del experimento										
0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	-1
1	1	0	0	1	-1	-1	-1	-1	1	1
2	0	1	0	-1	1	-1	-1	1	-1	1
3	1	1	0	1	1	-1	1	-1	-1	-1
4	0	0	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
5	1	0	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
6	0	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Plan de ensayos multifactorial completo 2^3				
	Factor	Nivel	Valor	Ud
A	IMC	1	>24,33	kg/m^2
		-1	<24,33	kg/m^2
B	edad	1	>26,74	años
		-1	<26,74	años
C	antigüedad	1	>4,44	años
		-1	<4,44	años

Tablas del plan multifactorial de experimentos y de ensayos.

El uso de un sistema de numeración binario inverso para su representación nos permitirá realizar la permutación de factores de un modo más sencillo, y con ello identificar perfectamente las distintas combinaciones o configuraciones de los experimentos, constituyendo finalmente el plan que define a uno de los ensayos de la gama diseñada.

Con el objeto de definir e identificar fácilmente los diferentes factores y sus niveles de significación intervinientes en el DEE, se incluyen las tablas del plan multifactorial de experimentos y de ensayos completo, en las que se muestran los conceptos de los factores de estudio, sus niveles de significación y la magnitud en que se evalúan estos.

Como paso siguiente, se recopilan las diez mediciones tomadas (y_i), calculándose su media aritmética (y_{media}) y desviación típica ($y_{desv.}$) para cada uno de los experimentos. Asimismo, se formula el cálculo de estas mismas variables de centralización y dispersión para las diferentes mediciones obtenidas en el ensayo (y_m, s_m).

Respuesta											
Mediciones											
y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{media}	$y_{desv.}$
3,11	3,14	2,81	3,48	3,51	2,92	3,49	3,22	3,70	3,52	3,29	0,29
2,06	2,60	2,69	2,65	2,89	2,66	2,84	2,78	3,06	3,83	2,69	0,28
3,06	3,33	3,12	3,11	3,70	3,20	2,98	2,82	3,42	3,30	3,20	0,25
2,74	2,90	3,25	2,80	2,69	2,69	2,83	2,79	2,76	2,72	2,77	0,07
3,53	3,08	2,78	3,26	3,83	3,66	3,60	3,12	3,90	2,75	3,35	0,41
3,11	3,14	2,81	3,48	3,51	2,92	3,49	3,22	3,70	3,52	3,29	0,29
3,11	2,79	3,45	3,24	2,74	3,20	3,81	3,23	3,23	3,09	3,19	0,30
2,62	3,21	3,69	3,56	3,34	2,97	3,24	3,84	3,46	3,16	3,31	0,36

Mediciones de réplicas de ensayos DEE.

A continuación se procede a obtener las medias de las respuestas de nivel alto y bajo, es decir, las de los valores medios (y_m), donde el factor o la iteración de referencia toma como respuesta un valor alto (+1) o bajo (-1) respectivamente.

$$M +_j = \sum_{i=1}^{2^4} t\,(i, j) * y_{i.} \sqrt{[t\,(i, j) > 0]} \quad M -_j = \sum_{i=1}^{2^4} t\,(i, j) * \acute{Y}_{i.} \sqrt{[t\,(i, j) < 0]}$$

La diferencia obtenida entre las distintas medias, cuantifica el *efecto* (7) que obtiene cada uno de los factores o iteraciones que constituyen el ensayo.

$$[\text{Efecto}_j = (M +_j - M -_j)]$$

Media de las respuestas a nivel alto (M+)	3,03	3,12	3,27	3,16	3,27	3,14	3,14
Media de las respuestas a nivel bajo (M-)	3,24	3,16	3,01	3,11	3,01	3,14	3,13
Efecto	-0,21	-0,04	0,26	0,05	0,27	0,00	0,01

Respuestas de nivel y efecto de factores e interacciones.

Por último, resta calcular la tabla de *contribuciones básicas* (cb) (8) de los factores e interacciones en las que se lleva a cabo la sustracción sobre la interacción correspondiente, del *efecto* (E) de todas aquellos factores o interacciones que forman parte de ella, tal y como se aprecia en la siguiente tabla.

$$Cb_j = \text{MINj}\,(\sum_{i=1}^{\text{Interacciones}} \sum_{j=1}^{\text{Factores + interacciones}} (E_{(ij)} - E_i)), \sqrt{[E\,(i, j) \text{ in } E_i]}$$

Finalmente, la *contribución básica* dirigida a cada uno de los factores o interacciones estará formada por el menor de sus valores calculados, excluyéndose por supuesto, el valor de *efecto*.

(7) *Efecto*. Variable que recoge la diferencia entre las medias de los resultados obtenidos en ensayos ante un nivel bajo y alto de respuesta. Si el resultado de esta variable resulta negativo, constata que al disminuir el valor del factor o interacción que representa aumenta el valor de respuesta y viceversa.

(8) *Contribución básica*. Variable que muestra el grado de importancia o influencia en valor absoluto entre factores y en ausencia de dependencias con sus respectivas interacciones. Este concepto contrasta con el *efecto*, el cual muestra la influencia que posee el mismo de manera combinada o, lo que es lo mismo, dependiendo de otros factores o interacciones.

	Cálculo de la contribución básica						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
Efecto	-0,21	-0,04	0,26	0,05	0,27	0,00	0,01
-ABC	-0,22	-0,05	0,25	0,04	0,26	-0,01	
-BC		-0,04	0,26				
-AC	-0,48	-0,31					
-AB	-0,26	-0,09					
Contribución básica	-0,48	-0,31	0,25	0,04	0,26	-0,01	0,01

Cálculo de la contribución básica de factores e interacciones.

Resultados

Con el objeto de razonar el análisis pormenorizado del DEE realizado, se procede a construir un gráfico de barras, en el que se representan conjuntamente el *efecto* y la *contribución básica* de los factores e interacciones que constituyen el experimento.

Tras la presentación de los resultados obtenidos para las diferentes variables, se procede a enumerar los resultados del análisis en función de los *efectos* generados por los diferentes factores e interacciones que conforman el experimento diseñado:

— Los factores A (IMC) y B (edad) presentan un efecto negativo, es decir, cuanto menor sea su valor mejor será la respuesta del comportamiento del ensayo.
— El factor C (antigüedad) presenta un efecto positivo, es decir, cuanto mayor sea su valor mejor será la respuesta del comportamiento del ensayo.

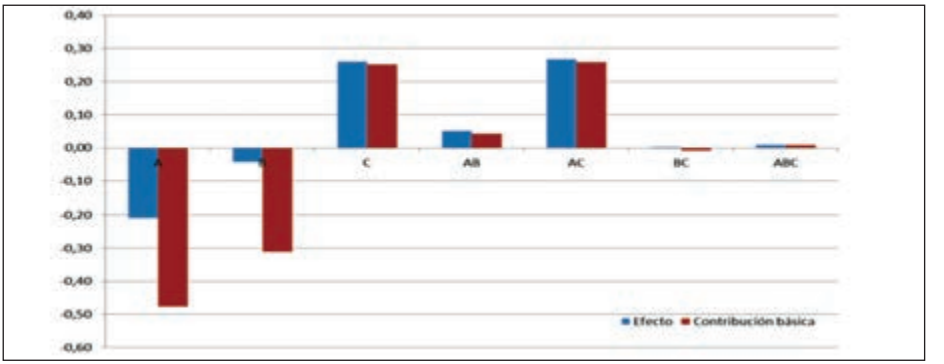


Diagrama de barras, efecto y contribución básica.

— Respecto de las interacciones dobles, la interacción AD (IMC, antigüedad) presenta un mayor efecto y además positivo; cuanto mayor sea su valor, mejor será la respuesta del comportamiento del ensayo.

A continuación se procede a enumerar los resultados obtenidos del análisis en función de la *contribución básica* aportada por los diferentes factores e interacciones que conforman el experimento:

— El factor A (IMC) presenta la mayor contribución absoluta, es decir, muestra el mayor grado de influencia respecto a los restantes factores, en ausencia de dependencia con las interacciones.
— Los factores B (edad) y C (antigüedad) presentan una contribución absoluta, es decir, muestran cierto grado de influencia respecto a los restantes y en ausencia de dependencia con las interacciones.
— Los factores A (IMC) y B (edad) muestran la *contribución básica* y por tanto podemos afirmar que el IMC y la edad son los de mayor importancia en influencia absoluta, aunque el factor C (antigüedad) presenta una contribución nada despreciable.

Análisis de regresión

Una vez obtenidos los resultados del DEE, resta obtener una función de regresión que defina la función de desplazamiento de un miembro de la fuerza embarcada en función de los niveles de significación de sus factores (IMC, edad, antigüedad), parametrizados de acuerdo a sus datos profesionales y antropométricos.

Asimismo en un primer paso y a modo de proceso de depuración, se retoma la tabla de mediciones captadas del DEE para aplicar el Criterio de Chauvenet (9), que a partir del número de mediciones realizadas por experimento ($k = 10$) designa un valor ($n = 1{,}96$), el cual actúa de valor de cota para la identificación de mediciones atípicas.

La aplicación de este criterio se asocia al siguiente proceso de análisis de regresión en base a la aplicación de la ecuación de Shieffle (10) en la cual se sustenta. De acuerdo con esta disposición y observando los valores anómalos identificados en la tabla siguiente, las condiciones de la ecuación Shieffle exigen la supresión de estos datos del proceso de regresión, al objeto de evitar

(9) *Criterio de Chauvenet*. Basado en un proceso de tipificación en valor absoluto para la determinación de, entre un conjunto de mediciones, aquellas que se consideren valores atípicos o anómalos.

(10) Ecuación de Shieffle de regresión sustentada en la validación del Criterio de Chauvenet, al objeto de anular el error cometido y por tanto su ($\varepsilon = 0$).

Criterio de Chauvenet											
y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	k	n
0,0732	0,0078	0,88344	0,9261	1,0071	0,5863	0,9531	0,2239	1,5203	1,0341	2	1,15
2,909	1,4506	1,20753	1,3156	0,6674	1,2886	0,8024	0,9645	0,2082	1,8714	3	1,35
0,2082	0,521	0,03339	0,0814	1,524	0,1673	0,4283	0,86	0,7752	0,4421	4	1,54
1,0725	0,6404	0,30492	0,9104	1,2075	1,2075	0,8177	0,9306	1,0184	1,1286	5	1,68
1,0611	0,1542	0,9564	0,3354	1,8631	1,4135	1,2626	0,0328	2,0588	1,0485	6	1,73
0,0732	0,0078	0,88344	0,9261	1,0071	0,5863	0,9531	0,2239	1,5203	1,0341	10	1,96
0,0732	0,9375	0,84508	0,2779	1,0725	0,1699	1,8174	0,2509	0,2636	0,1227	20	2,24
1,3966	0,1969	1,49328	1,1422	0,548	0,4513	0,2779	1,8984	0,8721	0,0618	25	2,33

Identificación de valores anómalos por Chauvenet (k = 10).

la inclusión de ruido alguno en la ecuación de regresión finalmente obtenida y por tanto el error en que se incurra será inexistente ($\varepsilon = 0$).

Asumidos los prolegómenos del análisis de regresión seleccionado, se procede a definir la interpolación de los niveles de significación para los distintos factores, en función de los intervalos de valores de trabajo acotados por las diferentes disposiciones normativas.

Interpolación lineal								
$y^{*}=(x-x1/X^{*}-x1)$; $y^{*}=(x-x^{*}/x2-x^{*})-1$								
A	kg/m^2		B	años		C	años	
x1	24,33	40	x1	26,74	52	x1	4,44	34
x2	24,33	18,5	x2	26,74	18	x2	4,44	0
y1	1		y1	1		y1	1	
y2	-1		y2	-1		y2	-1	

Interpolación lineal, cota de intervalos y niveles de significación.

Fruto de la interpolación realizada, se alcanzan los valores relativos de los diferentes factores dentro de un intervalo [-1,1], que determina el recorrido de los niveles de significación para cada característica de un miembro de la fuerza embarcada. Los recorridos de los diferentes intervalos asignados a cada factor corresponden con los valores máximos y mínimos designados por la normativa vigente.

Finalmente, se calcula la recta de regresión estructurada de acuerdo a los parámetros de la tabla siguiente, entre los que se identifica la media aritmética (b_0) de la totalidad de mediciones adaptadas al DEE y la mitad del valor de *efecto* (b_i) relativo a cada factor o interacción que constituye la función de regresión.

y=b0+b1 A+b2 B+b3 C+b4 AB+b5 AC+b6 BC+b7 ABC

b_0	3,14	b_4	0,04
b_1	-0,12	b_5	0,14
b_2	-0,02	b_6	-0,02
b_3	0,15	b_7	0,00

	A	B	C
Real	18,5	27	0
Trf	-1	0,0103	-1

y	3,247

Composición de la función de regresión.

Como ejemplo de la tabla anterior, se configura un miembro de la fuerza embarcada, con un índice de masa corporal A=18,5 kg/m2, con una edad B = 27 años y unos tiempos de antigüedad C = 0 años, obteniéndose finalmente que el tiempo estimado de desplazamiento a través de un corredor de cinco metros de longitud sería de y = 3,247 segundos.

Conclusiones

El empleo de la metodología del DEE supone un claro ahorro de trabajo a la hora de acometer las fases análisis y diseño de un estudio respecto a la aplicación de la técnica tradicional de muestreo estratificado, la cual supone unos tamaños muestrales muy superiores para una misma población y un error admisible dentro de unos márgenes aceptables.

Al mismo tiempo, estas metodologías basadas en el diseño multifactorial no solo permiten identificar los factores que realmente intervienen en el estudio, sino que además identifican el grado o magnitud y el modo en el que intervienen.

A la vista de las premisas y conclusiones ya enumeradas, podemos resumir que los factores A (IMC) y B (edad) son los que mayor influencia aportan al estudio, siendo esta negativa. Por el contrario, el factor C (antigüedad) muestra la menor influencia, aunque esta resulta positiva.

De este modo, cuanto menor sea el IMC y la edad del individuo, mayor será el tiempo empleado en el ensayo de referencia, que para el caso que compete a este artículo trata un desplazamiento rectilíneo en un corredor de cinco metros en el buque de estudio. Asimismo, cuanto mayor sea la antigüedad del individuo, mayor será el tiempo empleado en el ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

MONTGOMERY DOUGLAS C. (2009): *Introducción al control estadístico de calidad*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-470-16992-6.

MONTGOMERY DOUGLAS, C.; RUNGER GEORGE, C. (2011): *Probabilidad y Estadística aplicada para ingenieros*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN–13: 978-0-470-05304-1.

ACERO, Raquel; PASTOR, Jorge; SANCHO, Joaquín; TORRALBA, Marta: *Ingeniería de la calidad*. CUD Zaragoza. ISBN: 978-84-938411-13.

MARTÍNEZ GRUEIRA, Heitor (2017): *DEE, adquisición de datos y estudio del desplazamiento para evacuación de dotaciones embarcadas*, CUD-UAH.

El Camino Español entrando en Cartagena, los patrulleros *Alborán* y *Tarifa* atracados en el muelle de La Curra y la fragata *Blas de Lezo* en calibración magnética. (Foto: David Iglesias Piñeiro).