

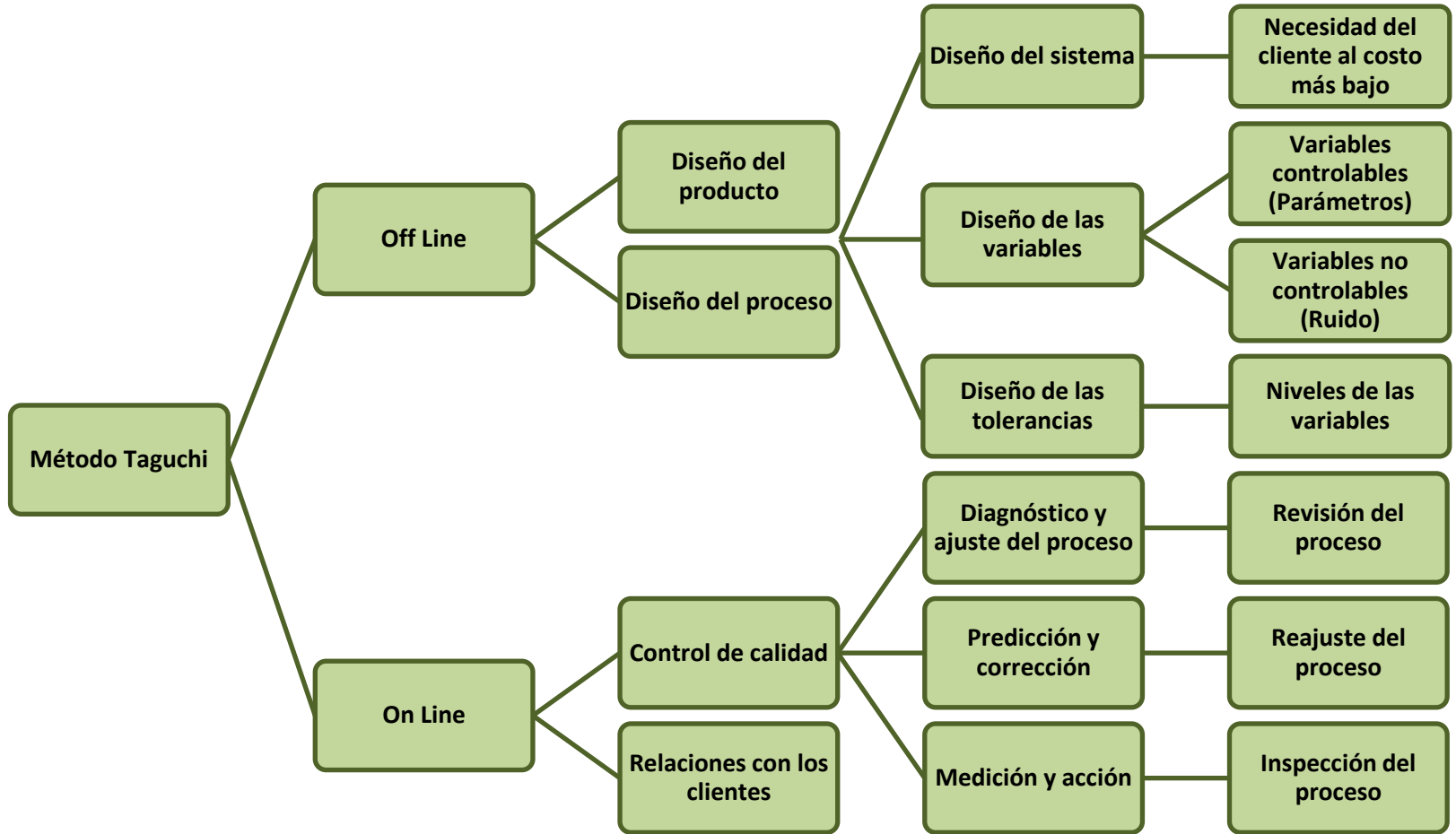
# Método Taguchi para optimización del tratamiento de mejora del terreno de la autovía A – 66 «*Ruta de la Plata*»

Realizado por:  
Miguel Ángel Idigoras León  
Iván Gallego Pérez

Asignatura: Evaluación no destructiva  
Tutor: Guillermo Rus Carlborg



El Método Taguchi es una herramienta eficiente en el diseño y optimización de productos





## Definición del problema a solventar

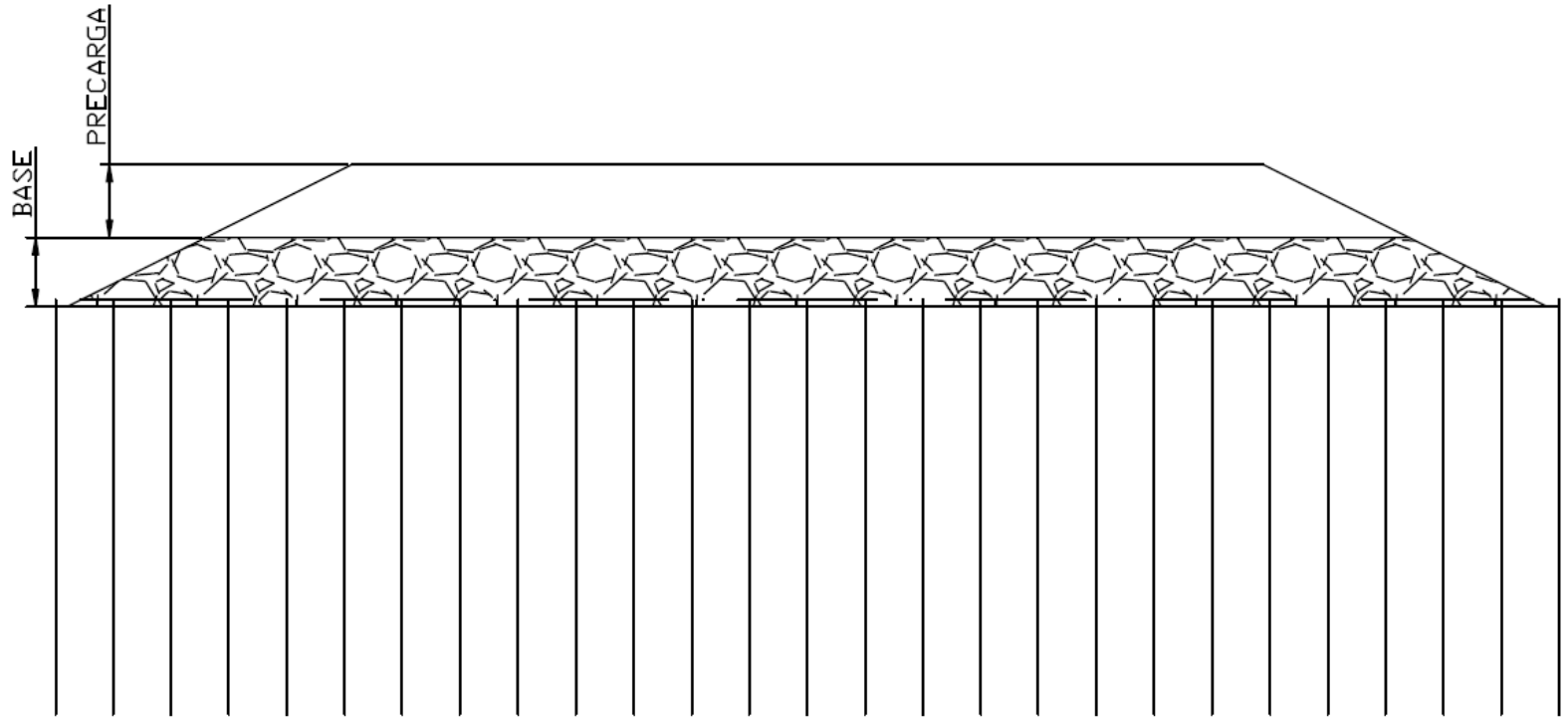


Figura 1. Exposición de los distintos métodos a combinar. Elaboración propia

Se trata de optimizar el problema de consolidación del terreno base de la autovía mediante la combinación de diversas técnicas.



## Elección de las variables controlables y rango de estudio

Parámetros		Características			Niveles		
					1	2	3
<b>A</b>	Separación mechas drenantes				2,00 m	2,50 m	3,00 m
<b>B</b>	Longitud mechas drenantes				20 m	25 m	30 m
<b>C</b>	Altura de base de terraplén				1,00 m	2,00 m	3,00 m
<b>D</b>	Tiempo de precarga				3 meses	6 meses	9 meses

Tabla 1. Factores y grados de libertad de las variables controlables (3<sup>4</sup>). Elaboración propia.

## Elección de las variables no controlables y rango de estudio

Ruidos		Características		Niveles (cm)	
				1	2
<b>E</b>	Separación mechas drenantes			-10	+10
<b>F</b>	Longitud mechas drenantes			-5	+5
<b>G</b>	Altura de base de terraplén			-3	+3

Tabla 2. Factores y grados de libertad de las variables no controlables (2<sup>3</sup>). Elaboración propia.



## Matrices ortogonales definitorias de nuestro problema

Matriz	Número máximo de factores
<b>L<sub>4</sub></b>	3 Factores x 2 Niveles
<b>L<sub>8</sub></b>	7 Factores x 2 Niveles
<b>a</b>	1 Factor x 4 Niveles y 4 Factores x 2 Niveles
<b>b</b>	1 Factor x 4 Niveles y 4 Factores x 2 Niveles
<b>L<sub>9</sub></b>	4 Factores x 3 Niveles
<b>L<sub>12</sub></b>	11 Factores x 2 Niveles
<b>L<sub>16</sub></b>	15 Factores x 2 Niveles
<b>a</b>	1 Factor x 4 Niveles y 12 Factores x 2 Niveles
<b>b</b>	1 Factor x 4 Niveles y 12 Factores x 2 Niveles
<b>c</b>	2 Factores x 4 Niveles y 9 Factores x 2 Niveles
<b>d</b>	3 Factores x 4 Niveles y 6 Factores x 2 Niveles
<b>e</b>	4 Factores x 4 Niveles y 3 Factores x 2 Niveles
<b>f</b>	5 Factores x 4 Niveles
<b>g</b>	1 Factor x 8 Niveles y 8 Factores x 2 Niveles
<b>L<sub>18</sub></b>	7 Factores x 3 Niveles y 1 Factores x 2 Niveles
<b>a</b>	7 Factores x 3 Niveles y 1 Factores x 2 Niveles
<b>b</b>	1 Factor x 1 Niveles y 6 Factores x 3 Niveles
<b>L<sub>27</sub></b>	13 Factores x 3 Niveles
<b>a</b>	13 Factores x 3 Niveles
<b>b</b>	1 Factor x 9 Niveles y 9 Factores x 3 Niveles

Tabla 3. Matrices más utilizadas (estándar y modificadas).  
American Supplier Institute.

Experimentos	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabla 4. Matriz ortogonal L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>).  
American Supplier Institute.

Experimentos	E	F	G
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Tabla 5. Matriz ortogonal L<sub>4</sub> (2<sup>3</sup>).  
American Supplier Institute.



La variable de salida (altura de precarga) se ha obtenido a través de la introducción de los datos de cada uno de los diferentes experimentos en el programa *Settle 3D*.

Experimentos	A	B	C	D	Altura de precarga (m.)
1	1	1	1	1	5,59
2	1	2	2	2	3,67
3	1	3	3	3	1,71
4	2	1	2	3	4,61
5	2	2	3	1	6,22
6	2	3	1	2	3,04
7	3	1	3	2	7,03
8	3	2	1	3	4,34
9	3	3	2	1	5,08

Tabla 6. Resultados de altura de precarga de la matriz experimento (sin ruido). Elaboración propia.

TABLA DE RESPUESTAS			
FACTOR	Altura de precarga por nivel		
	1	2	3
A	5,59+3,67+1,71	4,61+6,22+3,04	7,03+4,34+5,08
B	5,59+4,61+7,03	3,67+6,22+4,34	1,71+3,04+5,08
C	5,59+3,04+4,34	3,67+4,61+5,08	1,71+6,22+7,03
D	5,59+6,22+5,08	3,67+3,04+7,03	1,71+4,61+4,34

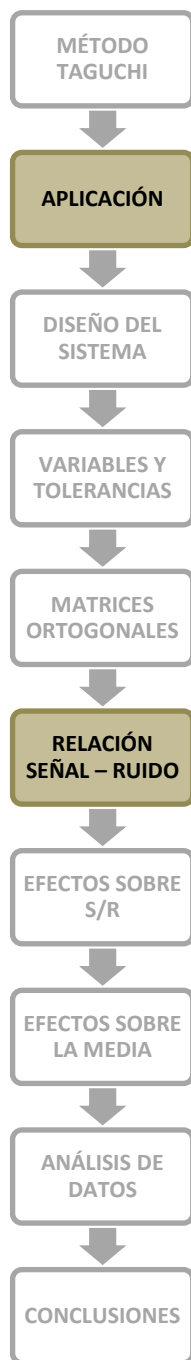
TABLA DE RESPUESTAS			
FACTOR	Altura de precarga por nivel		
	1	2	3
A	10,97	13,87	16,45
B	17,27	14,23	9,83
C	12,97	13,36	14,96
D	16,89	13,74	10,66

Obtenemos el valor de la variable de salida por niveles de cada factor.

En nuestro caso, elegimos aquellos valores inferiores.

Tabla 7. Predicción de los niveles óptimos (sin ruido). Elaboración propia.

Solución Método Taguchi sin ruido: A(1) separación 2 m, B(3) longitud 30 m, C(1) altura base 1 m, D(3) tiempo de espera 9 meses. Esto equivale a una altura de precarga de **2,62 m**.



## Datos requeridos en el cálculo mediante la relación señal – ruido

Criterio	S/R
Mientras más pequeña mejor.	$\frac{S}{R} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_1^n y_i^2 \right)$
Mientras más grande mejor.	$\frac{S}{R} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{1}{y_i^2} \right)$
Un valor nominal objetivo.	$\frac{S}{R} = 10 \log \left( \frac{\bar{y}_i^2}{S^2} \right)$
Un valor nominal objetivo.	$\frac{S}{R} = -10 \log(S^2)$
Proporción de defectuosos.	$\frac{S}{R} = 10 \log \left( \frac{P}{1-P} \right)$

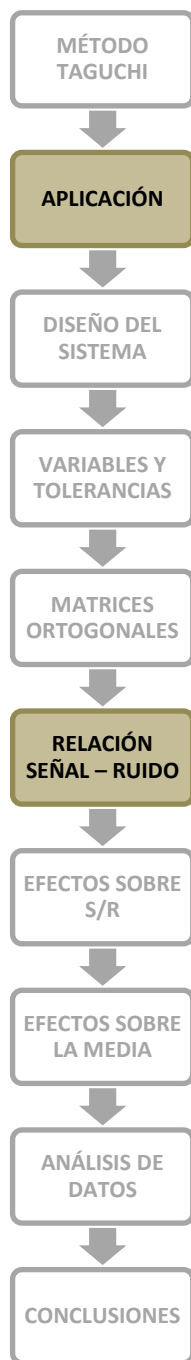
Tabla 8. Criterios de medición señal/ruido.  
Gutiérrez y Salazar, 2008, p. 530.

Experimentos	E	F	G
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Tabla 5. Matriz ortogonal  $L_4 (2^3)$ .  
American Supplier Institute.

Ruidos	Características	Niveles (cm)	
		1	2
E	Separación mechas drenantes	-10	+10
F	Longitud mechas drenantes	-5	+5
G	Altura de base de terraplén	-3	+3

Tabla 2. Factores y grados de libertad de las variables no controlables ( $2^3$ ).  
Elaboración propia.



## Búsqueda de la solución mediante la relación S/R

Diseño ortogonal del Método de Taguchi	Ruido	E	1	2	2	1	Media	Desviación típica	$S = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$	
		F	1	2	1	2				
		G	1	1	2	2				
Parámetros				Altura de precarga (obtenida por Settle 3D)						
A	B	C	D							
1	1	1	1	5,67	5,66	5,64	5,60	5,64	0,031	-11,507
1	2	2	2	3,74	3,73	3,73	3,70	3,73	0,018	-7,901
1	3	3	3	1,77	1,76	1,75	1,72	1,75	0,021	-1,339
2	1	2	3	4,66	4,68	4,66	4,62	4,66	0,026	-9,836
2	2	3	1	6,28	6,26	6,25	6,24	6,26	0,017	-12,406
2	3	1	2	3,10	3,10	3,08	3,06	3,09	0,020	-6,263
3	1	3	2	7,09	7,08	7,08	7,05	7,08	0,018	-13,472
3	2	1	3	4,42	4,41	4,40	4,37	4,40	0,022	-9,347
3	3	2	1	5,15	5,14	5,12	5,11	5,13	0,018	-10,680

Tabla 9. Aplicación del método de Taguchi. Elaboración propia.



MÉTODO  
TAGUCHI

APLICACIÓN

DISEÑO DEL  
SISTEMA

VARIABLES Y  
TOLERANCIAS

MATRICES  
ORTOGONALES

RELACIÓN  
SEÑAL – RUIDO

EFFECTOS SOBRE  
S/R

EFFECTOS SOBRE  
LA MEDIA

ANÁLISIS DE  
DATOS

CONCLUSIONES

## Identificación de las señales robustas y débiles

	A			B			C			D		
Nivel	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
S/R	-11,51	-9,84	-13,47	-11,51	-7,90	-1,34	-13,47	-7,90	-1,34	-11,51	-7,90	-1,34
	-7,90	-12,41	-9,35	-9,94	-12,41	-6,26	-6,26	-9,84	-12,41	-12,41	-6,26	-9,84
	-1,34	-6,26	-10,68	-13,47	-9,35	-10,68	-9,35	-10,68	-13,47	-10,68	-13,47	-9,35
Promedio	-6,92	-9,50	-11,17	-11,64	-9,89	-6,09	-9,69	-9,47	-9,07	-11,53	-9,21	-6,84
Efecto	4,25			5,55			0,62			4,69		

Tabla 10. Efectos de señales sobre la relación S/R o de robustez. Elaboración propia.

Los mayores valores de efecto son los correspondientes a los factores que dotan de robustez al sistema.

	A			B			C			D		
Nivel	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Media	5,64	4,66	7,08	8,64	3,73	1,75	5,64	3,73	1,75	5,64	3,73	1,75
	3,73	6,26	4,40	4,66	6,26	3,09	3,09	4,66	6,26	6,26	3,09	4,66
	1,75	3,09	5,13	7,08	4,40	5,13	4,40	5,13	7,08	5,13	7,08	4,40
Promedio	3,71	4,67	5,54	6,79	4,80	3,32	4,38	4,51	5,03	5,68	4,63	3,60
Efecto	1,83			3,47			0,65			2,08		

Tabla 11. Efectos de señales sobre la media. Elaboración propia.

Los mayores valores de efecto son los correspondientes a los factores que modifican la variable de salida sin interactuar con el resto de factores.

Solución Método Taguchi con ruido: A(1) separación 2 m, B(3) longitud 30 m, C(3) altura base 3 m, D(3) tiempo de espera 9 meses. Esto equivale a una altura de precarga de **1,71 m**.



## Análisis de datos

- En función del efecto sobre S/R se determinan los factores que dotan de robustez al sistema. Esto significa que manteniendo fijos los valores de los parámetros robustos la variable de salida no cambia en gran medida.  
En nuestro caso, los parámetros robustos son: A, B y D.
- En función del efecto sobre la media se escogen aquellas variables que más modifican la variable de salida sin interactuar con los otros parámetros.  
En nuestro caso, el parámetro débil sería B. No obstante, al afectar a la robustez no se considera parámetro débil.
- El resto de parámetros que no tienen relevancia sobre alguno de estos efectos, se elijen en función del coste.  
En nuestro caso, este parámetro sería el C.



## Conclusiones

- El numero de experimentos a realizar en procesos de optimización disminuye notablemente utilizando el método Taguchi.
- Cuando se introduce la relación señal – ruido el número de experimentos sufre un rápido crecimiento.
- La reducción del número de experimentos que propone el método Taguchi conlleva una falta de análisis en el estudio de las combinaciones posibles, por lo que se obtiene una solución próxima a la óptima.
- En nuestro caso concreto, según el método Taguchi el factor C no tiene efecto sobre la variable de salida; no obstante, al variar la altura de base de 1 m a 3m la altura de precarga cambia en 0,91 m.

## Bibliografía

- Yuin Wu, Alan Wu (1997), *Diseño Robusto utilizando los métodos Taguchi*, Díaz de Santos, Madrid.
- Ross P. J. (1988), *Taguchi techniques for quality engineering*, Mc Graw – Hill, Nueva York.
- Javier D. Fernández, Bernardo L. Hoyos (2011), *Optimización a partir del método estadístico de Taguchi con aplicación en procesos tecnológicos*, Revista internacional de investigación – memorias, vol. 9, No. 16, pag. 62 – 81.
- Marco A. Hernández R., Saúl Santillán G., Volodymir Sabelkin, Marcelo López Parra (2003), *Caso de aplicación del método Taguchi en el diseño de herramientas de muestreo de hidrocarburos*, Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo, vol. 1, pag. 91 – 101.
- Eduardo Arturo Cruz Trejos, Pedro Daniel Medina Varela, Carlos Andrés Silva Díaz (2012), *Una revisión crítica de la razón señal – ruido usada por Taguchi*, Scientia et Technica, vol. 17, No. 50, pag. 52 – 56.

## Webgrafía

- María Dolores Ruíz Medina, *Tema 9: Desarrollo de la metodología Taguchi*.  
[http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema\\_9.pdf](http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema_9.pdf)
- Juan Medina Collana, «*Diseño de experimentos*» *Método Taguchi*.  
<http://es.slideshare.net/fenomenos/exposicion-unida-metodo-taguchi>
- American Supplier Institute, *Capitulo 5: Matrices ortogonales*.  
<http://www.valoryempresa.com/archives/matricesortogonales.pdf>