

ANÁLISIS MAHALANOBIS-TAGUCHI DE LA SIGNIFICANCIA DE DATOS ACERCA DE TUMORES CANCEROSOS EN LA MAMA

MAHALANOBIS-TAGUCHI ANALYSIS OF THE SIGNIFICANCE OF DATA ABOUT CANCEROUS TUMORS IN THE BREAST

Rodríguez Medina Manuel Arnoldo¹, Rodríguez Borbón Manuel Iván², Pinto Santos Jorge Adolfo³, Herrera
Ríos Ericka Berenice⁴, Meléndez Pastrana Inocente Yuliana⁵

¹Doctor en Ciencias de la Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500, Cd. Juárez Chihuahua, México. Manuel.rm1@cdjuarez.tecnm.mx

²Doctor en Filosofía. New Mexico State University / Industrial Engineering Department. 1780 E University Ave, Las Cruces, NM 88003, Estados Unidos. ivanrodr@nmsu.edu

³Doctor en Tecnología. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500, Cd. Juárez Chihuahua, México. Jorge.ps@cdjuarez.tecnm.mx

⁴Doctora en Ciencias de la Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500, Cd. Juárez Chihuahua, México. ericka.hr@itcj.edu.mx

⁵Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico 1340, Fuentes del Valle, C.P. 32500, Cd. Juárez Chihuahua, México. eduardo.po@cdjuarez.tecnm.mx

Resumen – En este trabajo se aplicó el Sistema Mahalanobis-Taguchi (MTS) a la base de datos sobre cáncer de mama en el Hospital de la Universidad de Wisconsin, ubicada en Madison, la cual está a cargo del Dr. William H. Wolberg. La metodología de Mahalanobis mide las distancias en los sistemas multivariados, tomando en consideración la correlación existente entre las variables analizadas. Por otra parte, este sistema también es aplicado para hacer predicciones mediante una escala de medición multivariable. El propósito de este estudio, es determinar las variables significativas para identificar las diferencias de un grupo a otro, y así calcular la distancia Mahalanobis (DT) entre dos grupos de pacientes: el primero, con tumores cancerosos (grupo no saludable), y el segundo grupo diagnosticado como saludable.

Palabras Clave-- Distancia de Mahalanobis, Razón Señal-a-Ruido, Arreglos Ortogonales, Matriz de Correlación.

Abstract -- In this work, the Mahalanobis-Taguchi System (MTS) was applied to database on breast cancer at the Hospital of the University of Wisconsin, located in Madison, which oversees Dr. William H. Wolberg. The Mahalanobis methodology measures the distances in multivariable systems, considering correlation between the variables analyzed. On the other hand, this system is also applied to make predictions through a multivariate measurement scale. The purpose of this study is to determine the significant variables to identify the differences from one group to another, and thus calculate the Mahalanobis distance (DT) between two groups of patients: the first, with cancerous tumors (unhealthy group), and the second. second group diagnosed as healthy.

Keywords-- Mahalanobis Distance, SNR, Orthogonal Arrays, Correlation Matrix.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Mahalanobis-Taguchi (MTS por sus siglas en inglés) es una colección de métodos multivariados propuestos para el diagnóstico y pronóstico, cuyo enfoque propone que los datos deben estar dispuestos en grupos denominados "normal" o "sano" y/o en grupo "poco saludables" o "anormal". El primer método es la distancia Mahalanobis (MD por sus siglas en inglés), la cual es medida sobre la base de un conjunto de variables descriptivas y se utiliza para separar los elementos normales y anormales. Si se puede establecer la existencia de una DM, el número de variables se reduce utilizando los arreglos de Taguchi, los cuales, son un tipo de matrices ortogonales (OA) y la relación señal-ruido (SNR). Las áreas de aplicación son diversas, tales como el sistema comercial multilateral, incluyendo el diagnóstico médico, reconocimiento de patrones, de pruebas en línea de productos, fiabilidad o problemas de servicio, y una amplia gama de calidad y mejora de procesos problemas, de tal manera que se aplicará la MD a cualquier subconjunto del espacio seleccionado como uniforme para el cálculo de la distancia.

La segunda estrategia del MTS, utiliza la relación señal a ruido de la distancia, con relación al número del espacio conocido como valor real de la clasificación real. Por último, la tercera estrategia optimiza mediante arreglos ortogonales, todos los factores de la información para mejorar la SNR y así evaluar y reconocer patrones a partir de datos multidimensionales. La calidad de las mediciones se evalúa con la relación S/N [1] y la MD será utilizada para la construcción de la escala de medición de los sistemas multidimensionales y de los principios de Taguchi los cuales se utilizan para optimizar el sistema. Elizabeth A. Cudney [2] y Kamil et al. [3] utilizaron el Sistema Mahalanobis Taguchi para mejorar la industria eléctrica y electrónica de Malasia, mediante la innovación

de productos y la determinación de parámetros de productos y procesos haciendo énfasis sobre la ganancia en decibelios en un componente magnético en un ambiente de producción. Usaron el MTS para mejorar la calidad del producto en una inspección visual clasificando los productos como normales o anormales logrando mejorar varios parámetros y, como consecuencia la calidad final del producto. Muhamad et al. [4] utilizan la MD y EL MTS en la minería de datos, para la utilización y clasificación de estos. Wodall et al. [5] realizaron experimentos para verificar el MTS como una herramienta de análisis multivariable usando la MD para medir el grado de anormalidad de los artículos, verificando el uso de los arreglos ortogonales y la SNR para clasificar las variables que mayormente contribuyen a la anormalidad.

Xiao et al. [6] desarrollan un interesante trabajo sobre el uso del MTS como un sistema de diagnóstico y predicción, haciendo la observación de que es regularmente utilizado para muestras grandes y datos desbalanceados, pero poco utilizado para muestras pequeñas de alta dimensión. Los autores hacen la observación sobre la inestabilidad de la matriz inversa de la matriz de covarianza y la inestabilidad del proceso de selección. En su documento hacen la propuesta de un métrico de Mahalanobis modificado buscando reducir la influencia de la inestabilidad de la matriz inversa bajo la condición de muestras pequeñas

Pizarro et al. [7] hacen énfasis en el concepto de producto robusto de Taguchi, haciendo la consideración de que determinando los niveles adecuados de los factores controlables será posible tener un producto que no se desvíe de sus características funcionales (producto Robusto). De acuerdo con esto, diseñan una estrategia de control y un análisis de factibilidad para la implementación de la estrategia, bajo un análisis costo-beneficio. Medina et al. [8] implementaron un diseño utilizando la metodología de Taguchi en un ingenio azucarero para mejorar el nivel de extracción de azúcar.

La Distancia de Mahalanobis

Introducida por P.C. Mahalanobis en 1936, cuyo objetivo es el de determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales y se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$MD = D^2 = \frac{1}{k} Z_i C^{-1} Z_i^T \quad Ec. (1)$$

donde Z_i y Z_i^T son el vector estandarizado en fila y transpuesto, respectivamente. El vector estandarizado se obtiene al restar la media y dividir la diferencia entre su desviación estándar.

DESARROLLO

A continuación, se describen las etapas y requerimientos para el análisis de valores atípicos con la finalidad de determinar las variables significativas utilizando el Sistema Mahalanobis-Taguchi.

Etapa I: Construcción de una escala de medición

- Definir las variables que determinan la falta de salud de un paciente/sujeto.
- Recolectar los datos sobre todas las variables del grupo saludable
- Calcular los valores estandarizados.
- Calcular las MD de todas las observaciones.
- Utilizar este espacio como punto de referencia para la escala de medición.

Etapa II: Validación de la escala de medición

- Identificar las condiciones anormales.
- Calcular las MD correspondientes a las condiciones anormales y normalizarlas usando la media y la desviación estándar de las variables correspondientes al grupo saludable.
- Determinar la matriz de correlación correspondiente al grupo saludable utilizada para encontrarlos MD de las condiciones anormales.
- Si la escala es buena, los MD correspondientes a las condiciones anormales deberán tener valores más altos, de esta manera la aproximación a la escala es asegurada.

Etapa III: Identificar las variables útiles

- Identificar el conjunto de variables útiles mediante OA y SNR.
- Un OA es una matriz de diseño que contiene los niveles de varios factores en las corridas de un experimento para investigar los efectos de las variables en una respuesta de interés.
- Cada factor del experimento es asignado a una columna del OA, y los renglones de la matriz corresponden a las corridas experimentales.
- El MTS tiene “p” factores en el experimento, cada uno de ellos con dos niveles.
- El nivel de un factor significa la inclusión o exclusión de una variable en el análisis.
- Cada renglón del OA determina cuáles variables se incluyen en cualquier experimento dado.
- Para cada una de estas corridas, los valores MD son calculados para los artículos anormales como se indica en la Etapa II, pero utilizando sólo las variables indicadas.
- Estos valores MD se usan entonces para calcular el valor SNR, lo que se convierte en la respuesta de la corrida.
- MTS recomienda utilizar la SNR mayor es mejor, ya que esta nos permite separar más fácilmente los valores de MD anormales de los normales.

Etapa IV: Diagnóstico Futuro con las Variables Útiles.

Por último, en esta etapa de se involucra al diagnóstico futuro y al pronóstico con la escala MTS, basados en las variables útiles. Woodall, et. al, [5] y Taguchi, et. al [9] proponen una metodología para la construcción de una escala de medición multivariable, esto con el fin de

entender los comportamientos de los diferentes modelos, los cuales, son capaces de medir y/o predecir las condiciones de los sistemas multivariados, de tal manera que es posible hacer inferencias apropiadas en relación con la importancia de las variables.

Limón et al., [10], evalúan la robustez del MTS y de los arreglos que pudieran utilizarse para discriminar las variables consideradas en un estudio, para lo cual, se utilizan diferentes niveles de un diseño factorial fraccionado de 29, además de todas las fracciones posibles para cada nivel, evaluando la variabilidad de cada arreglo utilizado. En este caso particular, se tomaron los datos del estudio del cáncer de mama de la Universidad de Wisconsin, en cuyo análisis utilizaron un arreglo ortogonal L12.

Rodríguez Medina et al (2015) [11], analizaron los problemas de deserción escolar, reprobación y el bajo índice de eficiencia terminal en las Instituciones de Educación Superior (IES) en México. Su documento incluye una investigación realizada en una IES mexicana en el norte de la república, en la frontera con Estados Unidos. Su investigación hace uso de la metodología de Mahalanobis-Taguchi y de modelos lineales generalizados para hacer un estudio comparativo y determinar la importancia de las variables en su influencia sobre los indicadores más importantes en las IES: la reprobación y la eficiencia terminal.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Construcción de la escala de medición

Los datos en las Tablas 1 y 2 fueron tomados de la base de datos de The University of Wisconsin Hospitals, Madison del Dr. Williams H. Wolberg, los cuales son del dominio público. El documento ilustra la forma de análisis del MTS para determinar valores atípicos, coadyuvando así en la determinación de las variables significantes en la condición de tumores (Benigno y Maligno) aparentemente cancerosos. La Tabla 1 muestra 12 individuos que presentaban tumores benignos mientras que la Tabla 2 muestra 8 individuos con tumores malignos. Las variables consideradas en la base de datos fueron:

- X1 = Grosor
- X2 = Uniformidad del tamaño
- X3 = Uniformidad de la forma
- X4 = Adhesión marginal
- X5 = Tamaño de célula epitelial único
- X6 = Núcleos vacíos
- X7 = Cromatina suave
- X8 = Nucléolos normales
- X9 = Mitosis

Tabla 1. Datos del Grupo saludable (Tumor Benigno=2)

IND	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1	5	1	1	1	2	1	3	1	1

2	5	4	4	5	7	10	3	2	1
3	3	1	1	1	2	2	3	1	1
4	6	8	8	1	3	4	3	7	1
5	4	1	1	3	2	1	3	1	1
6	1	1	1	1	2	10	3	1	1
7	2	1	2	1	2	1	3	1	1
8	2	1	1	1	2	1	1	1	5
9	4	2	1	1	2	1	2	1	1
10	1	1	1	1	1	1	3	1	1
11	2	1	1	1	2	1	2	1	1
12	1	1	1	1	2	3	3	1	1

Tabla 2. Datos del Grupo No Saludable (Tumor Maligno=4)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1	8	10	10	8	7	10	9	7	1
2	8	7	5	10	7	9	5	5	4
3	7	4	6	4	6	1	4	3	1
4	10	7	7	6	4	10	4	1	2
5	10	5	5	3	6	7	7	10	1
10	8	4	5	1	2	7	7	3	1
7	10	7	7	3	8	5	7	4	3
8	10	10	10	8	6	1	8	9	1

La Tabla 3 muestra la matriz de correlación del grupo saludable la cual será invertida (Tabla 4) para obtener las DT del grupo saludable. El AO de la Tabla 12, muestra las diferentes combinaciones del arreglo ortogonal $L_{12}(2^{11})$ donde los 1's representarán la presencia de la variable y los 2's representarán su ausencia. Se calculará una matriz de correlación para cada una de las combinaciones del AO para las variables mencionadas anteriormente.

Tabla 3. Matriz de Correlación del Grupo Saludable

1.00	0.69	0.64	0.42	0.52	0.08	0.16	0.60	-0.18
0.69	1.00	0.98	0.23	0.50	0.33	0.18	0.96	-0.14
0.64	0.98	1.00	0.23	0.50	0.33	0.24	0.96	-0.14
0.42	0.23	0.23	1.00	0.85	0.51	0.22	0.02	-0.13
0.52	0.50	0.50	0.85	1.00	0.67	0.15	0.28	-0.09
0.08	0.33	0.33	0.51	0.67	1.00	0.33	0.20	-0.18
0.16	0.18	0.24	0.22	0.15	0.33	1.00	0.19	-0.81
0.60	0.96	0.96	0.02	0.28	0.20	0.19	1.00	-0.11
-0.18	-0.14	-0.14	-0.13	-0.09	-0.18	-0.81	-0.11	1.00

Tabla 4. Inversa de la matriz de Correlación del Grupo Saludable Combinación 1

4.01	-5.10	8.94	-0.14	-3.95	2.61	-1.37	-5.27	-0.30
-5.10	87.67	-18.43	-2.13	-11.55	-3.76	13.88	-60.87	11.32
8.94	-18.43	86.89	4.91	-30.84	10.38	-10.80	-63.10	-4.58
-0.14	-2.13	4.91	5.76	-6.58	1.25	-2.28	-0.80	-1.18
-3.95	-11.55	-30.84	-6.58	23.03	-6.40	3.03	37.46	-0.09
2.61	-3.76	10.38	1.25	-6.40	4.25	-2.43	-6.64	-0.91
-1.37	13.88	-10.80	-2.28	3.03	-2.43	6.61	-3.22	4.69
-5.27	-60.87	-63.10	-0.80	37.46	-6.64	-3.22	114.06	-6.46
-0.30	11.32	-4.58	-1.18	-0.09	-0.91	4.69	-6.46	4.64

La Tabla 5 muestra las medias aritméticas y las desviaciones estándar del grupo saludable, los cuales serán utilizados para la estandarización de las variables del grupo no saludable. Los valores estandarizados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 5. Media aritméticas y desviaciones estándar de las variables en el Grupo Saludable

	X1	X2	X3	X4	X5
Media	3.000	1.9167	1.9167	1.5000	2.4167
Desv. Est.	1.7581	2.1088	2.1088	1.2432	1.5050
	X6	X7	X8	X9	
Media	3.000	2.6667	1.5833	1.3333	
Desv. Est.	3.4112	0.6513	1.7299	1.1547	

Tabla 6. Valores Estandarizados del grupo No Saludable.

XE1	XE2	XE3	XE4	XE5	XE6	XE7	XE8	XE9
2.844	3.833	3.833	5.228	3.045	2.052	9.724	3.131	-0.29
2.844	2.411	1.462	6.837	3.045	1.759	3.583	1.975	2.309
2.275	0.988	1.936	2.011	2.381	-0.59	2.047	0.819	-0.29
3.982	2.411	2.411	3.62	1.052	2.052	2.047	-0.337	0.577
3.982	1.462	1.462	1.207	2.381	1.173	6.653	4.865	-0.29
2.844	0.988	1.462	-0.4	-0.28	1.173	6.653	0.819	-0.29

La Tabla 6 muestra los valores estandarizados del grupo No Saludable. Estos se obtuvieron restándole a cada variable del grupo No Saludable, la media aritmética de la variable correspondiente en el grupo saludable y posteriormente dividiéndola entre la desviación estándar de cada variable en el grupo saludable. La Tabla 7 y la Figura 1 muestran los datos del comparativo entre el grupo saludable y el grupo no saludable, observándose una diferencia importante en la variabilidad de cada uno de los grupos.

Tabla 7. Distancias de Mahalanobis para la combinación 1 del AO

Saludables	No saludables
0.7958	56.8268
1.0989	35.3975
0.2984	4.791
1.11989	126.6163
1.035	196.4581
1.1202	31.3841
	57.5633
	45.6437

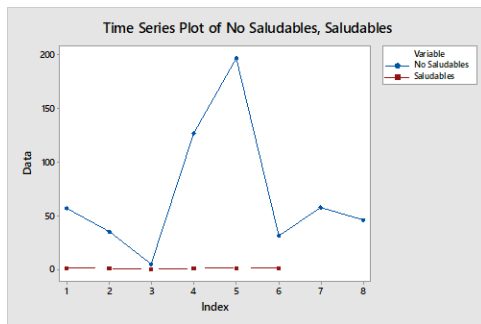


Figura 1. Gráfica comparativa de los datos saludables y no saludables

Las Tablas 8 y 9 muestran las inversas de las combinaciones 2 y 3 de la tabla del AO para el grupo saludable, mientras que la Tabla 10, describe el diseño del arreglo ortogonal, las DT resultantes.

Tabla 8. Inversa de la combinación 2 del OA (Grupo Saludable)

X1	X2	X3	X4	X5
2.376	-3.62	2.078	-0.92	0.327
-3.62	30.4	-27.2	1.999	-1.42
2.078	-27.2	26.69	-0.2	-0.64
-0.92	1.999	-0.2	4.825	-4.53
0.327	-1.42	-0.64	-4.53	5.711

Tabla 9. Inversa de la combinación 3 del OA (Grupo saludable)

X1	X2	X6	X7	X8
2.745	-6.17	1.154	-0.51	4.16
-6.17	32.47	-5.52	2.105	-26.8
1.154	-5.52	2.09	-0.71	4.331
-0.51	2.105	-0.71	1.284	-1.82
4.16	-26.8	4.331	-1.82	23.78

Tabla 10. Arreglo ortogonal L12(211), distancias de Mahalanobis y razón de señal a ruido (S/N)

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	2	2	2	2
1	1	2	2	2	1	1	1	2
1	2	1	2	2	1	2	2	1
1	2	2	1	2	2	1	2	1
1	2	2	2	1	2	2	1	2
2	1	2	2	1	1	2	2	1
2	1	2	1	2	2	2	1	1
2	1	1	2	2	2	1	2	2
2	2	2	1	1	1	1	2	2
2	2	1	2	1	2	1	1	1
2	2	2	1	2	1	2	1	2

1	2	3	4	5	6	7	8
56.83	35.4	4.971	126.6	196.4	31.38	57.56	45.6
13.54	25.19	7.482	11.16	5.624	5.217	8.599	16.74
26.12	3.89	10.84	33.66	73.92	3.12	16.29	18.44
3.995	5.62	2.05	5.67	5.11	2.48	2.41	5.325
4.48	21.34	32.21	6.48	45.26	32.28	3.59	6.723
29.32	14.19	12.39	19.98	6.89	34.57	3.2	29.35
15.42	14.28	10.71	28.56	29.47	30.85	9.38	33.48
28.46	15.63	29.65	6.37	32.86	6.39	49.73	19.26
13.41	34.16	32.67	97.2	25.44	5.13	13.24	21.45
49.75	28.93	27.89	14.36	7.69	16.39	16.89	17.79
13.68	32.15	14.73	14.76	16.34	38.42	11.26	18.35
17.24	33.95	13.74	7.99	17.28	4.56	4.28	42.23

La Tabla 11, muestra los resultados del análisis usando MINITAB

Tabla 11. Resumen de resultados

Level	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
1	3.333	2.995	3.814	3.039	4.74	3.976	2.318	2.963	4.771
2	4.191	4.529	3.709	4.484	2.784	3.547	5.206	4.56	2.753
Delta	0.858	1.534	0.105	1.445	1.957	0.429	2.888	1.597	2.018
Rank	7	5	9	6	3	8	1	4	2

Conclusión

En la Tabla 11, se observan las respuestas del análisis de S/N donde las variables más significantes resultan ser X3, X5, X6 y X9, es decir, X3: Uniformidad de la forma, X5: Tamaño de célula epitelial único, X6: Núcleos vacíos y X9: Mitosis. Lo anterior es debido a los valores altos en la tabla de respuestas están en el nivel 1 (presencia).

Bibliografía

[1] G. Taguchi, "Taguchi methods in LSI fabrication process," 2001 6th International Workshop on Statistical Methodology (Cat. No.01TH8550), 2001, pp. 1-6, doi: 10.1109/IWSTM.2001.933815.

[2] Hong, J., Cudney, E. A., Taguchi, G., Jugulum, R., Paryani, K., & Ragsdell, K. M. (2005, January). A comparison study of Mahalanobis-Taguchi system and neural network for multivariate pattern recognition. In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (Vol. 42150, pp. 109-115).

[3] N.N.N.M. Kamil, S.N.A.M. Zaini and M.Y. Abu (2020), A case study on the application of Mahalanobis-Taguchi system for magnetic component, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES (IJETS) ISSN: 2289-697X (Print); ISSN: 2462-1269 (Online) Vol.7 (2) December 2020 © Universiti Malaysia Pahang DOI: <http://dx.doi.org/10.15282/ijets.7.2.2020.1001>

[4] W. Z. A. W. Muhamad, F. Ramlie and K. R. Jamaludin (2017), Mahalanobis-Taguchi System For Pattern Recognition: A Brief Review, Far East Journal of Mathematical Sciences (FJMS) Pushpa Publishing House, Allahabad, India <http://www.pphmj.com> <http://dx.doi.org/10.17654/MS102123021> Volume 102, Number 12, 2017, Pages 3021-3052 ISSN: 0972-0871

[5] William H Woodall, Rachele Koudelik, Kwok-Leung Tsui, Seoung Bum Kim, Zachary G Stoumbos & Christos P Carvounis MD (2003) A Review and Analysis of the Mahalanobis—Taguchi System, Technometrics, 45:1, 1-15, DOI: 10.1198/004017002188618626

[6] Xiao, X., Fu, D., Shi, Y., & Wen, J. (2020). Optimized Mahalanobis–Taguchi System for High-Dimensional Small Sample Data Classification. Computational Intelligence and Neuroscience, 2020.

[7] José Manuel Pizarro León, Rey David Molina Arredondo, Roberto Romero López, Oscar Nuñez Ortega

(2015), Análisis de robustez de procesos para evaluar factibilidad de implementar control en línea, CULCYT.

[8] Medina V., Pedro Daniel; Cruz T., Eduardo Arturo; Hernan Restrepo, Jorge (2007), Aplicación del modelo de experimentación Taguchi en un ingenio azucarero del Valle del Cauca Scientia Et Technica, vol. XIII, núm. 34, pp. 337-342

[9] Genichi Taguchi, Rajesh Jugulum (2002), The Mahalanobis-Taguchi Strategy: A Pattern Technology System, 1st Edition, John Wiley & Sons

[10] Jorge Limón, Manuel A. Rodríguez, Yolanda A. Báez y Diego A. Tlapa (2011), Evaluación de la Robustez del sistema Mahalanobis– Taguchi a diferentes Arreglos Factoriales, Revista Información Tecnológica

[11] M. Rodríguez M., M. I. Rodríguez B., Luz I. Rodríguez A., J. L. López G., (2015), Determinación de los factores influyentes sobre los índices de reprobación y eficiencia terminal mediante la Metodología Mahalanobis-Taguchi en una Institución de Educación Superior (IES), Theorema-Revista Científica, UTCJ.

[12] Xiping Xiao, Dian Fu, Yu Shi, Jianghui Wen, "Optimized Mahalanobis–Taguchi System for High-Dimensional Small Sample Data Classification", Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2020, Article ID 4609423, 15 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4609423>

[13] Mota-Gutiérrez, C.G., Reséndiz-Flores, E.O. and Reyes-Carlos, Y.I. (2018), "Mahalanobis-Taguchi system: state of the art", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 35 No. 3, pp. 596-613. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2016-0174>

[14] Ghasemi, E., Aaghaie, A. and Cudney, E.A. (2015), "Mahalanobis Taguchi system: a review", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 32 No. 3, pp. 291-307. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2014-0024>

[15] Su, C. T. (2017). Mahalanobis-Taguchi system and its medical applications. Neuropsychiatry, 7(4), 316-320..

ROLES DE CONTRIBUCIÓN	AUTOR(ES)
Conceptualización	Manuel Arnoldo Rodríguez Medina.
Curación de datos	Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Manuel Iván Rodríguez Borbón.
Metodología	Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Manuel Iván Rodríguez Borbón.
Administración del proyecto	Jorge Adolfo Pinto Santos, Ericka Berenice Herrera Ríos.
Recursos	Inocente Yuliana Meléndez Pastrana.
Software	Iván Rodríguez Borbón, Jorge Adolfo Pinto Santos.
Supervisión	Manuel Arnoldo Rodríguez Medina, Manuel Iván Rodríguez Borbón.

Validación	Jorge Adolfo Pinto Santos, Inocente Yuliana Meléndez Pastrana.
Visualización	Ericka Berenice Herrera Ríos, Jorge Adolfo Pinto Santos
Redacción	Ericka Berenice Herrera Ríos, Jorge Adolfo Pinto Santos



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.