
SELECCIÓN DE FRESADORAS CON TOPSIS USANDO PONDERACIONES DE AHP

Arturo Real y Vásquez, Aidé Maldonado-Macías

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura – Instituto de Ingeniería y Tecnología.
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

En este artículo se presenta un modelo multicriterio y multiatributo para la selección de fresadoras CNC mediante la aplicación del método TOPSIS. Los atributos considerados en este modelo son subjetivos en su totalidad y sus valoraciones finales fueron obtenidas mediante la media geométrica de valoraciones iniciales dadas por ocho expertos en el uso de Tecnología Avanzada, quienes valoraron la aportación de cada atributo en cada una de las 3 fresadoras. La determinación de los atributos se obtuvo a partir de reportes de literatura de 30 fuentes obteniéndose un total de 5 atributos y 20 subatributos. El cuestionario fue aplicado a personal académico de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y Tecnológico de Ciudad Juárez, así como a personal de FESTO Automation y del Centro de Entrenamiento en Alta Tecnología (CENALTEC). Las ponderaciones de los atributos fueron tomadas de un estudio realizado a empresarios de industria metalmecánica mediante el método AHP (Maldonado, 2010), para así tomar en cuenta las necesidades de los empresarios y conjuntarla con los conocimientos de expertos.

Palabras clave: TMA, ergonomía, preferencias, decisiones.

Introducción

La Industria de la Manufactura (IM) alrededor del mundo ha sostenido su productividad y crecimiento en la Tecnología de Manufactura Avanzada (TMA). La rápida evolución de la Tecnología de Manufactura (TM) ha transformado profundamente a las industrias y para hacer frente a estos cambios, las empresas tienen que seleccionar el equipo adecuado, los diseños de productos, materiales, herramientas, estrategias, etc (Rao, 2007).

Frecuentemente, las empresas y los decisores enfrentan el problema de comparar entre una amplia gama de alternativas. La selección de TMA implica múltiples aspectos, los cuales muchas veces son difíciles de considerar en su totalidad, entre

ellos están los ergonómicos y de seguridad. De esta manera, los modelos de selección y evaluación de TMA se consideran escasos en cuanto a los atributos ergonómicos y su importancia. Este estudio determina la selección de la mejor fresadora mediante la importancia de atributos ergonómicos dada por 8 expertos en TMA. El propósito de este estudio es conjuntar las necesidades de los empresarios con los conocimientos de los expertos para la selección de TMA.

Metodología

Para la evaluación subjetiva de los atributos ergonómicos en la selección de fresadoras CNC se diseñó un cuestionario con la finalidad determinar la importancia de los atributos ergonómicos en dichas máquinas. El cuestionario fue aplicado a personal experto en evaluación ergonómica. El cuestionario constó de 5 atributos, los cuales se subdividían en otros más específicos llamados subatributos que fueron obtenidos de reportes de literatura y fue validado por docentes expertos en el tema.

El cuestionario fue aplicado a 8 expertos en el tema. Se buscaba determinar los niveles de importancia que los encuestados asignaban a cada uno de los atributos al realizar una inversión en TMA. Los encuestados asignaban el nivel de importancia mediante el uso de una escala Likert del 1 al 5, donde el 1 representa una importancia muy baja y el 5 una importancia muy alta al momento de seleccionar la fresadora (Morales, 2007).

Para la encuesta aplicada se acudió a lugares que cuentan con gente experta en el tema como son la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, FESTO Automation y el Centro de Entrenamiento en Alta Tecnología (CENALTEC). Los expertos fueron encuestados de manera individual para responder el cuestionario diseñado, de tal forma que sus respuestas no influyeran en las respuestas de los demás expertos.

La información obtenida de los cuestionarios fue capturada para su análisis en Excel, y dado que se tenían 5 atributos y 20 subatributos, se determinó la mejor alternativa sólo con los subatributos, puesto que éstos, al ser más específicos proporcionan características más detalladas de los atributos.

Enfoque matricial para toma de decisiones

Supóngase que se tienen J atributos subjetivos que han sido calificados en el problema de selección de k alternativas de fresadoras. Los J atributos son denotados por X_1, X_2, \dots, X_J , y las k alternativas son denotadas por A_1, A_2, \dots, A_k . De esta forma se genera una matriz de decisión de $k \times J$, donde los valores x_{kj} de la matriz representan la importancia del atributo J en la alternativa k . Esta matriz se muestra en la ecuación (1).

Se tiene además, en este caso, que los pesos de los atributos han sido determinados por las necesidades de los 30 empresarios de la industria metalmecánica mediante AHP, obteniéndose así los pesos de la importancia relativa para cada atributo, esto es, a cuál atributo se le da mayor importancia con respecto a los demás. Dicho peso se denota por w_j , para $j = 1, 2, \dots, n$ (Triantaphyllou, 2000).

Los valores de los atributos para la selección de TMA son obtenidos por calificaciones emitidas por el grupo de expertos. Supóngase que N expertos en Ergonomía y TMA son quienes van a realizar la compra de la fresadora, por lo que ellos deben calificar las k alternativas con respecto a cada uno de los atributos. Estos N expertos conforman lo que se conoce como grupo de decisión y cada uno valora la aportación de cada alternativa respecto a los J atributos mediante un número entero entre 1 y 5, donde el 1 representa una aportación muy baja del atributo por parte de la alternativa, y el 5 una aportación muy alta.

Para cada miembro del grupo de decisión se construye una matriz de valores como la de (1). De las N matrices que proveen los N miembros del grupo de decisión se obtiene una matriz de decisión final, donde el valor X_{kj} es la media

geométrica de los N valores dados por los expertos para el término X_{kj} .

$$MD = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_k \end{matrix} \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,J} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,J} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{k,1} & X_{k,2} & \dots & X_{k,J} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Así se obtiene una matriz de decisión final mediante (2).

$$MDF = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N X_{k,j,i}} = \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_j \\ \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,j} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,j} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{k,1} & X_{k,2} & \dots & X_{k,j} \end{bmatrix} & A_1 \\ & A_2 \\ & \vdots \\ & A_k \end{matrix} \quad (2)$$

Donde el valor X_{kj} es la media geométrica de los N expertos para A_k con respecto a los J atributos.

Técnica de Preferencias Ordenadas por Similitud a una Solución Ideal (TOPSIS)

Cuando se comparan varias alternativas en un proceso de selección de fresadoras, la dificultad para comparar las alternativas crece conforme aumenta el número de atributos que son considerados en la selección. Una fresadora genérica, sea "A" por ejemplo, sería fácilmente comparada con otra fresadora "B" si la fresadora "A" tiene todos los niveles de desempeño en sus atributos mejor (o igual) que los de la fresadora "B". Sin embargo, la realidad es otra dado que la mayoría de las comparaciones de maquinaria y fresadoras no son tan fáciles de realizar y, en general, sólo algunas ocasiones y en algunos tributos, la fresadora "A" será mejor que "B".

TOPSIS es una técnica para la toma de decisiones que fue desarrollada por Hwang y Yoon en 1981 (Escobar, 2003). TOPSIS permite combinar varios atributos heterogéneos en un índice adimensional

único, y esto es debido a que muy posiblemente los atributos en evaluación estén expresados en unidades o escalas diferentes, en este caso, los atributos son subjetivos, no tienen dimensión, son valores obtenidos en base a la opinión de personas que han usado las fresadoras. TOPSIS se basa en el concepto de que la alternativa seleccionada debe tener la menor distancia euclidiana (definida por (7) y (8)) a una solución ideal y la mayor distancia euclidiana a una solución anti-ideal. Así, el orden de preferencia de las alternativas puede ser determinado mediante una serie de comparaciones de estas distancias. Ambas soluciones, la ideal y la anti-ideal, son soluciones ficticias. La solución ideal es una solución para la cual todos los valores de los atributos corresponden a los valores óptimos de cada atributo contenido en las alternativas; la solución anti-ideal es la solución para la cual todos los valores de los atributos corresponden a los valores menos deseados de cada atributo contenido en las alternativas. De esta manera TOPSIS proporciona una solución que es no sólo la más cercana a una solución hipotéticamente mejor, sino también la más lejana a la hipotéticamente peor. A continuación se describe el proceso de TOPSIS para la selección de la mejor alternativa (García, 2010).

1. El primer paso es determinar el objetivo e identificar los atributos a evaluar.
2. En este paso se representa una matriz con base en la información disponible sobre los atributos. Cada renglón corresponde a una alternativa y cada columna a un atributo. El elemento x_{ij} de la matriz representa el valor no normalizado del atributo j -ésimo para la i -ésima alternativa.

3. Aquí se calcula la matriz de decisión normalizada R_{ij} . Esto se obtiene al dividir cada valor del atributo X_j entre la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de cada valor del atributo X_j . Esto se representa matemáticamente por la ecuación (3).

$$R_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{m=1}^k x_{mj}^2}} \quad (3)$$

4. Determinar la importancia relativa o peso para cada atributo con respecto al objetivo. Esto origina un conjunto de pesos w_j (para $j = 1, 2, \dots, J$) tales que $\sum w_j = 1$. Las ponderaciones se basan generalmente en juicios de expertos y deben reflejar la importancia relativa asignada a los atributos de desempeño evaluados. El rango de valores posibles de w_j sólo estará limitado por la capacidad de los elementos del grupo de decisión para distinguir la importancia relativa de los atributos de rendimiento analizados. En este caso los pesos se obtuvieron mediante el método AHP de un estudio realizado a empresarios de la industria metalmecánica.

5. Obtener la matriz normalizada y ponderada V_{ij} . Esto se hace multiplicando cada elemento de las columnas de la matriz R_{ij} por su peso correspondiente w_j . Por lo tanto, los elementos de la matriz normalizada y ponderada son expresados por la ecuación (4).

$$V_{ij} = w_j R_{ij} \quad (4)$$

6. Obtener la solución ideal y la anti-ideal. La solución ideal puede ser expresada como:

$$V^+ = \{V_1^+, V_2^+, V_3^+ \dots, V_j^+\} \quad (5)$$

y la anti-ideal como:

$$V^- = \{V_1^-, V_2^-, V_3^- \dots, V_j^-\} \quad (6)$$

V_j^+ indica el valor ideal del atributo considerado entre los valores de los atributos para las diferentes alternativas, mientras que V_j^- indica el peor valor del atributo considerado entre los valores de los atributos para las diferentes alternativas.

7. Calcular las distancias euclidianas de cada alternativa a las soluciones ideal y anti-ideal mediante las siguientes ecuaciones:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^J (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^J (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (8)$$

8. La cercanía relativa P_i de una alternativa en particular a la solución ideal se expresa mediante (9).

$$P_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (9)$$

9. En este paso se genera un conjunto de alternativas en orden descendiente según el valor de P_i teniendo como mejor alternativa aquella con el valor más alto de P_i .

Resultados: Caso de Estudio

El caso de estudio aquí presentado corresponde a un grupo de ingenieros que desean adquirir una nueva fresadora para el Laboratorio de Automatización de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Para este caso se recurrió a personal académico y profesional de las instituciones educativas y de las industrias mencionadas anteriormente, quienes evaluaron la importancia de los atributos en cada una de las tres alternativas. Dichos atributos, y subatributos, que fueron obtenidos por literatura, se clasifican de acuerdo a la figura 1, donde los atributos aparecen al lado izquierdo y los subatributos al lado derecho; ambos se representan por la letra A seguida de un código de números entre paréntesis. La figura 2 muestra un árbol jerárquico con los pesos de cada atributo y subatributo obtenidos mediante AHP.

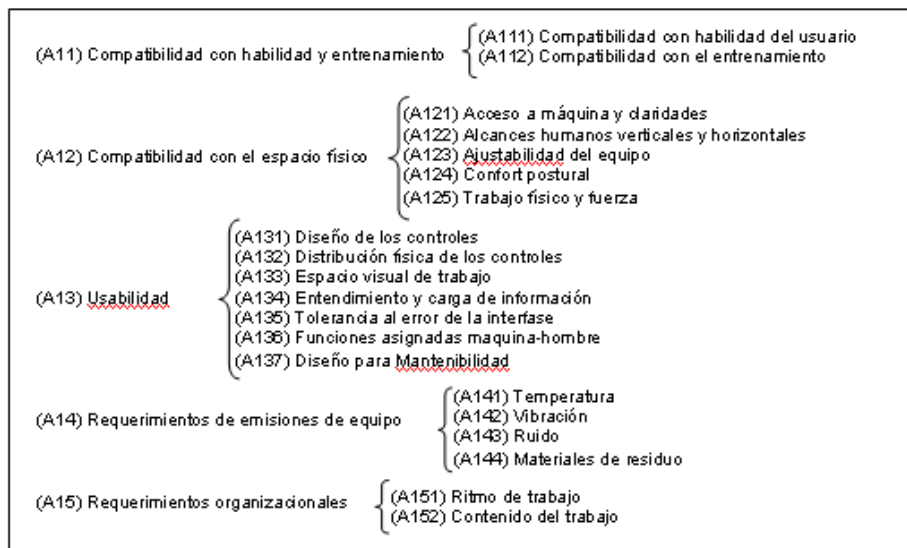


Figura 1. Atributos Ergonómicos para el Modelo de Evaluación Ergonómica.

Las alternativas a evaluar se denotaran por X, Y y Z. La alternativa X corresponde a la Fresadora Bridgeport con Tablero EZ Vision, la alternativa Y

corresponde a la Fresadora Kent CNC, y la alternativa Z corresponde al modelo Smithy CNC 622 Bed Mill.

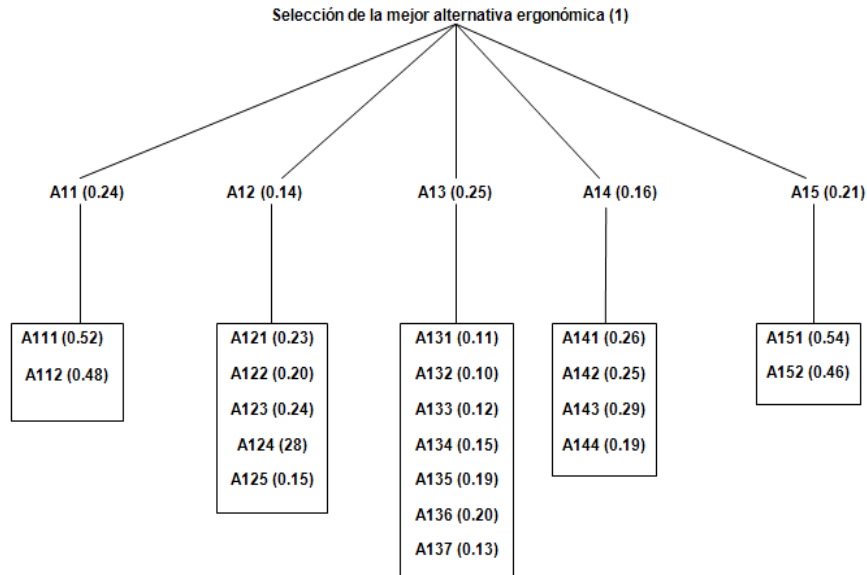


Figura 2. Árbol de distribución de pesos de los diferentes niveles y grupos

Con los datos obtenidos, se procedió a calcular la MDF para los 20 subatributos de acuerdo a (2). La tabla 1 muestra la MDF de los subatributos considerados en este caso (para ver las tablas de resultados ir a la parte final del artículo).

Los valores del renglón w de la tabla 1 corresponden a los pesos obtenidos por el método AHP en un estudio aplicado a 30 empresarios de la industria metalmeccánica. La sumatoria de cada renglón w debe ser igual a 1.

Una vez calculada la MDF de subatributos, se procedió a calcular la matriz normalizada mediante (3). La tabla 2 muestra los valores normalizados de la matriz.

Seguido de esto se pondera la matriz al multiplicar cada valor normalizado de los atributos por su peso asignado, como lo expresa la ecuación (4). Obsérvese que se han agregado las alternativas ideal A^+ y anti-ideal A^- calculadas con las ecuaciones (5) y (6) respectivamente.

El siguiente paso es calcular las distancias euclidianas de las tres alternativas a las alternativas ideal y anti-ideal utilizando las ecuaciones (7) y (8).

Para las distancias a la solución ideal A^+ se obtuvo el siguiente orden:

1. Alternativa X con una distancia de 0.013 unidades.
2. Alternativa Z con una distancia de 0.032 unidades.
3. Alternativa Y con una distancia de 0.037 unidades.

Mientras que para la distancia a la solución anti-ideal A^- el orden, de la más lejana a la más cercana, es el siguiente:

1. Alternativa X con una distancia de 0.034 unidades.
2. Alternativa Z con una distancia de 0.028 unidades.
3. Alternativa Y con una distancia de 0.007 unidades.

Al comparar las tres alternativas respecto a sus distancias a las soluciones ideal y anti-ideal, se puede observar que la mejor alternativa parece ser la alternativa X, pues es la que más se asemeja a la solución ideal y también la que menos se asemeja a la solución anti-ideal.

Así mismo, tiene que la alternativa Y es la más lejana a la alternativa ideal y la más cercana a la anti-ideal, por lo que se podría concluir que es la peor alternativa.

Conclusiones y recomendaciones

En base al trabajo aquí presentado se concluye que la evaluación tecnológica en cualquiera de los ámbitos que se realice, es una actividad muy compleja en estos tiempos de modernidad y globalización, dado que en el mercado se pueden encontrar varias alternativas de compra, las cuales se caracterizan por varios atributos, mismos que frecuentemente se encuentran en conflicto. Para el caso del estudio aquí realizado se concluye que cada usuario de TMA tiene diferentes necesidades en cuanto a los atributos ergonómicos presentes en la TMA, dichas necesidades quedarán determinadas por el diseño de las instalaciones de trabajo y las habilidades de los trabajadores.

Con base a lo concluido se recomienda ampliamente que al realizar procesos de selección en el que intervengan varios atributos y varias alternativas, se considere primeramente un estudio de las necesidades ergonómicas que se quieran cubrir tomando en cuenta las limitaciones de los usuarios y del diseño de las instalaciones de trabajo.

Tabla 1. Matriz de Decisión Final

Alternativa	X	Y	Z	W
A111	3.722	3.293	2.414	0.125
A112	3.342	1.958	2.952	0.115
A121	3.510	3.510	3.431	0.032
A122	3.337	3.337	2.890	0.028
A123	3.386	3.266	2.847	0.034
A124	2.783	2.783	2.650	0.025
A125	2.449	2.449	2.104	0.021
A131	3.020	2.870	2.163	0.028
A132	2.707	2.611	2.847	0.025
A133	3.177	3.105	3.146	0.030
A134	3.020	2.632	3.431	0.038
A135	2.632	2.671	3.261	0.048
A136	2.913	2.769	2.975	0.050
A137	2.671	2.810	3.084	0.033
A141	2.030	2.030	1.795	0.042
A142	2.034	2.155	2.380	0.040
A143	2.671	2.810	2.577	0.046
A144	2.847	2.627	2.246	0.030
A151	2.952	2.952	3.219	0.113
A152	3.040	2.890	3.510	0.097
Atributos				

Tabla 2. Matriz Normalizada

Alternativa	X	Y	Z	W
A111	0.674	0.596	0.437	0.12
A112	0.686	0.402	0.606	0.12
A121	0.582	0.582	0.569	0.03
A122	0.603	0.603	0.522	0.03
A123	0.616	0.594	0.518	0.03
A124	0.587	0.587	0.558	0.03
A125	0.604	0.604	0.519	0.02
A131	0.643	0.611	0.461	0.03
A132	0.574	0.554	0.604	0.03
A133	0.584	0.570	0.578	0.03
A134	0.573	0.499	0.651	0.04
A135	0.530	0.537	0.656	0.05
A136	0.583	0.554	0.595	0.05
A137	0.539	0.567	0.623	0.03
A141	0.599	0.599	0.530	0.04
A142	0.535	0.567	0.626	0.04
A143	0.574	0.604	0.554	0.046
A144	0.636	0.587	0.501	0.03
A151	0.560	0.560	0.611	0.11
A152	0.556	0.528	0.642	0.1
Atributos				

Tabla 3. Matriz Normalizada y Ponderada

Alternativa	X	Y	Z	A*	A-
A111	0.084	0.074	0.055	0.084	0.055
A112	0.079	0.046	0.07	0.079	0.046
A121	0.019	0.019	0.018	0.019	0.018
A122	0.017	0.017	0.015	0.017	0.015
A123	0.021	0.02	0.017	0.021	0.017
A124	0.015	0.015	0.014	0.015	0.014
A125	0.013	0.013	0.011	0.013	0.011
A131	0.018	0.017	0.013	0.018	0.013
A132	0.014	0.014	0.015	0.015	0.014
A133	0.018	0.017	0.017	0.018	0.017
A134	0.021	0.019	0.024	0.024	0.019
A135	0.025	0.026	0.031	0.031	0.025
A136	0.029	0.028	0.03	0.03	0.028
A137	0.018	0.018	0.02	0.02	0.018
A141	0.025	0.025	0.022	0.025	0.022
A142	0.021	0.023	0.025	0.025	0.021
A143	0.027	0.028	0.026	0.028	0.026
A144	0.019	0.018	0.015	0.019	0.015
A151	0.063	0.063	0.069	0.069	0.063
A152	0.054	0.051	0.062	0.062	0.051
Atributos					

Tabla 4. Distancias Euclidianas de las Alternativas A⁺ y A⁻

Alternativa	A*	A-
X	0.013	0.034
Y	0.037	0.007
Z	0.032	0.028

Referencias

Escobar MT, Aguaron J, y Moreno Jimenez JM. 2003. *A note on AHP group consistency for the row geometric mean prioritization procedure*. European Journal of Operational Research. 153 (2): 318-322.

García J. 2010. *Evaluación y Selección de Tractores Agrícolas con Análisis Dimensional*. Revista de la Ingeniería Industrial. 4: 1-8.

Maldonado A. 2010. *Importance of ergonomic compatibility attributes on the selection of advanced manufacturing technology, AMT*. Proceedings of the 16th International Conference in Industrial Engineering –Theory, Applications and Practices. Mexico, D.F. 435-439.

Morales P. 2003. *Construcción de Escalas de Actitudes Tipo Likert*. Hespérides. 43-61.

Rao VR. 2007. *Decision Making in the Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*. Springer Verlag, Berlin, Germany. 32-34.

Triantaphyllou E. 2000. *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Kluwer Academic Publishing. 2-3.