

---

---

## SELECCIÓN DE PROVEEDORES USANDO EL MÉTODO MOORA

Jorge Luis García Alcaráz<sup>1</sup>, Jaime Romero González<sup>2</sup>, Ismael Canales Valdivieso<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Básicas. Departamento de Eléctrica y Computación

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### Resumen

Actualmente existen muchas técnicas de evaluación que auxilian en el proceso de selección de proveedores, sin embargo no existe consenso sobre cuál de ellas es mejor que otra o bajo qué circunstancias usarlas. En este artículo se analiza un caso de estudio reportado en la literatura y que fue primeramente resuelto con el modelo lineal aditivo, mismo que se resuelve ahora con la técnica MOORA, realizándose un análisis comparativo de las dos técnicas. El problema consiste en seleccionar un proveedor de un empaque que une dos corazas de bombas sumergibles y los atributos evaluados son el precio, la calidad del producto, la calidad del servicio por parte de proveedor, las horas de duración continuas de servicio del empaque, la administración y organización del proveedor y la tecnología que posee en sus procesos de producción. Después de la evaluación se observó que las dos técnicas proponen la misma solución al problema de selección.

**Palabras clave:** Selección de proveedores, MOORA, evaluación subjetiva.

### Introducción

En la mayoría de las industrias, el costo por materias primas y las piezas componentes de sus productos constituye la mayor de las inversiones realizadas, llegando a representar hasta el 70% de costo. Por ello, el departamento de compras tiene una gran importancia en la reducción de costos totales de producción, y una de las funciones que se realizan frecuentemente es la selección de proveedores para todos los tipos de

productos que ofrezca la empresa (Ghodsypour y O'Brien 1998).

Dada la importancia que tiene el problema de selección de proveedores, esto ha llamado la atención de académicos e investigadores, quienes han buscado un entendimiento sistemático del problema en las últimas tres décadas (Weber *et al.* 1991; De Boer *et al.* 2001), por lo que se han desarrollado muchas técnicas de aplicación, metodologías y procedimientos de selección y se ha

determinado qué atributos evaluar, según el sector al que pertenezcan las empresas. Algunos ejemplos de esas técnicas son ubicadas dentro de la teoría de la decisión multiatributos, programación matemática y de minería de datos.

Algunos autores establecen que el problema de selección de un proveedor puede consistir en cuatro etapas (Boer et al., 2001), las cuales son: a) definición del problema, b) determinación de los atributos a evaluar, c) evaluación de los proveedores mediante una técnica y, d) selección final de un proveedor. Estas etapas se definen a continuación brevemente.

*Definición del problema:* se afirma que tradicionalmente, los responsables del proceso de evaluación de proveedores suelen omitirla, centrándose solamente en la última etapa, relacionada con la selección de uno de éstos, por lo que frecuentemente se cometen errores. Por ejemplo, algunos autores hacen énfasis en algunas etapas del proceso de selección, inclusive las cuatro (De Boer, et al. 2001), mientras que otros se focalizan específicamente en solo algunas (Weber, et al. 1991; Holt, 1998; Degraeve et al. 2000).

*Atributos a evaluar:* es posible encontrar mucha información en la literatura, los cuales enfocan el análisis y determinación de los atributos desde diferentes enfoques (Min, 1994; Barbarosoglu y Yazgac, 1997; Krause y Ellram, 1997; Ghodsypour y O'Brien, 1998; Motwani et al., 1999; Masella y Rangone, 2000; De Boer et al., 2001; Humphreys et al. 2001; Liu y Hai, 2005). Se acepta que se tienen dos tipos de atributos que caracterizan a los proveedores, los cuales son cuantitativos y cualitativos. Los atributos cuantitativos se pueden medir por una dimensión concreta o escala, tales como el costo y el tiempo de abastecimiento; sin embargo, los cualitativos no pueden ser expresados por una unidad o escala de medición y se requiere de la evaluación y experiencia de personas conocedoras en el tema.

Algunas veces se complica la selección de un proveedor debido a que existen muchos atributos, y algunos de ellos pueden estar en conflicto. Por ejemplo, es posible que el proveedor que ofrece el mejor precio, no ofrezca la mejor calidad en la parte o material solicitado; además, es posible que aquel proveedor con la mejor calidad no se sea quien está en capacidad de realizar las

entregas y abastos en tiempo (Wind y Robinson, 1968). Consecuentemente, es necesario hacer una compensación entre estos atributos en conflicto mediante técnicas compromiso en las que no se optimice una función, sino que se satisfaga una necesidad.

En relación los procesos de selección de atributos, se reportan solamente dos aplicaciones relacionadas con la identificación de éstos (De Boer, 2001). Otros, proponen el modelado estructural interpretativo como técnica para identificar atributos, el cual se basa en la opinión y juicio de personas expertas para identificar y resumir relaciones entre los atributos escogidos, mismo que tiene un enfoque gráfico (Mandal y Deshmukh, 1994).

*Evaluación de proveedores mediante una técnica:* se han propuesto y desarrollado métodos para la selección de proveedores; por ejemplo, se ha desarrollado un sistema experto que cubre múltiples fases en el proceso de selección del proveedor, entre éstas se encuentra la determinación de los mejores atributos (Vokurka et al., 1996). Otros han realizado encuestas y analizado respuestas de gerentes para determinar los principales atributos a evaluar, los cuales pueden ser genéricos y

subdividirse en otros más específicos (Tam y Tummala, 2001). Asimismo, se han propuesto modelos de selección interactivos basados en AHP (Chan, (2003). Una descripción de las técnicas empleadas puede ser consultada en muchos trabajos (De Boer et al. 2001).

Sin embargo, debe decirse que existen otras técnicas menos cuantitativas, tales como comparación del precio, inspección de muestras, visita a fábricas de proveedores, encuestas en el sitio, certificaciones obtenidas (ISO 9000 o QS 9000) y capacidad de proceso (Ourkovic y Handfield, 1996). De la misma manera, otros autores recomiendan técnicas de selección de proveedores en situaciones especiales, tales como la incertidumbre en la demanda, donde se sugiere usar la capacidad de proceso del proveedor y el tiempo de respuesta como atributos a integrarse en métodos de selección (Asokan y Unnithan, 1999; Boyles, 1996; Chan *et al.*, 1991; Chen, 1990; Liu, 1993; Pearn y Chen, 1997-98; Pillet *et al.*, 1997-98; Singhal, 1990; Taam *et al.*, 1993). De la misma manera, otros autores apuestan por la evaluación multatributos, ya que integra varias características en la evaluación y no se

limita solamente a la capacidad de respuesta del proveedor.

*Selección final de un proveedor:* En esta etapa se selecciona un proveedor de acuerdo a una regla o criterio de decisión. Generalmente cada una de las técnicas usadas en el proceso de selección de proveedores incluye una regla de decisión que se usa para seleccionar la alternativa deseada.

Así, según lo anterior, se puede observar que existen varios atributos y métodos para la selección de proveedores. En este artículo se hace toma un caso de estudio reportado en la literatura, el cual fue resuelto por García *et al.* (2010) usando un modelo lineal aditivo. El objetivo de este trabajo es resolver el mismo problema mediante la técnica MOORA ((Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis) y analizar la eficiencia de ambas técnicas.

### **Descripción del Método**

García et al. (2010) siguió la metodología propuesta por De Boer (2001) para la selección de los proveedores, misma que está dividida en cuatro etapas y que describen a continuación de manera

breve. Para una definición más amplia, refiérase al artículo original.

### **Definición del problema**

Una empresa que se dedica a la fabricación de bombas sumergibles tiene que ensamblar varios componentes en su línea de producción. Dentro de ese proceso debe emplear un empaque que une dos corazas que mantienen un sistema eléctrico funcionando bajo el agua. La falla del empaque se detecta por el corto circuito que se genera e inhabilita a la bomba, dejándola fuera de servicio. Para repararla, la bomba debe ser extraída para llevar a cabo el cambio de empaque, con una inversión de \$28,5083.89 por cada bomba dañada y actualmente el 9% de los equipos vendidos reclaman esta garantía.

Se habló con el proveedor en relación al problema y se propusieron planes de reparación conjunta para compartir gastos de reparaciones, sin que se tuviera una respuesta favorable por parte de éste, por lo que se ha decidido buscar proveedores alternos.

Se realizó un rastreo tecnológico para determinar a los posibles proveedores. Se encontró que existen 23 proveedores del mismo empaque, pero se

determinó que solamente seis podían tener fácil abasto del material en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Los diferentes proveedores serán denotados por PR<sup>1</sup>, PR<sup>2</sup>..... PR<sup>6</sup>.

### **Identificación de los atributos**

Se investigó qué atributos podían representar mejor las características de los proveedores que serían evaluados. Se determinó realizar el análisis en base a los siguientes atributos.

*Costos (CO, \$)*. Está expresado en unidades monetarias y los valores mínimos son deseados. Cabe mencionarse que algunos proveedores son extranjeros, por lo que su producto se cotiza en dólares, entonces se realizó una conversión para todos los proveedores al tipo de cambio que se presentaba en un día específico.

*Calidad del producto (CA, %)*. Se refiere a la calidad del producto y es medido por la cantidad de defectos que el cliente reporta en sus procesos. Para ello se requiere de la realización de visitas a las plantas de los diferentes proveedores; sin embargo, se confió en la información proporcionada por éstos dado que todos tienen un sistema de calidad implantado y han sido certificados por ISO. Los valores

más altos de calidad son deseados, o sea, los porcentajes mínimos de defectos.

*Servicio (SE)*. Este atributo es subjetivo y se refiere a aspectos como la rapidez del servicio, capacidad para enfrentar pedidos urgentes, rapidez para hacer validas las garantías, etc. La estimación de un valor numérico estuvo en función de las opiniones dadas por clientes de esos proveedores, los cuales fueron investigados mediante encuestas.

*Confiabilidad (CN, Horas)*. Para la determinación de este atributo, se realizaron pruebas de vida acelerada a los productos, sometidos a humedad y temperaturas elevadas, simulando los ambientes de trabajo en el cual se desempeñarían. La prueba se realizó a una muestra adquirida para tales propósitos en los laboratorios de la propia empresa, dada la importancia que tiene este atributo. Se estimaron las horas que duraban en promedio los diferentes empaques, sometidos todos a las mismas condiciones de trabajo. Valores altos en este atributo son deseados.

*Administración y Organización (AO)*. Este atributo es subjetivo y para la determinación del mismo se realizaron análisis de la similitud cultural de la empresa, sistemas de comunicación al

interior de la empresa y con los clientes, reputación y posición en el sector de la fabricación de empaques y velocidad de desarrollo e innovación en sus productos. Valores altos en este atributo son deseados.

*Tecnología (TE).* Este atributo es subjetivo y se refiere a las tecnologías usadas en los procesos de producción usados por los proveedores, la capacidad de proceso, la capacidad de desarrollo de nuevos equipos en base a necesidades propias, capacidades futuras de producción y capacidad de diseño de nuevas tecnologías. Valores altos en este atributo son deseados.

Para la determinación de los atributos subjetivos o cualitativos se contó con la ayuda de tres personas, los cuales emitieron sus calificaciones en una escala del uno al nueve. El uno representaba la ausencia del atributo en el proveedor y el nueve, la máxima presencia; sin embargo, en este trabajo solo se expone los valores obtenidos, por lo que se recomienda que para un mejor entendimiento de la metodología seguida para su obtención, debe leerse el artículo original de García *et al.* (2010).

## Evaluación de los proveedores mediante una técnica

Para el análisis de los proveedores se empleó la técnica denominada MOORA, misma que se expone brevemente a continuación.

### Método MOORA

El método inicia con una matriz de respuestas, frecuentemente conocida como matriz de decisión final (**MDF**), la cual contiene  $k$  filas que representan a las alternativas y en  $J+L$  columnas que representan a los diferentes atributos que se están evaluando ( $J$  atributos objetivos y  $L$  atributos subjetivos). Así, una matriz de este tipo puede ser representada como se ilustra en la ecuación (1), Brauers (2008).

$$MDF = [VO, VST] = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^k \end{matrix} \begin{bmatrix} x^1_1 & \dots & x^1_J & x^1_{J+1} & \dots & x^1_{J+L} \\ x^2_1 & \dots & x^2_J & x^2_{J+1} & \dots & x^2_{J+L} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x^k_1 & \dots & x^k_J & x^k_{J+1} & \dots & x^k_{J+L} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde:

$A^i$  representa a las alternativas, para  $i=1, \dots, k$ .

$x^i_j$  representa la respuesta o entrada de la alternativa  $i$  con respecto al atributo  $j$ .

Sin embargo, es posible que los atributos en evaluación se encuentren

expresados en diferentes unidades o escalas de medición, por ello, se realiza una normalización de cada uno de éstos, donde cada una de las columnas se divide entre la norma euclidiana que tienen, la cual puede ser obtenida de acuerdo a la ecuación (2) para el atributo  $X_n$  y el proceso de normalización de cada entrada en la **MDF** se realiza de acuerdo a la ecuación (3).

$$|X_n| = \sqrt{\sum_1^x x_i^2} \quad (2)$$

$$Nx_{ij} = \frac{x_{ij}}{|X_n|} \quad (3)$$

Así, dado que la norma euclidiana de cada uno de los atributos,  $|X_n|$ , está expresado en las mismas unidades en que están las entradas  $x_j^i$  de la **MDF**, al realizar la operación indicada en la ecuación (3), los resultados en  $Nx_{ij}$  son valores adimensionales, es decir, carentes de escala, lo cual permite realizar operaciones aditivas entre los atributos (Kalibatas y Turkis, 2008).

Sin embargo, frecuentemente las personas no tienen los mismos niveles de preferencia sobre los atributos, por lo que la siguiente actividad consiste en ponderar los atributos de la matriz normalizada. A este respecto, conviene decir que existen muchas técnicas de ponderación y en esta artículo solo se exponen los pesos de cada uno de los atributos y para mayor detalle sobre la obtención de los mismos, refiérase al trabajo original en García *et al.* (2010). Así, para este artículo se asumen los niveles de ponderación que se ilustran en la Tabla 1.

Cabe señalar que no multiplicar la **MDF** normalizada por los niveles de ponderación que tiene cada uno de los atributos, es sinónimo de asumir que se tienen los mismos niveles de preferencia para cada uno de éstos. Por ello, cada columna o atributo se multiplica por su respectivo peso o nivel de importancia, obteniéndose así una matriz de valores normalizados y ponderados.

**Tabla 1.** Ponderación de los atributos

Atributo	CO	CA	SE	CN	AO	TE
w	0.1520	0.1716	0.1716	0.1520	0.1716	0.1814

Después de ello, es conveniente identificar los atributos que deben minimizarse y los que se desean maximizar. Por ejemplo, en el caso de estudio aquí analizado, el costo es un atributo que se desea minimizar, pero la capacidad tecnológica se desea maximizar. Así, los atributos que se deseen maximizar tendrán signo positivo y los que se deseen minimizar, tendrán signo negativo. El índice de decisión de cada alternativa se obtiene de acuerdo a la ecuación (4) (Brauers y Kazimieras, 2006).

$$Ny_j = \sum_{i=1}^g Nx_{ij} - \sum_{i=g+1}^n Nx_{ij} \quad (4)$$

Donde:

$Ny_j$  representa la contribución de la alternativa  $j=1, \dots, k$

$i= 1, \dots, g$  son los atributos que se desean maximizar

$i=g+1, g+2, \dots, n$  son los atributos que se desean minimizar

Finalmente, es conveniente señalar que el criterio de decisión que se emplea en MOORA es elegir la

alternativa con el mayor valor en la contribución de la alternativa,  $Ny_j$ , ya que es posible que se encuentren valores de tipo negativo en algunas evaluaciones, lo cual puede deberse a que existen más atributos que deseen ser minimizados a aquellos que deseen ser maximizados.

### Resultados

La matriz de decisión final que se usó en García *et al.* (2010) es la que se ilustra en la Tabla 2. Obsérvese que en el último renglón se ha agregado el objetivo de cada uno de los atributos, según sea el caso y según se ha definido en la metodología antes descrita cuando se definieron los atributos, según se deseen maximizar o minimizar.

Para la obtención de la norma euclidiana de cada uno de los atributos se usó la ecuación (2) y el proceso se ilustra en la Tabla 3, donde cada uno de los elementos de cada atributo se elevó al cuadrado, se sumaron dichos cuadrados y se extrajo la raíz cuadrada a dicha suma. Cabe mencionarse que las operaciones de

evaluación del método MOORA son fácilmente realizadas en Excel o en cualquier otra hoja de cálculo y que el nivel de dominio requerido es mínimo. Específicamente, en Excel, es posible obtener la norma de un vector mediante el

uso de las funciones de RAIZ y SUMA.CUADRADOS, las cuales ya están integradas en el software y su posible sintaxis puede ser RAIZ(SMA.CUADRADOS(RANGO DE CELDAS)).

**Tabla 2.** Matriz de decisión final

Alternativa	CO	CA	SE	CN	AO	TE
PR <sup>1</sup>	185	6.5	7.4	12850	7.6	7.4
PR <sup>2</sup>	290	7.5	5.8	13695	6	7.4
PR <sup>3</sup>	310	7.6	7.4	12870	7	5.6
PR <sup>4</sup>	245	6.5	7	11385	7.4	6.4
PR <sup>5</sup>	325	7.55	7	11235	7.6	7.6
PR <sup>6</sup>	235	6.85	6.2	12585	6.6	6.2
	Min	Min	Max	Max	Max	Max

**Tabla 3.** Obtención de la norma euclidiana

Alternativa	CO	CA	SE	CN	AO	TE
PR <sup>1</sup>	34225	42.25	54.76	1.7E+08	57.76	54.76
PR <sup>2</sup>	84100	56.25	33.64	1.9E+08	36	54.76
PR <sup>3</sup>	96100	57.76	54.76	1.7E+08	49	31.36
PR <sup>4</sup>	60025	42.25	49	1.3E+08	54.76	40.96
PR <sup>5</sup>	105625	57.0025	49	1.3E+08	57.76	57.76
PR <sup>6</sup>	55225	46.9225	38.44	1.6E+08	43.56	38.44
Suma	435300	302.435	279.6	9.33E+08	298.84	278.04
Raíz o Norma	659.773	17.3907	16.7212	30537.5	17.287	16.6745

Una vez obtenida la norma, se procedió a aplicar la ecuación (3) para generar los

valores normalizados y eliminar con ello las dimensiones de los atributos. Los

resultados obtenidos se ilustran en la Tabla 4, mientras que la ponderación de los valores normalizados se ilustra en la Tabla 5, donde los atributos que se desean minimizar se han expuesto en letra itálica. Además, en la penúltima columna se expone el valor de  $Ny_i$  o contribución

total de la alternativa y finalmente, la última columna contiene el orden de las alternativas, así se observa que aquella representada por PR<sup>1</sup> debe ser elegida.

**Tabla 4.** Normalización de la MDF

<b>Alternativa</b>	<b>CO</b>	<b>CA</b>	<b>SE</b>	<b>CN</b>	<b>AO</b>	<b>TE</b>
PR <sup>1</sup>	0.2804	0.37376	0.44255	0.42079	0.43964	0.44379
PR <sup>2</sup>	0.43955	0.43127	0.34686	0.44847	0.34708	0.44379
PR <sup>3</sup>	0.46986	0.43702	0.44255	0.42145	0.40493	0.33584
PR <sup>4</sup>	0.37134	0.37376	0.41863	0.37282	0.42807	0.38382
PR <sup>5</sup>	0.49259	0.43414	0.41863	0.36791	0.43964	0.45578
PR <sup>6</sup>	0.35618	0.39389	0.37079	0.41212	0.38179	0.37182

**Tabla 5.** Ponderación de la MDF normalizada

<b>Alternativa</b>	<b>CO</b>	<b>CA</b>	<b>SE</b>	<b>CN</b>	<b>AO</b>	<b>TE</b>	<b><math>Ny_i</math></b>	<b>Orden</b>
PR <sup>1</sup>	<i>0.04262</i>	<i>0.06414</i>	0.07594	0.06396	0.07544	0.0805	0.18909	1
PR <sup>2</sup>	<i>0.06681</i>	<i>0.07401</i>	0.05952	0.06817	0.05956	0.0805	0.12694	5
PR <sup>3</sup>	<i>0.07142</i>	<i>0.07499</i>	0.07594	0.06406	0.06949	0.06092	0.12400	6
PR <sup>4</sup>	<i>0.05644</i>	<i>0.06414</i>	0.07184	0.05667	0.07346	0.06962	0.15101	2
PR <sup>5</sup>	<i>0.07487</i>	<i>0.0745</i>	0.07184	0.05592	0.07544	0.08268	0.13651	4
PR <sup>6</sup>	<i>0.05414</i>	<i>0.06759</i>	0.06363	0.06264	0.06552	0.06745	0.13750	3

### Conclusiones

La evaluación del caso de estudio aquí presentado indica que la alternativa PR<sup>1</sup> debe ser elegida, lo cual concuerda con los resultados encontrados por García *et*

*al.* (2010) mediante el método lineal aditivo. Por ello ante estos resultados, se concuerda con Kalibatas y Turkis (2010) en relación a que el método MOORA tiene muchas ventajas en al ser

comparado con AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE y PRMETHHEE, tales como:

- Menor tiempo de cómputo
- Simplicidad
- Cálculos matemáticos requeridos
- Estabilidad
- Integración de datos cualitativos y cuantitativos

## Referencias

Asokan, M. V. and Unnithan, V. K. G. 1999. Estimation of vendor's process capability from the lots screened to meet specifications, *Quality Engineering*, vol. 11(4), pp 537-540.

Barbarosoglu, G. and Yazgac, T. 1997. An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem, *Prod. Invent. Manage. J.*, vol. 38(1), pp 14-21.

Brauers, W. K., Zavadskas, K., Peldschus, F. and Turskis, Z. 2008. Multi-objective decision-making for road design, *Transport*, 23(3), pp 183-193.

Boyles, R. A. 1996. Multivariate process analysis with lattice data, *Technometrics*, vol. 38(1), pp 37-49, 1996.

Chan, F. S. T. 2003. Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41(15), pp 3549-3579, 2003.

Chan, L. K., Cheng S. W. and Spring, F. A. 1991. A multivariate measure of process capability, *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 11(1), pp 1-6.

Chen, H. 1990. A multivariate process capability index over a rectangular solid tolerance zone, *Statistica Sinica*, vol. 4, pp 49-758.

Degraeve, Z. and Roodhooft, F. 2000. A mathematical programming approach for procurement using activity based costing, *J. Business Finance & Acc.*, vol. 27(1-2), pp 69-98.

Garcia, J.L, Abril, L. y Hernandez J. L. 2010. Selección de proveedores usando un modelo lineal aditivo ponderado, *II Encuentro*

*Iberoamericano de Investigación Operativa y Ciencias Administrativas*. Monterrey, N.L., México, pp 173-184.

Ghodsypour, S. H. and O'Brien, C. 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 56/57, pp 199-212, 1998.

Ghodsypour, S.H. and O'Brien, C. 1998. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 56/57, pp 199-212.

Holt, G. D. 1998. Which contractor selection methodology?, *Int. J. Proj. Manage.*, vol. 16(3), pp 153-164.

Humphreys, P., Shiu, W. K. and Lo, V. H. Y. 2003. Buyer-supplier relationship: Perspectives between Hong Kong and the United Kingdom, *J. Mater. Proc. Tech.*, vol. 138, pp. 236-242.

Kalibatas, D. and Turkis, Z. (2008). Multicriteria evaluation of inner climate by using MOORA method, *Information Technology and Control*, 37(1), pp 79-83.

Krause, D.R. and Ellram, M. 1997. Success factors in supplier development, *Int. J. Physic. Distrib. Logist. Manage.*, vol. 27, pp 39-52, 1997.

De Boer, L., Labro, E. and Morlacchi, P. 2001. A review of methods supporting supplier selection, *Euro. J. Purch. & Supply Manage*, vol. 7, pp 75-89.

Liu, F.F. and Hai, H.L. 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier, *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 97(3), pp 308-317.

Liu, M. C. 2008. An investigation of multivariate process capability index, *Proceedings of 2nd Industrial Engineering Research Conference*, Norcross, GA, Institute of Industrial Engineers, pp. 644-648.

Mandal, A. and Deshmukh, S. G. 1994. Vendor selection using interpretive structural modeling (ISM), *Int. J. Op. Prod. Manage* vol. 14(6), pp 52-59.

Masella, C. and Rangone, A. 1995. Managing supplier/customer relationships by performance measurement systems, in

*Proceedings of the 2nd International Symposium on Logistics*, pp 95–102.

Min, H. 1994. International supplier selection, *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage.*, vol. 24(5), pp 24–33, 1994.

Motwani, J. M. Youssef, Y. Kathawala and E. Futch. 1999. Supplier selection in developing countries: A model development, *Integ. Manuf. Syst.*, vol. 10/3, pp 154–161.

Ourkovic, S. and Handfield, R. 1996. Use of ISO 9000 and Baldrige award criteria in evaluation of supplier quality, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, vol. 32(2), pp 2–11.

Parkan, C. and Wu, L. 1999. Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 36(3), pp 503–523, 1999.

Pearn W. L. and Chen, K. S. 1998. Multiprocess performance analysis: a case study, *Quality Engineering*, vol. 10(1), pp 1–8.

Pillet, M., Rochon, S. and Duclos, E. 1998. SPC—generalization of capability index

Cpm: Case of unilateral tolerances, *Quality Engineering*, vol. 10(1), pp 171–176.

Singhal, S. C. 1990. A New Chart for analyzing multiprocess performance, *Quality Engineering*, vol. 2(4), pp 379–390.

Taam, W., Subbaiah, P. and Liddy, J. W. 1993. A note on multivariate capability indices, *Journal of Applied Statistics*, vol. 20(3), pp 339–351.

Tam, M. C. Y. and Tummala, V. M. R. 2001. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system, *Omega*, vol. 29, pp 171–182.

Vokurka, R. J., Choobineh, J. and Vadi, L. 1996. A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers, *Int. J. Op. Prod. Manage.*, vol. 16(12), pp 106–127.

Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C. 1991. Vendor selection criteria and methods, *Euro. J. Op. Res.*, vol. 50, pp 2–18, 1991.

Wind, Y. and Robinson, P. J. 1968. The determinants of vendor selection: The evaluation function approach, *J. Purch. Mater. Manage.*, vol. 8, pp 29–41, 1968.

