

Una Herramienta para Evaluar Proveedores de Mantenimiento de Equipo Médico. Un Caso de Estudio: Balanzas Analíticas

M. A. Mendoza¹, A. B. Pimentel-Aguilar², and M. R. Ortiz-Posadas¹

¹Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México D. F.

²Departamento de Ingeniería Biomédica, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, México, D. F.

Resumen—En este trabajo se presenta una herramienta para evaluar propuestas técnicas de proveedores de servicios de mantenimiento, que es capaz de elegir la mejor entre las diferentes ofertas recibidas, incorporando un modelo cuantitativo que evalúa aspectos técnicos, empleando un criterio de evaluación de puntos y porcentajes. La herramienta se desarrolló como un modelo basado en conocimiento, que refleja las capacidades técnicas del proveedor y los beneficios del contrato de mantenimiento, coadyuvando a la contratación de la mejor propuesta para la realización del mantenimiento de los equipos médicos. La aplicación de la herramienta se hizo para la contratación del mantenimiento preventivo de un conjunto de balanzas analíticas del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.

Palabras clave—Evaluación de proveedores, evaluación por puntos y porcentajes, mantenimiento preventivo y correctivo.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la alta complejidad tecnológica de los equipos médicos disponibles en las instituciones de salud, es necesario evaluar y contratar servicios externos de mantenimiento especializado [1]. En particular en las instituciones públicas de salud en México, la contratación de un proveedor de mantenimiento de equipo médico se hace mediante la evaluación de sus propuestas técnica y económica, para elegir la mejor opción en el mercado relativa a un equipo determinado. Esta evaluación se hace como lo instituye la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público de México [2], que establece que las entidades que requieran un servicio de mantenimiento subrogado con características de alta especialidad técnica, deberán utilizar el criterio de evaluación de puntos y porcentajes asignados a cada característica relevante de cada oferta recibida. La que acumule el mayor puntaje será considerada la mejor oferta y por ende, será la propuesta técnica que se adjudicará. Hay que mencionar que la adjudicación de un contrato de esta naturaleza se hace a través de una licitación pública [2].

En el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México (INER) el personal del Departamento de Ingeniería Biomédica (DIB) se encarga de la gestión del mantenimiento de todo el equipo médico disponible en el Instituto. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue

desarrollar una herramienta para evaluar las propuestas técnicas de los proveedores de mantenimiento preventivo/correctivo (MP/C), que pueda elegir entre las ofertas recibidas, mediante la evaluación de 5 aspectos que buscan calificar las capacidades, cualidades y alcances técnicos de cada proveedor participante, con el fin de garantizar la contratación de la mejor propuesta para la realización del MP/C de los equipos médicos instalados en el INER. Dicha herramienta se aplicó en la evaluación de tres proveedores de mantenimiento para balanzas analíticas.

II. METODOLOGÍA

La herramienta de evaluación se basó en un modelo generado a partir del conocimiento y la experiencia del personal técnico del DIB, así como de la información contenida en los contratos de MP/C de equipo médico realizados con anterioridad. A continuación se describen las etapas para el desarrollo de dicha herramienta.

A. Variables

Para definir las variables se consideraron cinco aspectos (Tabla I) con un factor de relevancia (ρ_i), $i = \{I, \dots, V\}$, en el intervalo $[0, 1]$, definido en conjunto con el personal técnico del DIB del Instituto. En total se definieron 14 variables (x_j , $j=1, \dots, 14$) con sus respectivos dominios M_j (valores admisibles que puede tomar la variable x_j) y cada variable también tiene asignado un factor de relevancia ρ_j (Tabla II).

TABLA I
ASPECTOS Y PONDERACIONES CONSIDERADOS EN LA EVALUACIÓN DE LOS
PROVEEDORES DE MP/C

Aspecto	ρ_i
I. Capacidad del proveedor (CP)	0.30
II. Experiencia del proveedor (EE)	0.35
III. Cumplimiento de contratos (CC)	0.13
IV. Propuesta de trabajo (PT)	0.11
V. Tiempos de espera (TE)	0.11

La variables x_1 y x_2 estiman la capacitación del personal en el tipo de equipo y las marcas específicas; x_3 y x_4 identifican si el proveedor tiene respaldo para obtener las refacciones de los equipos evaluados. La variable x_5 valora el compromiso del proveedor, a través de una carta-compromiso, para capacitar al personal técnico del DIB en

el uso, el manejo y los procedimientos básicos de mantenimiento preventivo (MP) del equipo. La variable x_6 identifica al proveedor que proporciona el mayor número de refacciones requeridas, tanto para el mantenimiento preventivo del equipo como para el correctivo, incluidas en el costo establecido en las bases de la licitación por el DIB. La variable x_{12} cuantifica cambios en el equipo y/o en la fecha de ejecución del MP en el plan de trabajo. Con la variable x_{13} se determina cuál de los proveedores realiza en menor tiempo la rutina de MP establecida por el DIB, y la complejidad tecnológica del equipo médico. De igual forma con la variable x_{14} , se identifica al proveedor que proporciona la refacción requerida en menor tiempo, para realizar algún mantenimiento correctivo (MC) requerido.

TABLA II
VARIABLES, PONDERACIÓN Y DOMINIO PARA CADA ASPECTO EVALUADO

x_j	ρ_j	M_j
Aspecto I: Capacidad del proveedor		
x_1 : Personas capacitadas en el equipo específico	0.22	[1,6]
x_2 : Personas capacitadas en el equipo genérico	0.18	[1,5]
x_3 : Carta de representación del equipo	0.09	[0,1]
x_4 : Carta de respaldo del fabricante	0.14	[0,1]
x_5 : Compromiso para capacitar personal del DIB	0.07	[0,1]
x_6 : Refacciones incluidas en el contrato	0.11	[0,7]
x_7 : Instrumentos de medición del proveedor	0.1	[0,2]
x_8 : Manuales de servicio del proveedor	0.09	[0,2]
x_9 : Experiencia del proveedor	0.63	[0,5]
x_{10} : No. de contratos del equipo requerido	0.37	[2,7]
Aspecto II: Experiencia del proveedor		
x_{11} : No. de contratos concluidos del equipo requerido	1	[2,7]
Aspecto III: Programa de trabajo		
x_{12} : No. de cambios en el programa de trabajo	1	[0,3]
Aspecto IV: Tiempos de espera		
x_{13} : Tiempo de espera promedio para ejecutar el mantto	0.47	[2,4]
x_{14} : Tiempo de espera para disponer de refacciones	0.53	[1,7]

B. Criterios de Comparación

Un criterio de comparación [3] es un función que permite evaluar la diferencia (o la semejanza) entre dos valores de una misma variable, y está definida como el producto cartesiano del dominio de la variable: $C_j: M_j \times M_j \rightarrow \Delta_j$; $j=1, \dots, n$ donde Δ_j es un conjunto ordenado de cualquier naturaleza, puede ser finito o infinito y se construye como una matriz simétrica, como se observa en la Tabla III.

En este trabajo se diseñaron 10 criterios de comparación de diferencia. Como ejemplo, en la Tabla III se muestra el criterio de comparación para las variables x_1 , x_9 , x_{10} y x_{11} . Observe que es el mismo en todos los casos. Es un criterio 6-valente, que dependiendo de la variable a comparar, el dominio cambia.

En este caso: $M_1=[1, 6]$, $M_9=[0, 5]$, $M_{10}=M_{11}=[2, 7]$. Sin embargo el resultado de la comparación de los valores es el mismo en todos los casos.

TABLA III.
CRITERIO DE COMPARACIÓN PARA LAS VARIABLES x_1 , x_9 , x_{10} Y x_{11}

		C_1	1	2	3	4	5	6
		C_9	0	1	2	3	4	5
C_1	C_9	$C_{10,11}$	2	3	4	5	6	7
1	0	2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
2	1	3		0	0.2	0.4	0.6	0.8
3	2	4			0	0.2	0.4	0.6
4	3	5				0	0.2	0.4
5	4	6					0	0.2
6	5	7						0

A. Función de Semejanza

Para comparar la descripción de un proveedor $[I(P_k)]$ $k=\{1, \dots, m\}$ en términos de las características definidas para cada aspecto, con el proveedor de referencia $[I(P_R)]$, se formalizó el concepto de *función de semejanza parcial* [3], basada en los 10 criterios de comparación definidos, como se muestra en la ecuación (1). Note que en el segundo factor se está restando de uno el resultado de las comparaciones por variable, por tratarse de criterios de diferencia. Esto es necesario dado que se quiere obtener la semejanza del proveedor con respecto al mejor proveedor (referencia).

$$\beta_{A_i}(I(P_i), I(P_R)) = 1 - \sum_{x_i \in P} \rho_i C_i(x_i(P_i), x_i(P_R)) \quad (1)$$

Donde A_i representa un aspecto y ρ_j es la ponderación asociada a cada variable de ese aspecto.

En este trabajo se definieron cinco *funciones parciales de semejanza* (β_{A_i}). El valor numérico obtenido denota la calidad técnica del proveedor en cada aspecto evaluado y de manera general está definida como sigue: Sea β_{CP} la función de semejanza parcial para evaluar el aspecto Capacidad del proveedor (CP) definida por:

$$\beta_{CP}(I(P_i), I(P_R)) = 1 - \sum_{i=1}^8 \rho_i C_i(x_i(P_i), x_i(P_R)) \quad (2)$$

Donde:

$$\rho_{[1,8]} = \{0.22, 0.18, 0.09, 0.14, 0.07, 0.11, 0.1, 0.09\}$$

Sea β_{EE} la función de semejanza parcial para evaluar el aspecto Experiencia y especialidad del proveedor (EE) definida por:

$$\beta_{EE}(I(P_i), I(P_R)) = 1 - \sum_{i=9}^{10} \rho_i C_i(x_i(P_i), x_i(P_R)) \quad (3)$$

Donde: $\rho_{9,10} = \{0.063, 0.37\}$

Sea β_{CC} la función de semejanza parcial para evaluar el aspecto Cumplimiento de contratos (CC) definida por:

$$\beta_{CC}(I(P_i), I(P_R)) = 1 - \rho_i C_i(x_i(P_i), x_i(P_R)) \quad (4)$$

Donde: $\rho_{11} = 1$

Sea β_{PT} la función de semejanza parcial para evaluar el aspecto Plan de trabajo (PT) definida por:

$$\beta_{PT}(I(P_i), I(P_R)) = 1 - \rho_i C_i(x_i(P_i), x_i(P_R)) \quad (5)$$

Donde: $\rho_{12} = 1$

Sea β_{TE} la función de semejanza parcial para evaluar el aspecto Tiempos de espera (TE) definida por:

$$\beta_{TE}(I(P_i), I(P_R)) = 1 - \sum_{i=1}^{14} \rho_i C_i(x_i(P_i), x_i(P_R)) \quad (6)$$

Donde: $\rho_{13,14} = \{0.47, 0.53\}$

Posteriormente se evaluó la descripción completa del proveedor, mediante una *función de semejanza total* ($\beta_{Tproveedor}$) que evalúa los cinco aspectos en conjunto, definida por:

$$\beta_T(I(P_j), I(P_R)) = 0.3 [\beta_{SC}(I(P_j), I(P_R))] + 0.35 [\beta_{SE}(I(P_j), I(P_R))] + 0.13 [\beta_{CC}(I(P_j), I(P_R))] + 0.11 [\beta_{WP}(I(P_j), I(P_R))] + 0.11 [\beta_{WT}(I(P_j), I(P_R))] \quad (7)$$

Donde $\beta_{CP}, \beta_{EE}, \beta_{CC}, \beta_{PT}, \beta_{TE}$ son las funciones parciales de semejanza de cada aspecto, con su respectivo parámetro de relevancia asignado por el personal del DIB. El resultado obtenido por $\beta_{Tproveedor}$ corresponde a un valor numérico que denota la calidad técnica de forma global del proveedor.

B. Proveedor de Referencia

Para evaluar el desempeño de cada uno de los proveedores, fue necesario tener como referencia al mejor proveedor del mercado. En este sentido, se definió un proveedor de referencia *ideal* (P_R) con la mejor calidad técnica. Su descripción se obtuvo asignando el máximo valor del dominio establecido para cada una de las 14 variables, obteniendo el desempeño óptimo. De este modo la descripción resultó: $P_R = (6, 5, 1, 1, 1, 7, 2, 2, 5, 7, 7, 0, 2, 1)$. Observe que en el caso de la variable x_{12} , el valor máximo se obtiene cuando no hay modificaciones en las fechas programadas para la ejecución del trabajo, lo cual corresponde al valor cero (mínimo valor admisible). El desempeño óptimo de las variables x_{13} y x_{14} , también se describen minimizando los tiempos, ya que el equipo debe estar fuera de servicio el menor tiempo posible, por lo tanto se tomó el valor mínimo del dominio de estas variables: 2 y 1 respectivamente. Así, P_R fue el proveedor contra el cual se comparó el desempeño de aquellos proveedores que participaron en la licitación, para el contrato de mantenimiento de las balanzas analíticas del INER.

C. Procedimiento para la Evaluación de un Proveedor

Para realizar la evaluación de un proveedor mediante el método presentado, es necesario seguir los tres pasos que se describen a continuación.

1. Obtener el valor de las variables. Se deben revisar las propuestas técnicas de los proveedores y obtener el valor de las variables.

2. Evaluar el desempeño parcial del proveedor (P). Se utilizan las funciones de semejanza parcial correspondientes (ecuaciones 1, 2, 3, 4, 5 y 6) para evaluar cada aspecto en el proveedor.

3. Evaluar el desempeño total del proveedor (P). Se utiliza la función de semejanza total (ecuación 7), en la que se sustituyen los resultados de las funciones de semejanza parcial (paso 2) para obtener la evaluación total del proveedor.

III. RESULTADOS

A. Caso de Estudio: Evaluación de balanzas analíticas

Se hizo la evaluación de tres proveedores (P_1, P_2, P_3) que participaron en la licitación del año 2013 para la contratación de servicios de mantenimiento para 60 balanzas analíticas, que son instrumentos de pesaje de alta precisión con una lectura desde 0.1 mg hasta 0.1µg, que incluye distintos modos de aplicación: pesaje porcentual, revisión de peso, calibración de pipetas, totalización, entre otras. Se ubican principalmente en laboratorios donde se realizan mediciones de masas muy pequeñas o concentraciones de forma precisa de algún soluto.

Después de aplicar el procedimiento para realizar la evaluación, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Variables. Los valores de las variables de cada proveedor se obtuvieron de la propuesta técnica respectiva (Tabla IV).

TABLA IV
VALORES DE LAS VARIABLES DE LOS PROVEEDORES DE MP/C PARA
BALANZAS ANALÍTICAS

ω_p	x_i	P_1	P_2	P_3	P_R
CP	x_1	0	1	2	6
	x_2	2	2	2	5
	x_3	0	0	1	1
	x_4	1	0	1	1
	x_5	1	1	1	1
	x_6	1	1	4	7
	x_7	2	2	2	2
	x_8	1	2	0	2
EE	x_9	5	5	1	5
	x_{10}	2	7	3	7
CC	x_{11}	7	7	1	7
PT	x_{12}	0	0	0	0
TE	x_{13}	2	2	2	2
	x_{14}	7	1	7	1

2. Desempeño parcial de cada proveedor. Se evaluó cada aspecto en cada proveedor y los resultados se muestran en la Tabla IV.

TABLA IV. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN PARCIAL DE LOS
PROVEEDORES (P_1, P_2 Y P_3) DE MP/C PARA LAS BALANZAS ANALÍTICAS

Aspecto	P_1	P_2	P_3
I. Capacidad del proveedor	0.42	0.32	0.55
II. Experiencia del proveedor	0.63	1	0.2
III. Cumplimiento de contratos	1	1	0
IV. Propuesta de trabajo	1	1	1
V. Tiempos de espera	0.47	1	0.47

El proveedor que obtuvo el mejor puntaje (0.55) en el aspecto I. Capacidad del proveedor fue P₃. En el caso del aspecto II. Experiencia del proveedor, el que obtuvo el mayor puntaje (0.63) resultó P₂, ya que tiene cinco años de experiencia (x₉) realizando mantenimiento a balanzas analíticas y siete contratos terminados (x₁₀), lo que corresponde al máximo valor admisible en el dominio de estas dos variables. En cuanto al aspecto III. Cumplimiento de contratos, los proveedores P₁ y P₂ obtuvieron el desempeño óptimo (1), debido a que tienen al menos 7 contratos finalizados (x₁₁), mientras que P₃ sólo tiene uno, por lo que no alcanza el valor mínimo del dominio para esta variable que son dos fianzas liberadas. Al revisar el aspecto IV. Plan de trabajo de cada proveedor, al no tener ninguna modificación en la fecha programada para el MP ni omitir ninguna balanza analítica del contrato, los tres proveedores obtuvieron el puntaje máximo (1). Por último, en relación con los tiempos de espera (aspecto V), el proveedor P₂ obtuvo el mayor puntaje (1), ya que es el proveedor que obtiene las refacciones (x₁₄) en menor tiempo (1 semana).

3. Desempeño total del proveedor (P). Se aplicó la ecuación (3), obteniendo el siguiente resultado:

Desempeño total de P₁:

$$\beta_T(I(P_4), I(P_R)) = 0.3(0.42) + 0.35(0.63) + 0.13(1) + 0.11(1) + 0.11(0.47) = 0.64$$

Desempeño total de P₂:

$$\beta_T(I(P_5), I(P_R)) = 0.3(0.32) + 0.35(1) + 0.13(1) + 0.11(1) + 0.11(1) = 0.8$$

Desempeño total de P₃:

$$\beta_T(I(P_6), I(P_R)) = 0.3(0.55) + 0.35(0.2) + 0.13(0) + 0.11(1) + 0.11(0.47) = 0.40$$

Analizando el desempeño total de cada proveedor, el que obtuvo el mayor puntaje (0.8) y por ende la mayor calidad técnica fue P₂, seguido de P₁ y P₃ con un resultado de 0.64 y 0.4 respectivamente. En general se puede decir que los proveedores P₁ y P₂ tienen una buena calidad técnica, ya que obtuvieron un puntaje por arriba de 0.6; aunque no es el caso del proveedor P₃ que obtuvo una evaluación (0.40) por debajo del 50%.

IV. CONCLUSIÓN

La herramienta de evaluación diseñada, efectivamente puede determinar qué proveedor es el que tiene la mejor calidad técnica a través del resultado de su evaluación. Incluso puede observarse la diferencia en las propuestas técnicas de los proveedores, mediante el puntaje obtenido con dicha herramienta.

La herramienta de evaluación presentada en este trabajo, aunque se aplicó a las propuestas técnicas que presentaron tres proveedores de mantenimiento de balanzas analíticas, además de evaluar proveedores de mantenimiento de cualquier equipo, también es útil en la evaluación de cualquier proceso que requiera seleccionar algún ítem, lo único que se necesita para su aplicación, es poder describir en términos de un conjunto de variables, el proceso en cuestión.

REFERENCES

- [1] A. M. Cruz, A. M. Rios and G. Haugan. "Measuring the Performance of Maintenance Service Outsourcing", *Biomedical Instrumentation & Technology*, vol. 47, no. 6, pp. , 2013.
- [2] *Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público*. (2014, 06, 26) [Enlínea] DiarioOficialde la Federación, 2012. Disponible en: <http://inicio.ifai.org.mx/MarcoNormativoDocumentos/8.%20LAASSP.pdf>
- [3] M. R. Ortiz-Posadas, L. Vega and B Toni, "A mathematical function to evaluate surgical complexity of cleft lip and palate", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 94, no 3, pp. 232-238, 2009.