

Aplicación de (AHP) Análisis Jerárquico Multicriterio para el Análisis de Adquisición de una Termobalanza

Application of (AHP) Multicriteria Hierarchical Analysis for the Acquisition Analysis of a Thermobalance

M.A. Romo-Nava, M. B. ^A, M.C. Ayala-Muñoz. ^B y . Flores-Sierra J.J. ^C

ORCID: 0009-0009-2062-8704^A, ORCID:0009-0006-1984-116X^B y ORCID:0000-0002-9484-8373^C

(Recepción: 06/06/2024 y aceptación 18/06/2024)

Resumen— La toma de decisiones es esencial a lo largo de la vida y de ella depende el éxito o fracaso de las acciones o respuestas tomadas al presentarse la dificultad, por lo que la herramienta AHP (Analytic Hierarchy Process) es un método multicriterio discreto que considera aspectos cualitativos y cuantitativos, en este trabajo se consideró esta herramienta para analizar la decisión de adquirir una termobalanza para actividades académicas de una institución educativa, el departamento de compras tomó en cuenta las necesidades de los usuarios, consideraciones de expertos en base a la funcionalidad, por tal motivo el método nos dio la mejor decisión.

Palabras clave: AHP, Decisiones, Multicriterio, Termobalanza.

Abstract— Decision making is essential throughout life and this depends on the success or failure of the actions or responses taken when difficulty arises, for which the tool AHP (Analytic Hierarchy Process) is a discrete multicriteria method that considers qualitative and quantitative aspects. The tool was considered in this project to analyze the decision of acquiring a thermobalance for an educational institution's academic activities. The purchasing department took into account the users' needs and considerations from experts based on functionality. For this reason, the method gave us the best decision.

Keywords: AHP, Decision, Multicriteria, Thermobalance.

A. Romo N. María^A Tecnológico Nacional de México, Campus Purísima del Rincón, Gto., baudelia.rn@purisima.tecnm.mx

B. Ayala M. Dolores^B Tecnológico Nacional de México, Campus Purísima del Rincón, Gto., dolores.am@purisima.tecnm.mx

C. Flores S. José de Jesús^C Tecnológico Nacional de México, Campus Purísima del Rincón, Gto., jesus.fs@purisima.tecnm.mx

1 INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones en el ámbito empresarial es una actividad cotidiana de los directivos y mandos medios, por lo que es de vital importancia que este proceso crítico sea tomado con la importancia que amerita, ya que si no es de esa manera las consecuencias pueden tener un impacto negativo que puede generar consecuencias catastróficas para la empresa. Por tal motivo, se hablará de la herramienta "Análisis Jerárquico de Toma de Decisiones" (APH), esta es una herramienta en la cual se pueden apoyar los tomadores de decisiones ya que está diseñada para cuantificar juicios u opiniones gerenciales sobre la importancia relativa de cada

uno de los criterios en conflicto de toma de decisión.

2 PROCEDIMIENTO PARA LA PRESENTACIÓN DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

2.1 Objetivo

Realizar un análisis mediante el método AHP papara elegir la mejor elección de una termobalanza adecuada para las labores académicas, considerando los recursos de la institución.

2.2 Marco Teórico

La toma de decisiones en las empresas públicas y privadas suelen ser vitales para el logro de los objetivos, además, involucra la evaluación de un conjunto de alternativas en términos de un conjunto de criterios de decisión, donde muy frecuentemente estos criterios están en conflicto unos con otros.

La complejidad es una constante en el momento de realizar una evaluación de alternativas, ya que son múltiples los factores que son afectados al realizar una intervención y las consecuencias mismas sobre las mismas son desconocidas e imposibles de predecir en su totalidad por el evaluador.

De acuerdo con Simon (1947, 1955, 1978, 1983 y 2005) y Thaler (1986), aquellos problemas en los que las alternativas de decisión son finitas se denominan problemas de decisión multicriterio discreto. [1]

Por otro lado, cuando el problema toma un número infinito de valores y conduce a un número infinito de alternativas posibles, se llama decisión multiobjetivo. Los principales métodos de decisión multicriterio discreto son [2]:

- Ponderación lineal (scoring).
- Utilidad multiatributo (MAUT).
- Relaciones de sobreclasificación.
- Análisis jerárquico (AHP).

Thomas Saaty en 1988, introdujo el proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process, (AHP). Existen diversos métodos de análisis, se considera éste debido a que incluye parámetros cualitativos y cuantitativos, además, análisis de consistencia y de sensibilidad en el mismo[3] Proceso [4]:

FASE I

1. Definir la situación minuciosamente e incluyeron la mayor cantidad posible de detalles importantes.
2. Definición del objetivo
3. Identificación de criterios;
4. Identificación de alternativas.

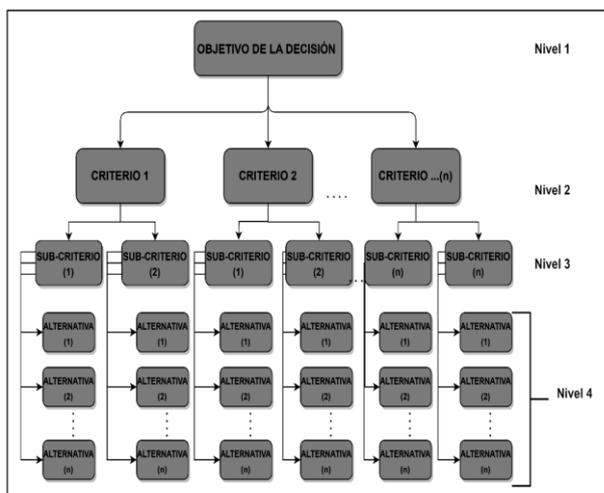


Figura 1. Diagrama de Jerarquías AHP

Como se muestra en la figura 1 en esta fase del proceso es importante seguir las recomendaciones siguientes, estructura de jerarquía, establecimiento de prioridades y mediciones.

Nivel 1: Objetivo: Es algo que se desea alcanzar, como se aprecia en la figura 1, es la razón de nuestro trabajo, que nos marcará la pauta para los criterios, y alternativas.

Nivel 2, 3: Identificación de Criterios y Subcriterios: Constituye los puntos de vista considerados como importantes para la consecución de un objetivo.

Nivel 4. Identificación de Alternativas: Propuestas posibles o viables mediante las cuales se podrá alcanzar el objetivo. [1]

Saaty (1980) se basa en que permite dar valores numéricos a los juicios dados por expertos, la escala que utiliza. [5]

Tabla 1 Escala de Medición de Criterios [6]

Escala	Significado	Descripción
1	De igual importancia	Las actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre otra.
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es absoluta e incuestionable.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.
Recíprocos	$a_{(ij)}=1/a_{(ji)}$	Cuando i tiene valor respecto a j igual a un entero de los indicadores arriba, entonces el valor de j respecto a i es igual a $1/a$

FASE II

El proceso de llevar cabo la asignación de estos pesos requiere de opiniones o juicios de valor que en problemas complejos solo pueden ser dados por expertos en el tema. Las prioridades de las alternativas se obtienen mediante la construcción de las matrices que contengan las prioridades de las alternativas respecto de los criterios y subcriterios [3]:

La matriz de comparaciones pareadas contiene comparaciones alternativas o criterios.

Una vez comprendida la escala, los expertos y responsables del proceso de toma de decisión se crea la matriz A como se muestra en la figura 2, la cual representa el número de criterios del problema, cada valor a_{ij} representa la importancia relativa del criterio j con respecto a i [7].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2 Estructura de Matriz de Criterios

Además, debe cumplir con el axioma de reciprocidad, donde: $a_{ij} \cdot a_{ji} = 1$

El siguiente paso es el cálculo de la matriz normalizada, la

cual representa el valor relativo con respecto al total de cada columna, es decir, se divide cada número de una columna de comparación por el total de la misma como se muestra en la figura 3. [8]

$$\begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Cálculo de matriz} \\ \text{normalizada} \end{matrix} \quad \begin{matrix} \frac{1}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{i2}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{im}}{\sum a_{im}} \\ \frac{a_{21}}{\sum a_{i1}} & \frac{1}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{a_{2m}}{\sum a_{im}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} & \dots & \frac{1}{\sum a_{im}} \end{matrix}$$

$$= \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix}$$

Figura 3. Cálculo de Matriz Normalizada

El siguiente paso es calcular el vector prioridad, que es el promedio de cada renglón de la matriz normalizada de cada alternativa con respecto a cada criterio como se muestra en la figura 4.

$$\begin{bmatrix} \frac{b_{11}}{\sum_{j=1}^m b_{i1}} + \frac{b_{12}}{\sum_{j=1}^m b_{i2}} + \dots + \frac{b_{1m}}{\sum_{j=1}^m b_{im}} \\ \frac{b_{21}}{\sum_{j=1}^m b_{i1}} + \frac{b_{22}}{\sum_{j=1}^m b_{i2}} + \dots + \frac{b_{2m}}{\sum_{j=1}^m b_{im}} \\ \vdots \\ \frac{b_{n1}}{\sum_{j=1}^m b_{i1}} + \frac{b_{n2}}{\sum_{j=1}^m b_{i2}} + \dots + \frac{b_{nm}}{\sum_{j=1}^m b_{im}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$

Figura 4. Cálculo de Vector Prioridad

El proceso siguiente es la evaluación de los criterios con la razón de consistencia ya que los juicios reflejados en cada matriz deben respetar propiedades razonables como son[9]:

- Transitividad: Los juicios deben respetar el orden al comparar más de dos elementos.
- Proporcionalidad: Los juicios deben guardar relación entre términos de orden de magnitud.

La medida del grado de consistencia que incurre al asignar el rating de la tabla 1, indica que las propiedades de transitividad y proporcionalidad no se están respetando.

La consistencia de las opiniones utilizadas en la matriz de comparación por pares debe ser menor que 0.10 para ser aceptable, de lo contrario las opiniones deben ser reconsideradas [8].

Para su cálculo se considera el siguiente proceso[10]:

- Para la matriz de comparación por pares, determinar la suma ponderada en base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa correspondiente.
- Para cada renglón, dividir su suma ponderada por la prioridad de su alternativa correspondiente.
- Calcular la media ($\lambda_{m\acute{a}x}$) del proceso anterior.
- Calcular el Índice de Consistencia (CI)

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (1)$$

- Determinar el índice aleatorio (IR) de la tabla siguiente:

Tabla 2. Índice Aleatorio [1]

Total de Alternativas	Índice Aleatorio
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41

- Cálculo del Cociente de Consistencia (CR)

$$CR = \frac{CI}{IR} \quad (2)$$

FASE III

Una vez que el cociente de consistencia fue menor a 0.10 se puede proceder al siguiente proceso.

Para concluir el proceso decisor se deben tomar los vectores prioridad de cada criterio con respecto a cada alternativa para formar una matriz con cada vector prioridad, y el vector prioridad de la matriz de criterios se coloca como renglón, al formarse estas dos matrices se multiplican siguiendo la metodología de producto punto de manera que se obtiene un vector de prioridad global de alternativas y se puede tomar la mejor decisión con la que tenga mayor peso. [11]

La mejor alternativa es el valor del vector prioridad global Z figura 7 se considera como mejor opción la ponderación más alta.

	C_1	C_2	C_3	...	C_m
A_1	v_1	v_1	v_1	v_1	v_1
A_2	v_2	v_2	v_2	v_2	v_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_n	v_n	v_n	v_n	v_n	v_n

Figura 5. Matriz de Vectores Prioridad de Criterios-Alternativas. Se toma en cuenta la variable v_n para identificar los valores del vector prioridad.

	C_1	C_2	C_3	...	C_m
	w_1	w_2	w_3	...	w_n

Figura 6. Matriz de Vector Prioridad de Criterios. Para un mayor entendimiento se consideró la variable w_n para identificar los valores del vector prioridad de la matriz de criterios.

$$\begin{pmatrix} v_1 \cdot w_1 + v_2 \cdot w_2 + v_3 \cdot w_3 + \dots + v_n \cdot w_n \\ v_1 \cdot w_1 + v_2 \cdot w_2 + v_3 \cdot w_3 + \dots + v_n \cdot w_n \\ v_1 \cdot w_1 + v_2 \cdot w_2 + v_3 \cdot w_3 + \dots + v_n \cdot w_n \\ v_1 \cdot w_1 + v_2 \cdot w_2 + v_3 \cdot w_3 + \dots + v_n \cdot w_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_n \end{pmatrix}$$

Figura 6. Cálculo de Vector de Prioridad Global

3 METODOLOGÍA

Para la aplicación del método AHP, se realizó el análisis jerárquico tomando en cuenta los proveedores que se encuentran en el catálogo del Sistema de Adquisiciones del Gobierno del Estado de Guanajuato [12] esto debido a que el recurso solo se puede ejercer a esa manera, además, de que se ajusta al gasto que compras tiene disponible para adquirir termobalanzas.

Se consultó al departamento de compras, el recurso disponible para equipo de laboratorio en ese rubro está entre \$30,000 y \$35,000 MXN, se puede ajustar al presupuesto. Se consultó por parte del departamento de compras, la lista de proveedores y en base a esa información se realizó la jerarquía tomando en consideración la evaluación de las termobalanzas ofrecidas por los proveedores que cumplen con los requisitos.

Con información del departamento de compras se obtuvieron los siguientes costos tabla 3, y en la tabla 4 se muestran las especificaciones de catálogo del producto generales y de energía.

Tabla 3. Costo y Consumo de Energía de Termobalanzas. [13] [14][15]

Termobalanza	Costo	Consumo de Energía
BL-MB23 (Ohaus)	\$ 29,900	250 W (+15%/-20%)
XM-60 (Master)	\$ 33,480	420 W (+15%/-20%)
MF-50	\$ 25,849	220 W (+15%/-20%)
MS-70	\$ 28,390	200 W (+15%/-20%)

Tabla 4. Especificaciones de Termobalanzas [13] [14] [15]

Funciones	MS-70	XM-50	MF-50	BL-MB23
Capacidad	71 gr.	124 gr.	51 gr.	110 gr.
Respuesta	0.0001 gr.	0.0015 gr	0.002	0.1%
Precisión de contenido de humedad	0.05%	0.20%	0.20%	0.60%

Iniciando con la Fase I, se realiza el diagrama jerárquico con los datos mencionados.

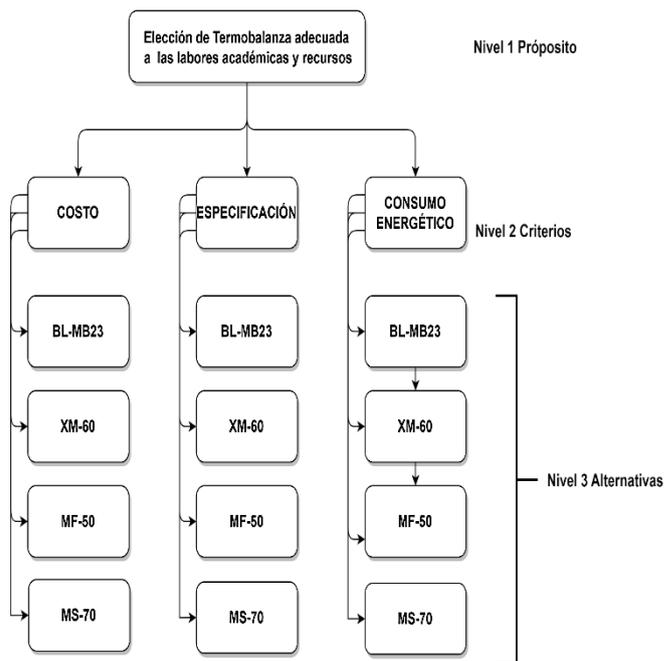


Figura 7. Jerarquía de Elección de termobalanza

Matrices de Comparación por Pares entre alternativas en según criterio, cabe resaltar que el proceso se realizó con apoyo de los expertos para calificar

Tabla 5. Matriz de Comparación por Pares de Criterios.

Criterios	Costo	Especificaciones	Consumo de Energía
Costo	1	3	1/2
Especificaciones	1/3	1	1/3
Consumo de Energía	2	3	1

Matrices de Comparación por Pares entre alternativas según criterio, cabe resaltar que el proceso se realizó con apoyo de los expertos para calificar Tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6. Matriz de Comparación entre Alternativas según Criterio Costo

Alternativas	BL-MB23 (Ohaus)	XM-60 (Master)	MF-50	MS-70
BL-MB23 (Ohaus)	1	3	1/2	3
XM-60 (Master)	1/3	1	1/2	2
MF-50	2	2	1	2
MS-70	1/3	1/2	1/2	1

Tabla 7. Matriz de Comparación entre Alternativas según Criterio Especificaciones

Alternativas	BL-MB23 (Ohaus)	XM-60 (Master)	MF-50	MS-70
BL-MB23 (Ohaus)	1	3	2	3
XM-60 (Master)	1/3	1	1/3	3
MF-50	1/2	3	1	3
MS-70	1/3	1/3	1/3	1

Tabla 8. Matriz de Comparación entre Alternativas según Criterio Consumo de Energía

Alternativas	BL-MB23 (Ohaus)	XM-60 (Master)	MF-50	MS-70
BL-MB23 (Ohaus)	1	2	2	3
XM-60 (Master)	1/2	1	1/2	2
MF-50	1/2	2	1	2
MS-70	1/3	1/2	1/2	1

Para la solución del problema se realizó una aplicación en Python y nos arrojó los siguientes resultados. El índice de Consistencia de Matriz de Criterios

```

CAUsers\Budelía Romo Nava\AppData\Local\Programs\Python\Launcher\py.exe
~~~~ MATRIZ NORMALIZADA ~~~~
1: [0.30000030000003, 0.42857142857142855, 0.2727277685959429]
2: [0.09999909999991, 0.14285714285714285, 0.18181669421217128]
3: [0.60000060000006, 0.42857142857142855, 0.5454555371918858]

~~~~ VECTOR PRIORIDAD ~~~~
0.33376649905589045
0.14155764568947138
0.5246758552546381

IC
0.02690928

~~~~ LA DECISION ES FACTIBLE. ~~~~
    
```

Figura 1. Cálculo de Matriz Normalizada, Vector Prioridad e Índice de Consistencia de Matriz de Criterios

Se calculó las ponderaciones por criterio como se muestra en la Figura 10 y los resultados fueron:

ALTERNATIVAS	COSTO	ESPECIFICACIONES	ENERGIA	PONDERACIONES GLOBALES
BL-MB23 (OHAUS)	0.33	0.43	0.42	0.388664412
XM-60 (MASTER)	0.17	0.17	0.19	0.183220789
MF-50	0.38	0.3	0.27	0.309727691
MS-70	0.123208	0.0975524	0.120942	0.118387108
VECTOR PRIORIDAD CRITERIOS	0.3376	0.14155	0.52467	

La mejor opción en base a la ponderación global es 'BL-MB23 (OHAUS): 0.388664412'

Figura 10 Cálculo de Ponderaciones Globales con aplicación de Python

Por lo que se la mejor opción según el método es el modelo **BL-MB23 (Ohaus)**

4 CONCLUSIÓN

El equipo que resultó del análisis AHP fue la termobalanza BL-MB23, ya que respeta las especificaciones cualitativas y cuantitativas, el personal docente y el administrativo concordaron que es la mejor opción, y en el próximo periodo de compras se concretará la adquisición de este equipo, por lo cual el método AHP es una excelente opción de análisis para tomar la mejor decisión de adquisición según especificaciones, costo y consumo de energía, además que todas las áreas involucradas de la institución quedaron satisfechas con el resultado.

5 DISCUSIÓN

El método AHP se adapta a las necesidades del personal involucrado en el proceso actual, por lo que es recomendable considerar en un tiempo determinado realizar un nuevo análisis, esto debido al avance tecnológico, las necesidades académicas y administrativas en base a las necesidades del entorno. La información y recomendaciones de los expertos es en base a su experiencia, por lo que debe considerarse una vez adquirido el equipo dar seguimiento y continuidad al servicio que otorga.

El método AHP no solo puede utilizarse en el proceso de compras sino también para otros procesos de toma de decisiones multicriterio, donde involucre varias áreas y no concuerden en la decisión. EL método considera análisis cualitativo y cuantitativo de los involucrados, lo que da como resultado una aceptación del resultado.

6 AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento al departamento de compras en especial al Arq. Omar Vega González por el apoyo otorgada facilitando la información necesaria para la realización de este trabajo. También a la academia de ingeniería bioquímica ya que gracias a su experiencia y conocimiento se logró ser acertivos, y al departamento de calidad, por el apoyo con respecto a la normativa energética y aportar con este proyecto a mejorar el uso de Recursos.

REFERENCIAS

- [1] L. R. F. Berumen Sergio A, «La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad, Cuadernos de Administración, pp. 65-87, 2007.
- [2] D. Nino Sanabria, Modelos Mulricriterio Aplicado a la Toma de Decisiones, Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018.
- [3] F. O. G. M. Herrera Umaña, «Modelo para la Gestión de Proveedores Utilizando AHP Difuso.» Estidío Gerenciales, pp. 68-88, 2006.
- [4] J. I. Ramírez Ángeles, «La Toma de Decisiones Multicriterio en Afores Utilizando Visula Basic,» Univesidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, 2007.
- [5] L. T. Saaty, Toma de Decisiones para Líderes, Pittsburgh, 2014.

- [6] T. L. Saaty, *Toma de Decisiones para Líderes*, Pittsburgh, PA : RWS Publications, 2014.
- [7] V. Fontana y Manuel, «Métodos de decisión multicriterio AHP y PROMETHEE aplicados a la elección de un dispositivo móvil,» *Escuela Técnica Superior de Ingeniería , Sevilla*, 2015.
- [8] H. Roche y C. Vejo, «www.expertchoice.com,» 2005. [En línea]. Available: <https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/0/>. [Último acceso: 10 agosto 2023].
- [9] E. A. Nantes, «El Método Analytic Hierarchy Process para la Toma de Decisiones,» *Investigación Operativa*, n° 46, pp. 54-73, 2019.
- [10] J. I. Ramírez Ángeles, *La Toma de Decisiones Multicriterio en Afores Utilizando un Sistema Computarizado*, Pachuca: Universidad Autónoma de Hidalgo, 2007.
- [11] C. Romero, *Análisis de las Decisiones Multicriterio*, Madrid: Isdefe, 1996.
- [12] I. y. A. Secretaria de Finanzas, «Sistema de invitaciones para compras directas,» *Gobierno del Estado de Guanajuato*, 2019. [En línea]. Available: <https://dgrmsg.guanajuato.gob.mx/adquisiciones.gto/index.php>. [Último acceso: 2 octubre 2023].
- [13] M. Instrumentos, «mli.com.mx,» [En línea]. Available: <https://mli.com.mx/producto/termobalanza-ms-mx-mf-ml/#tab-description>. [Último acceso: 10 octubre 2023].
- [14] t. Transforma, «www.tecanalitic.com.mx,» [En línea]. Available: <https://www.tecanalitic.com.mx/formulario-cotizar>. [Último acceso: 15 octubre 2023].
- [15] I. d. M. I. twilinht, «Termobalanzas- Analizador de Humedad Ohaus,» 2018. [En línea]. Available: <https://twilighht.mx/instrumentos/medidores-de-humedad-en-materiales/30/637/bl-mb23-probador-de-humedad.html>. [Último acceso: 10 octubre 2023].
- [16] J. C. Osorio Gómez y J. P. Orejuela Cabrera, «EL Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) Y La Toma de Decisiones Multicriterio,» *Scientia Et Technica*, pp. 247-252, 2008.
- [17] S. M. H. V. H. Grajales Quintero Alberto, «Los Métodos y Procesos Multicriterios para la Evaluación,» *Luna Azul*, pp. 285-306, 2013.