

Trabajo de grado en modalidad aplicación en Logística

Aplicación de métodos multicriterio para el soporte de selección de proveedores en la empresa Provemel Ltda.

Daniela Moreno Bencardino^{a,c}, Maria Angélica Blanco Henríquez^{a,c}, Mariana Mebarak Camargo^{a,c}, Yessica Fernanda Verjel Becerra^{a,c},

Héctor López^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen de diseño en Ingeniería

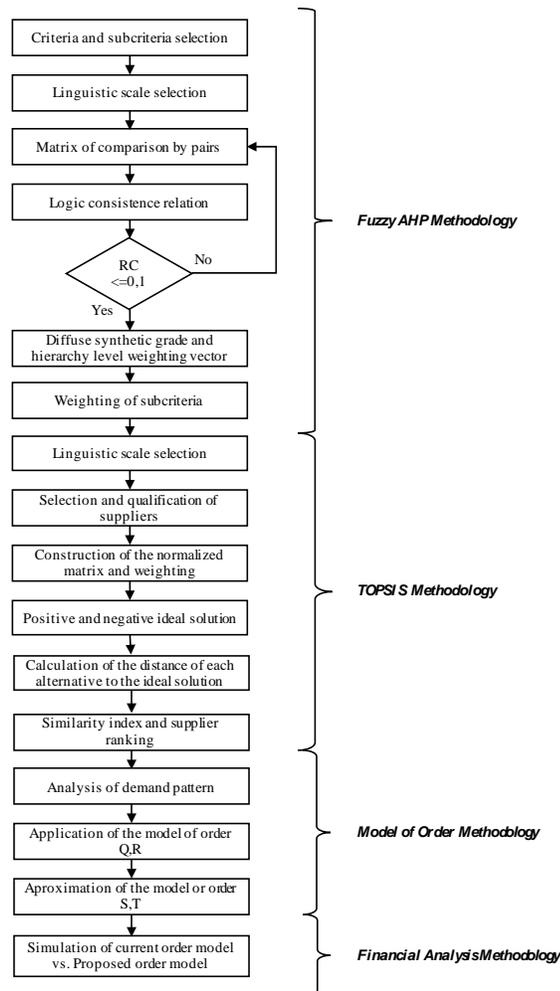
Nowadays, *business logistics* requires *strategic decisions* that must be well founded with as much information as possible in order to achieve the competitive advantages that organizations need to succeed in the market. The *supplier selection* is an indispensable part of any organizations strategy, because they provide the raw materials needed for the *production process* to start. Provemel Ltda had *different problems in terms of suppliers* which prevented them to reach such competitive advantages in the market. For a long time, the company maintained an inefficient production because the actual supplier sells the materials at a high cost and they do not always have the material available. In order to generate better results along *the supply chain* of the company as it is understood that this should be a harmonization of the internal processes between the buyer and the supplier, and improve the performance of the company supported in the utility, quality, performance, time and service of the same.

In order to take into account the different criteria considered relevant by the company, in this work is presented a supplier analysis focused on the application of two *multicriteria methods* selected after a deep bibliographical review. One of these *multicriteria method* is *Fuzzy AHP (Hierarchical Analysis Process)* that facilitates the decision making in *problematics* where several *criteria are involved*. With the help of an expert committee of the company and the information found in the literature, the criteria to be taken into account in the analysis was selected. With this methodology the criteria and their weight was given. The other method is *TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)*, which is structured in an *algorithm* in which each *possible supplier* (previously selected by contacting and asking for a quotation to different companies with the aluminum rod 6063HEX 7/16” T5 X3 m in their portfolio), is evaluated according to the criteria and giving as a result the supplier that better fits to the company needs, according to the criteria previously selected and weighted. Additional to this, given that the company does not follows an specific model of order, a deep analysis was made to determine that the best option for the company was to follow an S,T model of order, reason why this work also propose to the company a way to order, avoiding delays and reducing costs.

With the application of the two multicriteria methodologies and the order model mentioned in the previous paragraph, solutions were given to the different limitations that the Provemel company had, related to the cost, quality of the material, inefficient production and deliveries of orders to customers. In the same way, for the development of these methodologies, it was taken into account restrictions that the company presented, such as its economic resources, the offer of the product in the market, the rules and regulations, the payment facilities, the demands of the clients and the relationships of the company with the suppliers. All this resulted in a specific design for the company according to the conditions presented.

The proposal below also meets the standards stipulated initially, which are based in ISO 9001: 2016, which proposes the evaluation of suppliers. This was done through the survey designed for the selection of suppliers according to the different criteria selected by the company. Similarly, the ISO 13053-1: 2012 standard that describes a methodology for the improvement of processes, which was presented to the company as a proposal to optimize the selection of suppliers and order model.

After applying the proposed methodology the supplier, that is consider as the best option, is Alumina evaluated with the criteria selected that are twelve subcritierion (quality, innovation, commercial performance, costs, financial stability, payment flexibility, performance and service, experience and trust, international presence, delivery performance, technology and response capacity) divided in four criteria (Management alignment, financial competence, structural alignment and operative competence). Also, it is proposed for the company to use S,T model of order with which they could have savings of 59% less than with the model and supplier Provemel Ltda. has this moment.



1. **Justificación y planteamiento del problema**

El sector metalmecánico en el país no se encuentra en sus mejores momentos, ya que apenas abarca el 15,4% de la demanda de la industria a nivel nacional. Bogotá D.C. cuenta con un 19,9% de la producción industrial, pero hace unos años tenía un porcentaje más alto en el mercado, es decir, ha tenido un decrecimiento debido a la alta competencia que se ha venido presentando por la importación de partes desde Estados Unidos y China (Campo, Avendaño, Ramírez, Núñez, Duque, Sánchez, Romero, 2005), como resultado de las políticas de apertura a mercados internacionales en que Colombia ha venido incursionando desde hace varios años. Adicionalmente, las plantas de producción colombianas tienen un nivel menor de automatización, debido a la diferencia de desarrollo tecnológico, en comparación con los países del primer mundo. Esto se suma, a la menor escala operativa y, en el caso particular de la empresa Provemel Ltda. a la débil estructura de proveedores de materia prima.

Los clientes del sector metalmecánico valoran los atributos del servicio, la calidad, la entrega y el precio de los productos. Centrándose en los dos primeros factores, el mercado le da gran prioridad a las entregas oportunas, al cumplimiento en las fechas estipuladas y a la cantidad pactada (Ariel, Castrillón, Giraldo, 2011). A consecuencia de lo anterior, la empresa Provemel Ltda. se ve en desventaja competitiva en el mercado, ya que no puede suplir de manera satisfactoria dichas necesidades. Esto debido no a la insuficiencia de capacidad de planta, si no a la falta de una estructura eficiente de proveedores, haciendo que en algunas ocasiones no cuenten con la materia prima en el momento oportuno. Esto genera retrasos en la producción y, por consiguiente, retraso en la entrega de los pedidos a sus clientes en las fechas estipuladas. Lo anterior, afecta la relación comercial y hace que los clientes contemplen la posibilidad de recurrir a productos importados, siendo esta una de las principales competencias de la empresa.

De igual forma, para algunas de las materias primas con las que trabaja Provemel Ltda., específicamente la varilla de aluminio 6063HEX 7/16" T5 X3 m, actualmente sólo cuenta con un proveedor, dado que este ofrece precios asequibles para ellos, frente a los pocos proveedores del mercado. La oferta de esta varilla de aluminio es escasa en el país, debido a que el material es producido en el exterior y el costo de importación es demasiado elevado para cantidades pequeñas. Actualmente, la empresa está presentando dificultades con este material, debido a que su único proveedor ha venido incrementando los precios de la materia prima casi en un 6 % en los últimos 6 meses (Facturas de compra Provemel Ltda, Anexo 1), lo que repercute directamente en un incremento de los precios de venta y, por ende, generando inconvenientes con los clientes. Por otro lado, la no disponibilidad oportuna de la materia prima está propiciando el incumplimiento en los acuerdos de venta, poniendo en riesgo la continuidad en el mercado de las piezas metalmecánicas producidas por la empresa a partir de este material, puesto que competir actualmente con los precios que ofrecen las importadoras de productos chinos no es rentable para la empresa.

Debido a las problemáticas antes mencionadas, se refleja la importancia de una buena gestión de proveedores para el cumplimiento de los programas de producción para asegurar las entregas oportunas, de calidad y a un precio razonable en el mercado. Por lo cual, se debe garantizar que este eslabón de la cadena de suministro se encuentre trabajando de manera sincronizada con el resto de los procesos de producción. Es por ello, que se hace necesario que los encargados del aprovisionamiento tengan herramientas que les permita tomar decisiones ágiles para la selección de proveedores y, en la medida de lo posible, que estén basadas en métodos objetivos. (Umaña y Osorio, 2006).

Con base en lo anterior, se evidencia la necesidad de evaluar los proveedores actuales y proponer nuevos proveedores para la empresa Provemel Ltda. Especialmente en el caso de la varilla de aluminio 6063HEX 7/16" T5 X3 m considerando que es uno de los materiales críticos para garantizar la continuidad de los procesos de producción de las referencias que requieren este material. Dado que son limitados los proveedores de este material se cuenta con baja disponibilidad en el mercado, razón por la cual se escogió realizar el estudio sobre esta materia prima. Así, al incrementar la base de proveedores para esta materia prima, se busca no solo reducir los costos por adquisición de la misma si no también disminuir los días de retraso, asegurar la calidad del producto entre otros criterios a tener en cuenta. Para la propuesta de nuevos proveedores, se aplican métodos multicriterio como soporte para la toma de decisiones, debido a que el proceso de selección debe tener en cuenta diferentes criterios y evitar una toma de decisión basada sólo en experiencia, o influenciada por patrones o modelos mentales. Adicionalmente, las decisiones pueden estar sesgadas por estados de ánimo

o relaciones sociales que hacen que se presenten incoherencias al momento de abordar la selección (Sánchez, 2001).

Es necesario contar con herramientas, que permitan escoger alternativas que reduzcan el sesgo humano y que, de igual forma, se puedan evaluar los diferentes criterios para la elección más adecuada. Además, los métodos de decisión multicriterio, lejos de ser considerados elementos infalibles y certeros, cuya utilización permite encontrar una alternativa óptima, son una base sustentada en elementos técnicos que aportan mejoras distintivas para asumir una decisión (Hammond, Keeney y Raiffa, 2001). En todo caso, se trata de decisiones basadas en componentes cuantificables que permitan ponderar el riesgo y, en virtud de ello, sean capaces de elegir la opción o alternativa que, en el mejor de los casos, resulte ser la más satisfactoria (Berumen y llamazares, 2007). En este caso aplicado, la selección de proveedores para la empresa Provemel Ltda. [Por otro lado, se decide utilizar un híbrido entre las metodologías AHP y TOPSIS, aunque la literatura presenta diversos trabajos en donde la selección de proveedores es basada en una sola metodología, se decide realizar un híbrido entre estas dos, ya que el procedimiento de TOPSIS es menos complejo al utilizarlo con AHP, de igual forma se obtiene el mismo resultado si este es realizado con una sola metodología.](#)

Otro de los factores que algunas veces le impiden a la empresa cumplir con la cantidad pactada en los pedidos, es el hecho de que actualmente no cuenta con una política de pedido de materia prima, sino que ésta se solicita al proveedor actual a medida que van llegando órdenes de pedido por parte de sus clientes. Por esta razón, se propone una política de inventario de materia prima basada en un modelo de pedido de revisión periódica que logre cubrir las fluctuaciones en la demanda al menor costo posible y disminuya las penalizaciones por entregas tardías. (Gutiérrez, Hurtado, Pantelieva, González, 2013).

2. **Antecedentes**

La selección de proveedores juega un rol muy importante en el éxito de una compañía, siendo este un factor primordial en el plan estratégico, ya que afecta la toma de decisiones en diferentes niveles. Por lo anterior, se entiende que la selección de proveedores es, usualmente, un problema complejo, ya que deben tener en cuenta factores que suelen ser incontrolables e impredecibles (Sultana, Ahmed & Azeem, 2015).

Ahora bien, hay diferentes herramientas cuantitativas que se pueden utilizar para una adecuada selección de proveedores, que tenga en cuenta la variabilidad de los diversos criterios que se deben contemplar para este proceso. Los métodos de decisión multicriterio son una excelente herramienta al momento de realizar este tipo de análisis, ya que estos son aplicados cuando se encuentran múltiples criterios conflictivos en la toma de decisiones en las empresas durante un proyecto. (Pedryez, Ekel & Parreira, 2011).

En el caso de la selección de proveedores, los antecedentes muestran que se debe hacer una selección definida y clara, ya que involucra la evaluación de un conjunto de alternativas de acuerdo a un conjunto de criterios, donde muy frecuentemente estos criterios están en conflicto unos con otros (Sánchez, 2001). Por esta razón, existen múltiples herramientas multicriterio que permiten la evaluación conjunta de todos estos aspectos y evitan evaluarlos uno por uno.

De acuerdo con Houlihan (Houlihan, 1998), la adecuada selección de proveedores tiene una relevancia primordial, dentro del concepto de logística integral de las organizaciones (Ballou, 1999). Según Burt, Dobler y Donald (2003), hasta los años ochenta, la función de aprovisionamiento fue relegada a las operaciones de compra y administración del inventario. No obstante, las exigencias del medio competitivo actual han llevado a reconocer su importancia en la estrategia empresarial. En la actualidad, también se considera que la fiabilidad, la calidad y el buen desempeño de una empresa dependen en gran parte del desempeño de su base de proveedores.

En la actualidad, la logística se ve como un proceso integrado dentro de un sistema de toma de decisiones, y promueve la exploración de mejores formas de administrar las organizaciones, en donde el proceso de abastecimiento debe ser el resultado de la armonización de los procesos internos entre el comprador y el proveedor (Rainer y Christian, 2005). Tras ver las diferentes alternativas para la resolución de los problemas de selección de proveedores que diversos autores han usado, métodos multicriterio como AHP FUZZY y TOPSIS

son de las opciones más utilizadas para encontrar la solución a dicha problemática dentro de las necesidades y requerimiento de cada empresa (Sultana, Ahmed & Azeem, 2015). En la literatura se encuentran trabajos tales como, Ramírez-Flórez, Tabares-Urrea, Osorio-Gómez, J. C. (2017), dicho trabajo presenta la selección de un aliado estratégico para la operación de carga terrestre a través de un híbrido entre metodologías AHP y TOPSIS; esté fue utilizado como guía para la ejecución del proyecto a continuación.

De acuerdo a diferentes autores, el método AHP clásico es útil, práctico y sistemático para la selección de proveedores (Zougari y Benyoucef, 2012). Sin embargo, en la práctica, los datos nítidos a veces son inadecuados para plantear una situación de la vida real, pues los juicios humanos son vagos y no se pueden representar con números exactos. Razón por la cual, en este trabajo se emplea el AHP con números difusos triangulares para representar la comparación de los juicios en la toma de decisiones (Kilincei y Asli, 2011).

Resulta oportuno destacar, que la metodología AHP consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar de conseguir una alternativa óptima en donde se llegue a un resultado que tenga en cuenta estas estimaciones (consenso), pero con la máxima autonomía por parte de los participantes (Astigarraga, 2003). Con base a las estimaciones de los expertos, se realiza un procedimiento con el fin de encontrar el criterio más importante para la empresa. **Nótese que una adecuada** selección de proveedores implica el éxito de la producción, ya que dicho proceso es la base o inicio del proceso productivo.

Con consenso nos referimos a llegar a una conformidad en la cual se involucre la opinión de todos los expertos involucrados, más no a una colectividad en el momento de realizar la ponderación de los criterios por arte de los expertos.

Tal como lo cita Mayor... 2016 “Sin embargo, se aclara que utilizar este modelo, aunque mejora la eficacia de la contratación, añade complejidad al procedimiento, haciendo que el proceso de selección probablemente se dilate más tiempo por el cumplimiento del debido proceso” (Mayor, J., Botero, S. y González-Ruiz, J,2016).

Para el análisis de la optimalidad o distancia de los criterios seleccionados en AHP para la evaluación de alternativas, una muy buena metodología multicriterio es TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) que fue desarrollada por Hwang y Yoon en 1995.

Ante la situación planteada el método TOPSIS es uno de los más utilizados en la actualidad, debido a que es la metodología que conlleva a elegir la solución más cercana al ideal ante todas las alternativas posibles que existen, ya que define un índice de similitud que se construye combinando la proximidad al ideal positivo y la lejanía respecto al ideal negativo.(Mellinas Fernández, 2012).El método TOPSIS se basa en el concepto del ideal y del anti-ideal en la elección de alternativas, ya que en este método las alternativas elegidas deben tener la distancia geométrica más corta de la solución ideal positiva (ideal) y la distancia geométrica más larga de la solución ideal negativa (anti-ideal).(Ruiz Pallares, 2015).

Para la planeación adecuada de pedidos, existen varios modelos que se pueden encontrar en la literatura, la mayoría de estos están desarrollados sobre el Modelo Económico de Pedido (EOQ), el cual, en su versión más simple, plantea una demanda fija. Este fue desarrollado en 1915 por Ford Whitman Harris quien era un ingeniero que trabajaba en Westinghouse Corporation. (Taha and González Pozo, 2004).

La idea fundamental del modelo EOQ es encontrar el punto en donde los costos por ordenar y los costos por mantener son iguales llegando a alcanzar la cantidad óptima de pedir en donde los costos sean ideales de acuerdo a la cantidad demandada (Taha and González Pozo, 2004).

A partir del modelo EOQ, nacen otros modelos que se ajustan a diferentes necesidades de pedido. Uno de ellos es el modelo S, T en el cual, cada cierto tiempo T se realiza una revisión en el inventario, para saber con qué cantidad de unidades se cuenta y si estas son menores que una cantidad S se debe realizar un pedido de la cantidad que falta para completar S. (Nahmias and Olsen, 1989).

El tiempo (T) puede ser nulo (Revisión continua) o puede ser un valor fijo (Revisión Periódica). Normalmente la cantidad a pedir suele ser menor que las unidades S. La cantidad a pedir puede ser constante o fija (Lote Fijo) o puede ser variable de acuerdo al nivel de stock disponible o deseable. (Nahmias and Olsen, 1989).

Entendiéndose S como el nivel objetivo de unidades y T el periodo de revisión se debe tener en cuenta el tiempo τ que corresponde al tiempo de entrega. A partir del modelo Q, R se utiliza Q para estimar el tiempo de ciclo $T = Q/\lambda$ y para $S = R + Q$, al ser un modelo de revisión periódica cada cierto intervalo de tiempo (T) se realiza la revisión del inventario del artículo y se realiza una orden por el monto apropiado con el fin de completar el nivel S deseado, es decir el tamaño de pedido varía según el comportamiento de la demanda. (Nahmias and Olsen, 1989).

Una de las ventajas de dicho modelo es que permite llegar al punto S realizando órdenes a diferentes proveedores para así completar las órdenes deseadas. Un sistema de revisión periódico exige un nivel más alto de inventario de seguridad (ss) en comparación con un sistema de revisión continuo (como lo es el caso de EOQ). En el caso del modelo S, T se deben tener en cuenta varios supuestos; la demanda X durante el tiempo $T + \tau$ es aleatoria y estacionaria. La función de probabilidad y la probabilidad acumulada oscila alrededor de una media. El tiempo de demora τ suele ser fijo, lo ideal para la planeación de cualquier modelo de inventario es que el tiempo de demora τ esté estipulado según el artículo, desde un principio, antes de realizar el pedido. La revisión periódica consiste en realizar la revisión en periodos de tiempos iguales; bien sea cada semana, cada mes. etc. Y dicho tiempo debe coincidir con el momento exacto de adquirir cada pedido necesario para poder cumplir con la demanda estipulada. (Nahmias and Olsen, 1989).

Los modelos de inventarios de revisión periódica pertenecen a los modelos probabilísticos, estos tienden a ser los más usados debido a la aleatoriedad propia de la mayoría de mercados, estos integran soluciones que proveen desde la previsión de una posible demanda hasta el cálculo de las cantidades óptimas a pedir haciendo que el diseño de estos modelos sea más confiable y eficiente. Los modelos de inventarios probabilísticos permiten la dinámica que los negocios modernos implican. (Arango Marin, J. A., Giraldo Garcia, J. A., & Castrillón Gómez, O. D, 2013).

3. Objetivos

Diseñar, mediante la aplicación de metodologías de decisión multicriterio, un modelo que soporte la toma de decisiones de tipo estratégico para la selección de proveedores de materias primas aplicado a la empresa Provemel Ltda., con el fin de hacer más eficiente la operación logística del modelo actual de selección de proveedores.

Objetivos Específicos.

1. Diseñar una metodología para la selección de proveedores de la empresa Provemel Ltda., basada en los métodos de decisión multicriterio.
2. Diseñar y definir los criterios que se van a tomar en cuenta en el modelo de decisión multicriterio para la selección de proveedores.
3. Establecer alternativas de posibles proveedores nacionales e internacionales para materias primas y seleccionar la más apropiada mediante la implementación de metodologías multicriterio.
4. Proponer un modelo de pedido alternativo al actual, que se ajuste a las necesidades de la empresa y, mediante una evaluación costo-beneficio, determinar si es el más apropiado.
5. Evaluar la viabilidad propuesta mediante el análisis del impacto económico esperado que generaría para la empresa el cambio de proveedores, mediante la comparación y valoración de las diferentes variables del modelo multicriterio con respecto a las condiciones actuales.

4. Metodología

Para la realización del proyecto, en un principio se tuvo que definir cuáles eran, en definitiva, los métodos que se iban a aplicar para la selección de los proveedores de varilla de aluminio de la empresa Provemel Ltda. El método de decisión multicriterio diseñado, consta de la unión del método AHP Difuso y TOPSIS. En primer lugar, se desarrolló el AHP Difuso el cual fue aplicado para determinar cuáles son los criterios y subcriterios que se deben tomar en cuenta y el peso que estos deben tener al momento de evaluar a los posibles proveedores. Seguido a esto, se aplicó el método TOPSIS con el fin de seleccionar la mejor alternativa entre un grupo de proveedores, teniendo en cuenta las necesidades de la empresa consideradas al seleccionar y ponderar los criterios y subcriterios. En la tabla 1 y en la tabla 2, se puede ver en detalle el paso a paso seguido para la aplicación de este modelo.

Ya teniendo definida cual es la alternativa de proveedor que más se acopla a las necesidades de la empresa, se prosiguió a hacer un modelo de pedido de varilla de aluminio. En este, se determinó cuándo, cuánto y cómo debe hacer los pedidos la empresa Provemel Ltda con el fin de disminuir costos y asegurar que siempre se tenga la capacidad de materia prima para suplir la demanda. Esta se realizará, mediante el modelo de pedido S,T que es un modelo de revisión periódica donde se determina un nivel de inventario máximo S a revisar cada T periodos. En la tabla 3 se puede ver el paso a paso del modelo de pedido.

Después se realizó un análisis costo/beneficio para determinar si el proveedor seleccionado a través de las metodologías era efectivamente una decisión óptima y rentable, mediante una simulación con el modelo de pedido propuesto y el actual, para comparar los costos en los cuales se incurre en cada caso.

Metodología AHP Difuso

El proceso de análisis jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty, está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El peso de los subcriterios fue determinado mediante el comité de expertos (primeros pasos de la metodología AHP difusa) y este fue posteriormente ponderado con el peso obtenido para los criterios mediante la aplicación de la escala de saaty y las matrices de comparación por pares para determinar la importancia de un criterio sobre otro. Se hizo de esta manera, sustentado en la literatura, con el fin de simplificar el proceso de selección y ponderación de criterios pues se agruparon los doce subcriterios en cuatro criterios. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. (Thomas L. Saaty, "The analytical Hierarchical process" J. Wiley, New York, 1980).

PASO		DESCRIPCIÓN	FORMULACIÓN MATEMÁTICA
Selección de criterios y subcriterios (Urbano, Muñoz & Osorio, 2015)	Revisión bibliográfica de criterios	Se realizó una revisión bibliográfica donde se determinaron cuáles son los criterios que más se emplean para la evaluación de proveedores	
	Selección de comité de expertos	Se seleccionaron p expertos de la empresa pertenecientes a diferentes áreas con el fin de tener una visión de los diferentes juicios dentro de la organización.	$p = \{1, 2, \dots, p\}$ $p = 4$
	Selección de criterios de evaluación	Junto con el comité de expertos se determinaron los subcriterios (ns) a usar en las metodologías los cuales fueron agrupados en "n" criterios. Igualmente, se evaluaron y se le asignó un peso w' a cada criterio.	$n = \{1, 2, \dots, n\}$ $n = 4$ $ns = \{1, 2, \dots, ns\}$ $ns = 12$
Selección de la escala lingüística para la evaluación de criterios		Se adecuo la escala Saaty con números triangulares (M) con las etiquetas lingüísticas correspondientes (Urbano et al., 2015). Anexo 2	

			Representación	Escala numérica	Escala difusa	Escala verbal	Explicación
			M1	1	(1, 1, 2)	Igual importancia	Los criterios aportan en igual medida.
			M3	3	(2, 3, 4)	Moderada importancia	Un criterio influye levemente sobre el otro
			M5	5	(4, 5, 6)	Fuerte importancia	Un criterio influye fuertemente sobre el otro
			M7	7	(6, 7, 8)	Alta importancia	Se sabe que un criterio influye en gran medida sobre el otro
			M9	9	(8, 9, 9)	Mayor importancia	Un criterio definitivamente tiene mayor importancia que el otro.
			M2, M4, M6, M8	2, 4, 6, 8	(1, 2, 3), (3, 4, 5), (5, 6, 7), (7, 8, 9)	Valores intermedios	Intermedia entre valores anteriores
Matriz de comparación por pares		Junto los expertos se elaboró la matriz de comparación por pares de criterios mediante el uso de la escala Saaty para definir la importancia que tiene un criterio sobre otro (Urbano et al., 2015).	$A = \begin{bmatrix} 1 & M_{12} & \dots & M_{1j} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ M_{i1} & M_{i2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$				
Matriz de comparación por pares (Mayor, Otero & González-Ruiz, 2016)	Defuzzificación de números triangulares	Dado que se está usando una escala de números difusos, en un principio se debe realizar la defuzzificación para convertir los números triangulares en números reales.	$M = (l, m, u)$ $a_{ij} = \frac{(l + 4m + u)}{6}$		(1)		
	Normalización de la matriz de comparación	Para obtener la matriz normalizada se hace la ponderación por columnas de la matriz defuzzificada.	$v_1, v_2, \dots, v_j = \sum_1^j a_i$ $A_n = \begin{bmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1j}/v_j \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{i1}/v_1 & a_{i2}/v_2 & \dots & 1/v_j \end{bmatrix}$		(2)		
	Vector de prioridades y p'	Se calcula el vector de prioridades p mediante el promedio de las filas de la matriz normalizada. Seguido a esto se calcula el vector de prioridades defuzzificado (p') multiplicando la matriz de comparaciones defuzzificada y el vector p.	$p = \begin{bmatrix} \sum_1^j a_{1j}/j \\ \sum_1^j a_{2j}/j \\ \vdots \\ \sum_1^j a_{nj}/j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} \\ p_{21} \\ \vdots \\ p_{ij} \end{bmatrix}$ $p' = A_d * p$		(3)	(4)	
	nmax	Para obtener nmax (auto-valor máximo) primero se divide el vector p' sobre el vector p y se halla su promedio.	$d = p'/p$ $n_{max} = \bar{d}$		(5)	(6)	

	Índice de consistencia y relación de consistencia	Para obtener la relación de consistencia se divide el índice de consistencia (IC) sobre el índice de aleatoriedad (IA), el cual es un valor fijo dependiendo de n.	$IC = \frac{n_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$ $RC = \frac{IC}{IA} \quad RC \leq 0,1 \quad (8)$ <table border="1"> <tr> <td>n</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>IA</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,58</td> <td>0,9</td> <td>1,12</td> <td>1,24</td> <td>...</td> </tr> </table>	n	1	2	3	4	5	6	...	IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	...
n	1	2	3	4	5	6	...												
IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	...												
	Grado sintético difuso	Para unificar los criterios de los p expertos se obtiene la media geométrica de las matrices originales A. Después, se calculan los valores sintéticos difusos con el método de extensión. (Herrera, Guevara, Castillo & Zambrano, 2016)	$G = \left(\sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right) \forall i = \{1,2,\dots,n\} \quad (9)$ $F = \left(\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n u_{ij} \right) \quad (10)$ $GS = (F^{-1} * Q) \quad \forall n \quad (11)$																
	Vector de ponderación del nivel de la jerarquía	Se obtienen el nivel de valor de la jerarquía de cada par de criterios considerando el grado de posibilidad $C2 \geq C1$. (Herrera et al., 2016)	$C2 \geq C1 = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_1}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otros} \end{cases} \quad (12)$																
	Vector de peso normalizado	Se obtiene seleccionando el menor valor entre el vector de pares de ponderación del nivel de la jerarquía para cada criterio y este se normaliza (Herrera et al., 2016)	$d'_i = \min V(C2 \geq C1) \quad (13)$																
	Ponderación de sub-criterios	Se pondera el peso w' de cada subcriterio (definido con los expertos) con el peso de su respectivo criterio creando el vector w de pesos para cada subcriterio (Urbano et al., 2015).																	

Tabla 1. Metodología AHP Difuso

Metodología TOPSIS

TOPSIS es una metodología desarrollada por Hawng y Yoon, basándose en el concepto de que es deseable que una alternativa determinada se ubique a la distancia más corta respecto de una solución ideal positiva y a la mayor distancia respecto a una solución ideal negativa. (Alberto y Carignano, 2007, p333).

PASO	DESCRIPCIÓN	FORMULACIÓN MATEMÁTICA		
Definición de escala lingüística de evaluación	Se definieron los valores lingüísticos y sus pesos para la evaluación de cada proveedor en cada subcriterio. Dependiendo del criterio se usa la escala verbal 1 o la 2. (Ercole, Alberto & Carignano, 2007)	Escala Verbal 1	Escala Verbal 2	Escala Numérica
		Excelente	Muy Alta	9
		Bueno	Alta	7
		Medio	Media	5
		Regular	Baja	3
		Bajo	Muy Baja	1

Encuesta para evaluar a las alternativas de proveedores	Se realizó una encuesta con el fin de evaluar el desempeño de las alternativas de proveedores en cada subcriterio.	Anexo 3.	
Matriz de calificaciones normalizada	Se crea una matriz X donde se compara cada alternativa con cada subcriterio y se pone el peso que se obtuvo en la evaluación. Seguido a esto se, se normaliza con el índice rij. (Ercole et al., 2007)	$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \dots & x_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} \dots & x_{ij} \end{bmatrix}$ $i = \text{alternativas} = \{1,2, \dots, 5\}$ $j = \text{subcriterios} = \{1,2, \dots, 12\}$ $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum x_{ij}^2}}$	(14)
Matriz de calificaciones ponderada	Los coeficientes rij se ponderan por el peso de cada subcriterio (obtenido con la metodología AHP). (Ercole et al., 2007)	$v_{ij} = w_j * r_{ij}$	(15)
Solución ideal positiva y solución ideal negativa	Se obtiene la solución ideal positiva y negativa, correspondiente a la alternativa "ideal" (A ⁺) y "anti-ideal" (A ⁻), escogiendo el mínimo y el máximo de cada una respectivamente, es decir se trata de acercarse a la menor distancia posible del punto ideal y alejarse del punto anti-ideal. (Ercole et al., 2007)	$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+ = (\max_i v_{ij}, j \in J)\}$ $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^- = (\min_i v_{ij}, j \in J)\}$	(16) (17)
Distancia de cada alternativa	Se calcula la distancia de cada alternativa i a cada A ⁺ y A ⁻ . (Ercole et al., 2007).	$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}$ $s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$	(18) (19)
Índice de similaridad	Se calcula el índice de similaridad para cada alternativa, cuanto más elevado sea el índice se dice que esta alternativa está más cerca de la solución ideal. (Ercole et al., 2007)	$c_i^* = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+}$	(20)
Ranking	Se organizan de mayor a menor el índice de similaridad de las alternativas siendo la de mayor índice la mejor opción. (Urbano et al., 2015)		

Tabla 2. Metodología TOPSIS

Metodología modelo de pedidos, Modelo S,T.

El modelo S,T se basa en realizar una revisión cada cierto tiempo T en el inventario, para saber con qué cantidad de unidades se cuenta y si estas son menores que una cantidad S se debe realizar un pedido de la cantidad que falta para completar S. El modelo de pedido S,T es ideal para formular modelos de pedido de cuantía variable e intervalos regulares (Ángel A. Juan,2012).

PASO	DESCRIPCIÓN	FORMULA MATEMÁTICA	
Análisis de la demanda	Por medio del programa SPSS se hizo un estudio del comportamiento de la demanda, obteniendo su distribución, media y la desviación estándar.	$\lambda = \text{Demanda mensual promedio}$ $\sigma = \text{Desviación estándar de la demanda mensual}$	

Cálculo de costos	Costo de pedir	Se obtiene el porcentaje del salario de las personas involucradas en el proceso de selección de proveedores, mediante la relación de tiempo que se invierte en esta actividad. Se calcula la amortización de los equipos involucrados y los gastos administrativos en los que se incurren para hacer este proceso.	$K = \text{Costo de pedir}$	
	Costo unitario incluyendo IVA	Es el precio de la materia prima determinado por el proveedor, e incluyendo IVA (19%).	$C = \text{Costo unitario} = \text{Precio} * (1,19)$	(21)
	Costo de mantener	Se determina el interés mensual en el que se incurre para mantener el inventario y se multiplica por el costo unitario de la materia prima.	$h = \text{Costo de mantener} = i * C$	(22)
Modelo (Q, R)	Se calcula el modelo (Q, R) a partir del cual se hace una aproximación al modelo (S, T)			
	Cantidad óptima de pedido	Se calcula mediante el EOQ (Cantidad pedido óptimo) para saber el tamaño de lote que se debe pedir.	$Q = \text{Cantidad de pedido óptima} = \sqrt{\frac{2 * K * \lambda}{h}}$	(23)
	Estadístico Z	Se determinó un nivel de servicio tipo I del 95%, a partir del cual se obtiene el valor del estadístico Z de la distribución normal.	$\alpha = \text{Nivel de servicio tipo I} = 95\%$	
	$\mu_{\tau}, \sigma_{\tau}$	Se determina μ_{τ} y σ_{τ} para conocer la demanda promedio y su desviación estándar en el periodo (Lead time del proveedor).	$\mu_{\tau} = \lambda * \tau$ $\sigma_{\tau} = \sigma * \sqrt{\tau}$ $\tau = \text{Lead time del proveedor}$	(24) (25)
	Punto de reorden	Se calcula el nivel de inventario en el cual se debe volver a realizar una orden.	$R = \text{Punto de reorden} = z * \sigma_{\tau} + \mu_{\tau}$	(26)
Modelo (S, T)	Nivel de inventario máximo	Es el nivel máximo de inventario que se debe alcanzar cada vez que se genera una orden de pedido	$S = Q + R$	(27)
	Periodo de revisión	Se obtiene para conocer el tiempo T en el que se deben colocar las órdenes.	$T = \frac{Q}{\lambda}$	(28)
	$\mu_{T+\tau}, \sigma_{T+\tau}$	Se determina $\mu_{T+\tau}$ y $\sigma_{T+\tau}$ para conocer la demanda promedio y su desviación estándar en el periodo	$\sigma_{T+\tau} = \sigma * \sqrt{(T + \tau)}$ $\mu_{T+\tau} = \lambda * (T + \tau)$	(29) (30)
	Stock de seguridad	Es el nivel extra de inventario que se mantiene y se calcula para cubrir las variaciones de la demanda	$SS = S - \mu_{T+\tau}$	(31)
	Costos totales	Se suman los costos unitarios, pedir y mantener teniendo en cuenta el stock de seguridad	$G(S, T) = \text{Costos totales} = \frac{K}{T} + C\lambda + h(\lambda * \frac{T}{2} + SS)$	(32)

Tabla 3. Metodología Modelo de pedido

5. Componente de Diseño en ingeniería.

5.1. Declaración de Diseño

Diseñó un modelo para la selección de proveedores de materias primas en la empresa Provemel Ltda. mediante la aplicación de metodologías de decisión multicriterio, enfocado en la búsqueda de alternativas de nuevos proveedores estos se puede encontrar dentro y fuera de Bogotá D.C. Esto con el fin de evaluarlos y compararlos frente a los proveedores actualmente existentes. El modelo a diseñar se fundamenta en la metodología de toma de decisiones multicriterio, pues la selección de proveedores es un tipo de decisión que requiere del análisis de diferentes criterios para la elección de la alternativa más adecuada, que genere un mayor beneficio para la empresa.

Es por esto, que el análisis multicriterio es una opción viable para la empresa Provemel Ltda. Dado que actualmente, la compañía no selecciona sus proveedores basándose en una metodología analítica o un modelo de decisión, sino que determina cuál es el proveedor con el que incurre en menos costos y lo selecciona sin tener en cuenta otros factores. Es decir, no tiene en cuenta los diversos criterios elementales que se deben considerar al elegir un proveedor. Actualmente, la empresa Provemel Ltda. maneja relaciones principalmente con distribuidores, por esto se espera que, mediante el modelo propuesto, logre disminuir sus costos logísticos. Al aplicar la metodología, se van a tener en cuenta proveedores directos que cumplan con estos criterios elementales y puedan beneficiar a la empresa.

Después de una revisión bibliográfica y una investigación de las metodologías de decisión multicriterio que usualmente se usan para el desarrollo del problema a solucionar, que en este caso es la selección de proveedores, se encuentran metodologías como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y Topsis. Dado que algunos criterios para la selección presentan una naturaleza variable, se puede presentar la posibilidad de usar lógica difusa en cada metodología, lo que permitirá tener en cuenta la variabilidad de los juicios emitidos por los expertos y mejorar el proceso en la toma de decisiones.

Al tener la mejor alternativa de proveedor, se procedió a diseñar un modelo de pedido que se ajuste a las necesidades de la empresa. Esto con el fin de determinar la cantidad de pedido óptimo y el tiempo entre pedidos que se debería seguir teniendo en cuenta para las necesidades de la empresa. De este modo, lograr suplir la demanda en su totalidad mediante la aplicación del modelo de pedido con revisión periódica S,T ajustado a la empresa Provemel Ltda. Finalmente, se evaluará la viabilidad de la propuesta mediante la realización de una comparación de los costos incurridos con el modelo de pedido actual y el modelo de pedido propuesto.

5.2. Proceso de Diseño

Dado que la empresa Provemel Ltda. requiere del diseño de un método para la selección de proveedores, se realizó un estudio dentro de la literatura de las metodologías multicriterio existentes y se encontró que las metodologías que más se acoplaban para cumplir con las necesidades de la empresa son el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).

Para la creación del proceso de diseño, basados en la metodología AHP, la cual sirvió para definir los pesos de cada criterio, se seleccionaron los criterios más relevantes para la empresa. Cada criterio está compuesto por tres subcriterios; que fueron ponderados por cuatro expertos de la empresa, para esto se debieron realizar unas entrevistas, el resultado de éstas se encuentran en el (Anexo 4). Posteriormente, se procedió a realizar la búsqueda de los nuevos posibles proveedores para la empresa, a través de cotizaciones (Anexo 5) del producto estudiado (varilla de aluminio 6063HEX 7/16" T5 X3 m), para así empezar a desarrollar la metodología TOPSIS. Esto se realizó por medio de correos electrónicos y comunicación por vía telefónica. Luego de tener dichas cotizaciones, se creó una encuesta, (Anexo 3) para los proveedores, fundamentada en los criterios seleccionados en la metodología AHP, en donde se buscó evaluar a todos los posibles proveedores. Tras obtener la información, se procedió a implementar la metodología TOPSIS, con la cual se buscó identificar la alternativa ideal para la empresa de acuerdo a sus requerimientos.

Para el diseño de modelo de pedido, se inició estudiando el comportamiento de la demanda, para determinar qué modelo de pedido se ajustaba, seguido a esto se procedió a calcular los costos en los cuales se incurren al realizar el proceso de compra. Estos se determinaron con base en la teoría y realizando las modificaciones correspondientes a los requerimientos de la empresa. Obtenidos todos los costos, se procedió a realizar los cálculos correspondientes al modelo de pedido S,T. Luego de esto, se realizó una simulación con la metodología propuesta y se comparó con la política actual de la empresa, para definir el beneficio económico que se obtendría con la metodología propuesta.

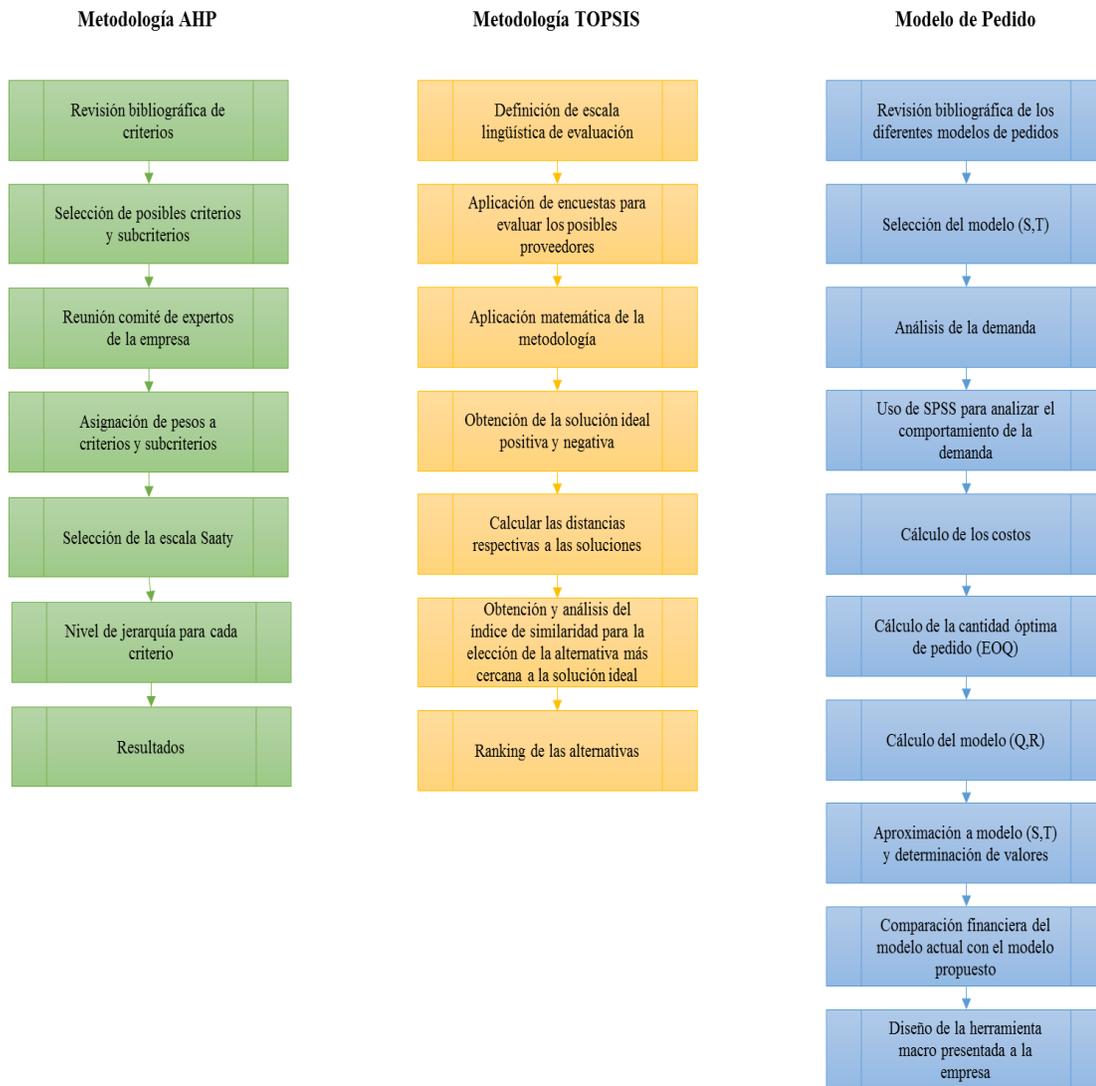


Diagrama 1. Proceso de diseño general de cada metodología

5.3. Requerimientos de desempeño

Se espera que al aplicar las metodologías multicriterio para la selección de proveedores en la empresa Provemel Ltda. se disminuyan los pedidos no satisfechos y la ineficiencia productiva por la falta de materia prima aumentando la satisfacción de sus clientes. Esta metodología fundamentada en una estructura que contemple diversos criterios, y no se enfoque únicamente en costos como se realiza actualmente, otorga la mejor alternativa de proveedor teniendo en cuenta los diferentes criterios importantes para la empresa. En consecuencia, las

metodologías multicriterios requeridas para el análisis de los diversos criterios a evaluar fueron AHP y TOPSIS unidas entre sí, para así alcanzar un mejor desempeño en cuanto a la toma de decisiones de los proveedores en la materia prima varilla de aluminio 6063HEX 7/16" T5 X3 m.

Por otro lado, al proporcionar el modelo de pedido para varilla de aluminio, la empresa contará con la cantidad óptima de pedido, con la cual puede satisfacer su demanda incurriendo en los mínimos costos de inventario, disminuyendo los faltantes y de igual forma tener un stock de seguridad al cual acudir si se presenta un cambio en esta, permitiendo satisfacer a sus clientes.

5.4. Pruebas de rendimiento

Para determinar la realización correcta de la metodología AHP, se utilizó la razón de consistencia. Primero, al realizar las matrices de comparaciones por pares los expertos dan sus juicios sobre los criterios. Segundo, para verificar que estos son coherentes se calcula la razón de consistencia lógica. La razón está diseñada de manera que los valores que excedan de 0.10 se determinan juicios incoherentes, en este caso es necesario que los expertos vuelvan a calificar los criterios. Los valores por debajo de 0.10 indican que los juicios de la matriz depares son razonables. Para las matrices por pares realizadas por los expertos de la empresa Provemel Ltda., los valores de la razón de consistencia indican valores por debajo de 0.10, es decir son juicios coherentes.

5.5. Restricciones

Entre las restricciones y limitaciones encontradas para el desarrollo del diseño de la metodología para la selección de proveedores para la empresa Provemel Ltda. a partir de decisiones multicriterio se encuentran las siguientes:

- 1) Tiempo disponible para la ejecución del proyecto debido a la naturaleza de la herramienta, cuyos resultados son más notables en la gestión que se realiza a largo plazo.
- 2) Recursos económicos disponibles en la actualidad por parte de la empresa Provemel Ltda. para la selección de proveedores.
- 3) Oferta disponible en el mercado de las materias primas que utiliza la empresa actualmente en sus procesos.
- 4) Regulaciones o normas existentes con respecto a la importación, transporte y demás variables para la compra de las materias primas.
- 5) Restricciones en facilidades y formas de pago.
- 6) Validaciones de los criterios y alternativas seleccionados en conjunto con las personas encargadas de la toma de decisiones en la empresa Provemel Ltda.
- 7) Restricciones de contacto, lenguaje y comunicación.
- 8) Exigencias del cliente en cuanto a especificaciones de material.
- 9) Naturaleza de las variables a tener en cuenta en el desarrollo del proyecto.
- 10) Condiciones contractuales con los proveedores. (Acuerdos de confidencialidad y exclusividad).
- 11) Acuerdos de importación con los posibles proveedores internacionales.
- 12) Relaciones entre la empresa y un posible nuevo proveedor.
- 13) Comportamiento de los consumidores.

14) Restricciones de transporte.

15) Cambios en la demanda.

De acuerdo a las anteriores restricciones se dio ejecución al trabajo. Antes de buscar en el mercado las alternativas de posibles nuevos proveedores se hizo una reunión con la empresa Provemel Ltda, y se realizó una revisión de los costos actuales de la varilla de aluminio, métodos de pago y orden de pedido que la empresa podría tener, para poder buscar en el mercado aquellos posibles proveedores que cumplieran con dichas restricciones.

5.6. Cumplimiento del estándar

Los estándares estipulados en la creación de la metodología multicriterio están basados en la norma ISO 9001:2016 (International Organization for Standardization, 2016), la cual propone una serie de preguntas que ayudan a que la manera en la cual se evalúan los proveedores sea la adecuada y esté correctamente alineada con los estándares de la norma. De conformidad con lo anterior, se realizó una encuesta en la cual los proveedores brindaron información acerca de las bases fundamentales que conllevan a resumir la importancia de los criterios al momento de llevar a cabo la toma de decisión del proveedor acertado. La encuesta se encuentra como Anexo 3.

Por consiguiente la Norma ISO 9001 2015 en el capítulo 8 dice que “La organización debe determinar y aplicar criterios para la evaluación, la selección, el seguimiento del desempeño y la reevaluación de los proveedores externos, basándose en su capacidad de proporcionar procesos o productos y servicios de acuerdo con los requisitos. La organización debe conservar la información documentada de estas actividades y de cualquier acción que surja de las evaluaciones”; es por esto, que se definieron criterios como calidad, innovación, desempeño en la entrega, desempeño del servicio, costos, entre otros, que determinaron el nivel en el que el proveedor evaluado se encuentra, para así proceder a implementar la metodología y tener bases para poder tomar la decisión del proveedor adecuado.(Asociación española para la normalización y estandarización, 2015).

La Norma ISO 13053-1:2012 se desempeña como estándar, ya que describe una metodología para la mejora de los negocios conocida como Seis Sigma. Esta metodología comprende cinco fases que son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC). En donde al momento de definir buscábamos los requerimientos que el proceso de selección de proveedores necesitaba, definiendo los criterios con los cuales se va a evaluar a los posibles proveedores. Esto con el fin de proceder a medir dichos criterios y darle un puntaje a cada proveedor dependiendo de los resultados de una encuesta previamente realizada. Posteriormente, la información recolectada fue utilizada para ingresarla en la conjugación de metodología AHP y TOPSIS para analizarla y de esta manera descubrir cuál de todos los posibles proveedores es el mejor para ser seleccionado. Todo lo anterior, conlleva a un mejoramiento en la empresa Provemel Ltda. ya que además de seleccionar al mejor proveedor se procederá a diseñar un modelo de pedido S,T en donde se regularan los faltantes de pedido para adquirir un alto desempeño en el tiempo de entrega al cliente. Finalmente, la empresa debe llevar un control de dicho proceso para validar que este siga su rumbo, con este se previene que la solución desarrollada sea temporal.

6. Resultados

6.1. Metodología AHP Difusa

Para el desarrollo del AHP difuso primero se realizó una revisión bibliográfica, con esta se determinaron los posibles subcriterios a tener en cuenta en el modelo. Para realizar la selección y evaluación de los posibles criterios se creó un comité conformado por cuatro expertos de la empresa los cuales pertenecen al área de calidad, producción y compras. Junto con ellos se escogieron cuáles de estos subcriterios eran los que mejor se acoplaban a sus necesidades y se creó el modelo jerárquico (diagrama 2) que se puede apreciar en mejor detalle como Anexo 6.

Alineación estructural

Evalúa los aspectos que involucran el desempeño de la empresa en la entrega de sus servicios, su relación con los clientes/proveedores y como se encuentra a nivel internacional esta empresa.

- *Desempeño de servicio:* Calidad del servicio que ofrece la empresa, si llega a tiempo el producto, con las especificaciones correctas, si se mantiene lo ofrecido por la misma, entre otros.
- *Experiencia y confianza:* Que reputación tiene la empresa en el sector metalmecánico, y como es su desempeño general en la relación con los clientes.
- *Presencia internacional:* La empresa tiene experiencia en la distribución de productos a otros países diferentes a donde se encuentra su sede principal.

Alineación de la gestión

En cuanto a proveedores se refiere, el criterio de gestión hace referencia al conjunto de atributos que al trabajar de manera grupal generaran: eficiencia, eficacia, diferenciación en costes y sobre todo competitividad, la gestión al unificar procesos genera un mayor valor a los clientes. Para este criterio se tiene en cuenta los beneficios que el proveedor ofrece en cuanto a:

- *Calidad:* Cualidades y particularidades típicas del material que permiten determinar que es un mejor elemento.
- *Innovación:* Aquel cambio o novedad que introduce el proveedor no solo en el material si no en diferentes aspectos de la negociación.
- *Desempeño comercial:* Hace referencia a las diferentes formas de pago, flexibilidades de pago y demás que ofrece el proveedor.

Competencia Operativa

Estos criterios corresponden aquellos relacionados con la logística y producción por parte del proveedor, específicamente relacionado con la cadena de suministro. Los subcriterios a evaluar son los siguientes:

- *Tecnología:* Tecnología que genera una ventaja competitiva antes los otros proveedores, en aspectos como materiales más resistentes, mejor calidad debido a un proceso más tecnológico y/o software de seguimiento del pedido.
- *Desempeño en la entrega:* Se refiere a la entrega oportuna, cantidades correctas y buen estado del material.
- *Capacidad de respuesta:* Relacionado con la capacidad para ofrecer soluciones a cualquier problema logístico que se presente o fluctuaciones en los pedidos por cambios en la demanda.

Competencia Financiera

Estos criterios hacen referencia a todo lo relacionado con los costos y gastos que se le incurren a la empresa y también a la toma de decisiones que la empresa debe tomar con base al tema monetario que el proveedor a evaluar le exponga.

- *Costos:* En este criterio se evalúan los costos que la empresa Provemel Ltda. tiene que acarrear para adquirir el producto solicitado, es decir, el precio de dicho producto dependiendo de la cantidad ofrecida.
- *Estabilidad financiera:* Este criterio hace referencia a que tan equilibrado se encuentra el proveedor que se está evaluando en cuanto a la parte financiera, es decir, que al momento de estar en contacto

con órdenes de pedido confirmadas, el proveedor debe de estar totalmente seguro de la viabilidad económica que tiene para solventar los gastos que acarrea la producción del producto que le estamos solicitando, para así podernos cumplir con el pedido ordenado.

- *Flexibilidad de pago:* Este criterio se basa en la manera de pago que nos ofrece el proveedor evaluado, por lo que es primordial para la toma de decisiones debido a que prima la facilidad de pago con la que se le pueda pagar al proveedor los productos solicitados.

Seguido a estos, se procedió a realizar la comparación por pares de criterios que se observan en la tabla 4 según el juicio de cada experto, para realizar la comparación los expertos calificaron cada par de criterios de acuerdo a la escala de saaty, anexo 2. Por simplicidad se presentan a continuación los resultados del experto en compras. Esto se repite con los otros tres expertos.

<i>EXPERTO 1</i>	<i>Alineación estructural</i>			<i>Alineación de la gestión</i>			<i>Competencia Operativa</i>			<i>Competencia Financiera</i>		
Alineación estructural	1	1	1	1/8	1/7	1/6	1/4	1/3	1/2	1/8	1/7	1/6
Alineación de la gestión	6	7	8	1	1	1	4	5	6	2	3	4
Competencia Operativa	2	3	4	1/6	1/5	1/4	1	1	1	1/6	1/5	1/4
Competencia Financiera	6	7	8	1/4	1/3	1/2	4	5	6	1	1	1

Tabla 4. Comparación de pares

Dado que se están manejando números triangulares se procede a defuzzificar y normalizar la matriz aplicando las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. Ya teniendo esto, se calcula la razón de consistencia cuyo resultado debe ser inferior a 0.1 para indicar que los juicios de los expertos son consistentes. En la tabla 5 se puede observar, el resumen de los cuatro expertos.

<i>Experto</i>	<i>nmax</i>	<i>Índice de aleatoriedad</i>	<i>Índice de consistencia</i>	<i>Relación de consistencia</i>	<i>Resultado</i>
Experto 1	4,255	0,900	0,085	0,095	Consistente
Experto 2	4,220	0,900	0,073	0,081	Consistente
Experto 3	4,257	0,900	0,086	0,095	Consistente
Experto 4	4,151	0,900	0,050	0,056	Consistente

Tabla 5. Resultado de los juicios de los expertos

Una vez se determina que es consistente, se procede a calcular el grado sintético difuso a partir del cual se puede obtener el peso de los criterios y con este el de los subcriterios. En un principio, se consolidan los juicios de los cuatro expertos aplicando una media geométrica y ya con la matriz consolidada, se aplican las fórmulas (9), (10) y (11) para obtener el grado sintético difuso.

<i>Grado sintético</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>Vector peso normalizado</i>
<i>Alineación estructural</i>	0,05	0,05	0,06	0,21
<i>Alineación de la gestión</i>	0,44	0,52	0,61	0,36
<i>Competencia Operativa</i>	0,14	0,17	0,21	0,21
<i>Competencia Financiera</i>	0,37	0,45	0,51	0,21

Tabla 6. Grado sintético y vector normalizado

Teniendo el grado sintético difuso, se procede a obtener el vector de peso normalizado que permitirá saber el peso de cada criterio y con este, calcular el peso definitivo de cada subcriterio. Esto se hace mediante la aplicación de la fórmula (12), posterior a esto, se selecciona el menor valor entre los pares de comparación de cada subcriterio (13) obteniendo así el vector de peso, el cual debe ser normalizado, tabla 6.

Finalmente, como se mencionó antes, se procede a ponderar los pesos para cada subcriterio dependiendo del peso de su correspondiente criterio tabla 6 (Vector de peso normalizado), obteniendo los pesos definitivos que se pueden observar en el diagrama 2.

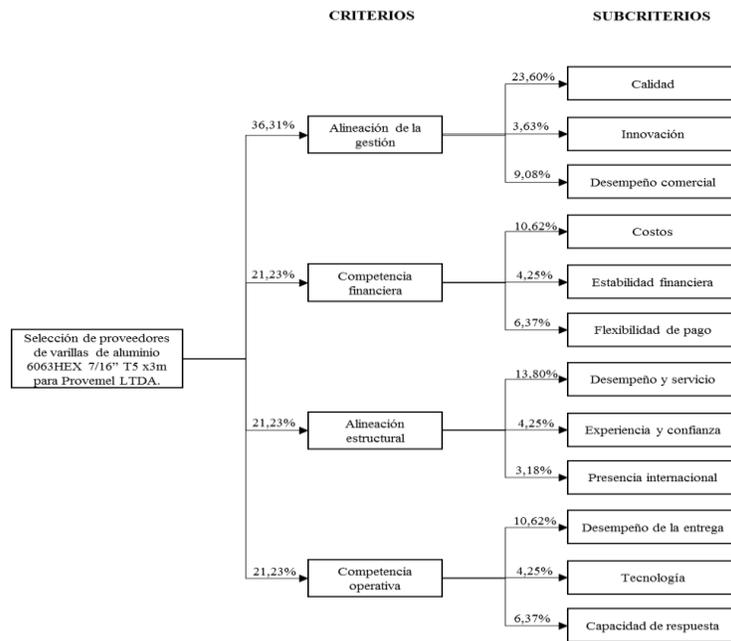


Diagrama 2. Jerarquía de criterios y subcriterios con sus respectivos pesos. Anexo 6

Para ver con más detalle el desarrollo del método AHP Difuso dirigirse al Anexo 7.

6.2. Metodología TOPSIS

Se aplicó TOPSIS para determinar el proveedor que más se acople a las necesidades de la empresa. En un principio, se aplicaron las encuestas de evaluación de proveedores que se encuentran en el Anexo 3 obteniéndose la puntuación de cada proveedor evaluado en cada criterio tabla 7.

Alternativas\Criterios	Alineación estructural			Alineación de la gestión			Competencia Operativa			Competencia financiera		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
Mundiales de aluminio	9	3	1	9	9	9	3	9	5	9	1	5
Tecnoalum Colombia	9	3	1	7	9	3	5	9	5	9	3	9
Almetalco	5	3	0	0	0	9	0	9	5	9	3	3
Alumina	9	3	9	9	9	5	3	9	9	9	9	9

Tabla 7. Puntuación de cada proveedor con base a los criterios

Siguiendo el proceso, se aplicaron las fórmulas (14) y (15) con las cuales se obtuvo la matriz de calificación normalizada, la cual se pondera con el peso de cada subcriterio y con base en esta se puede calcular la solución ideal positiva (A^+) y negativa (A^-) de cada criterio, aplicando las fórmulas (16) y (17) respectivamente (tabla 8). Es decir, determinar la alternativa de proveedor ideal y la anti-ideal.

	Alineación estructural			Alineación de la gestión			Competencia Operativa			Competencia financiera		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
A^+	0,091	0,025	0,203	0,186	0,026	0,062	0,036	0,061	0,066	0,061	0,088	0,053
A^-	0,050	0,025	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,061	0,037	0,061	0,010	0,018

Tabla 8. Solución ideal negativa y positiva de cada criterio

Se aplicó la fórmula (18) y (19) obteniéndose la distancia de cada alternativa de proveedor al ideal positivo y negativo (tabla 9) y finalmente con el cálculo del índice de similaridad (20) se obtuvo el ranking de las alternativas, quedando como la opción más viable de proveedor Alumina S.A dado que tenía el mayor índice de similaridad tabla 9.

	Si+	Si-	Ci	Ranking
Mundiales de aluminio	0,20	0,20	0,50	2
Tecnoalum Colombia	0,20	0,16	0,45	3
Almetalco	0,29	0,05	0,14	4
Alumina	0,03	0,29	0,90	1

Tabla 9. Distancia a la solución ideal e índice de similaridad

Para ver con más detalle el desarrollo del método TOPSIS dirigirse al Anexo 8. Adicional se creo una herramienta en donde la empresa podra evaluar a los proveedores a partir de la encuesta que se aplico en este modelo y dara el resultado del cual es mejor proveedor. Para ver a mas detalle esta herramienta dirigirse al anexo 9 donde se encuentra la plantilla, evaluación de proveedores, y anexo 10 instructivo de esta.

6.3. Modelo de pedido

En un principio, se determinó el comportamiento de la demanda para saber que metodología de modelo de pedido se debería aplicar. Tras analizar la demanda, desde el 2013 hasta septiembre de 2017 se obtuvo que esta se comportaba como una distribución normal con media de 561,06 unidades y desviación de 368,65 unidades/mes. El análisis del comportamiento de la demanda se puede encontrar en el Anexo 11, a continuación se muestra la prueba Kolmogorov-Smirnov, se plantearon hipótesis para determinar la distribución, siendo H_0 , la variable sigue una distribución normal, como la significancia asintótica es mayor a 0,05 se acepta esta hipótesis, es decir la variable sigue una distribución normal.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		DEMANDA
N		57
Parámetros normales ^{a,b}	Media	561,05614
	Desviación estándar	368,647188
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,083
	Positivo	,083
	Negativo	-,064
Estadístico de prueba		,083
Sig. asintótica (bilateral)		,200 ^{c,d}

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Ilustración 1. Resultados SPSS, prueba de normalidad. Anexo 15

Tras aplicar la metodología TOPSIS, se obtuvo como mejor proveedor a Alumina S.A, a partir de esta se obtienen los datos de costo unitario sin IVA y el lead time. Seguido a esto, se proceden a calcular los costos de pedido, de mantenimiento y el costo unitario con IVA (tabla 10). El costo de mantener y el costo unitario con IVA se calcularon mediante la fórmula (21) y (22).

Lead time	0,50	meses
Costo Pedir	63.936,93	\$
Costo de Mantener	164,31	\$/und
Interés	0,01	%
Costo unitario (Incluyendo IVA)	13.144,74	\$/und

Tabla 10. Costos para modelo de pedido.

La metodología que se utilizó para el modelo de pedido fue S,T esta se realizó mediante una aproximación del modelo Q,R. obteniéndose como resultado un nivel de inventario máximo (S) de 1367 unidades y un tiempo entre pedido (T) de 1 mes. Estas se calcularon, con las fórmulas (27) y (28) respectivamente. De igual forma, también se determinó un stock de seguridad de 427 unidades para cubrir las

variaciones de la demanda, a través de la fórmula (31). Después, se obtuvieron los costos totales mensuales del modelo a través de la fórmula (32) (Tabla 11).

Modelo de pedido con Alumina S.A

Tiempo entre pedidos	1,2	Meses
Cantidad máxima de inventario	1369,00	Unidades
Costo total mensual	\$ 7.553.824,3	\$/mes

Tabla 11. Resultados Modelo de Pedido S,T

Tras hacer el modelo de pedido, se obtiene que se debe pedir cada 1,2 meses hasta completar un inventario de 1367 unidades, con el proveedor Alumina S.A que se escogió aplicando la metodología TOPSIS explicado anteriormente. Para ver con más detalle el desarrollo del método de modelo de pedido dirigirse al Anexo 12.

Adicional se creó también una herramienta donde la empresa ingresando el lead time y el costo unitario de un proveedor podrá determinar los parámetros para el modelo de pedido S y T. Para ver a más detalle dirigirse al anexo 13 y su respectivo instructivo anexo 14.

6.4. Análisis financiero

Después de obtenerse los parámetros del modelo de pedido (S,T) se realizó una simulación del comportamiento con el modelo propuesto, usando las demandas desde el mes de Marzo a Noviembre, en donde se calculó inventario inicial, inventario final, stock de seguridad y sus respectivos costos. De igual forma, también se simuló el comportamiento actual del modelo de pedido que tiene la empresa Provemel Ltda. es decir, con los precios, tiempos y disponibilidad de material que ofrece Almetalco (su proveedor actual). Se aclara que el modelo propuesto siempre busca cubrir los faltantes mediante el supuesto de que el proveedor seleccionado en la metodología multicriterio, Alumina, tiene la capacidad de proveer la materia prima, pues sabe con anticipación cuanto y cuando se hacen los pedidos. Ver Anexo 12.

El modelo de pedido actual que tiene la empresa Provemel Ltda. aunque no incurre en costos de inventario, ya que maneja una política en donde piden la materia prima de acuerdo a la demanda de su cliente, si incurre en altos costos de faltantes comparado con el modelo propuesto (98% más de faltantes comparado con el modelo propuesto) haciendo que muchas veces no tenga la capacidad de materia prima suficiente para cubrir la demanda.

Con el modelo de pedido propuesto, aunque se aumentan los costos de producto en un 48% y se incurre en costos de inventario, se obtiene una disminución de los costos totales de un 59 % comparado con el modelo actual, ya que la diferencia más significativa se ve reflejada en la disminución en los costos de faltantes. En conclusión, La empresa Provemel Ltda. al aplicar el modelo de pedido propuesto gastando \$116.332.737 en comparación de \$ 282.525.569 que gasta actualmente sumado los días de retraso de entrega de producto a sus clientes (tabla 12). Para ver con más detalle el desarrollo la simulación dirigirse al Anexo 12.

Componente	Actual	Propuesto	Porcentaje de cambio
Faltantes	17854,5	355	98%
Costo de ordenar	\$ 447.559	\$ 447.559	0%
Costo de inventario	\$ -	\$ 1.420.782	100%
Costo producto	\$ 74.266.249	\$ 109.798.013	-48%
Costos faltantes	\$ 207.811.761	\$ 4.666.383	98%
Costos totales	\$ 282.525.569	\$ 116.332.737	59%

Tabla 12. Comparación costos con modelo actual y propuesto.

7. Conclusiones y recomendaciones.

- En el presente trabajo se efectuó una recopilación bibliográfica de lo que en teoría debe de considerarse al momento de llevar a cabo un proceso de selección de proveedores, por esta razón se implementó un híbrido entre las metodologías de decisión multicriterio AHP y TOPSIS. En esta, se definieron y evaluaron los criterios para seleccionar al mejor proveedor entre las alternativas. Se obtuvo como resultado que Alumina S.A es el proveedor que más se ajusta a los requerimientos de Provemel Ltda. ya que cumple a cabalidad con la mayoría de los criterios que fueron evaluados.
- Al tener en cuenta el criterio de expertos de diferentes áreas de la empresa, se garantiza que la selección de los criterios y subcriterios para la evaluación de proveedores tenga en cuenta los diversos requerimientos que se presentan. Esto permite tomar una decisión más acertada al momento de seleccionar el proveedor, dado que la evaluación ya no tiene en cuenta un único criterio que es el precio, sino que tiene en cuenta un conjunto de criterios que analizan varios factores.
- Mediante el diseño de la metodología multicriterio para la selección de proveedores y el modelo de pedido y de las plantillas de soporte para su cálculo, se le brinda a la organización herramientas que le permitan de forma rápida y efectiva la obtención de resultados.
- El uso de herramientas matemáticas y modelos con números difusos garantiza que la subjetividad, que se venía presentando en el momento de seleccionar a un proveedor y de definir el modelo de pedido, en este proceso se disminuya.
- Manejar un modelo de pedido como el propuesto le garantiza a la empresa una disminución en los faltantes de un 98% en comparación al modelo de inventario actual y aunque se incurre en costos de inventario y costos de producto, los costos totales del proceso de pedido de material disminuyen en un 59% en comparación con el modelo actual.
- La metodología propuesta y diseñada es una excelente herramienta para la mejora del proceso de selección de proveedores, el éxito de esta no solo depende de su implementación si no de una coordinación conjunta de todas las áreas de la empresa.
- Se recomienda a la empresa Provemel Ltda. implementar la respectiva metodología para la selección de proveedores y la plantilla de evaluación de estos para las diferentes materias primas.

8. Glosario

AHP (Análisis jerárquico de procesos): El proceso de análisis jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty, está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. (Thomas L. Saaty, “The analytical Hierarchical process” J. Wiley, New York, 1980).

Criterio: Juicio o discernimiento. (Española. R. R. A, 2010).

Comparación Pareada: en el contexto del AHP, y se desarrolla mediante una matriz de comparación en la que se registran los pesos de las preferencias de acuerdo con una escala de valores del uno al nueve determinada por el mismo. (Saaty,1980).

Consistencia Lógica: La consistencia tiene relación con el grado de dispersión de los juicios del actor. (Saaty,1980).

DMAIC: Acrónimo de los pasos de la metodología: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Es una herramienta de la metodología enfocada en la mejora incremental de procesos existentes. Cada paso en la metodología se enfoca en obtener los mejores resultados posibles para minimizar la posibilidad de error. (Traver Badal, D, 2015)

EOQ: La idea fundamental del modelo EOQ es encontrar el punto en donde los costos por ordenar y los costos por mantener son iguales llegando a alcanzar la cantidad óptima de pedir en donde los costos sean ideales de acuerdo a la cantidad demandada (Taha and González Pozo, 2004).

Escala de comparación de Saaty: Es una escala estándar propuesta por Saaty, esta permite tener una escala general definida aplicable a cualquier situación, para contar con una calificación a cada criterio o variable que se quiera evaluar, de esta manera se permite la universalidad del método y lo hace sencillo de aplicar. La escala es clara y provee una gran amplitud para las comparaciones. (Osorio, Orjuela, 2008)

Índice de Consistencia: Mide la inconsistencia global de los juicios mediante la proporción de consistencia (Saaty, 1980).

Jerarquía: El concepto de jerarquía designa una forma de organización de diversos elementos de un determinado sistema, en el que cada uno es subordinado del elemento posicionado inmediatamente por encima (con excepción, claro está, del primero que no está subordinado a ninguno de los demás) (Paulo Nunes, 2015).

Lead Time: Corresponde al tiempo de finalización del proceso menos el de inicio, o sea el tiempo correspondiente a la duración del proceso.(Anon, 2017). También es utilizado para la planeación de productos para poder estimar las fechas pronosticadas de producto después de realizar la orden (Manufactura Inteligente, 2017).

Logística Empresarial: Implica un cierto orden en los procesos que involucran a la producción y a la comercialización de mercancías.

Lógica Difusa: “Es una lógica multivariada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento” (González Morcillo, 2011).

Matriz de Comparación: Se refiere a una tabla de doble entrada, en la cual se coloca toda la información necesaria de manera resumida y organizada en filas y columnas, las características de los dos objetos se comparan por cada categoría. (Rojas, M. A. D. O., Pérez, M. M. P., 2012).

Metodologías de decisión multicriterio (MDMC): De acuerdo a Tobón (2013) son una herramienta que soporta la toma de decisiones que a su vez permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de varios actores en un solo marco de análisis para dar una visión o solución integral. Son una base, sustentada en elementos científicos infalibles y certeros, cuyo uso permite encontrar una solución óptima y contundente, que aportan mejoras específicas para asumir una decisión, en escenarios donde intervienen múltiples variables o criterios de selección (Berumen & Llamazares, 2007).

Modelo Jerárquico: Una jerarquía es un sistema de niveles estratificados, constituido cada uno de varios elementos o factores; es también una abstracción de la estructura de un sistema para estudiar las interacciones funcionales de sus componentes y sus impactos sobre el sistema entero. (Saaty, 1980).

Normalizar: Se refiere al proceso de hacer algo estándar o bueno normal. Se basa en un algoritmo impartido, el algoritmo se entiende como una serie de reglas a seguir, independientemente de las herramientas que se utilicen para aplicarlo (Khan Academy, 2017)

RANKING: Clasificación de mayor a menor, útil para establecer criterios de valoración (RAE)

Six Sigma: Una visión de calidad que se adecua a 3.4 defectos por millón de oportunidades para cada producto o transacción de servicio (Yañez, L. R. R, 2002).

Subcriterio:

-(**Sub**): Prefijo que indica inferioridad, subordinación, acción secundaria (R. A. E, 2010).

-(**Criterio**): Norma para conocer la verdad. 2. Juicio o discernimiento (R. A. E, 2010).

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution): Es una metodología de decisión multicriterio que determina una solución ideal dentro de un conjunto de alternativas (Anjali, Chauhan, & Goyal, 2010).

Vector de Prioridades: Conjunto de todas las alternativas para que la suma de sus componentes sea la unidad (URMENETA, E., & Jiménez, J. M. M.,1997).

Z: Hace referencia el número de desviaciones estándar que están comprendidas ente el promedio y un cierto valor de variable x. En otras palabras, se puede decir que es la diferencia entre un valor de la variable y el promedio, expresada en diferencias en cantidad de desviaciones estándar (Medwave, 2011).

9. Tabla de Anexos

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de Archivo	Enlace corto (https://goo.gl/)	Relevancia para el documento (1-5) (Siendo 5 el más importante)
1	Facturas de materia prima	Terceros	PDF	https://drive.google.com/file/d/1RMOE7djpWVvhqdMUNAWhiQbVFRo4UUKe/view?usp=sharing	4
2	Escala Saaty	Propio	Word	https://drive.google.com/open?id=1NmMP-6ayVSz_0dzJl-OVzsodUHvPet5A	3
3	Encuesta	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1xiKjS8wrc8GeeDLIEfQkN4EYe22uOTfU	4
4	Porcentajes de subcriterios	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1wc78z5OsAUN45ZbuOgvDV7egYfpMVPyn	4
5	Cotizaciones	Terceros	Word, Excel, PDF	https://drive.google.com/open?id=1kC92i1m35mmks1KVC4TUmj_M-s0TGow	5
6	Modelo jerárquico con sus pesos	Propio	Power Point	https://drive.google.com/open?id=1tdpzxmBVpEH8vtfT1zprEY-orTij_HU	2
7	Modelo AHP Difuso	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1Cl6qFyd15zltWWzel8uzeQRBOupYCtr6	5
8	Modelo TOPSIS	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1wwT_u-jZaCzoYSP9jObEkuDzkV4mzk_9HeUoemAdIok	5
9	Plantilla de selección de proveedores (TOPSIS)	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1meYfV_mcX41SYmj-vfw5spz0a5aOf3VN	4

10	Instructivo para plantilla de selección de proveedores	Propio	Word	https://drive.google.com/open?id=1vC8JCkc5cPe_bLJWOyEv-udlcSgd9TO_	4
11	Estudio de demandas	Propio	Excel, SPSS	https://drive.google.com/open?id=17yKwh0BMy9S5XGHyKA2D5KiCar_a-wZ5	4
12	Modelo de pedido	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1XmliurKLM7pV80D6yKDgpLiBEZxofNsm	5
13	Plantilla modelo de pedido	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=119t_2nHurx4dL4CrgDjs77_ZDmRboA_L	4
14	Instructivo plantilla modelo de pedido	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1pBoeWIS7HmS5BLkXVP5O33IHbXeo8F8L	4
15	Estudio de demandas SPSS	Propio	SPSS	https://drive.google.com/open?id=1sMapDB2nOVTMgFYqyiD0TegtUssL0TtG	4

Referencias

- Arango Marin, J. A., Giraldo Garcia, J. A., & Castrillón Gómez, O. D. (2013). Gestión de compras e inventarios a partir de pronósticos Holt-Winters y diferenciación de nivel de servicio por clasificación ABC. *Scientia et Technica*, 18(4).
- Asociación Española de normalización y certificación (AENOR). (2012). *Métodos cuantitativos en la mejora de procesos seis sigma. Parte I: Metodología DMAIC*. Recuperado de: http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0050394#.WNAroDs1_I_U el 09/03/2017
- Asociación Española de normalización y certificación (AENOR). (2015). *Sistema de gestión de la calidad (ISO 9001:2015)* tomado de: http://ejrlb.com/docs2017/NORMA_ISO9001_2015.pdf
- Beamon, B. (1999). Medición del rendimiento de la cadena de suministro. *Revista Internacional de Operaciones y Gestión de la Producción*, 19, 27-292.
- Berumen, S. A., & Llamazares Redondo, F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de administración*, 20(34), 65-87.
- Birgün, S. (2003). Un estudio de caso de la selección de proveedores para la oferta magra mediante el uso de un modelo matemático. *Gestión de la Información Logística*, 16 (6), 451-459.
- Burt, D., Dobler, N. and Donald, W. (2003). *Gestión de la oferta de clase mundial: la clave para la gestión de la cadena de suministro*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Campo, Avendaño, Ramírez, Núñez, Duque, Sánchez, Romero (2005). *Caracterización de las cadenas productivas de manufactura y servicios en Bogotá y Cundinamarca*. Cámara de comercio de Bogotá. Tomado de: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/2886> el 01/03/2017
- Castro, W. A. S., Castrillón, O. D., & Giraldo, J. A. (2011). Prioridades competitivas para la industria de la confección. Estudio de caso. *Cuadernos de Administración*, 24(43).
- Chang, H. C. (2004). An application of fuzzy sets theory to the EOQ model with imperfect quality items. *Computers & Operations Research*, 31(12), 2079-2092.
- Covert, R. P., & Philip, G. C. (1973). An EOQ model for items with Weibull distribution deterioration. *AIIE transactions*, 5(4), 323-326
- Fernandez, M., & Jesus, M. (2012). *Análisis comparativo de técnicas de generación eléctrica; AHP y topsis tuzzificado*. Tomado de: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2963/pfc4430.pdf?sequence=1>
- González, A. G., & Ríos, R. G. (2003). Aplicación de las técnicas multicriteriales en la evaluación y selección de proveedores. *Ingeniería Industrial*, 24(2), 2.

- Gutiérrez, Hurtado, Panteleeva, González (2013). Aplicación de un modelo de inventario con revisión periódica para la fabricación de transformadores de distribución tomado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774313722649>
- Herrera Umaña, M. F., & Osorio Gómez, J. C. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando AHP difuso. *Estudios Gerenciales*, 22(99), 69-88.
- Hurtado, T., Bruno G. (2005). *Capítulo iii proceso de análisis jerárquico (ahp)*. Tomado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap3.PDF
- Innovaforum. (2002). *Técnicas de creatividad: Delphi* tomado de: Recuperado de <http://www.innovaforum.com/tecnica/delphie.htm>
- International Organization for Standardization. (2016). ISO 9001 *What does it mean in the supply chain?* Recuperado de https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/pub_100304.pdf
- Khan Academy. (2017). *Khan Academy*. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-natural-simulations/programming-vectors/a/vector-magnitude-normalization> [Accessed 18 Nov. 2017].
- Kilincci y Asli, 2011 O. Kilincci, S. Asli. *Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company* tomado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411001928>
- Manufactura Inteligente. (2017). *Lead Time definition- métrica para lean process*. Recuperado de: <http://www.manufacturainteligente.com/lead-time-definition-metrica-para-lean-process/> [Accessed 19 Nov. 2017].
- Mtm ingenieros, (s.f.). *¿Qué es el Lead Time?* Recuperado de: <http://mtmingenieros.com/knowledge/ques-lead-time/> [Accessed 19 Nov. 2017].
- Nahmias, S. (2014) *Análisis de la producción y las operaciones*, McGraw-Hill Interamericana, México.
- Osorio, J., Orjuela J (2008) *El proceso de análisis jerárquico (ahp) y la toma de decisiones multicriterio. ejemplo de aplicación*. Tomado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84920503044>
- Pedrycz, W., Ekel, P., & Parreiras, R. (2010). *Toma de decisiones multicriterios difusos: modelos, métodos y aplicaciones (1)*. Hoboken, GB: Wiley. Tomado de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap3.PDF
- R. A. E. (2010). *Diccionario de la Real Academia Española*. España
- Rainer, L. and Christian, G. (2005). Selección y control de proveedores mediante análisis multivariado. *Revista Internacional de Distribución Física y Gestión Logística*, 35 (6), 409-425.
- Rojas, M. A. D. O., Pérez, M. M. P., Pérez, M. P., Enciso, M. G. A., Enciso, M. G. A., & Rodríguez, M. M. A. V. (2012). *Directrices de la Educación a Distancia*. Tomado de: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/LITE/LECT63.pdf
- Sarache, W. A., Montoya, C. H., & Burbano, J. C. (2004). Procedimiento para la evaluación de proveedores mediante técnicas multicriterio. *Scientia et Technica*, 1(24).
- Rojas, M. A. D. O., Pérez, M. M. P., Pérez, M. P., Enciso, M. G. A., Enciso, M. G. A., & Rodríguez, M. M. A. V. (2012). *Directrices de la Educación a Distancia*. Tomado de: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/LITE/LECT63.pdf

Taha, H, (2004), *Investigacion de Operaciones*. Pearson Educación, México.

Traver Badal, D. (2015). Implementación práctica del sistema six-sigma para la gestión de personal en empresa de equipamiento médico tomado de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/79478>

Yañez, L. R. R. (2002). Modelo para el Desarrollo de la Fase de Reconocimiento Previa al DMAIC de Seis Sigma-Edición Única. Tomado de: <https://repositorio.itesm.mx/ortec/handle/11285/567642?locale=es&language=es>

Zouggari y Benyoucef, 2012 A. Zouggari, L. Benyoucef *Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem*. Tomado de: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2148417>