

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
UNIDAD DE POSGRADO**



TESIS:

**“SELECCIÓN DE INDICADORES CLAVES DE GESTIÓN BASADOS EN LOS
OBJETIVOS DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO PARA UNA FLOTA DE BUSES
DE TRÁNSITO RÁPIDO: UN ENFOQUE MULTICRITERIO PARA LA TOMA
DE DECISIONES”**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CON
MENCIÓN EN GERENCIA E INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO.**

**ELABORADO POR:
DIEGO FERNANDO GARZÓN SÁNCHEZ**

**ASESOR:
Dr. JUAN PABLO VARGAS MACHUCA BUENO**

LIMA, PERÚ

2024

DEDICATORIA

El alcance de esto de este gran logro en mi vida profesional y laboral se la dedico a mi amada esposa Diana González y a mis hijos Cristian y Felipe por su apoyo e incondicionalidad con mi propósito, por todas esos días y noches que no estuve para ustedes y que ustedes siempre supieron entender.

AGRADECIMIENTOS

Principal agradecimiento, al Gerente General y demás colaboradores de la empresa donde laboro, por todo su apoyo e incentivo para el desarrollo adecuado de este trabajo.

También a todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNÍ, por todo lo que aportaron en mis procesos de formación, pero especialmente el Dr. Juan Pablo Vargas Machuca Bueno por su apoyo como asesor de tesis.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES DE LA TESIS	1
1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	1
1.1.1 Revisión De Artículos Indexados.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	42
1.2.1 Descripción De La Realidad Problemática.	42
1.2.2 Formulación Del Problema	46
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	47
1.3.1 Justificación Institucional.	47
1.3.2 Justificación Económica.	47
1.3.3 Justificación Social	48
1.4 OBJETIVOS, HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES.....	49
1.4.1 Objetivos.....	49
1.4.2 Hipótesis.....	49
1.4.3 Variables, Dimensiones e Indicadores:	50
1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
1.5.1 Unidad De Análisis.	50
1.5.2 Tipo y Nivel De La Investigación	50
1.5.3 Periodo De Análisis	51
1.5.4 Fuentes De Información e Instrumentos Utilizados	51
1.5.5 Técnica De Recolección y Procesamiento De Datos	52
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	53
2.1 SISTEMA BUS RAPID TRANSIT (BRT).....	54
2.2 TABLEROS DE MANDOS E INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	57
2.2.1 Tableros De Mando (Dashboard).	57
2.2.2 Indicadores de Gestión de Mantenimiento.	61
2.3 MÉTODOS MULTICRITERIO	66

2.4	JUICIO DE EXPERTOS.....	69
2.5	MARCO CONCEPTUAL.....	71
CAPITULO 3 DISEÑO DEL MODELO.....		73
3.1	DIAGRAMA DE BLOQUES	73
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL MODELO.....	74
3.3	FORMULACIÓN MATEMÁTICA.....	79
3.3.1	METODO ELECTRE I	79
3.3.2	PROCEDIMIENTO DE SIMOS.....	81
3.4	PROGRAMACIÓN DEL MODELO	85
3.5	VALIDACIÓN DEL MODELO:.....	85
CAPITULO 4 RESULTADOS.....		89
4.1	RESPUESTAS DE LOS ENCUESTADOS.	89
4.2	CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.....	92
4.3	CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS.....	97
4.3.1	Contrastación de Hipótesis General.	97
4.3.2	Contrastación de Hipótesis Específicas.....	98
CONCLUSIONES.....		101
RECOMENDACIONES.		103
BIBLIOGRAFÍA		105
ANEXOS		109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	KPI's iniciales para un Aeropuerto - Traducción.....	2
Tabla 2	Resultados de AHP para KPI de Aeropuertos - Traducción.....	4
Tabla 3	Resumen de criterios, subcriterios y alternativas para el modelo de selección.....	9
Tabla 4	Pesos globales de subcriterios y alternativas.....	10
Tabla 5	Ratio De Coherencia De La Matriz De Juicio Para Las Cuatro Perspectivas De La Tarjeta (%) – Traducción.....	13
Tabla 6	Puntuaciones De Rendimiento De KPI's Para Cada Perspectiva – Traducción.....	14
Tabla 7	Índices Aerodinámicos – Traducción.....	16
Tabla 8	El resultado de la evaluación basada en ELECTRE-II – Traducción.....	17
Tabla 9	Jerarquización de Alternativas – Traducción.....	22
Tabla 10	Clasificación de Alternativas - Traducción.....	24
Tabla 11	El grado de utilidad y ranking de escenarios - Traducción.....	26
Tabla 12	Pesos Calculados para Cada Criterio– Traducción.....	29
Tabla 13	Pesos de los componentes y sus factores - Traducción.....	32
Tabla 14	Los Criterios Y Subcriterios De Evaluación – Traducción.....	36
Tabla 15	Clasificación de Alternativas - Traducción.....	37
Tabla 16	Los conjuntos de criterios en cada nivel de la jerarquía de múltiples niveles de la metodología propuesta – Traducción.....	39
Tabla 17	Resultados finales de experimentos computacionales. Clasificaciones de TP-s basadas en el cálculo -Traducción.....	41
Tabla 18	Características Dominantes Observadas por Cada Grupo de Paneles Calificados– Traducción.....	59
Tabla 19	Arquitectura Empresarial de alto Nivel del Panel Propuesto – Traducción.....	61
Tabla 20	Numero de Publicaciones Por Cada Método.....	67
Tabla 21	Conversión de los rangos en pesos usando el procedimiento de Simos - Traducción.....	82
Tabla 22	Cálculo de pesos No-Normalizados para Z - Traducción.....	83
Tabla 23	Pesos de los criterios generados por el software RSF.....	85

Tabla 24	Evaluación de KPI's contra criterios (rendimiento de alternativas)	86
Tabla 25	Ranking de Concordancia Neta	87
Tabla 26	Ranking de Discordancia Neta.....	88
Tabla 27	Determinación de los Pesos Normalizados de cada Criterio	90
Tabla 28	Raking de Concordancia Experto 1	90
Tabla 29	Raking de Concordancia Experto 2.....	91
Tabla 30	Ranking de Concordancia Experto 3.....	92
Tabla 31	Calculo Promedio Aritmético de Valores del Ranking	
	Concordante	93
Tabla 32	Clasificación Final de los KPI's para el Ranking Concordante	94
Tabla 33	Calculo Promedio Aritmético de Valores del Ranking	
	Discordante	95
Tabla 34	Clasificación Final de los KPI's para el Ranking Discordante.	96
Tabla 35	Selección de Final de Indicadores.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	La estructura jerárquica de los indicadores clave de desempeño del Aeropuerto - Traducción.	4
Figura 2	Marco conceptual de la metodología propuesta – Traducción.....	7
Figura 3	Metodología de trabajo para el desarrollo del modelo.	8
Figura 4	Marco conceptual para la selección de PI's para pequeñas y medianas empresas de servicios de agua – Traducción.	12
Figura 5	El resultado de la evaluación basada en ELECTRE-II – Traducción.	19
Figura 6	Número de artículos publicados (recopilados) sobre MCDM en ingeniería sostenible por años.	20
Figura 7	Árbol Jerárquico de Decisiones – Traducción.	21
Figura 8	Diagrama De Flujo De La Metodología Propuesta – Traducción. .	28
Figura 9	Jerarquía de criterios y factores -Traducción.	31
Figura 10	Distribución de superficie adecuada (izquierda) y clasificación de métodos MCDM para superficie terrestre adecuada (derecha) - Traducción.....	33
Figura 11	Diagrama de flujo de la metodología difusa MCDM propuesta - Traducción.....	35
Figura 12	Metodología de evaluación de niveles múltiples y criterios múltiples de Proyectos de Transporte Urbano – traducción.	38
Figura 13	Perú: Accidentes De Tránsito, Según Causas Más Frecuentes, 2016.	42
Figura 14	Cantidad De Varados Año 2022	45
Figura 15	Costos del Área de Mantenimiento de los últimos 5 años.	45
Figura 16	Total de Ordenes de Trabajo del año 2022	46
Figura 17	Evolución del número de ciudades por año.	56
Figura 18	Arquitectura Técnica de alto Nivel del Panel Propuesto – Traducción.....	61
Figura 19	Interpretación aplicada de la variable Beta a la supervivencia.....	66
Figura 20	Marco conceptual de la metodología propuesta.	73

RESUMEN

Los indicadores de gestión de mantenimiento, son instrumentos claves que permiten a todas las organizaciones controlar el desempeño del área de mantenimiento y gestionarla en pro de alcanzar los objetivos empresariales. Este trabajo aborda el proceso para la selección adecuada de los indicadores claves de desempeño (KPI's), mediante la utilización de los métodos multicriterio para la toma de decisiones (MCDM).

En el proceso de revisión literaria, se identificaron los diferentes MCDM disponibles y se analizó su viabilidad en la selección de indicadores de gestión, la practicidad para la aplicación y el nivel de complejidad del modelo matemático que utilizan. Se homologaron los conceptos básicos para la elaboración de tableros de mando y consideraciones para su construcción. Por último, se realizó una amplia revisión de los indicadores de mantenimiento más utilizados en la industria de transporte urbano de pasajeros.

Finalmente, se abordó como caso de estudio, la selección de los KPI's para el área de mantenimiento de una empresa de transporte urbano de pasajeros dentro de un sistema de buses de tránsito rápido (BRT) en la ciudad de Lima Metropolitana, entregando un listado con los indicadores seleccionados.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación está orientada a brindar una alternativa para selección de indicadores claves de mantenimiento, el cual es quizá uno de los aspectos menos planificados, pero de gran importancia dentro de las organizaciones. La selección de indicadores para las empresas debe ser una actividad que se realice con el mayor nivel de disciplina posible, pues son estos la forma de medir si la organización se encuentra en el camino correcto de cara al cumplimiento de sus objetivos organizacionales.

Con el propósito de realizar un aporte práctico, la investigación se enfocó en una de las actividades económicas que en el Perú tiene uno de los más altos índices de informalidad laboral, la cual es el transporte urbano de pasajeros. Esta informalidad, se ve reflejada en diferentes aspectos, pero para este caso lo vemos en el hecho que, en la mayoría de las empresas de este rubro no existe una cultura de mantenimiento que esté basada en filosofías como el mantenimiento preventivo o predictivo, sino por el contrario se trabaja con principios reactivos, donde solo cuando se presenta una avería se interviene la unidad para ser reacondicionada.

Con el propósito de poder contribuir en la formalización de esta industria, la investigación se propuso por objetivo diseñar un sistema de indicadores para medir la gestión de mantenimiento de una empresa de transporte de pasajeros, basado en un método matemático mediante el seguimiento de una secuencia de pasos lógicos que pudieran ser replicados por cualquier empresa que esté interesada en su implementación.

Una amplia investigación bibliográfica concluyo que, los Métodos Multicriterio para la Toma de Decisiones (MCDM) son herramientas matemáticas muy utilizadas para la selección de alternativas basados en múltiples criterios de evaluación. Dentro de estos, encontramos una amplia variedad de métodos, pero para nuestro trabajo investigativo se seleccionó el Método Élimination et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE), dado que este es uno de los métodos que permite realizar una jerarquización de las alternativas.

Para poder ilustrar de manera adecuada la implementación de este método, se realizó la aplicación de un caso práctico en una empresa de transporte urbano de pasajeros en la ciudad de Lima, Perú. El desarrollo del método consta de una serie de pasos previos a la aplicación del modelo matemático, los cuales son resumiendo por Figueira & Roy, (2002); como elemento fundamental se deben identificar o construir objetivos para el área de mantenimiento, los mismos que deben estar adecuadamente relacionados con los objetivos organizacionales, a continuación, con el apoyo de expertos en el campo de la gestión de activos y mantenimiento se establecen de los criterios de evaluación y su relevancia, con los cuales se calificarán y ordenarán de forma jerarquizada todos los indicadores que hayan sido considerados para su evaluación mediante el modelo matemático propio del método seleccionado.

Durante el desarrollo del método, una de las principales conclusiones que se obtuvo con base en los resultados arrojados fue, la diferencia de criterios utilizados por los expertos en gestión de activos y mantenimiento consultados que están trabajando o han trabajado en la organización respecto de los que no lo han hecho, es por ello que, se recomienda que en futuras aplicaciones todos los expertos consultados tengan algún vínculo directo con la empresa o área evaluada.

CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES DE LA TESIS

1.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

1.1.1 Revisión De Artículos Indexados

❖ Eshtaiwi et al., (2018)¹ abordaron el tema de la selección de indicadores claves de mantenimiento mediante la metodología de Toma de Decisiones con Multicriterio (MCDM) y para ello utilizaron un caso práctico como ejemplificación. El documento fue desarrollado con los siguientes dos objetivos:

- *Ofrecer una lista de indicadores clave de rendimiento (KPI) esenciales para un aeropuerto que puedan proporcionar a los responsables de la toma de decisiones en la industria aeroportuaria en libia un marco práctico para medir y controlar el rendimiento a lo largo del tiempo.*
- *Utilizar la técnica AHP para derivar los pesos de los KPI y seleccionar el mejor aeropuerto internacional en Libia en función de los valores de los KPI en cada aeropuerto de acuerdo con los juicios de los expertos.*

Respecto al primer objetivo, los autores desarrollan una reflexión sobre la importancia de medición de desempeño en todos los componentes (áreas) que hacen parte de un aeropuerto y porque deben ser gestionados mediante los indicadores que más se ajusten.

¹ Eshtaiwi, M., Badi, I., Abdulshahed, A., & Erkan, T. E. (2018). Determination of key performance indicators for measuring airport success: A case study in Libya. *Journal of Air Transport Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.12.004>

El primer paso de los autores fue realizar una amplia investigación literaria y con ellos identificaron cinco grandes áreas claves para la gestión de un aeropuerto, seguidamente, identificaron cinco indicadores claves dentro de cada área, que a juicio propio proporcionan un enfoque integral de la gestión del aeropuerto, el resultado final lo podemos ver en la Tabla 1.

Tabla 1
KPI's iniciales para un Aeropuerto - Traducción.

KPA's	KPI's	Fuente
Servicio de pasajeros	Tiempos de espera de "check-in"	Bezerra and Gomes (2016a)
	Tiempo de entrega de equipaje	Humphreys and Francis (2002)
	Tiempo de espera en el control de seguridad.	Bezerra and Gomes (2016a)
	Número de puertas de embarque	Lozano et al. (2013)
	Número de cinturones de recogida de equipaje	Lozano and Gutiérrez (2011)
Zona de embarque	Tiempo de proceso de respuesta	Andersson Granberg and Munoz (2013)
	Numero de pistas	Yu et al. (20ez08)
	Número de vuelos retrasados medidos por día	Lozano et al. (2013)
	Longitud de la pista	Fan et al. (2014)
	Retraso de salida del taxi medido por día	Wyman (2012)
Perspectiva financiera	Gasto por pasajero medido por año	Humphreys and Francis (2002)
	Ingresos por pasajero medidos por año	Humphreys and Francis (2002)
	Ingresos no aeronáuticos por pasajero medidos por año	Humphreys and Francis (2002)
	Ingresos por m2 de superficie útil medidos por año	Humphreys and Francis (2002)
	Coste total por unidad de carga de trabajo (WLU) medido por año	Humphreys and Francis (2002)
Seguridad y protección	Número de incidentes en los puntos de control de seguridad medidos por año	Andersson Granberg and Munoz (2013)
	Número de accidentes de aviación medidos por año	Wyman (2012)
	Tiempo entre el cierre y la reapertura en caso de violación de la seguridad del aeropuerto	Enoma and Allen (2007)
	Tiempo necesario para reanudar las operaciones en caso de evacuación	Enoma and Allen (2007)

	Tiempo necesario para reanudar el servicio normal tras un ataque a las instalaciones del aeropuerto	Enoma and Allen (2007)
Ambiental	Consumo de energía (Kwh / m2) medido por año	Kılış and Kılış (2016)
	Número de eventos de contaminación medidos por año	Humphreys and Francis (2002)
	Porcentaje de residuos reciclados medido por año	Kılış and Kılış (2016)
	Zona afectada por ruido en las inmediaciones del aeropuerto	Humphreys and Francis (2002)
	Número de quejas sobre actividad aeroportuaria medidas por año	Humphreys and Francis (2002)

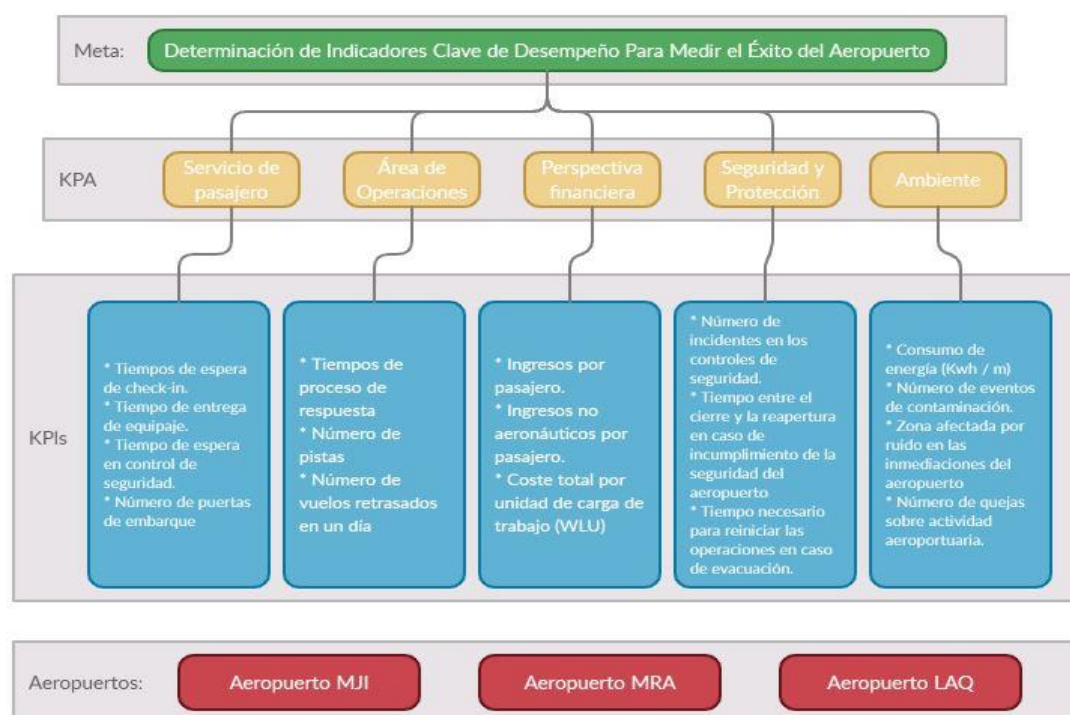
(Eshtaiwi et al., 2018) Determinación de Indicadores Clave de Rendimiento para Medir el Éxito de los Aeropuertos: Un caso de estudio en Libia. – Traducción.

- *KPA's : Son las áreas claves del aeropuerto a evaluar.*
- *KPI's: Son los indicadores clave que por lo general son usados para medir el desempeño de las áreas a evaluar.*
- *Fuente: Los autores de las publicaciones donde tomaron los indicadores.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Seguidamente los autores explican claramente el procedimiento de desarrollo y aplicación de la metodología de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), y resumiendo en la Figura 1.

Figura 1
La estructura jerárquica de los indicadores clave de desempeño del Aeropuerto - Traducción.



(Eshtaiwi et al., 2018) **Determinación de Indicadores Clave de Rendimiento para Medir el Exito de los Aeropuertos: Un caso de estudio en Libia. – Traducción.**

Una vez concluido este proceso, los autores plantearon las matrices de comparación que el método considera, y seleccionaron un total de diez expertos para que las diligenciaran, como herramienta para el análisis utilizaron el software “Expert Choise”. El resultado de la aplicación lo encontramos en la Tabla 2 donde presentan un ranking de las áreas e indicadores más importantes.

Tabla 2
Resultados de AHP para KPI de Aeropuertos - Traducción.

KPA's	Pesos	Ratio de Consistencia (CR)	KPI's	Pesos Globales
Servicio de pasajeros	0.337	0.008	Tiempos de espera de “check-in”	0.1223
			Número de puertas de embarque	0.1098
			Tiempo de entrega de equipaje	0.0549
			Tiempo de espera en el control de seguridad.	0.0499
	0.204	0.0	Tiempo de proceso de respuesta	0.1360

Zona de embarque			Número de vuelos retrasados medidos por día	0.0453
			Numero de pistas	0.0226
Perspectiva financiera	0.091	0.056	Ingresos no aeronáuticos por pasajero	0.0586
			Ingresos por pasajero medidos por año	0.0247
			Coste total por unidad de carga de trabajo (WLU)	0.0077
Seguridad y protección	0.308	0.019	Tiempo entre el cierre y la reapertura en caso de violación de la seguridad del aeropuerto	0.1694
			Número de incidentes en los puntos de control de seguridad	0.0739
			Tiempo necesario para reanudar las operaciones en caso de evacuación	0.0647
Ambiental	0.059	0.017	Consumo de energía (Kwh / m2)	0.0250
			Zona afectada por ruido en las inmediaciones del aeropuerto	0.0194
			Número de quejas sobre actividad aeroportuaria	0.0093
			Número de eventos de contaminación	0.0050

(Eshtaiwi et al., 2018) **Determinación de Indicadores Clave de Rendimiento para Medir el Éxito de los Aeropuertos: Un caso de estudio en Libia. – Traducción.**

- *KPA's: Son las áreas claves del aeropuerto a evaluar.*
- *Pesos: Es la relevación que tiene que área evaluada en relación a las demás.*
- *Ratio de Consistencia (CR): mire la escala de consistencia del proceso de comparación por pares de cada matriz, según el metodo AHP*
- *KPI's: Son los indicadores clave que por lo general son usados para medir el desempeño de las áreas a evaluar.*
- *Pesos Globales: Es la relevancia individual que se obtuvo para cada indicador luego del proceso de evaluación.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Como conclusiones del estudio, los autores mencionan el hecho de haber realizado una selección de los indicadores claves de mantenimiento para los aeropuertos mediante la utilización de la metodología AHP que les permitirá a estos compararse y conocer los aspectos en lo que debe mejorar.

Como aspecto a mejorar, lo autores mencionan que solo pudieron ser evaluados tres aeropuertos a causa de la situación política de Libia que no permitió recolectar más

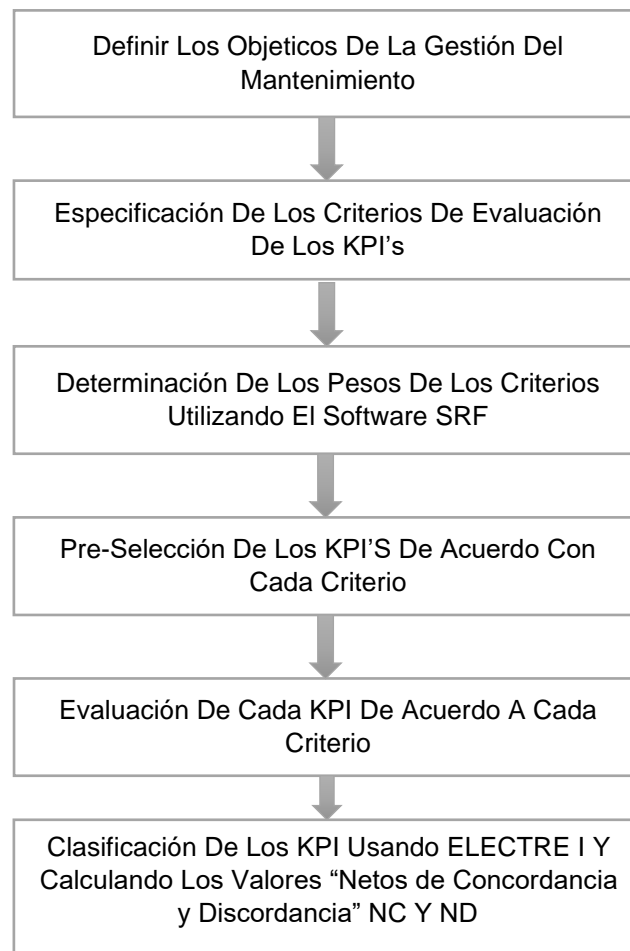
información; por lo que mencionan que para futuros estudios sería conveniente incluir más aeropuertos para poder validar la fiabilidad de los resultados.

❖ Gonçalves et al., (2015)² propusieron un método para la selección de los indicadores claves de rendimiento (KPI's) para el mantenimiento, mediante la utilización de una metodología multicriterio, específicamente el método ELimination Et Choix Traduisant la REalité – I (ELECTRE-I); el cual consiste en asignar valores numéricos para los pesos de cada criterio, y para la evaluación de estos pesos utilizaron el procedimiento de “Simos” asistido por el software “SRF”. Los autores dividieron en dos partes, la primera describe claramente el procedimiento para la selección de indicadores, los criterios de evaluación y el cálculo de los pesos de cada uno de ellos.

En la segunda parte del documento, toman el caso de estudio de un aeropuerto para el cual aplican el método y entregaron un listado en orden descendente de los KPI's evaluados, en este caso ellos enlistan más de 20 indicadores como base de análisis, los cuales son tomados de diferentes fuente -experiencia de los autores, bibliografía referente a servicios aeronáuticos y los utilizados previamente por la empresa- para así seleccionar luego del análisis los 6 indicadores más relevantes. Como conclusión de su estudio comentan que el listado final de KPI's fue presentado a los gerentes de mantenimiento del aeropuerto y el resultado fue aceptado por ellos. La Figura 2 resume la estructura de desarrollo metodológico planteada por los autores.

² Gonçalves, C. D. F., Dias, J. A. M., & Machado, V. A. C. (2015). Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. In *International Journal of Management Science and Engineering Management*. <https://doi.org/10.1080/17509653.2014.954280>

Figura 2
Marco conceptual de la metodología propuesta – Traducción.



Gonçalves et al., (2015) **Metodología de Decisión Multicriterio para la Selección de Indicadores Clave de Rendimiento de Mantenimiento. – Traducción.**

❖ Thames Cantolla et al., (2021)³ en su publicación "Selección multicriterio para el procesamiento de salmueras de litio en Argentina" abordaron la selección del método más adecuado para la explotación de minas de litio en salmuera en el Noroeste Argentino y para ello plantearon el uso de un MCDM basado en el Proceso de Análisis Jerárquico Difuso (FAHP).

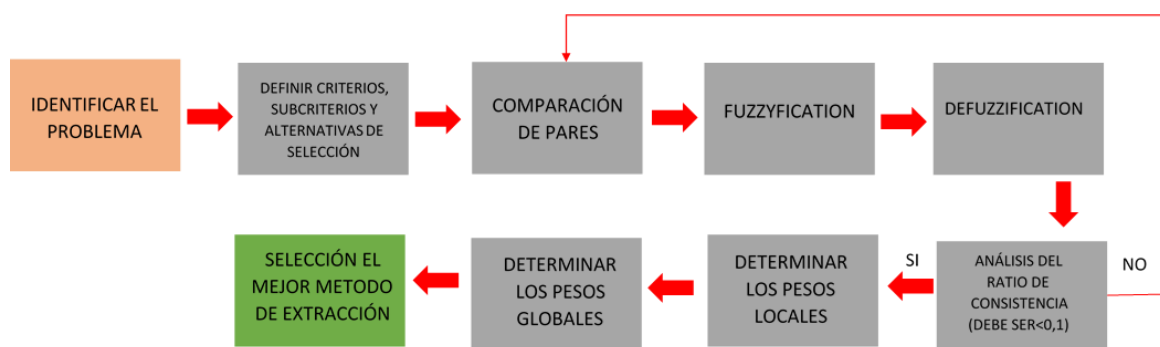
Elegir el método más adecuado para la extracción minera en un proceso complejo que demanda la consideración de factores tanto técnicos, económicos, políticos,

³ Thames Cantolla, M. I., Valdez, S. K., & Orce Schwarz, A. M. (2021). *Selección multicriterio para el procesamiento de salmueras de litio en Argentina*. SciELO Analytics. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362021000300078&lng=es&nrm=iso&tng=es

sociales como históricos. Para este caso, el modelo planteado considera 5 criterio y 27 subcriterios para evaluar 6 métodos de extracción.

La Figura 3, muestra la metodología utilizada para el desarrollo del modelo. Basados en este modelo los autores mediante búsquedas literarias de diferentes publicaciones sobre el tema, plantearon los grupos de criterios, subcriterios y alternativas de extracción que se resumen en la Tabla 3. (las alternativas no tienen nombre por ser información confidencial)

Figura 3
Metodología de trabajo para el desarrollo del modelo.



Thames Cantolla et al., (2021) **Selección Multicriterio para el Procesamiento de Salmueras de Litio en Argentina.**

En el capítulo II entre los literales b y e Thames Cantolla et al., (2021) explican en detalle el proceso secuencial que componen el método FAHP. En el capítulo III – Resultados, muestran que se desarrollaron en total 32 matrices de comparación por pares para cada uno de los criterios, subcriterios y alternativas analizadas; en total se analizaron 99 matrices para el modelo planteado.

Finalmente, realizan el cálculo de los ratios de consistencia para verificar los valores de matrices y de esta manera obtener los valores locales y globales para el modelo. En la Tabla 4 se muestra el resultado de los valores globales, donde podemos ver que la ALTERNATIVA 4 es la que cuenta con mayor valoración, por lo cual, es el método a elegir por los decisores.

Tabla 3
Resumen de criterios, subcriterios y alternativas para el modelo de selección.

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	ALTERNATIVAS
(ECO) ECONÓMICOS	(INI) Inversión inicial (PRC) Periodo de recupero del capital (COP) Costos operativos	Alternativa 1
(TEC) TÉCNICOS	(P R A) Producción anual/tasa de producción (PEM) Periodo de mantenimiento (GRM) Grado de recuperación de mineral	
(PROD) PRODUCTIVOS	(CPF) Calidad de producto final (GSUB) Generación de subproductos (EFI) Eficiencia del proceso (CAL) Consumo cal (AGUA) Consumo de agua (RESID) Generación de residuos	Alternativa 2
(SALMU) SALMUDERAS	(LITB) Conc. Li baja ($0 < [Li^*] \leq 0.06\%$) (LITI) Conc. Li intermedia ($0.06\% < [Li^*] < 0.09\%$) (LITA) Conc. Li alta ($0.09\% \leq [Li^*]$) (MAGB) Conc. Mg baja ($0 < [Mg^{2*}] \leq 0.18\%$) (MAGI) Conc. Mg Intermedia ($0.18\% < [Mg^{2*}] < 0.27\%$) (MAGA) Conc. Mg Alta ($0.27\% \leq [Mg^{2*}]$) (BORB) Conc. Boratos Baja ($0 < [B] \leq 0.19\%$) (BORI) Conc. Boratos Intermedia ($0.19\% < [B] \leq 2.45\%$) (BORA) Conc. Boratos Alta ($2.45\% \leq [B]$) (SULFB) Conc. Sulfatos baja ($0 < [S] \leq 0.67\%$) (SULFI) Conc. Sulfatos Intermedio ($0.67\% < [S] \leq 0.84\%$) (SULFA) Conc. Sulfatos Alta ($0.84\% \leq [S]$)	Alternativa 3
		Alternativa 4
		Alternativa 5
		Alternativa 6
(CLIM) CLIMA	(EVAPB) Tasa de evaporación Baja (Entre 1000 y 1500 mm/año) (EVAPI) Tasa de evaporación Intermedia (Entre 1501 y 2500 mm/año) (EVAPA) Tasa de evaporación Alta (Más 2501 mm/año)	

Thames Cantolla et al., (2021) **Selección Multicriterio para el Procesamiento de Salmueras de Litio en Argentina.**

- *CRITERIOS:* Son los aspectos generales por los cuales se evaluará cada una de las alternativas (regiones)
- *SUBCRITERIOS:* Son los factores individuales que se consideran para medir el desempeño de cada aspecto general.
- *ALTERNATIVAS:* Representa cada una de las 6 Alternativas (regiones) que se van a evaluar.

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Tabla 4
Pesos globales de subcriterios y alternativas.

CRITERIOS				PESOS GLOBALES					
	PESOS DE LOS CRITERIOS			A1	A2	A3	A4	A5	A6
ECO	0,1821	INI	0,1040	0,0282	0,0052	0,0094	0,0418	0,0140	0,0054
		PRC	0,0531	0,0136	0,0082	0,0082	0,0047	0,0136	0,0047
		COP	0,0250	0,0019	0,0072	0,0030	0,0072	0,0048	0,0009
TEC	0,1348	PARA	0,0905	0,0287	0,0179	0,0108	0,0179	0,0043	0,0108
		PEM	0,0270	0,0057	0,0057	0,0033	0,0033	0,0057	0,0033
		GRM	0,0173	0,0037	0,0057	0,0011	0,0037	0,0024	0,0006
PROD	0,0690	CPF	0,0078	0,0005	0,0013	0,0008	0,0003	0,0036	0,0013
		GSUB	0,0073	0,0031	0,0005	0,0017	0,0005	0,0003	0,0012
		EFI	0,0073	0,0010	0,0003	0,0029	0,0007	0,0021	0,0004
		CAL	0,0188	0,0049	0,0007	0,0010	0,0049	0,0049	0,0022
		AGUA	0,0211	0,0032	0,0012	0,0049	0,0019	0,0049	0,0049
		RESID	0,0068	0,0004	0,0016	0,0006	0,0010	0,0016	0,0016
SALA	0,5420	LITB	0,0920	0,0236	0,0143	0,0082	0,0236	0,0082	0,0143
		LITI	0,0920	0,0165	0,0094	0,0059	0,0094	0,0094	0,0254
		LITA	0,0920	0,0148	0,0057	0,0057	0,0231	0,0335	0,0093
		MAGB	0,0474	0,0054	0,0101	0,0054	0,00054	0,0158	0,0054
		MAGI	0,0474	0,0054	0,0092	0,0092	0,0092	0,0149	0,0033
		MAGA	0,0474	0,0113	0,0062	0,0062	0,0062	0,0113	0,0062
		BORB	0,0259	0,0067	0,0042	0,0015	0,0015	0,0042	0,0025
		BORI	0,0259	0,0102	0,0044	0,0016	0,0016	0,0027	0,0044
		BORA	0,0259	0,0089	0,0029	0,0017	0,0017	0,0017	0,0089
		SULFB	0,0154	0,0011	0,0018	0,0030	0,0030	0,0048	0,0018
		SULFI	0,0154	0,0012	0,0012	0,0033	0,0033	0,0052	0,0012
		SULFA	0,0154	0,0009	0,0009	0,0036	0,0036	0,0054	0,0009
CLIM	0.0721	EVAPB	0,0240	0,0041	0,0024	0,0024	0,0070	0,0041	0,0041
		EVAPI	0,0240	0,0019	0,0019	0,0019	0,0052	0,0052	0,0081
		EVAPA	0,0240	0,0027	0,0027	0,0017	0,0047	0,0047	0,0075
SUMA TOTAL DE PESOS GLOBALES				0,2096	0,1326	0,1090	0,2149	0,1934	0,1405

Thames Cantolla et al., (2021) **Selección Multicriterio para el Procesamiento de Salmueras de Litio en Argentina.**

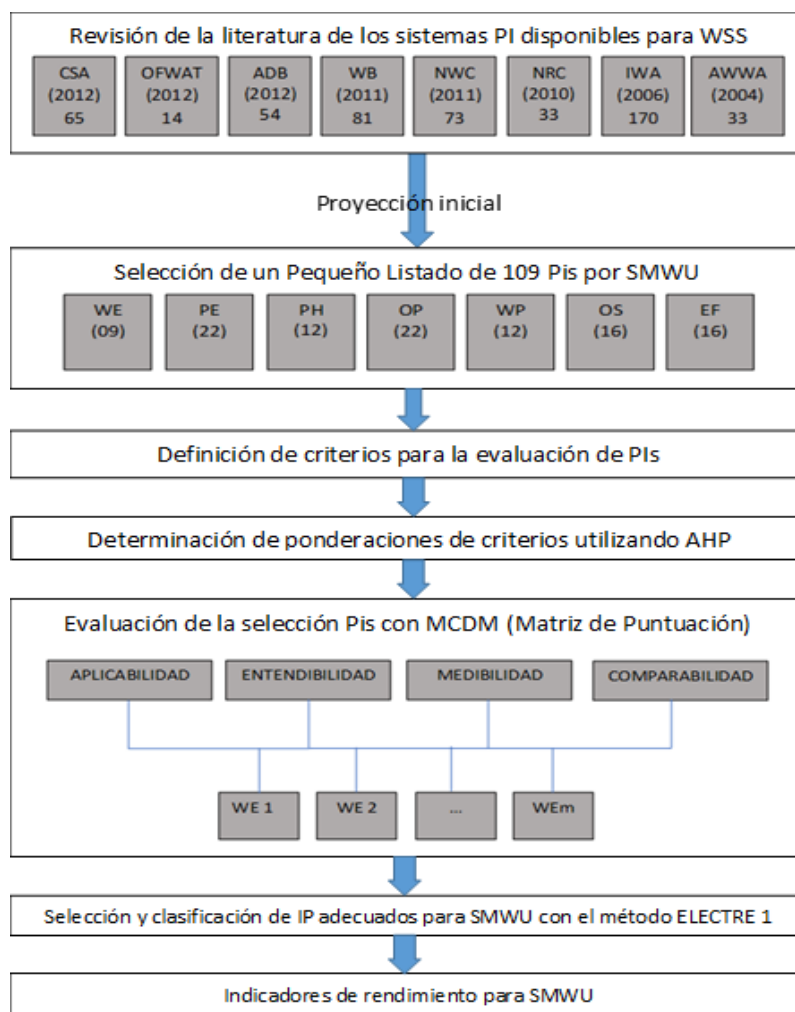
- *CRITERIOS: Son los aspectos generales por los cuales se evaluará cada una de las alternativas (regiones)*
- *PESOS DE LOS CRITERIOS: Son los pesos totales de cada criterio encontrado a partir de la suma del peso de cada uno de los subcriterios.*
- *PESOS GLOBALES: Es la relevancia individual que se obtuvo para cada Alternativa luego del proceso de evaluación de comparación por pares.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Haider et al., (2015)⁴ utilizaron una metodología MCDM (Multi Criteria Decision Making) para realizar el cálculo de los indicadores de rendimiento (PI's) para pequeñas y medianas empresas de servicios de agua (SMWU). El procedimiento utilizado por ellos se desarrolló de la siguiente manera; luego de consultar la bibliografía disponible sobre el tema se encontraron un total de 518 PI's, los cuales procedieron a clasificar en 7 grandes grupos (Recursos hídricos y medio ambiente, Ventajas físicas, Personal, Calidad del agua y salud pública, Operacional, Calidad de servicio, Financiero y económico) mediante una lista de verificación de los PI's disponibles. A continuación, se definieron 4 criterios de evaluación para la idoneidad de cada uno de ellos mediante el análisis multicriterio.

⁴ Haider, H., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2015). Selecting performance indicators for small and medium sized water utilities: Multi-criteria analysis using ELECTRE method. *Urban Water Journal*. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.900089>

Figura 4
Marco conceptual para la selección de PI's para pequeñas y medianas empresas de servicios de agua – Traducción.



Haider et al., (2015) **Selección de Indicadores de Resultados para Pequeñas y Medianas Empresas de Suministro de Agua: Criterios múltiples. – Traducción.**

Los pesos de cada criterio fueron asignados utilizando el método AHP a través de un proceso de toma de decisiones grupal; generándose una matriz de evaluación de cada PI en función de cada criterio definido. Y finalmente con la aplicación del método ELECTRE se obtuvo la lista de preferencias finales. La Figura 4 resume el procedimiento metodológico utilizado.

❖ Chorfi et al., (2015)⁵ además de las definiciones literarias de los principales métodos para la toma de decisiones donde exponen sus principales ventajas y

⁵ Chorfi, Z., Berrado, A., & Benabbou, L. (2015). Selection of Key Performance Indicators for Supply Chain monitoring using MCDA. *2015 10th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications, SITA 2015*. <https://doi.org/10.1109/SITA.2015.7358395>

desventajas, realizan un análisis de la importancia que tienen los indicadores claves de gestión en las cadenas de suministro, para lo cual utilizan como ejemplo una cadena de suministro de medicamentos para un país en desarrollo con el objetivo de ejemplificar el uso del método AHP.

Para la aplicación del caso práctico, se definieron como criterios de evaluación los criterios SMART – Simple, Medible, Alcanzable, Realista y Temporal - para evaluar los KPI's seleccionados y agrupados bajo cuatro perspectivas diferentes – Financiera y Social, Del Cliente, Interna del negocio y Aprendizaje y Crecimiento -. Luego de realizar todo el proceso de cálculo y teniendo en cuenta las consideraciones y restricciones propias del proceso, lograron los resultados que se resumen en las Tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5
Ratio De Coherencia De La Matriz De Juicio Para Las Cuatro Perspectivas De La Tarjeta (%) – Traducción.

Criterios SMART	Relación de coherencia			
	Financiera	Cliente	Negocios internos	Aprendizaje y crecimiento
Sencillo	9.85%	9.01%	4.73%	2.97%
Mensurable	7.08%	9.77%	6.94%	4.88%
Alcanzable	6.46%	9.56%	4.68%	5.04%
Realista	9.56%	6.93%	4.60%	0%
Relación al tiempo	0%	5.56%	7.45%	3.29%

Chorfi et al., (2015) Selección de Indicadores Clave de Rendimiento para la Supervisión de la Cadena de Suministro Mediante MCDA. – Traducción.

- *Criterios SMART: Representan cada uno de los 5 criterios que se tomaran como referencia para evaluar cada aspecto clave*
- *Relación de Coherencia: Muestra el valor % de importancia obtenido luego del proceso de cálculo para cada una de las perspectivas en relación a cada criterio.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Tabla 6
Puntuaciones De Rendimiento De KPI's Para Cada Perspectiva – Traducción.

PERSPECTIVA	ALTERNATIVAS	PESO GLOBAL	RANGO
<i>Perspectiva interna de negocios</i>	MAPE	14.80%	2
	Índice de rotación de inventario	16.80%	1
	Tasa de pérdida por obsolescencia.	16.80%	1
	El menor tiempo de ciclo entre la ocurrencia del evento no planificado y su logro	6.60%	6
	Flexibilidad de la cadena de suministro al revés	4.90%	7
	% de riesgos mitigados	4.80%	8
	Valor global en riesgo	2.40%	9
	Satisfacción del usuario	11.80%	3
	Cumplimiento de los productos sanitarios con las normas.	11.20%	4
	Ciclo de cumplimiento del pedido.	10%	5
<i>Perspectiva Financiera</i>	Brecha presupuestaria	26.60%	1
	Flujo de fondos	14.20%	3
	Costo por unidad	10.40%	6
	TSCMC	16.30%	2
	Gastos a ingresos netos	12.50%	4
	Volumen de ventas de inventario	11.90%	5
	RSCFA	3.90%	8
	RWC	4.20%	7
<i>Perspectiva del cliente</i>	Disponibilidad a corto plazo para un producto sanitario.	17.80%	1
	Disponibilidad durante una duración definida.	11.40%	4
	% de personas que informan que no han visto a un médico después de una enfermedad debido a una gran distancia	7.00%	8
	% de personas que informan que no han consultado a un médico después de una enfermedad debido a la falta de seguro médico	10.50%	5
	Densidad total de instalaciones sanitarias por 100 000 habitantes.	10.30%	6
	Índice de satisfacción del paciente	9.70%	7
	Cumplimiento de la salud	13.60%	3
	Productos con estándares		
	% de personas / pareja que confían en el ministerio de salud	4.90%	9
	Perfecto cumplimiento de la orden	14.80%	2

<i>Perspectiva de aprendizaje y crecimiento.</i>	% de departamento con programas de gestión de apoyo al cambio y la innovación.	13.20%	1
	% de departamentos con planes estratégicos de apoyo a objetivos.	11.50%	3
	% de empleados que tienen acceso a programas de mentoría y desarrollo profesional	11.50%	3
	Índice de absentismo laboral	9.70%	6
	Índice de satisfacción del empleado	10.60%	4
	% del departamento que ha desarrollado infraestructura y tecnología implementada para apoyar el negocio interno	11.90%	2
	Porcentaje de presupuesto utilizado para la compra de nueva tecnología.	10.50%	5
	% de personal capaz de utilizar la comunicación electrónica	10.50%	5
	Número de nuevos proyectos con otras organizaciones.	10.60%	4

Chorfi et al., (2015) Selección de Indicadores Clave de Rendimiento para la Supervisión de la Cadena de Suministro Mediante MCDA. – Traducción.

- *PERSPECTIVA: Son cada una de las perspectivas evaluadas*
- *ALTERNATIVAS: Representa cada uno de los indicadores por la cuales se puede medir el desempeño de cada perspectiva.*
- *PESO GLOBAL: Es el valor % que representa la relevación de cada alternativa, obtenido luego del proceso de cálculo.*
- *RANGO: Es el orden jerárquico que obtiene cada alternativa de acuerdo a su peso global.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Jun et al., (2014)⁶ abordaron el problema de la generación de energía con fuentes renovables, en este caso enfocado a encontrar el lugar más adecuado para la instalación de un sistema híbrido de energía solar / eólica considerando que la evaluación de todos los aspectos que podrían afectar el proyecto se convierte en un análisis de toma de decisiones de múltiples criterios. Luego de revisar toda la literatura existente sobre los indicadores y los factores claves para la selección adecuada de la zona para la implementación de proyectos, en un inicio encontraron un total de 32

⁶ Jun, D., Tian-Tian, F., Yi-Sheng, Y., & Yu, M. (2014). Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on ELECTRE-II. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.005>

indicadores claves los mismo que agruparon en 7 grupos de factores distintos; a continuación, realizaron una refinación de cada uno de ellos para evitar redundancia de información, al final de este ejercicio conservaron un total de 13 indicadores claves agrupados como se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7
Índices Aerodinámicos – Traducción.

Indicadores de primera clase	Indicadores de Segunda clase	Descripción
Recursos Naturales	Densidad de energía eólica	Energía cinética generada por el aire (W / m2)
	Condición de dirección del viento	La estabilidad de la dirección del viento
	Intensidad de turbulencia	Relación de desviación velocidad del viento estándar y la velocidad media del viento
	Radiación solar bruta	Valor acumulativo de la intensidad de radiación solar (MJ / m2)
Factores Económicos	Tasa de estabilización del sol	Relación de máximo a mínimo de días de brillo solar (46 h).
	Demanda de Electricidad	La demanda bruta de electricidad en un rango determinado (MW)
	Costo de Construcción	Costo de construcción de la planta híbrida (RMB / Kw).
	Costo de operación y mantenimiento	Costo de operación y mantenimiento de la planta híbrida (RMB / Kw)
Condiciones de Trafico	Grado de conveniencia de tráfico	Grado de conveniencia con el uso de medios de tráfico
	Longitud de la línea de transmisión	Distancias de transmisión de electricidad (km)
Factores medioambientales	Contaminación	Grado de contaminación durante el periodo de construcción.
Factores Sociales	Ahorro de energía / reducción de contaminantes	Ahorro de energía / reducción de contaminantes como la electricidad limpia.
	Actitud de los residentes locales	La actitud de los residentes locales para la planta

Jun et al., (2014) Selección de Macro Sitios para Centrales Híbridas Eólico-Solares Basada en ELECTRE-II. - Traducción.

- *Indicadores de primera clase: Representan los 5 grandes grupos de factores a evaluar.*
- *Indicadores de Segunda clase: son los indicadores por los cuales se medir cada factor de primera clase.*

- *Descripción: Es la descripción de cada indicador de segunda clase.*

Para la evaluación de estos indicadores seleccionaron el método ELECTRE II, considerando que, en comparación con otros métodos el grado de riesgos es claro para los responsables de la toma de decisiones; sumado al hecho de que es fácil de comprender y programar. En la siguiente parte del documento, realizan una explicación detallando las ecuaciones matemáticas que se utilizan para la aplicación del método; pero para una mejor interpretación realizan un caso de estudio donde aplican los 13 indicadores mencionados para analizar la viabilidad de 7 proyectos en diferentes zonas en toda china donde se instalaron plantas de energía híbrida Fotovoltaica/ Eólica.

Los resultados finales de la aplicación del método de evaluación ELECTRE II, están resumidos en la Tabla 8, donde están jerarquizados de la siguiente manera cada una de las centrales evaluadas: Erlian haote (P4), Zhangjiakou (P2) y Yumen (P5) son las mejores. Shantou (P1) y Haixi (P6) son las segundas. Youyu (P3) y Naqu (P7) son las peores. El resultado es consistente con los hallazgos de la investigación relacionada y tiene una mejor corrección. Este documento podría proporcionar algunas bases teóricas para la selección de la estación de energía híbrida eólica / solar en un emplazamiento macro.

Tabla 8
El resultado de la evaluación basada en ELECTRE-II – Traducción.

Ítems	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
$V'(p_i)$	2	1	3	1	2	3	4
$V^0(p_i)$	1	3	1	4	3	2	1
$V''(p_i)$	4	2	4	1	2	3	4
$\bar{v}(p_i)$	3	1.5	3.5	1	2	3	4

Jun et al., (2014) **Selección de Macro Sitios para Centrales Híbridas Eólico-Solares Basada en ELECTRE-II. - Traducción.**

- *Items:*
 - $V'(p_i)$: valor de la clasificación positiva.
 - $V^0(p_i)$: Valor de la clasificación negativa.
 - $V''(p_i)$: valor de la clasificación promedio
 - $\bar{v}(p_i)$: clasificación final.

- *P1 – P7: Representa cada una de las 7 alternativas (regiones) evaluadas.*

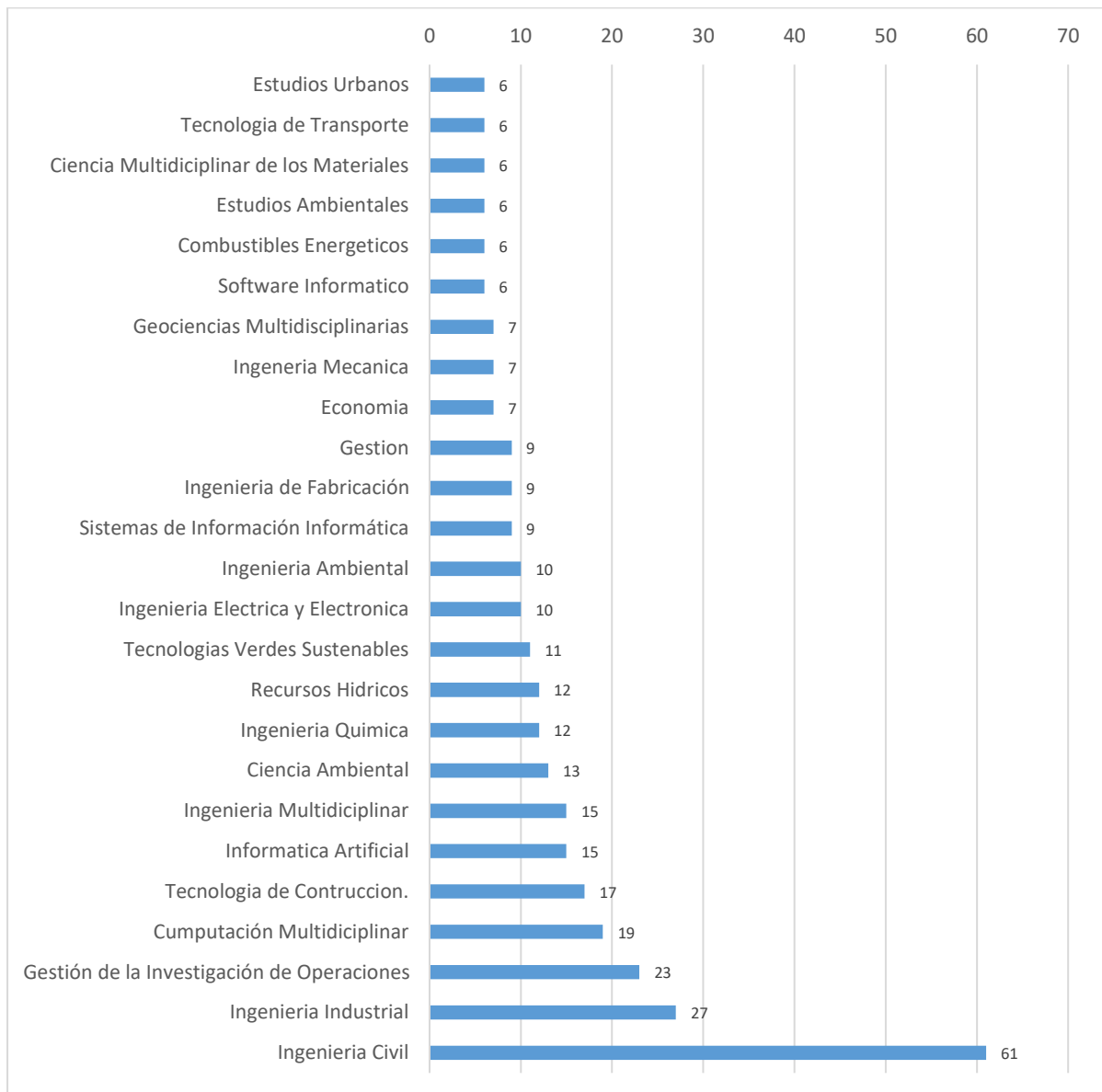
Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Stojčić et al., (2019)⁷ realizaron una investigación de todas las publicaciones que utilizaran los diferentes métodos MCDM en la aplicación de la Ingeniería Sostenible entre los años 2008-2018, principalmente en la base de datos de la Colección principal de Web of Science; encontrado que:

- En estos 10 años se publicaron un total de 4712 artículos que utilizan la metodología MCDM, de los cuales 329 están enfocados a la Ingeniería sostenible.
- Los 329 artículos se dividían en un total de 25 áreas principales de estudio, y los vemos resumidos en la Figura 5.

⁷ Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., & Mardani, A. (2019). Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018. In *Symmetry*. <https://doi.org/10.3390/sym11030350>

Figura 5
El resultado de la evaluación basada en ELECTRE-II – Traducción.

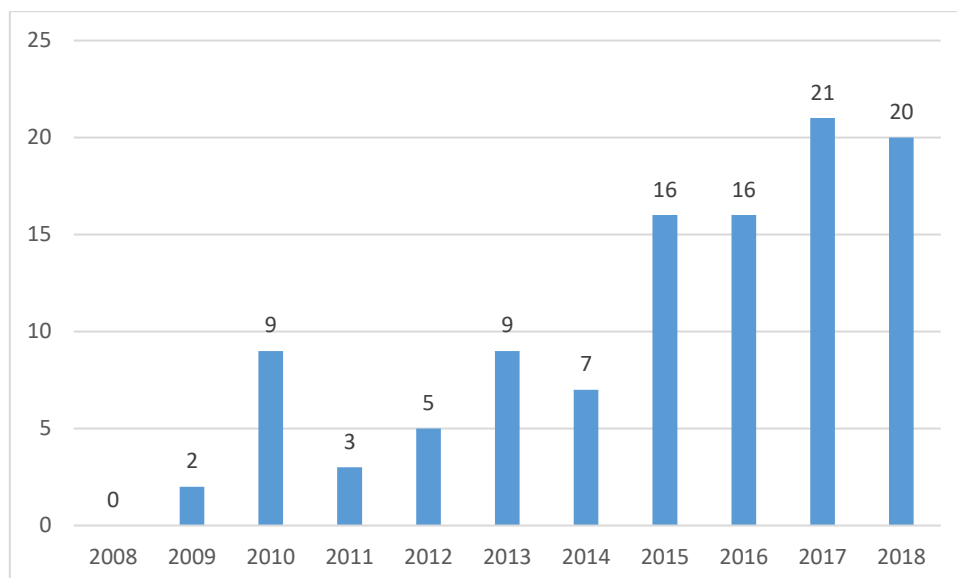


Stojčić et al., (2019) Aplicación de métodos MCDM en Ingeniería de la Sostenibilidad: Una Revisión de la Literatura 2008-2018. – Traducción.

Nota: los valores mostrados en esta figura, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

- También evidenciaron una creciente tendencia a la utilización de las metodologías MCDM, la cual se observa en la Figura 6.

Figura 6
Número de artículos publicados (recopilados) sobre MCDM en ingeniería sostenible por años.



Stojčić et al., (2019) Aplicación de métodos MCDM en Ingeniería de la Sostenibilidad: Una Revisión de la Literatura 2008-2018. – Traducción.

Nota: los valores mostrados en esta figura, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Mutlag et al., (2020)⁸ realizaron una investigación para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada en plantas de energía para la ciudad de Bagdad, para ello utilizaron la metodología MCDM basada en el método AHP. En este caso, los autores pretendían encontrar los indicadores más adecuado para su control.

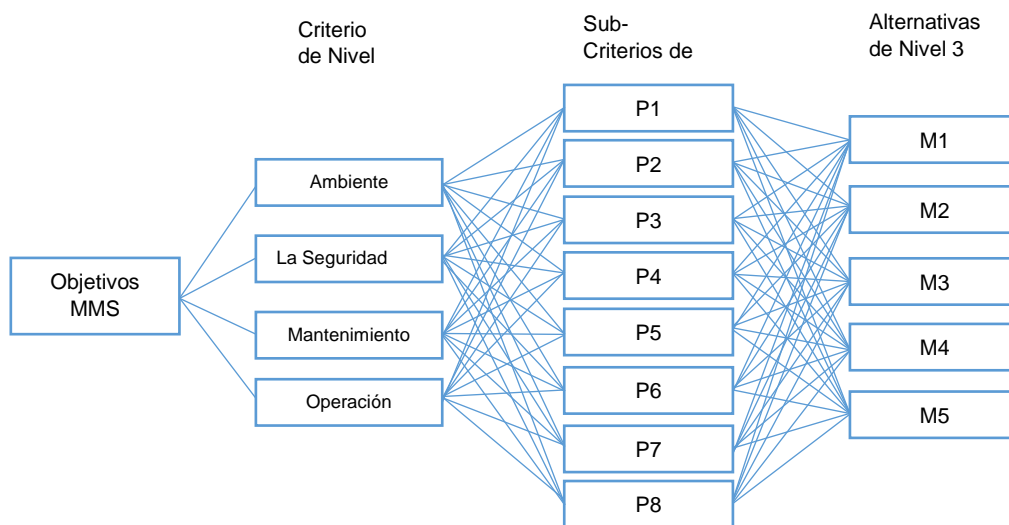
Luego de realizar un investigación sobre el tipo de estrategia a evaluar y los indicadores más utilizados para su seguimiento, los autores seleccionaron el siguiente conjunto de alternativas de sistema de gestión de mantenimiento (MMS); éxito o fracaso M1, avería no planificada M2, mantenimiento preventivo M3, mantenimiento proactivo M4, mantenimiento predictivo M5 con un conjunto de indicadores clave de rendimiento (KPI) en relación con el entorno P1, seguridad P2, operación de

⁸ Mutlag, S. A., Dawood, H. K., Info, A., History, A., Plants, P., & Maintenance, P. (2020). A maintenance management -based decision Support System for multicriteria using AHP methodology for power plants. *Test Engineering and Management*.

mantenimiento P3, formación P4, combustible P5, costo de mantenimiento P6, calidad P7 y tamaño de tripulación P8.

A continuación, los autores realizaron un total de 40 encuestas a personal relacionado con este tipo de industria, para la calificación de los criterios seleccionados con dicha información realizaron la aplicación de las matrices de comparación que el método AHP establece; en la Figura 7 se ve la estructura metodológica del método.

Figura 7
Árbol Jerárquico de Decisiones – Traducción.



Mutlag et al., (2020) **Una Gestión de Mantenimiento - Sistema de Apoyo a la Decisión basado en Multicriterio utilizando Metodología AHP para Centrales Eléctricas. – Traducción.**

Por último, como las principales conclusiones de este trabajo encontramos:

- Que el método AHP proporciona redundancia para la asignación de preferencias de criterios, alternativas y mecanismos para validar la coherencia.
- Que el mejor rango de la alternativa fue el mantenimiento preventivo M3 (11.85).
- Y los sub criterios más efectivos son el combustible P5 (17.3), el entorno P1 (17.7) y la capacitación de las habilidades del trabajador de mantenimiento P8 (16.87).

La Tabla 9 muestra el arreglo jerárquico de cada una de las 5 alternativas, respecto a cada sub criterio definido.

Tabla 9
Jerarquización de Alternativas – Traducción.

	1	2	3	4	5	6	7	8		
Alternativas	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	$\sum w_i/n$	MARCADOR
M1	6.17	6.64	6.24	19.42	8.69	7.47	8.39	10.11	0.15	8.69
M2	0	9.27	7.18	10.44	9.43	9.55	9.1	11.27	0.083	7.75
M3	17.7	8.68	18.65	13.12	17.32	16.01	16.87	12.25	0.2	11.85
M4	17.84	16.93	17.46	15.09	16.8	16.65	16.31	16.11	0.107	9.67
M5	71.55	14.37	16.47	16.63	14.81	16.06	15.21	13.49	0.159	7.42
									0.165	
									0.059	
									0.078	

Mutlag et al., (2020) **Una Gestión de Mantenimiento - Sistema de Apoyo a la Decisión basado en Multicriterio utilizando Metodología AHP para Centrales Eléctricas – Traducción.**

- *Alternativas:* representa cada una de las 5 alternativas evaluadas.
- *P1-P8:* Representan cada uno de los 8 criterios de evaluación
- *$\sum w_i/n$:* Es el valor ponderado de cada criterio.
- *Marcador:* Es el valor final de cada una de las alternativas, luego del proceso de evaluación.

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Camargo-Pérez et al., (2013)⁹ utilizan la toma de decisiones basado en múltiples criterios con el propósito de identificar la ubicación de los mejores nodos de transferencia para un sistema de transporte de pasajeros basado en buses de alta capacidad mediante el método AHP.

Durante la evaluación y basados en lo observado en muchas de las publicaciones científicas Camargo-Pérez et al., (2013) definieron que los criterios de evaluación que serían parte del análisis considerarían aspectos económicos, logísticos, sociales y ambientales. Los autores argumentan que la utilización del método AHP se determinó dado que este es un método ampliamente utilizado en el diseño y operación de

⁹ Camargo-Pérez, J., Montoya-Torres, J. R., & Ramírez, M. H. C. (2013). Multi-criteria Decision Making for Locating Multimodal Transfer Nodes in Passenger Transport Systems. *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*.

transporte de pasajeros, además de poseer la característica de permitir la priorización de alternativas.

Para la aplicación en el caso de estudio, se partió por la definición de 10 posibles puntos de transferencia de manera aleatoria. Seguidamente establecieron los criterios y subcriterios de evaluación, los cuales fueron:

Criterios relacionados con la logística:

- C1: Superficie (Ha).
- C2: Cobertura (cantidad de población cubierta por el nodo de transferencia por unidad de área).
- C3: Accesibilidad (cantidad de caminos, y su tipo que conducen al nodo).
- C4: Corredor de reservas (si existen o no carreteras secundarias que reduzcan el área total).
- C5: Facilidad de integración (ubicación más propicia para integrar el mayor número de modos de transporte).

Criterio relacionado con el medio ambiente:

- C6: Cercanía a cocheras. Este criterio permitirá, indirectamente, reducir la contaminación (carbono y otras emisiones) durante el transporte vacío.

Criterios económicos (relacionados de hecho con cuestiones macroeconómicas):

- C7: Demanda (medida en términos de número de viajes que comienzan y terminan en el nodo)
- C8: Crecimiento demográfico (crecimiento esperado de la población)
- C9: Respeto de la cercanía permitida a los centros de salud, viviendas y zonas de recreo
- Criterios sociales / relacionados con la sociedad:
- C10: Accesibilidad social, medida en términos de la cantidad de población de menores ingresos que vive cerca del nodo de transferencia.

Luego de realizar la aplicación de cada uno de los pasos del método para la evaluación de las diferentes alternativas (puntos de ubicación), se obtuvieron los resultados que se presentan en el ranking de la Tabla 10.

Tabla 10
Clasificación de Alternativas - Traducción.

	Grado total	Alternativa		Grado total	Alternativa
1	0.0866015	Punto 7	6	0.051638	Punto 2
2	0.0709484	Punto 4	7	0.0450942	Punto 3
3	0.059562	Punto 6	8	0.044948	Punto 9
4	0.0589552	Punto 9	9	0.0439882	Punto 10
5	0.0556798	Punto 10	10	0.0178567	Punto 5

Camargo-Pérez et al., (2013) Toma De Decisiones Multicriterio Para Localizar Nodos De Transbordo Multimodal En Sistemas De Transporte De Pasajeros – Traducción.

- *Grado total: Es el valor final encontrada para cada una de las 10 alternativas (puntos de transferencia de pasajeros) luego del proceso de evaluación.*
- *Alternativa: Representa cada una de las 10 alternativas (puntos de transferencia de pasajeros).*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Kiani Mavi et al., (2018)¹⁰ en su trabajo de investigación plantearon un marco conceptual para modelar un sistema BRT en la ciudad de Teherán mediante la simulación de 4 escenarios distintos, utilizando el Software especializado “Arena 14” y tomando como base la información recolectada mediante observaciones de campo en la Línea 1 de la red BRT ya existente en la ciudad. Cada uno de estos escenarios planteaba diferentes alternativas en la forma de operar las unidades, con el único propósito de optimizar los tiempos de tránsito de los pasajeros en el sistema.

La simulación trataba de mostrar qué escenario disminuye el tiempo de espera más que otros. Los datos de número de viajeros, tiempo medio de espera en cada estación de autobuses, número de autobuses activos y su horario, los obtuvieron del municipio de Teherán. Los resultados de la simulación fueron entradas para SWARA-G para sopesar los criterios de evaluación.

A continuación, estos 4 escenarios fueron evaluados y calificados mediante el uso de un MCDM híbrido que combina las metodologías SWARA-G Y COPRAS-G.

¹⁰ Kiani Mavi, R., Zarbakhshnia, N., & Khazraei, A. (2018). Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach. *Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.03.010>

Dentro de las razones para seleccionar a Teherán fueron:

1. Una notable mejora de BRT.
2. La alta capacidad de combinación con otros sistemas de transporte público, por ejemplo, ferrocarriles locales, autobuses locales, algunas líneas del sistema subterráneo.
3. Un entorno urbano muy variado.

Los datos oficiales muestran que el sistema BRT incluye 10 líneas, cubre casi 500 km y 410 estaciones. Por su parte la Línea 1, cubre 37,4 km y 25 estaciones de transferencia en los 2 sentidos. El número de autobuses activos en esta línea es de 165 autobuses biarticulados con capacidad para 52 personas sentadas y 38 personas de pie. El intervalo de movimiento de los buses durante las horas pico es de 3 min (180 s) y fuera de las horas pico es de 5 min (300 s). Los servicios de BRT funcionan 24/7 en esta línea.

Para optimizar (minimizar) el promedio de tiempo de espera de los pasajeros, los autores definieron cuatro escenarios; con base en estudios de factibilidad previos a su investigación, estos escenarios se seleccionaron entre muchas opciones diferentes en términos de practicidad y facilidad de uso. Las variables de decisión consideradas para simular los escenarios fueron el número de buses activos en la línea por día y el número promedio de pasajeros en cada estación de bus.

Los 4 escenarios seleccionados fueron los siguientes:

Escenario 1. Agregar buses a la línea BRT (Aumentar el número de buses de 165 a 200). Teherán es una ciudad muy concurrida en la que la línea 1 de BRT sirve las 24 horas del día, los 7 días de la semana. Aunque 165 buses están activos en la línea 1, pero para una mejor prestación del servicio, se necesitan más buses para las horas pico. En algunas estaciones, la cola de pasajeros que esperan es demasiado larga y están parados fuera de la estación de autobuses.

Escenario 2. Acelerar los buses (Aumentar la velocidad promedio de los buses de 18 a 24 km/h). La línea 1 de BRT está separada de otras líneas de la carretera, por lo que no hay embotellamientos que impidan que los autobuses circulen a mayor velocidad. En algunas partes de la ruta, no hay intersección ni semáforo para que los autobuses puedan conducir rápido.

Escenario 3. Reducir el tiempo de retraso (Disminuir el tiempo de retraso a 30 s en cada parada).

Debido a que el número de subidas y bajadas en cada estación de autobuses es diferente a las demás y en algunos momentos, no hay bajadas e incluso subidas en algunas estaciones, por lo que el tiempo medio de retraso en cada parada puede disminuir a 30 s.

Escenario 4. Incrementar la capacidad de los buses (Aumentar el número de asientos o la capacidad de los buses de 90 personas a 120, tanto de asiento como de pie).

Hay una gran cantidad de espacio dentro de los autobuses en el que se pueden instalar nuevos asientos. Las ventajas de agregar asientos a los buses son la disponibilidad de asientos para más pasajeros y la posibilidad de subir más personas al bus.

Para clasificar los escenarios de simulación, se consideraron 17 criterios en 4 dimensiones (económico, ambiental, social, riesgo y seguridad). El SWARA-G que propusieron se utilizó para sopesar los criterios de evaluación. En este estudio participaron 20 expertos del municipio de Teherán con experiencia en gestión urbana, ingeniería civil e ingeniería de transporte. Todos los expertos completaron dos cuestionarios: 1) comparación de criterios por pares para averiguar su peso relativo de preferencia utilizando variables lingüísticas (para hacer el SWARA gris), 2) escenarios de simulación de calificación con variables lingüísticas (para hacer el COPRAS gris). La Tabla 12 muestra la clasificación de cuatro escenarios simulados.

Tabla 11
El grado de utilidad y ranking de escenarios - Traducción.

Escenario	P _j	R _j	Q _j	U _j (%)	Calificación
Añadir autobuses a la línea BRT (C1)	0.194	0.136	0.2655	100	1
Acelerar los autobuses BRT (C2)	0.17	0.109	0.2591	97.57	2
Reducir el tiempo de retraso (C3)	0.088	0.066	0.2361	88.91	4
Incrementar la capacidad de los buses (C4)	0.149	0.098	0.2485	93.57	3

Kiani Mavi et al., (2018) **Buses De Transito Rapido (Brt): Un Enfoque Basado En La Simulación Y La Toma De Decisiones Multicriterio – Traducción.**

- *Escenario: Son cada uno de las 5 alternativas sometidas a evaluación.*
- *Pj: Importancia relativa mayor de cada criterio.*
- *Rj: Importancia relativa menor de cada criterio.*
- *Qj: el peso máximo de la alternativa*
- *Uj (%): El grado de utilidad de cada alternativa.*
- *Calificación: Es la categoría final encontrada para cada una de los 4 escenarios luego del proceso de evaluación.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Para Kiani Mavi et al., (2018) las contribuciones de su trabajo fueron 1) el desarrollo de la técnica SWARA-G para pesar los factores de evaluación, y 2) el desarrollo de una taxonomía de criterios para analizar y seleccionar los modos de transporte. Como resultado de la evaluación del caso de estudio, evidenciaron que agregar autobuses a la línea BRT es el escenario más preferible.

❖ Erdogan & Kaya, (2019)¹¹ en su trabajo propusieron una metodología MCDM que consiste en el método Delphi, el proceso de jerarquía analítica (AHP) basado en conjuntos difusos tipo 2 y enfoques estocásticos TOPSIS (técnica para la preferencia de orden por similitud con la solución ideal) para determinar el orden de importancia de fallas que ocurren en el sistema BRT utilizado en Estambul.

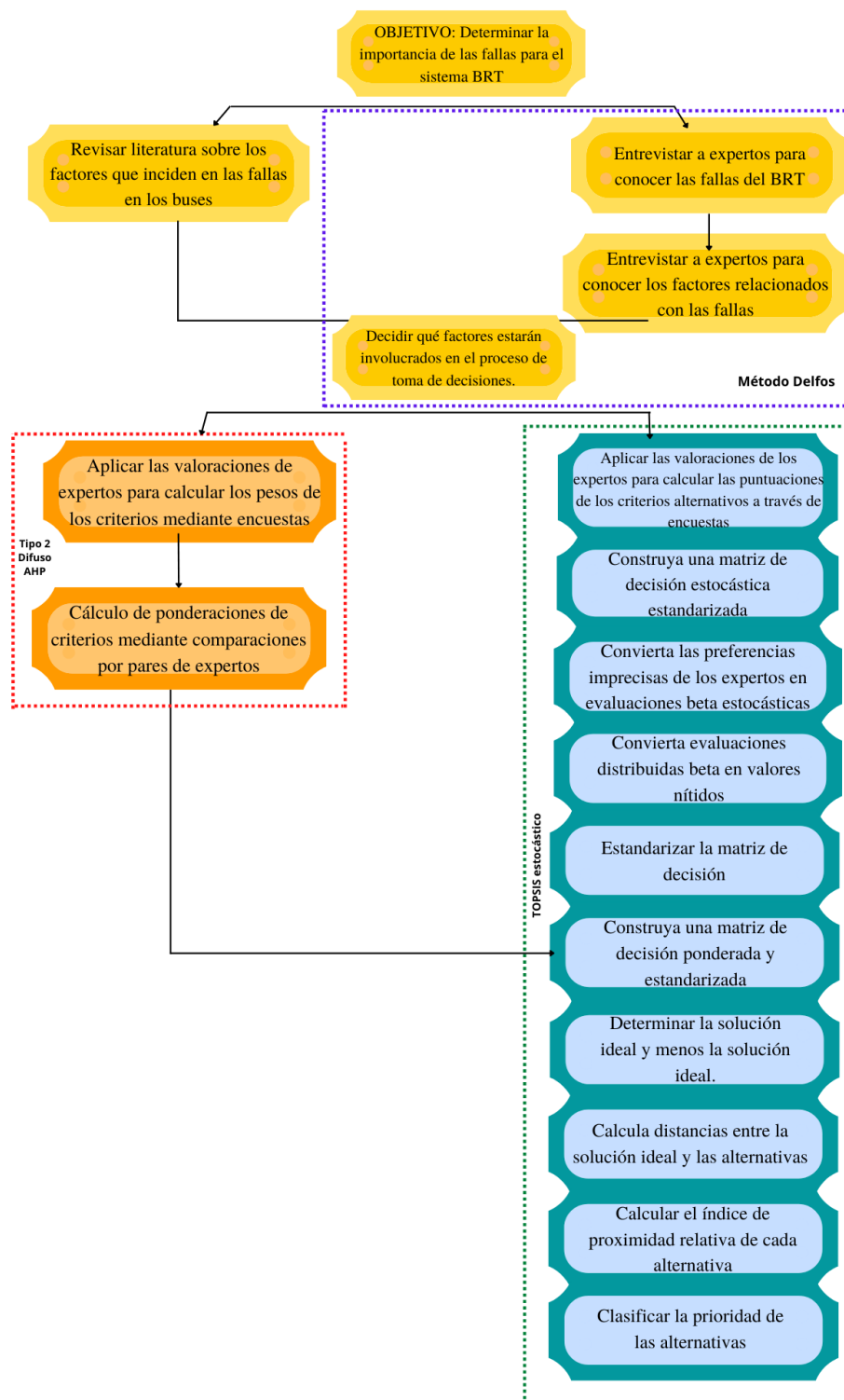
El método AHP basado en conjuntos difusos tipo 2 fue utilizado para el cálculo de criterios. Luego, el orden de las fallas se determina utilizando el método estocástico TOPSIS.

Para su aplicación en un caso de estudio real, los autores toman como fuente de referencia el sistema Metrobús de la ciudad de Estambul, Turquía. Como ya se mencionó, su objetivo era establecer una metodología para determinar el orden de las fallas presentadas en las unidades, en función de las medidas a tomar en el mantenimiento y poder así mejorar la fiabilidad de las unidades durante el servicio, disminuyendo la afectación a los usuarios y mejorando la imagen del sistema. La Figura 8, muestra el diagrama de flujo de la metodología propuesta, en la cual se

¹¹ Erdogan, M., & Kaya, I. (2019). Prioritizing failures by using hybrid multi criteria decision making methodology with a real case application. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.027>

combinaron las metodologías AHP basado en conjuntos difusos tipo 2 y enfoques estocásticos TOPSIS.

Figura 8
Diagrama De Flujo De La Metodología Propuesta – Traducción.



Erdogan & Kaya, (2019) Priorización de Averías Mediante una Metodología Híbrida de Toma de Decisiones Multicriterio con Aplicación a un Caso Real – Traducción.

Como fuente para la selección de los criterios de evaluación de las fallas, los autores consultaron un grupo de expertos y realizaron las evaluaciones correspondientes. Como resultado de estos, se identificaron 5 criterios que pueden ser los más relevantes: C1: tiempo de reparación, C2: frecuencia de fallas, C3: potencial para crear peligro, C4: nivel de influencia de la línea y C5: costo de falla. Con la información de las matrices de comparación diligenciadas por los expertos y utilizando el método AHP basado en conjuntos difusos tipo 2, la Tabla 13, muestra los pesos de calculados de cada criterio.

Tabla 12
Pesos Calculados para Cada Criterio– Traducción.

Pesos de los Criterios	
C1	0.093
C2	0.145
C3	0.200
C4	0.159
C5	0.544

Erdogan & Kaya, (2019) Priorización De Averías Mediante Una Metodología Híbrida De Toma De Decisiones Con Criterios Múltiples – Traducción.

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Como resultado de los cálculos, la falla con mayor prioridad se determina como “Falla de Motor” con un valor de 0.686. Esta falla es seguida por “Inyección de combustible” con un valor de índice de 0.621. Por otra parte, la alternativa que se encuentra al final de la lista es la falla de la máquina de boletos inteligentes. Es bastante razonable encontrar esta falla en último lugar dado que no afecta el desempeño de los vehículos. La falla que se encuentra en la fila anterior de la máquina de boletos inteligentes es la falla del sistema de aire acondicionado. Aunque el tipo de avería es bastante frecuente, de nuevo se encuentra en un lugar razonable porque sólo es causada por problemas en el vehículo y no afecta demasiado al vehículo ni a la línea en curso.

❖ Villacreses et al., (2017)¹² abordaron el estudio para identificar la ubicación más adecuada para la instalación de parques eólicos sobre toda la zona continental del país del Ecuador. Para dar solución a esta problemática, los autores tomaron como base los MCDM, más específicamente el método de proceso de jerarquía analítica (AHP) basado en un sistema Información Geográfica (GIS) para la calificación de los criterios de selección.

Adicionalmente, para la evaluación de todas las zonas seleccionadas y poder identificar cuáles eran las más adecuadas para el fin buscado, validaron cuatro métodos MCDM diferentes para comparar los resultados. Para dicha comparación aplicaron un índice de rendimiento general (OPI) para evaluar los resultados y finalmente, la correspondencia mutua entre los métodos MCDM fue evaluada por un coeficiente de correlación de Pearson.

Los GIS son herramientas de investigación y aplicación, y componen de una serie de campos académicos, incluida la tecnología eólica. Los GIS están diseñados para almacenar, recuperar, manipular, analizar y mapear datos geográficos.

Los autores expusieron por qué la energía eólica es considerada la fuente de implantación energética de mayor crecimiento en el mundo, y lo argumentaron con cinco factores que se listan a continuación:

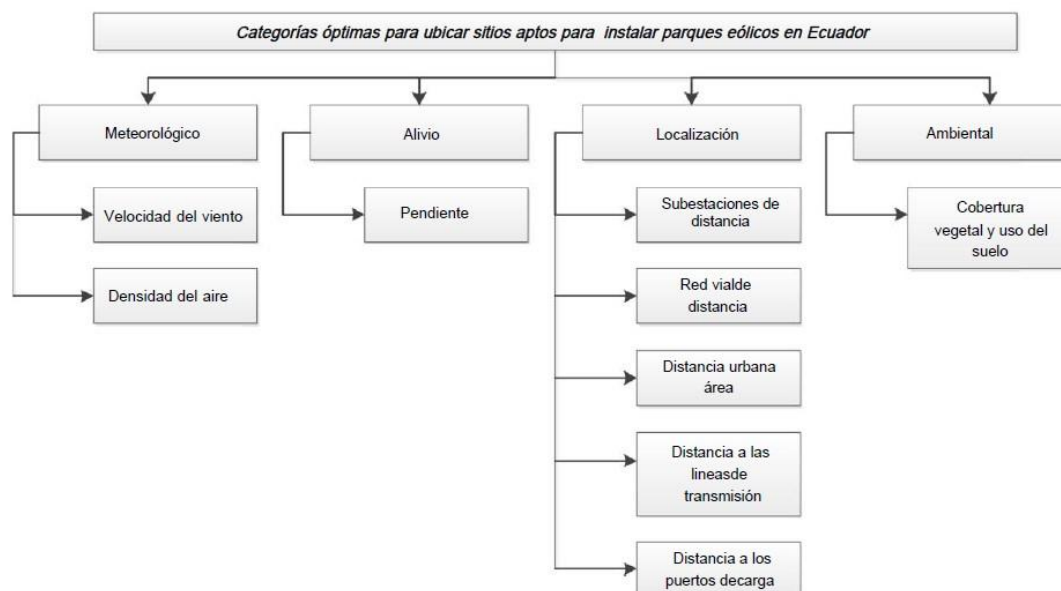
- La necesidad ligada al progresivo agotamiento de los combustibles fósiles y la búsqueda de un desarrollo energético sostenible sin comprometer a las generaciones futuras.
- Potencial de suficientes recursos eólicos en varias partes de la tierra.
- Capacidad tecnológica para desarrollar aerogeneradores cada vez más eficientes.
- La visión de los pioneros en este campo, que en la segunda mitad del siglo pasado lideraron el desarrollo tecnológico llevándonos a la situación actual.
- Las políticas para facilitar la implantación de la energía eólica, tanto en materia de trámites administrativos como de compensación a los productores.

¹² Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.041>

Los criterios seleccionados por Villacreses et al., (2017) determinaron cuatro elementos por su importancia para esta investigación: meteorológico, relieve, ubicación y ambiental. Los factores los clasificaron según su correspondencia e importancia dentro de las diferentes categorías, la Figura 9 presenta la jerarquía de criterios sujetos a servir como punto de partida.

La investigación la realizaron en dos etapas; el primero fue la definición de factores y restricciones en el área investigada. Por ello, la información fue elaborada mediante un proceso de rasterización y estandarización. La segunda etapa consistió en una evaluación del sitio más adecuado a través de métodos MCDM.

Figura 9
Jerarquía de criterios y factores -Traducción.



Villacreses et al., (2017) **Localización de la Idoneidad de Parques Eólicos Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), Basado en Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM): El Caso del Ecuador Continental. – Traducción.**

Entrando a la etapa de resultados, la Tabla 13, resume los resultados obtenidos para el cálculo de los pesos de los componentes y factores evaluados.

Con los resultados obtenidos, se observa que el elemento más importante fue el Meteorológico (53,1%), el segundo fue el Relieve (21,5%), el tercero la Localización (21,5%), y el de menor importancia fue el Ambiental (3,9%). Con esta información como base se hizo el cálculo de los modelos matemáticos para los métodos OWA,

VIKOR, OCRA y TOPSIS mediante el uso del software R. La Figura 10 resume los resultados obtenidos por cada método.

Tabla 13
Pesos de los componentes y sus factores - Traducción.

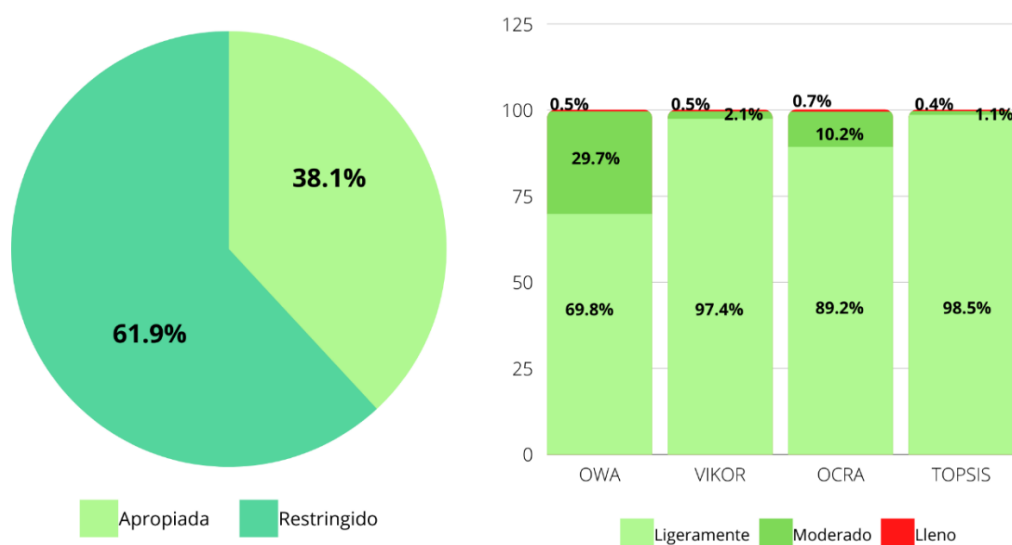
Categoría	Peso	Factor	Peso
Meteorológico	0,5309	Velocidad de viento	0,3982
		Densidad de Aire	0,1327
Relieve	0,2151	Pendiente	0,2151
Localización	0,215	Distancia de subestaciones eléctricas	0,1009
		Distancia a la red de carreteras	0,0432
		Distancia al área urbana	0,0432
		Distancia a las líneas de transmisión	0,0185
		Distancia a los puertos de carga	0,0092
Ambiental	0,039	Cobertura vegetal y uso del subsuelo	0,039

Villacreses et al., (2017) **Localización de la Idoneidad de Parques Eólicos Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), Basado en Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM): El Caso del Ecuador Continental. – Traducción.**

- *Categoría: Son los factores principales para evaluar la idoneidad de la ubicación.*
- *Peso: Es el valor total de cada factor luego del cálculo.*
- *Factor: Son los variables individuales que miden el desempeño de cada categoría principal.*
- *Peso: Es el peso total calculado para cada factor individual.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Figura 10
Distribución de superficie adecuada (izquierda) y clasificación de
métodos MCDM para superficie terrestre adecuada (derecha) -
Traducción.



Villacreses et al., (2017) **Localización de la Idoneidad de Parques Eólicos Mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), Basado en Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM): El Caso del Ecuador Continental. – Traducción.**

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Los resultados del caso de estudio muestran que las ubicaciones adecuadas fueron asentadas en la región andina, específicamente en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Chimborazo, Azuay y Loja.

❖ Erdogan & Kaya, (2016)¹³ realizaron una investigación basada en una metodología Multi- Criterio para identificar cual sería la tecnología de motor más adecuada para los autobuses del sistema público de transporte de pasajeros, encaminado a desestimular el uso de los transportes articuladores y así contribuir a disminuir el impacto ambiental y en la salud humana causado por los sistemas de transporte en la ciudad de Estambul.

La necesidad de reducir el impacto negativo de los contaminantes y mejorar la calidad del aire en las áreas metropolitanas debe impulsar a las empresas de transporte

¹³ Erdogan, M., & Kaya, I. (2016). Evaluating alternative-fuel busses for public transportation in Istanbul using interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*.

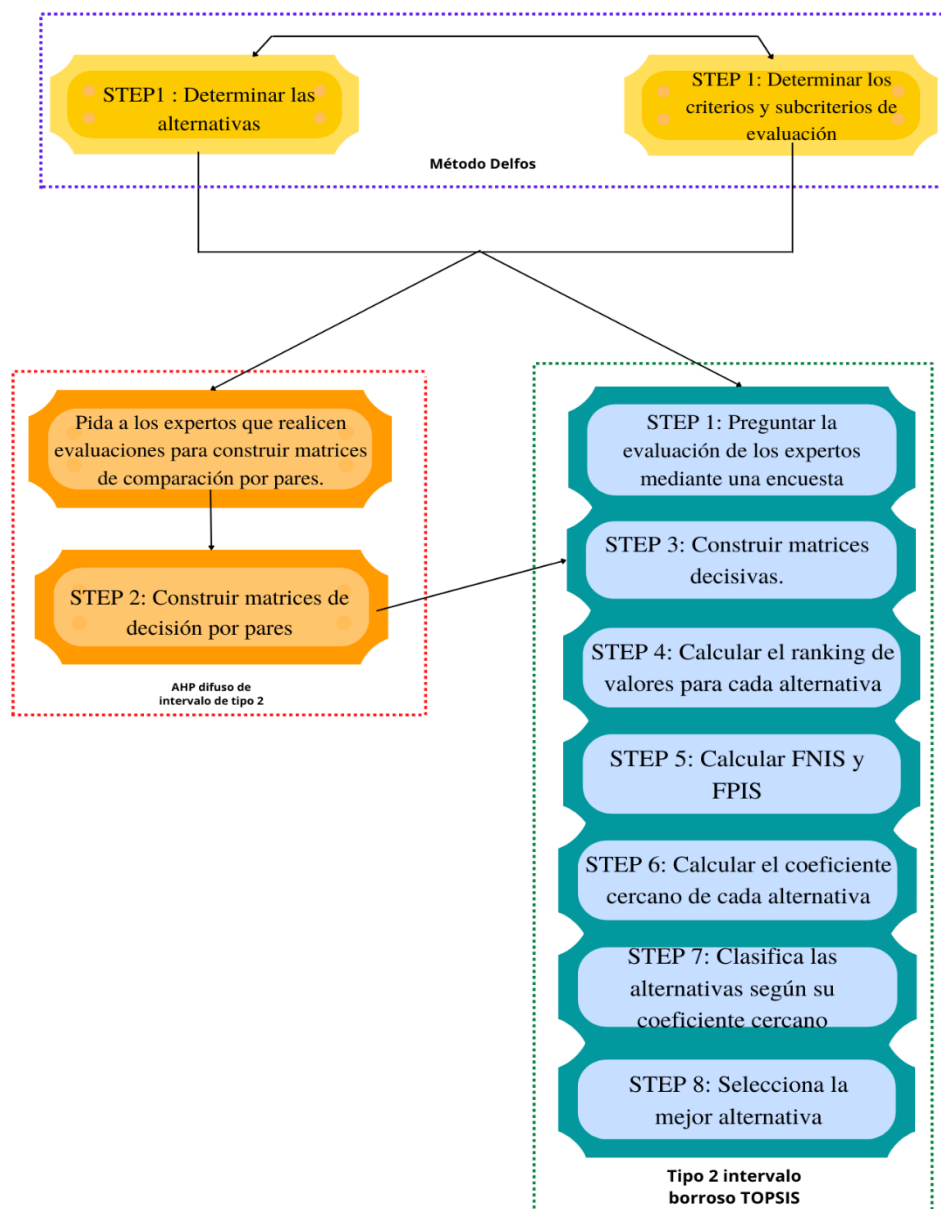
público a promover el uso de autobuses de combustible alternativo. Para este caso, dentro de las tecnologías que los autores consideraron evaluar fueron:

- Motor Diesel Convencional (CDE): El motor diésel es el más eficiente de todos los motores de combustión interna existentes; haciendo que se introduzca en el conjunto de alternativas para compararlo con los nuevos modos de combustible.
- Gas natural comprimido (GNC): El gas natural se utiliza en varias formas como combustible para vehículos, es decir, gas natural comprimido (GNC), gas natural licuado (GNL) y gas natural adjunto (ANG). El gas natural comprimido vehicular está muy extendido en países con gas natural propio. Los vehículos de GNC emiten solo pequeñas cantidades de dióxido de carbono y tienen un valor de alto octanaje; por lo tanto, son adecuados para su utilización como vehículos de transporte público.
- Gas propano licuado (GLP): Hay países que han utilizado este modo de combustible para el transporte público. En Japón, Italia y Canadá, los autobuses funcionan con GLP, y algunos países europeos planean emplear vehículos de GLP debido a consideraciones de contaminación.
- Recarga de oportunidad de vehículos eléctricos (OCEV): La fuente de energía para el vehículo eléctrico de carga de oportunidad (OCEV) es la combinación de una batería cargada y una carga de oportunidad rápida durante el tiempo que el autobús está inactivo cuando se detiene. Cada vez que el autobús sale del depósito, su batería estará completamente cargada. Durante los 10 a 20 s en que el bus está detenido, el sensor de recepción de energía en el bus eléctrico (instalado debajo del bus) se bajará a la placa de suministro de carga instalada frente a la parada del bus para cargar la batería. Dentro de los 10s de una parada, la batería se carga con una potencia de 0,15 kWh (dependiendo del diseño de la instalación de suministro de energía) y la potencia suministrada es adecuada para que se mueva a la siguiente parada de autobús.

Para la selección de mejor alternativa, Erdogan & Kaya, (2016) propusieron una metodología difusa que consiste en la metodología Delphi para determinar criterios y alternativas. A continuación, el uso del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) basado en

conjuntos difusos tipo 2 de intervalo para los pesos de los criterios y finalmente, La Técnica de Orden de Preferencia por Semejanza a Solución Ideal (TOPSIS) difusa de intervalo tipo 2 para evaluar alternativas y determinar la clasificación de las alternativas. La Figura 11, resume la forma en la cual estas tres metodologías están correlacionadas.

Figura 11
Diagrama de flujo de la metodología difusa MCDM propuesta - Traducción



Erdogan & Kaya, (2016) Evaluación de Autobuses de Combustible Alternativo para el Transporte Público en Estambul Mediante AHP Difuso de Intervalo Tipo 2 y TOPSIS. – Traducción.

Utilizando la Metodología Delphi y con el apoyo de tres expertos del Istanbul Electric Tramway and Tunnel Establishment (IETT), seleccionaron un total de 5 criterios y 16 sub criterios de todos los identificados luego de su revisión bibliográfica. La Tabla 14 resume los resultados.

Tabla 14
Los Criterios Y Subcriterios De Evaluación – Traducción.

Criterios	Subcriterios	Criterios	Subcriterios
C1: Costo	C1.1: Costo de implementación	C4: Energía	C4.1: Suministro de energía
	C1.2: Costo de madurez de la tecnología		C4.2: Eficiencia energética
	C1.3: Coste de la energía		C4.3: Seguridad energética
	C1.4: Costos de mantenimiento		C5.1: Empleo
C2: Ambiental	C2.1: Contaminación del aire	C5: Sociales	C5.2: Bienestar social
	C2.2: Contaminación acústica		C5.3: Sensación de comodidad
C3: Técnico	C3.1: Capacidad del vehículo		
	C3.2: Instalación vial		
	C3.3: Velocidad del flujo de tráfico		
	C3.4: Relación laboral		

Erdogan & Kaya, (2016) Evaluación de Autobuses de Combustible Alternativo para el Transporte Público en Estambul Mediante AHP Difuso de Intervalo Tipo 2 y TOPSIS. – Traducción.

Por último, luego de conocer los pesos de cada criterio mediante el AHP difuso, estos fueron integrados al TOPSIS difuso para realizar la clasificación final de las alternativas. En la Tabla 15, se muestran los resultados obtenidos. En ella, se observa que la alternativa mejor clasificada son los motores a Gas Natural Comprimido (GNC), seguidos muy de cerca por los vehículos eléctricos (OCEV), los motores a Gas Natural Licuado (GLP) y por ultimo los motores Diesel Convencional (CDE).

Tabla 15
Clasificación de Alternativas - Traducción.

	C(xj)	Clasificación
CDE	0.492	4
GNC	0.504	1
OCEV	0.502	2
GLP	0.501	3

Erdogan & Kaya, (2016) Evaluación de Autobuses de Combustible Alternativo para el Transporte Público en Estambul Mediante AHP Difuso de Intervalo Tipo 2 y TOPSIS. – Traducción.

- *C(xj): Es el valor total calculado para cada una de las 4 alternativas evaluadas.*
- *Clasificación: Es el ranking que se establece según los valores calculados.*

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

❖ Zak & Kruszyński, (2015)¹⁴ realizaron una investigación con el objetivo de realizar una clasificación a 18 proyectos de transporte. Partieron de definirlos como problemas de clasificación de múltiples niveles y múltiples criterios para lo que utilizaron los Métodos Multicriterio para la Toma de Decisiones (MCDM) como herramienta para su evaluación. Para este caso de estudio, decidieron realizar una comparación entre los métodos Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), Eliminación y Opciones de Realidad III/IV (ELECTRE) y una tercera opción que es la combinación de los 2 métodos.

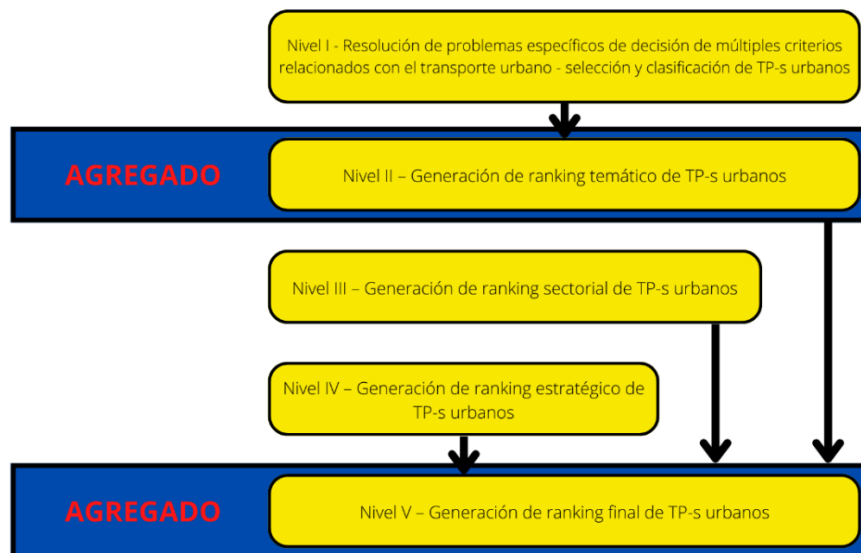
Los proyectos de transporte (PT) público son herramientas para satisfacer los principales objetivos de la política de transporte y la estrategia de desarrollo de la ciudad, y por lo tanto deben ser evaluados desde los aspectos estratégico, táctico y operativo. Dichos proyectos están enfocados a satisfacer las necesidades de diferentes grupos de población, por ello los autores categorizaron los proyectos en 4 grandes grupos:

- Proyectos de transporte privado (individual).
- Proyectos de transporte público.
- Proyectos de transporte no motorizado.
- Proyectos enfocados a la integración del sistema de transporte.

¹⁴ Zak, J., & Kruszyński, M. (2015). Application of AHP and ELECTRE III/IV methods to multiple level, multiple criteria evaluation of urban transportation projects. *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.035>

Dada la naturaleza de los proyectos y la complejidad para la evaluación de los mismo, los autores diseñaron una estrategia que comprendía un proceso de diferentes niveles, cada uno de ellos con diferentes alcances. En el nivel I se resuelven problemas específicos de decisión de transporte urbano, mientras que en los niveles II a IV se analizan subproblemas de decisión de criterio múltiple, aislados del problema de clasificación de criterio múltiple de nivel múltiple. La solución final al problema de decisión de varios niveles y criterios múltiples se logra en la última etapa (V). La Figura 12 resume la metodología planteada por Kruszynski, (2014) según citaron Zak & Kruszyński, (2015).

Figura 12
Metodología de evaluación de niveles múltiples y criterios múltiples de Proyectos de Transporte Urbano – traducción.



Zak & Kruszyński, (2015) Aplicación de los Métodos AHP y ELECTRE III/IV a la Evaluación de Múltiples Niveles y Criterios de Proyectos de Transporte Urbano. – Traducción.

Para realizar la evaluación de los PT, en cada uno de los niveles jerárquicos definidos en la metodología anterior y luego de realizar una investigación bibliográfica definieron una serie de criterios que permitirían evaluar los PT desde cada escenario táctico, la Tabla 16 los resume de la siguiente manera.

Tabla 16
Los conjuntos de criterios en cada nivel de la jerarquía de múltiples niveles de la metodología propuesta – Traducción.

NIVEL DE JERARQUIA	CRITERIOS	PROYECTO DE TRANSPORTE			
		TRANSPORTE PRIVADO	TRANSPORTE PÚBLICO	TRANSPORTE NO MOTORIZADO	TRANSPORTE DE INTEGRACIÓN
CRITERIOS OPERATIVOS (NIVEL II)	Costo de Inversión	OC-PrT-1	OC-PuT-1	OC-MN-1	OC-IT-1
	Rentabilidad de inversión	OC-PrT-2	OC-PuT-2	OC-MN-2	OC-IT-2
	Molestias en inversión	OC-PrT-3	OC-PuT-3	OC-MN-3	OC-IT-3
	Seguridad	OC-PrT-4	OC-PuT-4	OC-MN-4	-
	Calidad de Infraestructura	OC-PrT-5	OC-PuT-5	OC-MN-5	-
	Medio Ambiente	OC-PrT-6	OC-PuT-6	-	OC-IT-4
	Tiempo de viaje	OC-PrT-7	-	-	-
	Uso de la infraestructura	OC-PrT-8	-	-	-
	Velocidad promedio	-	OC-PuT-7	-	-
	Estándar de viaje	-	OC-PuT-8	-	-
	Directividad de conexiones	-	OC-PuT-9	-	-
	Progreso	-	OC-PuT-10	-	-
	Acceso al transporte	-	OC-PuT-11	-	OC-IT-5
	Relación de integración al sistema	-	-	OC-MN-6	OC-IT-6
CRITERIOS TÁCTICOS (NIVEL III)	Costos unitarios		TC-1		
	Accesibilidad del sistema		TC-2		
	Tiempo de viaje		TC-3		
	Seguridad		TC-4		
	Participación del transporte		TC-5		
	Integración del sistema		TC-6		
	Disponibilidad de estacionamientos		TC-7		
CRITERIOS ESTRATÉGICOS (NIVEL IV)	Productividad de inversión		SC-1		
	Impacto en el mercado laboral		SC-2		
	Competitividad de inversión		SC-3		
	Potencial académico		SC-4		
	Atractivo social		SC-5		
	Comodidad de vida		SC-6		
	Armonía espacial		SC-7		
	Imagen de la Ciudad		SC-8		
	Balance económico del área		SC-9		
	Nivel de integración metropolitana		SC-10		

Zak & Kruszyński, (2015) Aplicación de los Métodos AHP y ELECTRE III/IV a la Evaluación de Múltiples Niveles y Criterios de Proyectos de Transporte Urbano. – Traducción.

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Los métodos ELECTRE III/IV y AHP fueron seleccionados como las herramientas que mejor se ajustan a las características del problema de decisión (categoría, conjunto de variantes, número de criterios, tipo de información disponible).

Como conclusiones de su estudio, los autores reconocen que si bien hay una variación significativa de los resultados de clasificación respecto de cada uno de los métodos utilizados, por lo que evidentemente no es fácil identificar cual es el método más idóneo para la evaluación de los PT. Pero otro lado, los resultados obtenidos son consistentes en que 4 de los PT no cambian de posición en el ranking de cualquiera de los 3 métodos y estos son PrT-4 posición 1, PuT-4 posición 2, IT-1 posición 15 y PrT-6 posición 18. La Tabla 17 resume los resultados obtenidos.

Tabla 17
Resultados finales de experimentos computacionales. Clasificaciones
de TP-s basadas en el cálculo -Traducción.

VARIANTES	METODO AHP					METODO III/IV ELECTRO					METODO COMBINACIÓN AHP/ELECTRO				
	NIVEL				POSICIÓN EN EL RANKING	NIVELE				POSICIÓN EN EL RANKING	NIVEL				POSICIÓN EN EL RANKING
	II	III	IV	V		II	III	IV	V		II	III	IV	V	
	$U_{im} [\%]$	$U_{io} [\%]$	$U_{is} [\%]$	$U_{i33/33/33}$		$U_{im} [\%]$	$U_{io} [\%]$	$U_{is} [\%]$	$U_{i33/33/33}$		$U_{im} [\%]$	$U_{io} [\%]$	$U_{is} [\%]$	$U_{i33/33/33}$	
IT-1	5.32	2.4 ₁	3.62	3.78	15	5.56	1.78	2.31	3.21	15	5.32	1.78	2.31	3.14	15
IT-2	7.11	5.4 ₆	6.76	6.44	3	11.11	4.63	10.5 ₄	8.76	3	7.11	4.63	10.5 ₄	7.43	4
IT-3	4.22	3.0 ₁	4.33	3.85	14	0	3.38	7.74	3.71	13	4.22	3.38	7.74	5.11	13
MN-1	4.18	2.2 ₈	2.9	3.09	17	5.56	1.07	2.31	2.98	16	4.18	1.07	2.31	2.52	16
MN-2	7.25	3.8 ₆	2.83	4.65	10	5.56	9.07	2.31	5.65	8	7.25	9.07	2.31	6.21	6
MN-3	6.07	3.1 ₆	2.48	3.9	13	5.56	7.3	2.31	5.06	10	6.07	7.3	2.31	5.23	11
MN-4	4.69	3.4 ₁	2.5	3.53	16	5.56	9.25	2.31	5.71	9	4.69	9.25	2.31	5.42	7
PrT-1	7.87	7.3 ₄	3.89	6.37	4	11.67	5.87	2.31	6.62	6	7.87	5.87	2.31	5.35	9
PrT-2	3.11	5.6 ₆	10.04	6.27	7	0.97	3.74	6.1	3.6	14	3.11	3.74	6.1	4.32	14
PrT-3	4.97	7.2 ₈	4.62	5.52	8	8.26	3.74	7.74	6.58	7	4.97	3.74	7.74	5.48	8
PrT-4	11.56	18. ₂	17.85	15.87	1	6.8	12.0 ₉	11.1 ₉	10.03	1	11.56	12.0 ₉	11.1 ₉	11.61	1
PrT-5	4.81	8.3 ₅	5.71	6.29	6	6.32	8.19	9.22	7.91	4	4.81	8.19	9.22	7.41	5
PrT-6	3.04	2.2 ₈	3.61	2.98	18	0.97	0.71	2.31	1.33	18	3.04	0.71	2.31	2.02	18
PrT-7	3.49	6.0 ₉	9.51	6.36	5	3.89	9.79	9.88	7.85	5	3.49	9.79	9.88	7.72	3
PuT-1	4.22	2.5 ₉	5.19	4	11	0	5.51	6.26	3.92	12	4.22	5.51	6.26	5.33	10
PuT-2	4.76	5.8 ₃	4.43	5.01	9	4.44	0	2.31	2.25	17	4.76	0	2.31	2.36	17
PuT-3	5.06	3.6 ₅	3.3	4	11	4.44	4.63	5.77	4.95	11	5.06	4.63	5.77	5.15	12
PuT-4	8.27	9.2 ₄	6.15	7.89	2	13.33	9.25	7.08	9.88	2	8.27	9.25	7.08	8.02	2
Total	100	100	100	100		100	100	100	100		100	100	100	100	

Zak & Kruszyński, (2015) Aplicación de los Métodos AHP y ELECTRE III/IV a la Evaluación de Múltiples Niveles y Criterios de Proyectos de Transporte Urbano. – Traducción.

- $U_{im} [\%]$: utilidad i de la variante/proyecto de transporte urbano en el ranking de materias.
- $U_{io} [\%]$:utilidad i de transporte urbano variante. a criterios sectoriales.
- $U_{is} [\%]$:utilidad i de la variante de transporte urbano a criterios estratégicos.
- $U_{i33/33/33}$: utilidad i de la variante de transporte urbano en ranking final
- POSICIÓN EN EL RANKING: Posición individual en el ranking.

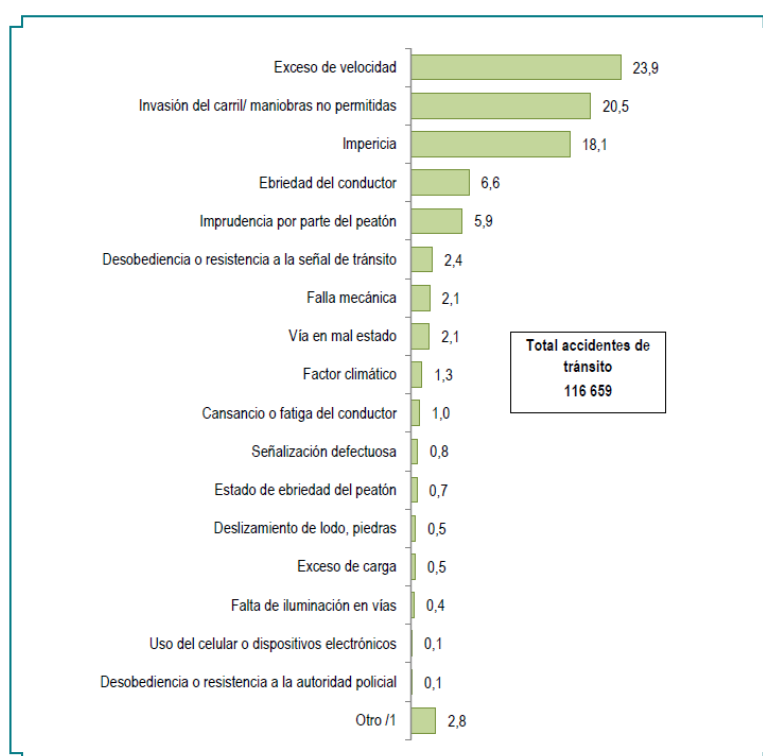
Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1 Descripción De La Realidad Problemática.

El transporte público tiene una realidad muy compleja en el país, como ejemplo de ello se ve que un alto porcentaje de las empresas de transporte público no cumplen con todas las reglamentaciones exigidas por la Gerencia de Transporte Urbano; que no cuentan con un sistema de gestión de flotas, ni una adecuada planificación para la gestión del mantenimiento, aspecto que deriva en un considerable índice de fallas que a su vez son las generadoras de accidentalidad. Respecto al último aspecto, según cifras del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) et al., (2018)¹⁵ y resumidas en la Figura 13, el 2.1% de los accidentes vehiculares se deben a falla mecánicas.

Figura 13
Perú: Accidentes De Tránsito, Según Causas Más Frecuentes, 2016.



1/ Comprende imprudencia del conductor, cruce de animal, negligencia del conductor, entre otros.

Nota 1: No se considera la información no identificada en las fuentes de información policial (Libro de ocurrencias y SIDPOL).

Nota 2: La suma de porcentaje supera el 100% debido a que el accidente puede haberse ocasionado por una o más causas.

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) et al., (2018) Perú - VI Censo Nacional de Comisarías 2017 Resultados Definitivos.

¹⁵ Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), Palomino, A., Huayaney, F., Moreno, J., & Lino, H. (2018). Perú: VI censo nacional de comisarias 2017 resultados definitivos. In *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Nota: Si bien el exceso de velocidad, las maniobras no permitidas entre otras, son las principales causales de accidentalidad en el Perú, pero dado que todas estas variables dependen de diversos factores socioculturales que el presente trabajo no tiene como alcance, solo se tomara como información referencial el índice de fallas mecánicas que es el campo donde el presente trabajo puede contribuir en su reducción.

El sistema Metropolitano de Lima inicia su operación en el 2010, el desarrollo de este proyecto ha tenido una serie de dificultades que no han permitido que 13 años después el periodo de inicio de la concesión se haya empezado a contabilizar. Dicho aspecto ha afectado seriamente a las 4 empresas que operan las 524 unidades que componen el sistema, causado por mantenerse dentro de un periodo de “marcha blanca” que no ha permitido realizar los ajustes tarifarios correspondiente según esta establecido en el contrato de concesión que cada operador tiene firmado con el concedente.

Este último aspecto afecta directamente a las áreas de mantenimiento de estas empresas, pues disponen de menos recursos económicos y se ven en la obligación de realizar una gestión de mantenimiento lo suficientemente estricta que les permita cumplir con los altos estándares operacionales con unidades que a julio del 2023 tienen 13 años de uso, pero que a su vez se haga con la mayor optimización de recursos posibles, lo que genera una mayor presión a los encargados de las áreas de mantenimiento.

Otra problemática que se suma, se encuentra en la cláusulas del contrato de concesión donde se establece que una vez que las unidades alcancen los 12 años o 1 millón de kilómetros recorridos estas quedarán imposibilitadas de seguir operando y deberán ser reemplazadas por unidades nuevas; dicho aspecto se ve comprometido al considerar que pasados 12 años de operación el crédito económico que permitió el financiamiento para el pago de los buses no ha sido cancelado, lo que ha generado que se emitan autorizaciones temporales para poder seguir operando a pesar de haber pasado el millón de kilómetros; dicho aspecto se traduce en el incremento de las fallas y la demanda de una mayor inversión económica para realizar el mantenimiento preventivo y reparaciones correctivas.

Para el análisis de este proyecto se tomará como fuente de información una de las cuatro empresas operadores del sistema Metropolitano de Lima, la cual cuenta con 119 buses en total, 78 de ellos son buses articulado (18 metros) los cuales circulan

en el sistema de carril segregado que recorre 18 distritos de la ciudad y cuenta con 38 estaciones; los 41 restantes son buses convencionales (12 metros.) que circulan en la vía mixta y son los encargados de hacer los servicios de alimentación del sistema en la zona sur de la ciudad.

La empresa ha identificado la necesidad de mejorar su sistema de indicadores que le permitan monitorear adecuadamente la operatividad y el desempeño de cada unidad en relación a la disponibilidad, cantidad que presentan fallas y demás indicadores de mantenimiento, que brinden la información necesaria para la toma de decisiones respecto a la estrategia de mantenimiento, misma que se ajustara con el propósito de alcanzar los estándares de cumplimiento exigidos en el contrato de concesión.

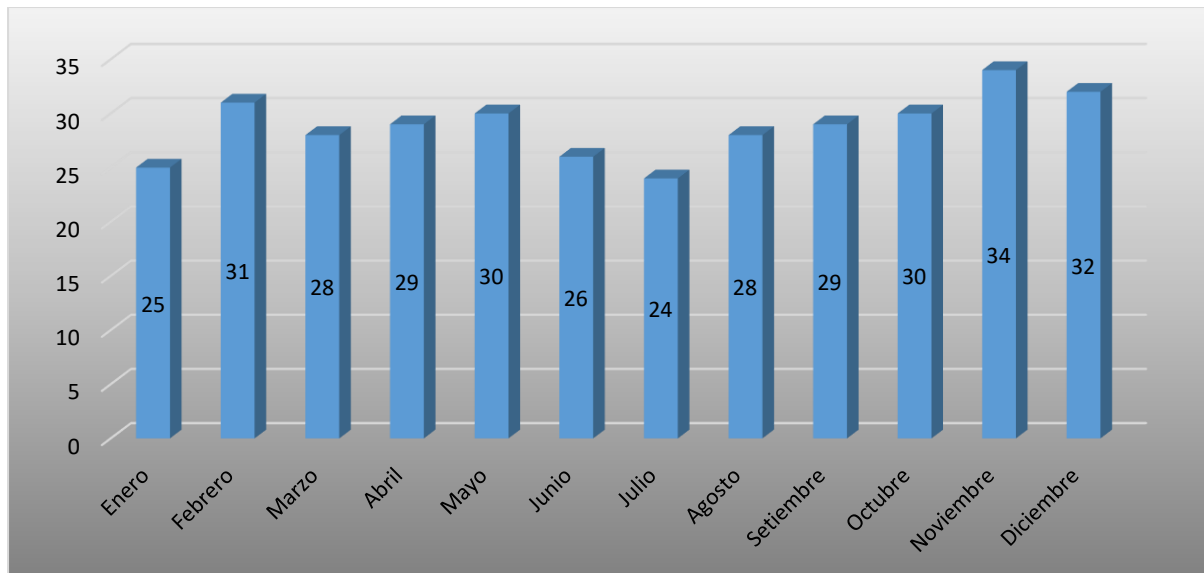
El no tener un procedimiento claro para la selección de los indicadores, ha derivado en un cambio continuo de estos o la forma de ser calculados a medida que han cambiado las personas responsables del área, pues cada uno de ellos ha establecido los indicadores que a criterio personal consideraban eran los más idóneos para la empresa. Adicionalmente, el registro de la información es parcial y no está centralizado en una base de datos de fácil consulta lo que genera que conocer el estado de los indicadores se torne en una tarea lenta y complicada de realizar.

Una condición adicional a tener en cuenta, es el hecho que estas unidades tienen un alto porcentaje de partes de baja calidad en su estructura, que sumadas a un proceso de fabricación deficiente que no cumplió con los estándares internacionales para la fabricación de carrocerías, genera una aleatoriedad mucho más alta en las tendencias de falla de cada uno de los componentes, la Figura 14 muestra el histórico de unidades que se vararon durante la prestación del servicio en el año 2022.

La falta de esta información ha representado un obstáculo realmente considerable para poder definir la planificación de las intervenciones y la elaboración de un presupuesto que realmente atienda las necesidades de reparación que los buses demandan. De la misma manera, la proyección de consumo de repuestos debe ser reajustada permanente ya que se ve alterada por los consumos no considerados previamente, la Figura 15 resume los costos de área en los últimos 5 años en millones de soles y el porcentaje que este valor representó de los costos totales de la empresa,

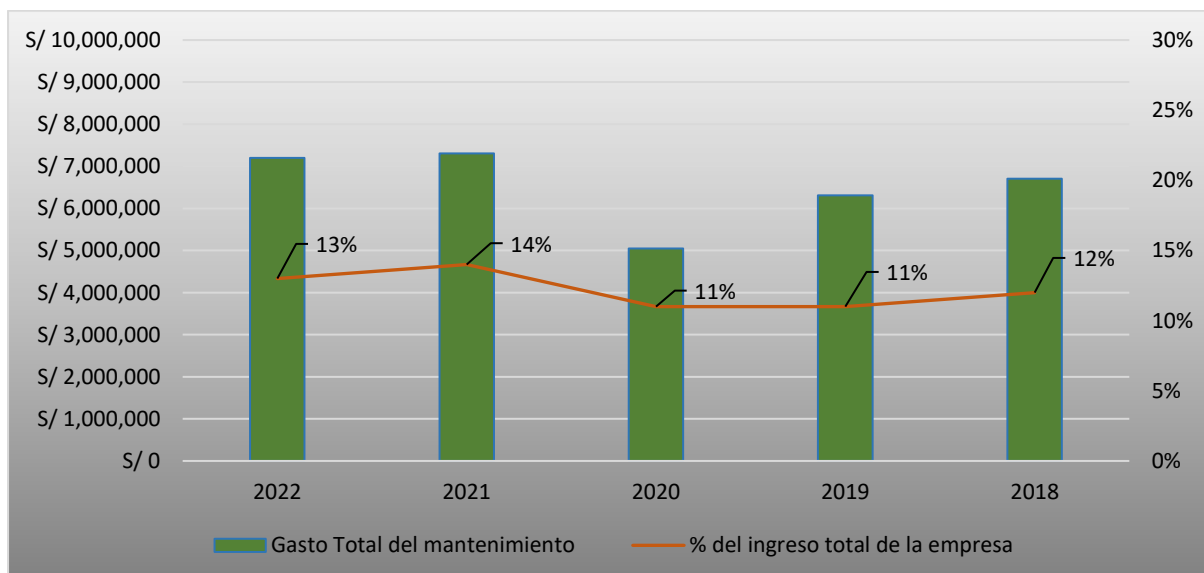
a su vez la Figura 16 muestra la distribución de ordenes de trabajo por tipo en el año 2022.

Figura 14
Cantidad De Varados Año 2022



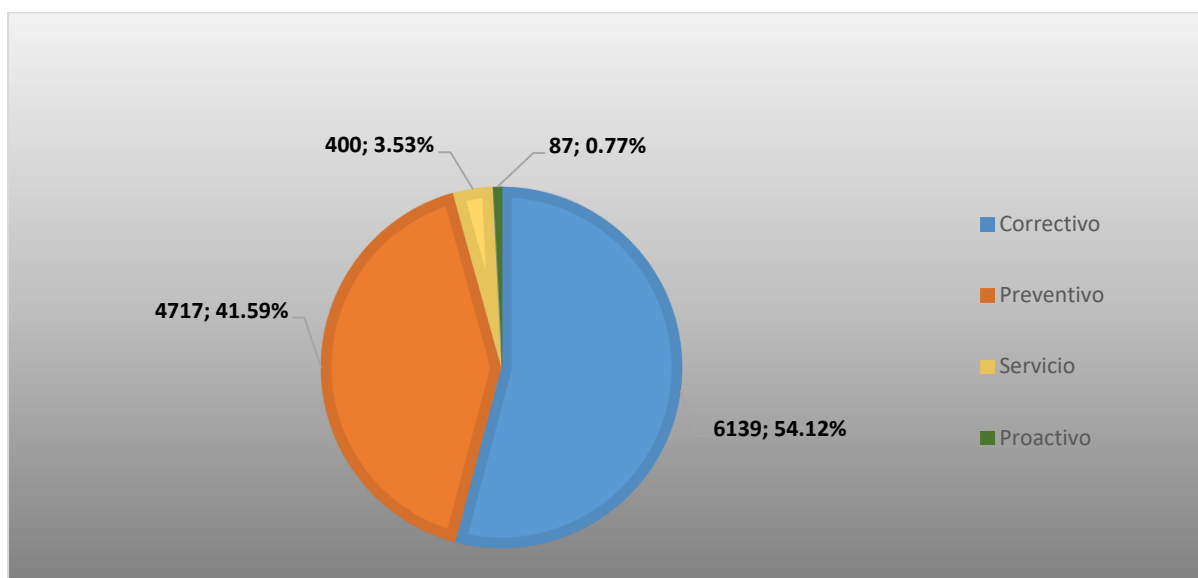
Fuente: Documento elaborado por el autor.

Figura 15
Costos del Área de Mantenimiento de los últimos 5 años.



Fuente: Documento elaborado por el autor.

Figura 16
Total de Ordenes de Trabajo del año 2022



Fuente: Documento elaborado por el autor.

Como consideración adicional, la ejecución de la operación está delimitada por el cumplimiento de un contrato de concesión firmado entre la empresa y la Municipalidad Metropolitana de Lima, dentro del cual resalta especialmente la sección de multas económicas por incumplimientos contractuales. En dicha sección se establecen sanciones económicas por servicios programados que no se ejecutan, averías de unidades dentro de la prestación del servicio, entre otros aspectos.

1.2.2 Formulación Del Problema

Problema Principal:

¿Cuál es la cantidad óptima de indicadores clave de gestión de mantenimiento que deben ser seleccionados en una flota de Buses de Tránsito Rápido, basándose en los objetivos del área de mantenimiento, utilizando un método multicriterio para la toma de decisiones?

Problemas específicos:

- ¿Cómo se puede ponderar de manera efectiva los criterios de evaluación para lograr una valorización adecuada de los indicadores de gestión para el cumplimiento de los objetivos del área de mantenimiento?

- ¿Cómo se evalúan los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento mediante el uso de los criterios de evaluación y la metodología multicriterio?
- ¿De qué forma se clasificarían correctamente los indicadores claves de gestión de manera que estén alineados con los objetivos del área de mantenimiento?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El área de mantenimiento dentro de todas las empresas representa un factor muy sensible para los objetivos de la organización, pues esta área es la encargada de mantener los activos en un estado óptimo de funcionamiento procurando por la gestión adecuada los recursos que la organización dispone.

Bajo esta premisa, la presente investigación brindará una herramienta de acceso público para todas aquellas empresas del rubro de transporte de pasajeros que estén interesadas en establecer de manera rápida y objetiva los indicadores más adecuados de acuerdo a la realidad de cada organización, para monitorear el área de gestión de mantenimiento y con ello poder aportar a la formalización de las organizaciones.

1.3.1 Justificación Institucional.

Dentro del rubro del transporte pasajeros y carga, la gestión de mantenimiento de las flotas de vehículos toma un papel protagónico, pues la disponibilidad mecánica y confiabilidad operacional de las unidades son factores claves para la competitividad de toda la organización.

Para el caso de **La Empresa** estos dos factores son realmente críticos, pues la relación contractual que mantiene con el concedente, establece incumplimientos y multas realmente severas para la no ejecución de un servicio programado o para una unidad que queda varada durante la prestación del servicio.

1.3.2 Justificación Económica.

Para Rodríguez et al., (2013) el beneficio de establecer una metodología de mantenimiento o una combinación adecuada de ellas, representa un gran ahorro de recursos económicos pues optimiza las inversiones en el reemplazo adecuado de componentes y adicionalmente reduce la cantidad de intervenciones que se necesitan hacer.

La Empresa ya cuenta con un sistema de mantenimiento que combina el preventivo, predictivo y correctivo para la gestión de su flota. Pero la reciente inestabilidad política en todos los sectores afecta seriamente los intereses de la organización, pues la volatilidad de los mercados y las constantes fluctuaciones en la cotización del dólar se ven reflejados en los costos del mantenimiento, afectándose unos de los dos principales objetivos de toda organización “costos bajos de operación y alta productividad”. Por otro lado, la flota esta próxima a alcanzar la de su vida útil para la que fue proyectada originalmente, lo que se traduce en un incremento en la demanda de repuestos a causa de la reducción de la vida útil de los componentes como lo explica Tavares, (2010)¹⁶.

Basados en estos escenarios surge la necesidad de implementar un plan adecuado de indicadores de gestión de mantenimiento que permitan una medición y control detallado de los resultados obtenidos de la gestión y planificación del mantenimiento; Y que le brinde una información lo suficientemente confiable para tomar decisiones estratégicas a futuro sobre las inversiones a las unidades.

1.3.3 Justificación Social

Con el propósito de aportar en la formalización del transporte urbano de pasajeros, el presente trabajo está encaminado a demostrar el uso práctico de una herramienta de gestión de mantenimiento que le permitirá a los responsables de dicha área en empresas de buses seleccionar de manera objetiva los indicadores de gestión de mantenimiento que cada organización debe manejar, basados en las políticas y objetivos empresariales; logrando así una medición adecuada de la estrategia de gestión de mantenimiento a diferencia de la forma tradicional en donde cada responsable de área plantea sus objetivos de forma discrecional basado en su experiencia personal.

Así mismo, la mejora de la gestión de mantenimiento impactara en la mejora de la calidad del servicio que se presta a los pasajeros viéndose reflejado en unidades más confiables, disminuyendo la cantidad de unidades varadas o accidentadas en la vía.

¹⁶ Tavares, L. (2010). Administración Moderna de Mantenimiento. *Novo Polo Publication-Brasil*.

1.4 OBJETIVOS, HIPÓTESIS, VARIABLES E INDICADORES

1.4.1 Objetivos

Objetivo General

- Seleccionar la cantidad optima de indicadores clave de gestión de mantenimiento en una flota de Buses de Transito Rápido basado en los objetivos del área de mantenimiento utilizando un método multicriterio para la toma de decisiones.

Objetivos Específicos

- Ponderar los criterios de evaluación para la valorización de los indicadores de gestión de mantenimiento para el cumplimiento de los objetivos del área de mantenimiento.
- Evaluar los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento utilizando los criterios de evaluación y la metodología multicriterio.
- Elaborar una clasificación correcta de indicadores claves de gestión que respondan a los objetivos del área de mantenimiento.

1.4.2 Hipótesis

Hipótesis General

- La cantidad optima de indicadores claves de gestión de mantenimiento para una flota de buses de tránsito rápido basado en los objetivos del área de mantenimiento será menor a 7.

Hipótesis Especificas

- Todos los criterios de evaluación seleccionados tendrán un mismo peso luego de su ponderación.
- Se evaluarán los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento mediante los criterios de evaluación y la metodología multicriterio.

- Se podrá realizar una clasificación adecuada de los indicadores claves de gestión que respondan a los objetivos del área de mantenimiento.

1.4.3 Variables, Dimensiones e Indicadores:

En la matriz de operacionalización de variables, que está en el anexo n°2, se resumen las variables, dimensiones e indicadores definidas para el presente trabajo de investigación.

1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

1.5.1 Unidad De Análisis.

La unidad de análisis será el **Área de mantenimiento** de una empresa dedicada al transporte de pasajeros.

1.5.2 Tipo y Nivel De La Investigación

- La investigación será del **Tipo aplicada**.

Una definición de investigación aplicada según Bibliotecas Duoc UC, (2022)¹⁷ tiene por objetivo: “resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico.”

El presente trabajo de investigación entre en esta categoría, ya que se aplicará un modelo matemático de un método, que fue planteado y validado por una gran cantidad de profesionales en diferentes trabajos de investigación de diferentes áreas, para la selección de los indicadores de gestión más óptimos de mantenimiento en una empresa destinada al transporte de pasajeros mediante buses de alta capacidad.

- El nivel de la Investigación será **Correlacional**.

¹⁷ Bibliotecas Duoc UC. (2022). *Investigación Aplicada*. Bibliotecas Duoc UC. <https://bibliotecas.duoc.cl/investigación-aplicada>.

Según Álvarez-Risco, (2020)¹⁸ investigación correlacional tiene por objetivo conocer la relación o grado de asociación entre variables, además de establecer algún grado de predicción.

En esta línea, se considera la presente una investigación **correlacional**, dado que la determinación de los indicadores claves del área de mantenimiento se relaciona con los objetivos del área mediante la aplicación del modelo matemático de un método multicriterio para la toma de decisiones.

1.5.3 Periodo De Análisis

Considerando que no se requiere información de un periodo de terminado del tiempo, sin embargo, se acota los objetivos de la organización a los existentes en el año 2020 y 2021. De la misma manera, las personas de la organización consultadas fueron quienes trabajaban en ese momento en la organización o lo habían hecho previamente.

1.5.4 Fuentes De Información e Instrumentos Utilizados

- Artículos académicos de referencia, donde se establece el procedimiento de aplicación y el modelo matemático que se utilizara.
- El plan estratégico de la organización para tomar los objetivos organizacionales, lo cuales indicaran las directrices para la selección de los indicadores.
- Juicios de Expertos: Consideran lo expuesto en el numeral 2.4 del presente trabajo, se hizo la selección de los candidatos que participarían como expertos a ser consultados para el desarrollo del presente trabajo.

Sin bien la selección de los expertos por ser de un tamaño reducido se hizo a criterios del autor, se tuvieron en cuenta aspectos como la formación académica de los participantes, siendo todos ellos profesionales en ingeniería mecánica con estudios de maestría en temas de administración; los años de experiencia en el área de mantenimiento de buses, donde todos ellos acumulan más de 15 años; así mismo, su participación como asesores

¹⁸ Álvarez-Risco, A. (2020). Clasificación de las investigaciones. *Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Carrera de Negocios Internacionales*. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10818>

en la planificación, implementación y desarrollo de proyectos de transporte en sistemas BRT y tradicionales y por último el estar familiarizados con la cultura organizacional de la empresa modelo del presente estudio, los hace candidatos adecuados para la participación en este proyectos.

1.5.5 Técnica De Recolección y Procesamiento De Datos

- Formato de encuesta que los expertos diligenciaran. (Anexo 3).

El desarrollo de la encuesta fue desarrolla en formato de matriz de evolución, donde los expertos pudieron fácilmente identificar el lugar donde debían poner la puntuación de cada indicador respecto de cada criterio.

Dicha puntuación se realizaría en una escala de 0 a 10, siendo 0 la escala más baja y 10 la escala más alta, en función del grado de correlación de cada indicador respecto de cada criterio.

Al final se dio un espacio para observaciones, en caso tuvieran algunas.

- Software para el procesamiento de datos.

Se seleccionó el software **Microsoft Excel**, para la realización de los cálculos de las ecuaciones de los modelos matemáticos que se trabajarían.

Esta decisión de tomo por 2 principales razones:

- a. Los softwares para cálculos matemáticos como Matlab, Python y R entro otros, requieren habilidades específicas de conocimiento que no todas las personas que administran las áreas de mantenimiento poseen.
- b. También se consideró que el uso de las herramientas Office son utilizadas en la gran mayoría de las organizaciones y para las cuales no se quiere del pago de una licencia adicional, ni requieren de una computadora con características de rendimiento específicas para poder funcionar adecuadamente.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

En un mundo competitivo, donde cada día surgen nuevas propuestas innovadoras en los procesos de fabricación de bienes y prestación de servicios, han proliferado la aparición de nuevos competidores en todas las áreas de la industria, quienes ejecutan los procesos de manera más eficiente en la gestión de los recursos. Este aumento de la oferta ha tenido un impacto en los precios finales de los productos, lo que ha llevado a todas las industrias a establecer controles más estrictos de sus costos totales de producción.

Es innegable que uno de los grandes consumidores de recursos al interior de los diferentes tipos de industria es el área de mantenimiento, razón por la cual, el control de los costos se torna en una tarea estratégica para cualquier organización que desee mantenerse competitiva. Para ello, se han creado una serie de indicadores que le permiten realizar seguimiento detallado, pero de fácil ejecución, sobre cualquier etapa de la operación y poder tomar medidas correctivas de manera inmediata sobre los procesos que no están cumpliendo con los objetivos o estándares planteados.

Hernández Cruz & Navarrete Pérez, (2001)¹⁹ definen la gestión del mantenimiento con las siguientes palabras:

No se concibe una industria moderna sin una debida política de manutención de la tecnología con que produce. Sencillamente porque del mantenimiento depende: la funcionalidad, disponibilidad y conservación de su estructura productiva. Esto significa un incremento importante de la vida útil de los equipos y sus prestaciones.

¹⁹ Hernández Cruz, E., & Navarrete Pérez, E. (2001). Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*.

Zegarra Ventura, (2016)²⁰ menciona que:

La maximización de la producción es el objeto de toda empresa para poder conseguir maximizar rentabilidad. La maximización va a depender de un adecuado planeamiento de la producción, adecuada selección de equipos para el trabajo a realizar, adecuada operación de equipo, un adecuado índice de utilización de los equipos, adecuada disponibilidad mecánica y alta confiabilidad.

Tavares, (2010) comenta que, en 1975 la Organización de las Naciones Unidas definía a la actividad final de cualquier entidad organizada como Producción = Operación + Mantenimiento, donde al segundo factor de este binomio, pueden ser atribuidas las siguientes responsabilidades:

- Reducción del tiempo de paralización de los equipos que afectan la operación;
- Reparación, en tiempo oportuno, de los daños que reducen el potencial de ejecución de los servicios;
- Garantía de funcionamiento de las instalaciones, de manera que los productos o servicios satisfagan criterios establecidos por el control de la calidad y estándares preestablecidos.

2.1 SISTEMA BUS RAPID TRANSIT (BRT)

Zamora Colín et al., (2013)²¹ hacen un resume de la evolución de los sistemas de Buses de Transito Rápido (BRT) en Latinoamérica mencionando que el primer BRT en la región, inicio operaciones en 1972, con la experiencia pionera de Curitiba, Brasil, seguido tiempo después por la construcción del primer ramal de la ciudad de Quito, en 1995. Desde el año 2000, la instalación y operación de estos sistemas ha registrado una gran expansión –un verdadero “boom” regional– que comprende: Transmilenio de Bogotá; sistema “Inter ligado” de São Paulo, Brasil (2003); BRT de México, D. F. (2005, diseñado para complementar al metro); ramal de la ciudad de

²⁰ Zegarra Ventura, M. E. (2016). Gestión moderna del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo*. <https://doi.org/10.21503/cyd.v18i1.1087>

²¹ Zamora Colín, U., Campos Alanís, H., & Calderón Maya, J. (2013). Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil). *Quivera (México) Num.2014-2 Vol. 16*.

Pereira en Colombia (2006, además de los proyectos en estudio para siete ciudades colombianas adicionales); los casos de Guayaquil (2006) y Guatemala (2007); y el proyecto de lenta implementación en la ciudad de Lima (2009)

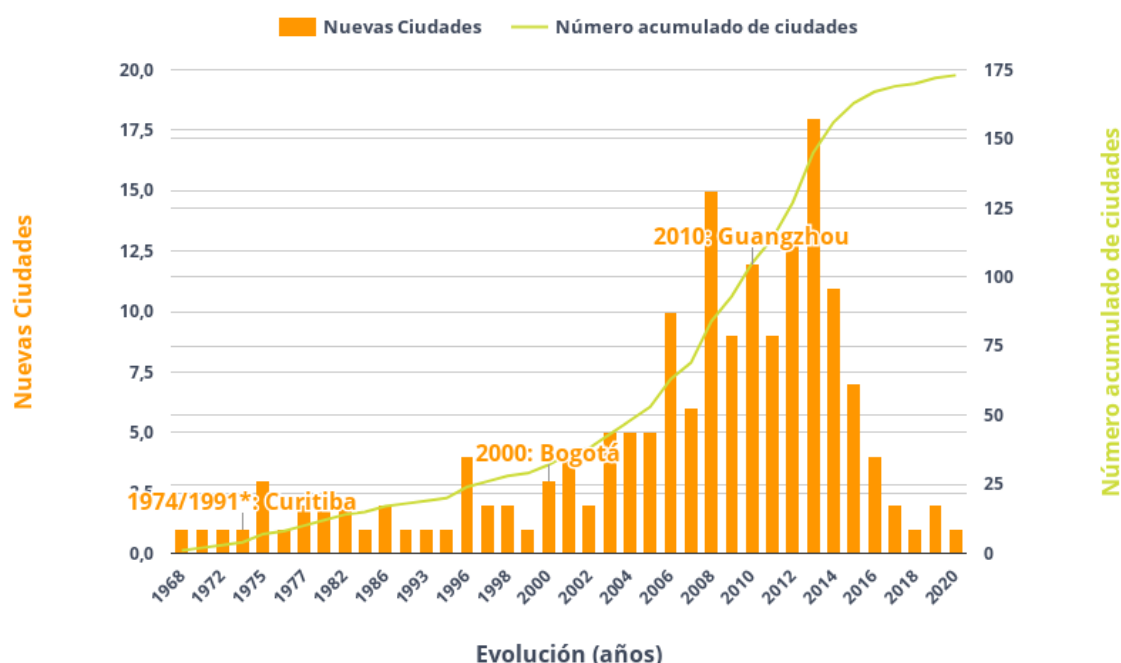
La diferencia con los sistemas de transporte tradicional radica principalmente en:

- Utilización de buses de gran capacidad y múltiples puertas.
- Acceso al servicio en estaciones dedicadas a nivel, donde se paga el ticket antes de abordar.
- Control centralizado, habilitando el uso de tecnologías modernas de monitoreo e información permanente a los pasajeros.

BRT+ Centre of Excellence & EMBARQ, (2020)²² menciona que para el año 2020 un total de 176 ciudades en el mundo tiene un sistema BRT en operación y otras más en etapas de desarrollo y construcción, la Figura 17 presenta la evolución que estos sistemas han tenido a lo largo de los años.

²² BRT+ Centre of Excellence, & EMBARQ. (2020). *Global BRTData*. [Http://Www.Brtdata.Org/](http://www.Brtdata.Org/).
<http://www.brtdata.org/>

Figura 17
Evolución del número de ciudades por año.



BRT+ Centre of Excellence y EMBARQ, (2020). **Versión 3.51. Última modificación: 07/07/2020.**

Nota: los valores mostrados en esta figura, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Camargo-Pérez et al., (2013)²³ nos muestran que para el año 2011, al menos 49 ciudades estaban construyendo sistemas nuevos, 16 estaban ampliando su sistema actual y 31 se encontraba en etapa de planificación; tan solo en América Latina 32 ciudades cuentan sistema de BRT o Corredores de autobuses que atienden un estimado de 17,6 millones de pasajeros al día. Siendo Bogotá, Colombia, lugar donde se realizó el estudio, el que actualmente cuenta con un sistema que atiende alrededor de 1,7 millones de pasajeros al día.

Scholl, (2015)²⁴ hace una contextualización de las razones por la cuales se implementó el sistema Metropolitano, en líneas generales menciona lo siguiente:

²³ Camargo-Pérez, J., Montoya-Torres, J. R., & Ramírez, M. H. C. (2013). Multi-criteria Decision Making for Locating Multimodal Transfer Nodes in Passenger Transport Systems. *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*.

²⁴ Scholl, L. (2015). *Casos de estudio comparativos de tres proyectos de transporte urbano apoyados por el BID*. <https://doi.org/10.18235/0000019>

Lima es una ciudad de casi 9 millones de habitantes y más de 22 millones de viajes diarios, necesitaba desesperadamente un sistema de transporte público. Es un BRT con una configuración de troncal y alimentador que incluye una vía de buses segregada para vehículos articulados de alta capacidad y características que mejoran la eficiencia, como la recolección y verificación de tarifas fuera del vehículo, plataforma -nivel de embarque, y una mezcla de servicios regulares y expresos.

El sistema también ofrece un servicio de mayor calidad: es más seguro y más confiable, ofrece acceso universal, cuenta con estaciones y terminales dedicadas, opera más horas que el servicio tradicional y cumple con los estrictos estándares de emisión de vehículos. Construido por la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML) con cofinanciamiento del BID y el Banco Mundial, y operado por empresas privadas, el Metropolitano logra el estándar de oro para los sistemas de BRT según lo define el Instituto de Políticas de Transporte y Desarrollo (ITDP).

2.2 TABLEROS DE MANDOS E INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.

2.2.1 Tableros De Mando (Dashboard).

Sarikaya et al., (2019)²⁵ realizaron un completo estudio sobre los tableros de control y su impacto en la vida de las personas, estando presentes en los más altos niveles de las organizaciones como en su cotidianidad. Para ello, iniciaron analizando las diferentes definiciones de tablero de control encontradas en la literatura, encontrado que: *“el concepto ha evolucionado de pantallas de informes de vista única para incluir interfaces interactivas con múltiples vistas y propósito, incluida la comunicación, el aprendizaje y la motivación, además de clásicas de monitoreo y apoyo a la toma de decisiones”*, partiendo de ello elaboraron un diseño que consta de 15 aspectos visuales y funcionales para la clasificaciones de los tableros de control. Abordando aspectos relacionados con el tipo de información que contienen, la forma en la cual está es mostrada, el nivel de conocimiento requerido para comprender los cuadros e

²⁵ Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2019). What do we talk about when we talk about dashboards? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 718–723. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864903>

incluso la clase de decisiones que estos soportan, en su trabajo los autores realizan una detallada descripción de cada uno de estos 15 aspectos, donde resulta fácil poder hacer la clasificación de cualquier tablero de mando.

En la Tabla 18, se muestra un resumen de la evaluación de los principales grupos de tableros identificados bajo cada uno de los 15 aspectos identificados por los autores.

Si tomamos en cuenta que el presente trabajo tiene por objetivo desarrollar un tablero de control con los indicadores claves de la gestión de mantenimiento de una empresa de transporte, basándonos en lo planteado por Sarikaya et al., (2019), entendemos que nuestro tablero deberá contener las siguientes características:

Tabla 18
Características Dominantes Observadas por Cada Grupo de Paneles
Calificados– Traducción.

Objetivo	Grupo	# Ejemplos	Propósito				Audiencia			Características Visuales					Semántica de Datos		
			Estratégico	Táctico	Operacional	Aprendizaje	Audiencia	Vis Alfabetización	Experiencia en el	Construcción	Interactividad	Modificación Datos	Destacando	Multi Pagina	Alerta + Notificación	Puntos de Referencia	Actualizable
Toma de Decisiones	1) Toma de Decisiones estratégicas	16	Y	Y	-	N	O	-	-	-	Y	N	N	Y	-	-	Y
	5) Toma de Decisiones operacionales	14	N	Y	Y	N	O	-	-	-	Y	N	N	Y	-	Y	Y
Conciencia	3) Estática Operacional	10	N	N	Y	N	O	L	-	-	-	N	N	N	-	Y	Y
	4) Estática Organizacional	8	-	-	N	N	O	M	-	N	N	N	-	N	N	-	Y
Motivación y aprendizaje	2) Auto Cuantificado	7	N	N	Y	N	I	H	N	N	Y	N	-	Y	-	-	Y
	6) Comunicación	13	-	-	-	Y	P	M	N	N	-	N	-	-	N	N	Y
	7) Tablero Evolucionado	15	-	-	-	-	P	H	-	-	-	-	-	-	-	-	Y

Y= Indica Presente o Apoyo; N= Implica lo Contrario. P= Uso Personal; O= Uso Organizacional; I= Consumo Individual. L, M y H= Conocimiento necesario para la visualización (bajo, medio y alto).

Sarikaya et al., (2019). *¿De qué hablamos cuando hablamos de cuadros de mando?* – Traducción.

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

- Que sirva a tomar decisiones táctico/operativas.
- Que sea de circulación organizacional.
- Que requiera un nivel de conocimiento bajo/intermedio para su interpretación.

- El nivel de interacción debe permitir modificar segmentación y filtración de los datos, pero no una modificación de los mismos.
- La construcción y modificación estará pre definida por los indicadores a mostrar y no es necesario que estos puedan ser modificados.
- Contará con varias páginas que permitan mostrar lo suficientemente clara la información seleccionada.
- Debe contar con alertas configuradas, puntos de referencia y completamente actualizable, para que puedan muestran la información más reciente.

Kumar & Belwal, (2018)²⁶ también abordaron el análisis de la elaboración de los tableros de control, su análisis lo abordaron desde la perspectiva del Business Intelligence (BI), ellos definen la BI como *“un conjunto de estrategias, procesos, aplicaciones, datos, tecnologías y arquitecturas técnicas que se utilizan para apoyar la recopilación, análisis, presentaciones y difusión de información empresarial”*.

Luego de procesar la literatura encontrada, donde se habían realizado trabajos previos en la construcción de tableros de mando, utilizando diferentes tecnologías y estrategias, los autores pudieron identificar que las fallas más comunes en la elaboración de los tableros de mando incluyen la desalineación con los objetivos comerciales, objetivos poco prácticos o mal definidos y problemas comerciales que afectan la implementación, por lo tanto los autores proponen una alternativa de solución que está compuesta por dos pasos principales: La Arquitectura Empresarial y Arquitectura Técnica.

La Tabla 19 muestra los aspectos relacionados con la arquitectura de alto nivel. En su documento los autores realizan una descripción detallada de los factores de éxito considerados para desarrollar un cuadro de mando eficaz.

Por su parte, la Figura 18 muestra los cinco componentes de la arquitectura técnica de alto nivel; en su documento Kumar & Belwal, (2018) realizan una explicación detallada de cada uno de los 5 componentes y plantean soluciones mediante el uso

²⁶ Kumar, S. M., & Belwal, M. (2018). Performance dashboard: Cutting-edge business intelligence and data visualization. *Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Technology for Smart Nation, SmartTechCon 2017*. <https://doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358558>

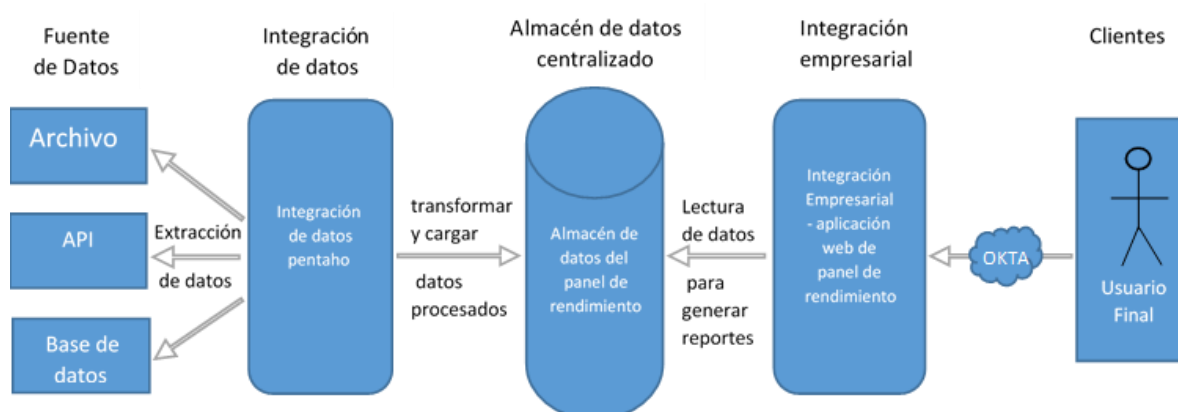
de distintas herramientas a las problemáticas más comunes que se presentan en la construcción de los tableros de manto.

Tabla 19
Arquitectura Empresarial de alto Nivel del Panel Propuesto – Traducción.

Partes Interesadas	Inversores	Junta	Personal	Clientes	Proveedores	Reguladores
Estrategia	Misión	Visión	Valores	Metas	Objetivos	Mapa de Estrategia
Táctica	Activos	Gente	Conocimiento	Planes	Procesos	Proyectos
Semántica	Términos	Definiciones	Reglas	Metadatos	Formación	Gobernanza
Métrica	Principal		Rezagado		Diagnostico	

Kumar & Belwal, (2018) **Cuadro de Mando de Rendimiento - Inteligencia Empresarial y Visualización de Datos de Vanguardia. – Traducción.**

Figura 18
Arquitectura Técnica de alto Nivel del Panel Propuesto – Traducción.



Kumar & Belwal, (2018) **Cuadro de Mando de Rendimiento - Inteligencia Empresarial y Visualización de Datos de Vanguardia. – Traducción.**

2.2.2 Indicadores de Gestión de Mantenimiento.

Kaganski et al., (2017)²⁷ en su trabajo introdujeron un Modelo de Análisis Empresarial (EAM) para la obtención de los KPI's más relevantes y los aplicaron mediante la elaboración de un caso de estudio en una empresa multinacional con sedes en Lituania, Finlandia y Estonia.

²⁷ Kaganski, S., Majak, J., Karjust, K., & Toompalu, S. (2017). Implementation of Key Performance Indicators Selection Model as Part of the Enterprise Analysis Model. *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.143>

Dentro de su trabajo los autores afirman que *“los sistemas de monitoreo en tiempo real que monitorean los KPI’s ayudan a las empresas a progresar hacia sus objetivos.* Sin embargo, la cantidad de diferentes métricas disponibles genera dificultad para tomar decisiones correctas” así mismo, se menciona que su importancia radica en que:

- Son herramientas que ayudan a mantener el rendimiento en un alto nivel.
- Ayudan a descubrir y comprender los cuellos de botella.
- Brindan la oportunidad de evaluar la eficiencia de los trabajadores y las maquinas.
- Ayudan a establecer metas más altas y conseguirlas, siempre y cuando se estén monitorean las métricas correctas.

Este último aspecto es fundamental, cuando se tiene a disposición una gran cantidad fuentes de información, procedentes de las etapas de planificación, programación y ejecución del área de mantenimiento y de la prestación del servicio de las unidades; ante tanta información que se genera es fácil caer en el error de seleccionar métricas que no aporten un verdadero valor para el alcance de los objetivos.

Por otro lado, el cambio de administración de las áreas trae consigo, una modificación en las métricas seleccionadas asociadas a diferentes causas, en ocasiones por falta de capacitación, por filosofías de pensamiento, etc. Por esto Kaganski et al., (2017) establecen las siguientes consideraciones:

- Las métricas de éxito en una empresa no siempre pueden funcionar en otra, a pesar de que están en áreas similares.
- Los éxitos de los KPI dependen de su medición constante.
- Las métricas se deben ajustar a las estructuras de las empresas, los procesos de producción y los flujos de datos internos/externos.
- Los KPI deben compararse con la competencia en el momento y lugar adecuados.

Vujanović et al., (2012)²⁸ elaboraron una investigación que pusieron en práctica en diferentes organizaciones privadas dueñas de flotas de transporte de carga, donde apostaron por incrementar la eficiencia energética mediante la selección adecuada de indicadores de gestión, la misma que se realizó basada en la aplicación de dos MCDM como los son el Laboratorio de Evaluación y Ensayo de Toma de Decisiones (DEMATEL) y Proceso de Red Analítica (ANP).

Vujanović et al., (2012) toman como base tres aspectos que analizados en conjunto permiten evaluar la gestión del mantenimiento, los cuales son:

- El proceso de transporte como un proceso primario (Core) que aporta beneficios para la empresa.
- El mantenimiento del vehículo, como apoyo logístico al proceso central de transporte.
- El medio ambiente, asociado a la seguridad y protección ambiental del impacto del mantenimiento.

Para la determinación de los KPI's más adecuados, es necesario entender la interdependencia que existe entre estos tres aspectos, partiendo de entender que el cumplimiento del plan operacional de la empresa es la base de los ingresos de la organización; a su vez, el propio funcionamiento de las unidades genera un deterioro en la condición técnica, lo que genera solicitudes de mantenimiento, el mismo que tiene un impacto en el medio ambiente, que se observa en la confiabilidad y disponibilidad de la unidades y en las emisiones nocivas de gases de escape, el consumo excesivo de combustible y aceite.

Entiendo esta correlación, los autores basados en la búsqueda bibliográfica realizada y el juicio de los expertos de la Facultad de Ingeniería de Transporte y Trafico en Belgrado, seleccionaron los siguientes indicadores:

1. % de realización del plan operativo.
2. Utilización de la carga útil del vehículo.
3. Tasa de utilización de la flota de vehículos.

²⁸ Vujanović, D., Momčilović, V., Bojović, N., & Papić, V. (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.159>

4. Tiempo Medio entre Fallas.
5. Tiempo Medio de inactividad del vehículo.
6. La realización del plan de mantenimiento.
7. % de mantenimiento planificado.
8. % de aptitud para la circulación de la flota.
9. % de aptitud para la circulación de vehículos en accidentes.

Tavares, (2010) establece que para realizar una adecuada gestión del mantenimiento es importante manejar los conceptos de “indicadores de clase mundial” estos son en total 6 indicadores disgregados de la siguiente manera.

Gestión de Equipos:

- Tiempo medio entre fallas. (TMEF)
- Tiempo medio para reparación. (TMPR)
- Tiempo medio para la falla. (TMPF)
- Disponibilidad de equipos.

Gestión de Costos:

- Costo de mantenimiento por facturación.
- Costo de mantenimiento por el valor de la reparación.

Dentro del análisis de cada indicador, hace recomendaciones sobre el manejo y cálculo de cada uno de ellos, por ejemplo, resalta el hecho del que el TMEF y TMPF son indicadores excluyentes para cada componente; pues el primero es para componentes que se logran reparar después de la falla y el segundo para componentes que se reemplazan por nuevos.

Para el manejo del indicador de disponibilidad recomienda el manejo de Tablas de registro que permiten analizar de manera rápida los componentes que están fuera de promedio. Así mismo, también hace mención que existe otra gran cantidad de indicadores auxiliares que apoyan en el proceso de gestión:

- Tiempo medio Entre Mantenimientos Preventivos.
- Tiempo medio Para Intervenciones Preventivas.
- Tasa de Falla Observada.

- Tasa de Reparación.
- No conformidad de mantenimientos.
- Sobrecarga de servicios de mantenimiento.
- Alivio de servicios de mantenimiento.

Por su parte Zegarra Ventura, (2016) menciona que las Disponibilidad y la Confiabilidad son dos de los indicadores más importantes a la hora de medir el desempeño de un área de mantenimiento. La disponibilidad mecánica la define como: *“una relación entre el tiempo que la maquina produce y el tiempo que está en operación”*. La fórmula de cálculo la establece de la siguiente manera:

$$DM = \frac{\frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Numero de paradas}}}{\frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Numero de paradas}} + \frac{\text{Horas en reparaición}}{\text{Numero de paradas}}} \quad (1)$$

O lo que es igual a:

$$DM = \frac{MTBS}{MTBS+MTTR} \quad (2)$$

Para el caso de la confiabilidad Mecánica Zegarra Ventura, (2016) menciona que *“es la probabilidad de que un equipo cumpla satisfactoriamente (sin fallas) sus funciones definidas durante un periodo de tiempo bajo condiciones de operación específica”*. El cálculo de este valor es un poco más complejo.

Ecuación de Weibull con tres parámetros para la densidad acumulada de fallas

Función de densidad acumulativa (CDF)

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-x_0}{\theta} \right)^\beta \right], x \geq x_0 \quad (3)$$

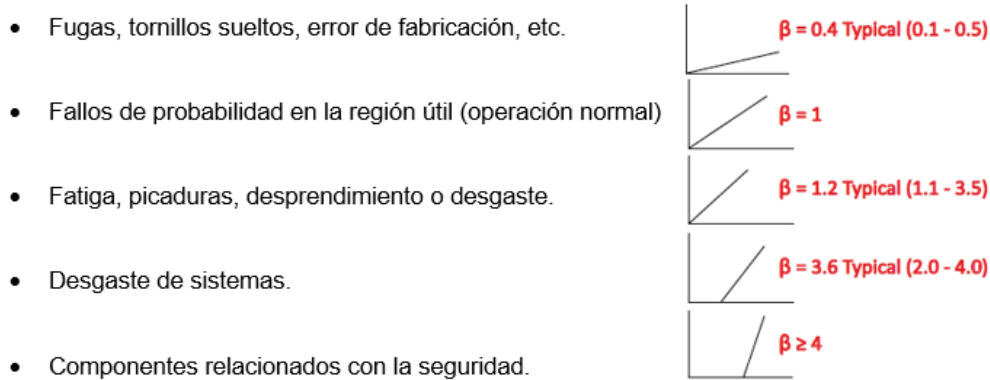
Función de densidad de probabilidad (PDF)

$$F(x) = \frac{\beta(x-x_0)^{\beta-1}}{\theta^\beta} \exp \left[- \left(\frac{x-x_0}{\theta} \right)^\beta \right], x \geq x_0 \quad (4)$$

El parámetro de localización X_0 se usa solo cuando la vida útil del producto comienza en algún número diseñado de horas de operación tales como los datos relacionados con la fatiga. No se usa cuando el punto de inicio es cero y simplifica en gran medida el uso de la distribución Weibull. El parámetro de forma β describe la forma de la

distribución y a su vez indica el tipo de problemas inherentes con la población. La Figura 19 resumen la interpretación del parámetro β .

Figura 19
Interpretación aplicada de la variable Beta a la supervivencia.



Zegarra Ventura, (2016). **Gestión Moderna del Mantenimiento de Equipos Pesados.**

2.3 MÉTODOS MULTICRITERIO

Existen diferentes alternativas para la toma de decisiones mediante métodos de multicriterio, Sabaei et al., (2015)²⁹ realizaron una revisión de los métodos más utilizados por los investigadores y una descripción de estos, junto a sus ventajas y desventajas.

Luego de hacer una búsqueda bibliográfica en la base de datos Scopus, su resultado lo resumieron en la Tabla 20 de la siguiente manera.

²⁹ Sabaei, D., Erkoyuncu, J., & Roy, R. (2015). A review of multi-criteria decision making methods for enhanced maintenance delivery. *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.086>

Tabla 20
Numero de Publicaciones Por Cada Método.

	TOTAL	2015	2014	2013
AHP	179	12	32	25
PROMETHEE	46	6	15	11
ELECTRE	158	11	36	22
SMART	9	0	1	0
TOPSIS	2	0	0	0

Sabaei et al., (2015). **Una Revisión de los Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio para Mejorar. – Traducción.**

- AHP: Proceso de jerarquía analítica
- PROMOTHEE.
- ELECTRE: ELiminación Et Choix Traduisant la REalite
- SMART.
- TOPSIS: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
- MAUT: Multi-Attribute Utility Theory

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Seguidamente realizaron desarrollaron un modelo de clasificación de los métodos multicriterio resumiéndolos en 2 subgrupos principales 1- toma de decisiones de atributos múltiples (MADM); 2- toma de decisiones de objetivos múltiples (MODM) y comentando que los MADM son los que son más recomendados usar en la gestión de mantenimiento por la naturaleza de los datos que se disponen.

Como parte de las conclusiones del documento exponen que los métodos de AHP y ELECTRE son los más recomendables para realizar análisis de toma de decisiones y el uso de cada uno de ellos va a depender de la naturaleza de los datos y la forma de presentación final que se desee obtener.

A continuación, se encontrará una pequeña definición de los principales métodos mencionados en la literatura:

PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA (AHP):

Es muy usado por profesionales y académicos para realizar evaluaciones subjetivas y consiste en realizar una comparación por pares en una pequeña parte de la estructura jerárquica y luego entre el nivel más alto de la estructura jerárquica. Su

principal desventaja es que el peso de cada criterio depende del tomador de decisiones por lo que los resultados varían dependiendo de quién lo aplique.

PROMOTHEE

Es un método "outranking" que no elimina ninguna alternativa en la comparación por pares, sino que pone las alternativas en un orden de acuerdo con los criterios y la preferencia del tomador de decisiones. Las ventajas de este método son la simplicidad, claridad y estabilidad; y dentro de sus desventajas, esta que el cálculo del peso de cada criterio se realiza con una técnica alternativa, ya que el método no especifica una.

TECHNIQUE FOR ORDER OF PREFERENCE BY SIMILARITY TO IDEAL SOLUTION (TOPSIS)

TOPSIS es "un enfoque para identificar una alternativa que está más cerca de la solución ideal y más lejana a la solución ideal negativa en un espacio de computación multidimensional. Tiene varias ventajas: tiene un proceso simple y rápido, toma de decisiones fácil utilizando criterios tanto negativos como positivos. Una desventaja es que es difícil ponderar los atributos y mantener la consistencia del juicio. Ha sido muy útil en los sistemas de ingeniería y fabricación, gestión empresarial, gestión de la cadena de suministro y gestión de recursos humanos" Chorfi et al., (2015)³⁰.

MULTI-ATTRIBUTE UTILITY THEORY (MAUT)

MAUT es un método basado en la teoría de la utilidad esperada para elegir el mejor curso de acción en un problema determinado, asignando una utilidad a cada posible consecuencia y calculando la utilidad esperada de cada alternativa. La alternativa con la mayor utilidad esperada es el mejor curso de acción. La principal ventaja de MAUT es la función de utilidad que cuantifica las preferencias de Decision-Maker (Tomador de Decisiones) y su aversión al riesgo. MAUT incorpora también la incertidumbre y la aversión al riesgo de quienes toman decisiones. Sin embargo, requiere mucha información y la construcción de la función de utilidad no siempre es evidente. MAUT ha visto una fuerte aplicación en problemas de gestión económica, financiera, actuarial y de recursos naturales. Chorfi et al., (2015).

³⁰ Chorfi, Z., Berrado, A., & Benabbou, L. (2015). Selection of Key Performance Indicators for Supply Chain monitoring using MCDA. *2015 10th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications, SITA 2015*. <https://doi.org/10.1109/SITA.2015.7358395>

MÉTODO ELimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE)

Los métodos ELECTRE son métodos selectos de clasificación y clasificación basados en umbrales de concordancia, umbrales de discordancia y ponderaciones. Por lo general, se presenta en tres pasos: modelado, agregación y explotación de las preferencias del tomador de decisiones. Sin embargo, es difícil de aplicar y requiere muchos datos. Se ha visto mucho uso en problemas de ingeniería e infraestructura, gestión ambiental.

La principal ventaja del método es que ELECTRE está en la capacidad manejar datos tanto cuantitativos como cualitativos para las alternativas de clasificación.

2.4 JUICIO DE EXPERTOS

En el trabajo de Lao León et al. (2016)³¹ encontramos una definición de experto hecho por Crespo Borges (2007) que es la siguientes:

Se entiende por experto a un individuo, grupo de personas u organizaciones capaces de ofrecer con un máximo de competencia, valoraciones conclusivas sobre un determinado problema, hacer pronósticos reales y objetivos sobre el efecto, aplicabilidad, viabilidad y relevancia que pueda tener en la práctica la solución que se propone, y brindar recomendaciones de qué hacer para perfeccionarla.

Por otro lado, Lao León et al. (2016) mencionar que para la selección de un panel de expertos en áreas de investigación existen varias metodologías que se puede aplicar para esta labor, pero como método de entrada se consideran los siguientes criterios:

Nivel científico: identifica el mayor nivel científico alcanzado por el candidato, la categoría deberá ser obtenida con una temática afín al tema que se pretenda analizar, este criterio se considera muy importante en las investigaciones. Sus subcriterios pueden ser: doctor en ciencias, doctor en las diferentes ramas, máster, especialista o nivel superior.

³¹ Lao León, C., Orlando, Y., Pravia, P., Caridad, M., & Delgado, M. (2016). Procedimiento para la selección de la Comunidad de Expertos con técnicas multicriterio. *Ciencias Holguín*, 22(1), 34–49.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181543577003>

Artículos publicados: se tendrán en cuenta los artículos publicados por el candidato en los últimos 10 años relacionados con el tema, con este criterio se podrá evaluar al candidato de acuerdo a su conocimiento del estado actual del problema, la experiencia en el desarrollo de investigaciones teóricas, su capacidad de análisis, entre otros.

Libros publicados (en los últimos 10 años): se medirá el cumplimiento o no de este criterio, se deberá valorar si el candidato tiene libros publicados en la última década, pues se demuestran los análisis teóricos realizados por el candidato, y la actualidad de estos.

Eventos (en los últimos 10 años): se tendrá en cuenta la participación del candidato en eventos, para este criterio se medirá el cumplimiento de uno, dos, todos o ninguno de los subcriterios siguientes: provinciales, nacionales o internacionales.

Premios: este criterio valora la trayectoria del candidato en el estudio del tema, y su reconocimiento, por lo que podrá cumplir todos, algunos o ninguno de los subcriterios siguientes: municipales, provinciales, nacionales o internacionales.

Consultorías: se medirá la participación o no del candidato en actividades de este tipo, los consultores presentan una valiosa conexión entre los conocimientos teóricos y los prácticos, además de que, al estar en constante contacto con el tema, tienen un alto conocimiento del estado actual del problema.

Años de experiencia en el tema: este criterio es muy importante para la evaluación de los candidatos, es utilizado en todos los procedimientos analizados, y muestran un peso importante en este para la selección. Se dividió en los cuatro grupos siguientes:

- Menos de 5 años.
- 5 a 10 años.
- 11 a 15 años.
- Más de 16 años.

Para la selección de expertos en el sector empresarial, se propone utilizar los mismos criterios que para las investigaciones, con excepción del nivel científico, los artículos publicados y, que los **años de experiencia** a tener en cuenta sean los de **trabajo en la empresa o sector**.

2.5 MARCO CONCEPTUAL

- **BRT:** “Bus Rapid Transit o Bus de Transito Rápido” puede ser explicado como una combinación de instalaciones, sistemas y vehículos; las inversiones que convierten los servicios convencionales de autobús en un servicio de tránsito de instalaciones fijas, en gran medida, aumentan su eficiencia y eficacia.
Aunque las características de infraestructura, vehículos y el servicio de BRT varían, sus objetivos completamente desarrollados reflejan alta calidad en materia de movilidad, como el servicio de transporte, ya que proporciona un elevado nivel de satisfacción de los usuarios, reduce el tiempo de tránsito del viaje, aumenta la confiabilidad y comodidad de viaje, mejora las conexiones de transporte y la disponibilidad de servicio más directo, disminuye los tiempos de permanencia y de espera en la parada de la estación.
- **Contrato de Concesión:** Un contrato de concesión es aquel contrato entre dos personas con el objeto de otorgar a una persona llamada concesionario, la prestación, operación, explotación, organización y/o gestión, total o parcial, de un producto, marca o servicio, o la construcción, explotación o conservación de una obra o bien destinados al servicio o uso público como en el caso de la concesión que hace el estado para la construcción y administración de una autopista, puerto, aeropuerto, etc.
- **Objetivos Organizacionales:** Según Landázuri, (2019)³² los objetivos corporativos son los resultados globales que una organización espera alcanzar en el desarrollo y operacionalización concreta de su misión y visión.
- **Dashboard:** Es una representación gráfica de los principales indicadores (KPI) que intervienen en la consecución de los objetivos de negocio, y que está orientada a la toma de decisiones para optimizar la estrategia de la empresa.

³² Landázuri, A. (2019). Planteamiento de objetivos corporativos y su orientación para las grandes y medianas empresas como factores claves para el éxito en los 6 últimos años. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento CEAC*.

- **KPI:** Según SimpliRoute, (2022)³³ un indicador clave de rendimiento (KPI) es una métrica utilizada para medir los factores que son fundamentales para el éxito de una organización. Los KPI para cada negocio pueden ser diferentes, pero serán las métricas más importantes que indiquen el rendimiento y la salud de una organización. A menudo, estos KPI se recopilan en forma de un tablero que se distribuye a las partes interesadas clave, utilizando un software de visualización de datos. Los KPI normalmente se rastrean a lo largo del tiempo para observar tendencias y comparar con el plan de una organización para el rendimiento esperado.
- **Mantenimiento:** Es la combinación de todas las acciones administrativas y técnicas, dirigidas a conservar un ítem o a restaurarlo al estado en que este en la capacidad de desempeñar su función requerida.
- **MCDM:** “Multi-Criteria Decision Making o Toma de Decisiones Multicriterio” puede definirse como: el análisis y la resolución de problemas de decisión que involucran múltiples criterios y se consideran una subdisciplina dentro de la investigación de operaciones.(Gonçalves et al., 2015)

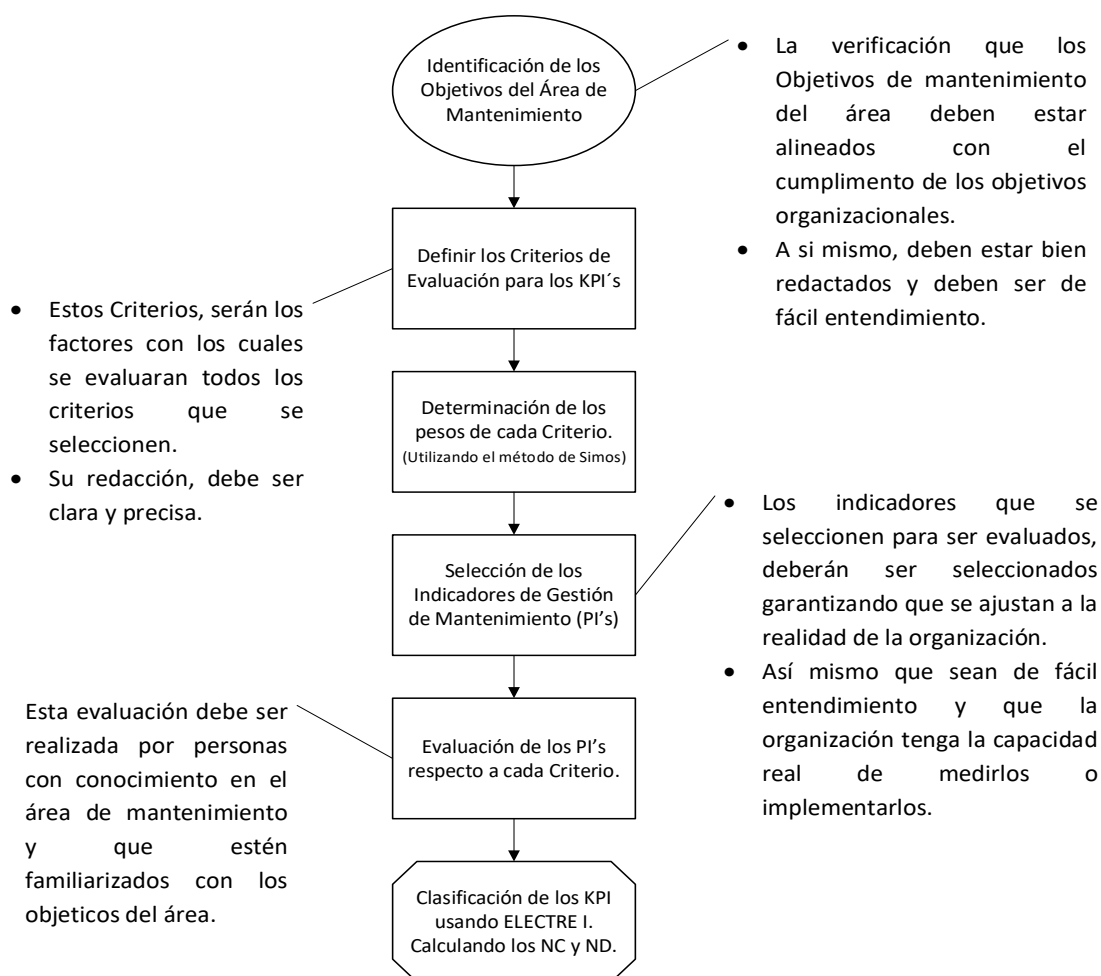
³³ SimpliRoute. (2022). *KPI: Qué Son, Para Qué Sirven y Cómo se Eligen*. SimpliRoute. https://simpliroute.com/blog/kpi-que-son-para-que-sirven-y-como-se-eligen?utm_source=google-search&utm_campaign=%7Bperu%7D&utm_agid=%7Bdinamico%7D&utm_term=%7Bdinamico%7D&creative=616093566216&device=c&placement=&gclid=CjwKCAjwu5yYBhAjEiwAKXk_eCGaMjYW4NPR

CAPITULO 3 DISEÑO DEL MODELO

3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

En el diagrama de la Figura 20, se resumen en 6 pasos la metodología planteada para el desarrollo del caso de estudio. Cada uno de los puntos están explicados en detalle en el numeral 3.2.

Figura 20
Marco conceptual de la metodología propuesta.



Fuente: Documento elaborado por el autor.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO

Del planteamiento estratégico de la organización se obtuvo los objetivos estratégicos de la organización, los cuales son cruciales para el desarrollo del presente proyecto pues son la base fundamental para el planteamiento de los KPI's.

El modelo matemático del método ELECTRE I está claramente detallado en Gonçalves et al., (2015)³⁴ y dentro de él, se pueden identificar 4 aspectos claves en su proceso de aplicación, los cuales son:

- A. Identificación de los Objetivos de Mantenimiento.
- B. Definición de los Criterios de Evaluación de los indicadores que permitan calificar el grado de afinidad de los KPI's con los objetivos de mantenimiento.
- C. Identificación de los indicadores más utilizados en la gestión de mantenimiento de flotas de transporte urbano y elaboración de un primer listado de indicadores.
- D. Aplicación del modelo matemático del Método ELECTRE I.

Los Objetivos de Mantenimiento, para la organización que se tomó como fuente de información para el caso de estudio, ya los tenía definidos y establecidos dentro de su proceso de planificación estratégica. Estos fueron:

- *Optimizar las actividades de mantenimiento haciendo un uso razonable de los recursos económicos de la organización, basado en los principios de control y aseguramiento de la calidad.*
- *Lograr una alta disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos, garantizando el funcionamiento adecuado según el plan operativo de la organización orientado al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el contrato de concesión.*
- *Proporcionar un ambiente de trabajo seguro con empleados motivados.*
- *Reducir el impacto al medio ambiente, mediante políticas de REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE y así asegurar el uso y disposición adecuado de los recursos potencialmente contaminantes (combustible, lubricantes, neumáticos y materiales).*

³⁴ Gonçalves, C. D. F., Dias, J. A. M., & Machado, V. A. C. (2015). Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. In *International Journal of Management Science and Engineering Management*. <https://doi.org/10.1080/17509653.2014.954280>

- *Incrementar el compromiso organizacional de los colaboradores mediante la mejora permanente de sus competencias.*

Para la definición de los criterios de evaluación de los indicadores, se realizó una búsqueda bibliográfica donde se enlistó los criterios más utilizados y posterior a ello se realizó una selección que finalizó con un total de 5 de ellos, los cuales son:

- Calidad de mantenimiento (C1): para evaluar cómo el KPI mide cuantitativamente los aspectos de calidad del servicio de mantenimiento; cómo permite medir y comparar el desempeño del mantenimiento, identificando las fortalezas y debilidades del servicio de mantenimiento.
- Correlación con Objetivos de mantenimiento (C2): evaluar cómo el KPI mide el estado de mantenimiento en el cumplimiento de los objetivos establecidos para el mantenimiento y de acuerdo con los objetivos de la empresa; Cómo el KPI ayuda a la administración a establecer objetivos en un proceso de mejora continua.
- Influencia de KPI (C3): para evaluar cómo el resultado de KPI puede influir en la toma de decisiones en el mantenimiento; Cómo el KPI ayuda a guiar las decisiones futuras, a seguir el progreso y los cambios a lo largo del tiempo.
- Facilidad de comprensión del KPI (C4): para evaluar cómo el KPI expresa una medida que traduce fácilmente un resultado real obtenido o esperado; para evaluar la facilidad con la que el KPI proporciona una percepción de la realidad, la interpretación de los datos y el análisis de los resultados sin comprometer la efectividad de la gestión del mantenimiento en la toma de decisiones.
- Familiarización de los resultados (C5): para evaluar cómo los resultados de los KPI son de interés para ser compartidos con otros sectores de la empresa, empleados o clientes; cómo los resultados de los KPI son interesantes para informar y motivar a los empleados; Evaluar el interés común entre el mantenimiento y otros sectores de la empresa en compartir los resultados del KPI.

De la misma manera, para la elaboración del listado inicial de indicadores y de los cuales se realizará la selección final, se tomaron diversas fuentes de información como investigación bibliográfica, histórico de los KPI's utilizados por la empresa y algunos que el autor planteó. De todos ellos se realizó un listado final de 20 KPI's iniciales para su posterior evaluación y fueron:

- 1. Disponibilidad:** La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.
- 2. Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.
- 3. Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF):** Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.
- 4. Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR):** Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de

reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.

- 5. Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF):** El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.
- 6. Costo Total del Mantenimiento por mes:** Corresponde a la relación entre el monto total gastado por el área de mantenimiento por cada mes respecto al costo presupuestado para dicho mes.
- 7. Costo real de mantenimiento por mes:** Corresponde a la relación existente entre las facturaciones totales generadas por el área respecto del gasto generados por las unidades.
- 8. % de Costo del Correctivo:** Es la relación existente entre los costos generados en la atención de unidades por atenciones correctivas y el costo total de mantenimiento por mes.
- 9. Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo:** Es la relación entre el Numero de órdenes de trabajo realizadas según lo programado y el Número total de órdenes de trabajo programadas.
- 10.% órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución):** Es la relación entre el Número de órdenes de trabajo para reprocesar y el Número total de órdenes de trabajo.
- 11.Calidad de la programación del mantenimiento:** Es la relación entre el Número de órdenes de trabajo con ejecución retrasada por material o mano de obra y el Número total de órdenes de trabajo.
- 12.Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación):** Corresponde al total de reclamaciones hechas por el concedente a causa de unidades varadas durante la operación en un periodo de 30 días.

- 13.% de Fallas que generan formatos de varadas:** Es la relación fallas que se presentan en la prestación del servicio y la cantidad de estas que generan formatos de falla por parte del concedente.
- 14.%de Correctivos sobre el numero intervenciones totales:** Es la relación de la cantidad de intervenciones correctivas respecto del total de intervenciones realizadas en el taller.
- 15.Relación de Horas de Operación por Bus:** Es la relación existente entre la cantidad de horas de operación de las unidades y la cantidad de horas de mantenimiento que estas requieren.
- 16.Edad Media de la flota:** Es el promedio del recorrido acumulado de la flota, en función a la necesidad de controlar su desgaste, entendiendo que a medida que las unidades acumulan más kilómetros demandan una mayor cantidad de mantenimiento.
- 17.% de Horas de capacitación reales:** Es la relación entre la cantidad de horas brindadas al personal técnico de mantenimiento y las horas de capacitación planificadas dentro del plan anual de capacitaciones.
- 18.% de técnicos con certificación de competencias:** Es la relación existente entre la cantidad de personal técnicos que tiene certificaciones de competencias según especialidad, respecto a la cantidad total de técnicos según especialidad.
- 19.% de Ejecución de Horas Hombre:** Es la relación existente entre la cantidad de horas hombre ejecutadas en las atenciones de las unidades y las cantidades de horas hombre disponibles.
- 20.Calidad de la programación del personal:** Es la relación horas extras ejecutadas por el personal técnico respecto a la cantidad de horas standard contratadas.

Con esta información de entrada definida, se procedio a la apliacion de todos los paso definidos para el MCDM, impórtante mencionar que en el trabajo de Gonçalves et al., (2015) mencionan la elaboración la matriz de desempeño de los indicadores KPI's base, la cual es información de entrada fundamental para el desarrollo del metodo. El proceso de investigación bibliografica no arrojó detalles sobre la forma exacta en que los autores desarrollaron dicha matriz; por tanto se decidio utilizar una herramienta

distitan pero que cuenta con el soporte necesario para considerar valido su uso en la procesos de recoleccion de datos y es la ENCUESTA.

3.3 FORMULACIÓN MATEMÁTICA

3.3.1 METODO ELECTRE I

Gonçalves et al., (2014)³⁵ describieron paso a paso el modelo matemático para la implementación del método ELECTRE I, dicho procedimiento matemático será replicado para la selección de los indicadores clave de gestión de mantenimiento en la empresa elegida como caso de estudio.

El método original ELECTRE I consta de los siguientes pasos:

Paso 1. Considere un conjunto finito de m alternativas posibles $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$, evaluado en un conjunto coherente de n criterios de decisión, denotado por $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$. Los valores de asignación de cada A_i alternativo según cada criterio C_j se definen como x_{ij} y forman una matriz de desempeño $X = (x_{ij})$ $m \times n$. Sea w_n el coeficiente de importancia relativa (o peso) adjunto al criterio C_n y, por tanto, $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ representan el conjunto de todos los criterios, satisfaciendo $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

Paso 2. La normalización de la matriz de rendimiento X a una escala comparable con el objetivo de maximización se realiza utilizando la Ecuación (5) y se obtiene una matriz de rendimiento normalizada $R = r_{ij}$ $m \times n$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

Paso 3. Se obtiene una matriz de rendimiento ponderada y normalizada $V = v_{ij}$ $m \times n$ multiplicando las columnas de la matriz de rendimiento normalizada R por los pesos asociados w_j del criterio C_j , como la Ecuación (6) proporcionada a continuación.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_j, i=1, 2, \dots, m, j=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Paso 4. Para cada par de alternativas A_p y A_q ($p, q = 1, 2, \dots, m$ y $p \neq q$) el conjunto de criterios se divide en dos subconjuntos distintos. Si se prefiere la alternativa A_p a la

³⁵ Gonçalves, C. D. F., Dias, J. A. M., & Cruz-Machado, V. A. (2014). Decision methodology for maintenance KPI selection: Based on ELECTRE I. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55122-2_87

alternativa A_q para todos los criterios, el conjunto de concordancia $C(p, q)$ se compone y se determina de la siguiente manera:

$$C(p, q) = \{j \mid v_{pj} > v_{qj}\}, j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

El complemento de $C(p, q)$, llamado conjunto de discordancia $D(p, q)$, contiene todos los criterios para los cuales A_p es peor que A_q y está determinado por:

$$D(p, q) = \{j \mid v_{pj} < v_{qj}\} = J - C(p, q), j = 1, 2, \dots, n, J = \{j \mid j = 1, 2, \dots, n\}. \quad (8)$$

Paso 5. El índice de concordancia c_{pq} del conjunto $C(p, q)$ expresa en qué medida la alternativa " A_p supera a A_q ", de acuerdo con las preferencias del decisor y se obtiene utilizando la Ecuación (9):

$$C_{pq} = \sum_{j \in C(p, q)} w_j, j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Todos los índices de concordancia forman la matriz de concordancia $C = (c_{pq})_{m \times m}$. El índice de discordancia d_{pq} del conjunto $D(p, q)$ indica en qué medida las preferencias del tomador de decisiones se oponen a la afirmación de que " A_p supera a A_q " y se obtiene mediante la Ecuación (10):

$$D_{pq} = \frac{\max_{j \in C(p, q)} |v_{pj} - v_{qj}|}{\max_{j \in J} |v_{pj} - v_{qj}|}, j = 1, 2, \dots, n, J = \{j \mid j = 1, 2, \dots, n\} \quad (10)$$

Todos los índices de discordancia forman la matriz de discordancia $D = (d_{pq})_{m \times m}$.

Paso 6. El valor de concordancia neta NC_p mide el grado de dominio que cada alternativa A_p tiene compitiendo con las otras y se calcula mediante la Ecuación (11). Aquí, el objetivo es evaluar una alternativa para saber qué tan fuerte es la concordancia (cuanto más alto, mejor). Así,

$$NC_p = \sum_{q=1}^m c_{pq} - \sum_{q=1}^m c_{pq}, \quad (11)$$

A su vez, el valor neto de discordancia ND_p mide la debilidad relativa de la alternativa A_p con respecto a las otras alternativas. Sin embargo, se requiere un menor valor de discordancia neta para una mayor preferencia (cuanto más bajo mejor). El valor neto de discordancia se calcula mediante la Ecuación (12):

$$ND_p = \sum_{q=1}^m d_{pq} - \sum_{q=1}^m d_{pq}, \quad (12)$$

Por lo tanto, la selección final debe satisfacer la condición de que su valor de concordancia neta debe estar en un máximo y su valor de discordancia neta en un mínimo.

Previo a la aplicación del modelo matemático del método ELECTRE I, se debe calcular los pesos que tendrán cada uno de los criterios de evaluación que serán seleccionados para calificación de cada uno de los indicadores propuestos. En el paper Gonçalves et al., (2015) mencionan la utilización del software SRF para la ponderación de los resultados obtenidos mediante la clasificación de los criterios utilizando la escala de Likert.

3.3.2 PROCEDIMIENTO DE SIMOS

Figueira & Roy, (2002)³⁶ describen la aplicación de la escala de Likert y mediante un ejemplo práctico enseñan la aplicación del Procedimiento de Simos, mismo que es la base del Software SRF mencionado por Gonçalves et al., (2015) en su trabajo. Partiendo que el referido Software no es de fácil acceso, se decidió utilizar el procedimiento de Simos para el cálculo de los pesos de cada uno de los 5 criterios seleccionados.

Los pasos de aplicación del procedimiento Modificado de Simons se detallan a continuación:

Consideremos una familia F con 12 criterios:

$$F(a; b; c; d; e; f; g; h; i; j; k; l)$$

Supongamos que el usuario agrupa las tarjetas asociadas a los criterios que tienen la misma importancia (es decir, el mismo peso) en seis subconjuntos diferentes de ex aequo. La Tabla 29 muestra la clasificación de estas tarjetas teniendo en cuenta el número de tarjetas blancas insertadas entre dos subconjuntos sucesivos de ex aequo. Para convertir los rangos en pesos, Simos propone el siguiente algoritmo:

Paso 1. Clasificar los subconjuntos de ex aequo de los menos buenos a los mejores de acuerdo con las tarjetas blancas.

³⁶ Figueira, J., & Roy, B. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00370-8)

Paso 2. Atribuyendo una posición (llamada peso por Simos) a cada criterio y a cada tarjeta blanca: la tarjeta menos calificada recibe la Posición 1, la siguiente Posición 2, y así sucesivamente.

Paso 3. Determinar el peso no normalizado (llamado peso promedio por Simos) de cada rango dividiendo la suma de las posiciones de este rango por el número total de criterios que pertenecen a este rango.

Paso 5. Determinar el peso normalizado (llamado peso relativo por Simos) de cada criterio dividiendo el peso no normalizado del rango por la suma total de las posiciones de los criterios (sin tener en cuenta las tarjetas blancas). Tenga en cuenta que los pesos normalizados se escriben sin decimales. La técnica consiste en redondear al valor entero más cercano más bajo o más alto.

Utilizando un caso práctico para la ejemplificación de los pasos mencionado anteriormente, Figueira & Roy, (2002) elaboraron el siguiente arreglo mostrado en la Tabla 21.

Tabla 21
Conversión de los rangos en pesos usando el procedimiento de Simos - Traducción

SubConjuntos de "Ex Aequo"	Numero de Cartas	Posiciones	Pesos No-Normalizados	Pesos Normalizados	Total
{c,g,l}	3	1,2,3	$\frac{1+2+3}{3} = 2$	$\frac{2}{86} \times 100 \approx 2.326 \rightarrow 2$	$3 \times 2 = 6$
{d}	1	4	4	$\frac{4}{86} \times 100 \approx 4.651 \rightarrow 5$	$1 \times 5 = 5$
Blanca	1	(5)	...	...	...
{b,f,i,j}	4	6,7,8,9	$\frac{6+7+8+9}{4} = 7.5$	$\frac{7.5}{86} \times 100 \approx 8.721 \rightarrow 9$	$4 \times 9 = 36$
{e}	1	10	10	$\frac{10}{86} \times 100 \approx 11.628 \rightarrow 12$	$1 \times 12 = 12$
{a,h}	2	11,12	$\frac{11+12}{2} = 11.5$	$\frac{11.5}{86} \times 100 \approx 13.372 \rightarrow 13$	$2 \times 13 = 26$
{k}	1	13	13	$\frac{13}{86} \times 100 \approx 15.116 \rightarrow 15$	$1 \times 15 = 15$
Sum	13	86*	...	...	100

Figueira & Roy, (2002) Determinación de las Ponderaciones de los Criterios en los Métodos de Tipo ELECTRE con un Procedimiento Simos Revisado. – Traducción.

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Los primeros 4 pasos no son el procedimiento más recomendado dado que es muy común encontrar arreglos de datos que no sumen exactamente 100, Por ellos la versión revisada del procedimiento de Simos tiene en cuenta un nuevo tipo de información adicional del tomador de decisiones y cambia ciertas reglas de cálculo del método anterior. El nuevo tipo de información adicional se refiere a la relación entre las ponderaciones del criterio más importante y el menos importante en la clasificación.

Para el nuevo cálculo debemos identificar:

T = Corresponde al número total de Carta del arreglo, incluyendo las cartas blancas que el tomador de decisiones haya considerado incluir.

P = Corresponde a la cantidad de carta presente en el sub conjunto menos importante.

Q = Corresponde a la cantidad de carta presente en el sub conjunto más importante.

Paso 6. *Identificado estos valores, se procede al cálculo de la relación Z, mediante la Ecuación (3.9)*

$$Z = \frac{\left(\sum_{i=0}^{q-1} (T-1)\right) * p}{\left(\sum_{i=0}^{p-1} (1+i)\right) * q} \quad (3.9)$$

Paso 7. *Con el caso de ejemplo anterior procedemos a realizar el nuevo arreglo con la información adicional incluida, quedado como se muestra en la Tabla 22.*

Tabla 22
Cálculo de pesos No-Normalizados para Z - Traducción

Rango r	Criterios en el Rango r	Numero de Cartas Blancas según rango r, e_r	e_r	Pesos no-normalizados $k(r)$	Total
1	{c,g,l}	0	1	1.00	1.00 x 3 = 3.00
2	{d}	1	2	1.92	1.92 x 1 = 1.92
3	{b,f,i,j}	0	1	3.75	3.75 x 4 = 15.00
4	{e}	0	1	4.67	4.67 x 1 = 4.67
5	{a,h}	0	1	5.58	5.58 x 2 = 11.16
6	{k}	...	...	6.50	6.50 x 1 = 6.50
Sum		1	6	...	42.25

Figueira & Roy, (2002) **Determinación de las Ponderaciones de los Criterios en los Métodos de Tipo ELECTRE con un Procedimiento Simos Revisado. – Traducción.**

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Los valores de la Columna “Numero de Cartas Blancas Según Rango r , e'_r ” corresponden al número de carta blanca ubicada entre los rangos r y $r+1$; en tanto que los valores de la columna “ e_r ” son la suma de los valores $e'_r + 1$, tal como se muestra en la Ecuación 3.10 y para el cálculo de “Pesos No-Normalizados $k(r)$ ” de la forma en como se muestra en la Ecuación 3.11

$$\left\{ \begin{array}{l} e_r = e'_r + 1 \quad \forall r = 1, \dots, \tilde{n} - 1 \\ e = \sum_{r=1}^{\tilde{n}-1} e_r \\ u = \frac{z-1}{e} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

$$k(r) = 1 + u(e_0 + \dots + e_{r-1}) \text{ con } e_0 = 0 \quad (3.11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K' = \sum_{i=1}^n k'_i, \\ k_i^* = \frac{100}{K'} k'_i \end{array} \right. \quad (3.11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} w = 0 \quad \text{No tiene en cuenta cifras después del punto decimal;} \\ w = 1 \quad \text{Tenga en cuenta solo una cifra después del punto decimal;} \\ w = 2 \quad \text{Tenga en cuenta solo dos cifras después del punto decimal.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K'' = \sum_{i=1}^n k_i'' \leq 100; \\ e = 100 - K'' \leq 10^{-w} * n \end{array} \right. \quad (3.12)$$

$$d_i = \frac{10^{-w} - (k_i^* - k_i'')}{k_i^*} \quad (3.13)$$

$$\bar{d}_i = \frac{(k_i^* - k_i'')}{k_i^*} \quad (3.14)$$

3.4 PROGRAMACIÓN DEL MODELO

Para poder ejecutar las ecuaciones del modelo matemático citadas en el numeral 3.2, y con propósito de cumplir el objetivo de seleccionar una herramienta que sea fácil acceso y uso intuitivo, se seleccionó el software Microsoft Excel.

3.5 VALIDACIÓN DEL MODELO:

La validación del modelo se realizó tomando como referencia la publicación de Gonçalves et al., (2015), en esté, los autores aplican el método para modelar los resultados de un análisis para la selección de indicadores de gestión de mantenimiento en un aeropuerto. En dicho documento los autores muestran los resultados obtenidos luego de su investigación y partiendo con esta información como base, se procedió a modelar las ecuaciones del método ELECTRE I con el propósito de replicar los resultados obtenidos por los autores.

Esta decisión tenía como objetivo garantizar que todos los pasos del modelo quedaran adecuadamente estructurados y que, al cargar información nueva de las encuestas realizadas, provenientes del caso de estudio que será analizado en el presente trabajo de grado, no se tuviera una distorsión en los resultados por errores de digitación. Las Tablas 23 y 24, muestran la información de entrada que Gonçalves et al., (2015) tomaron como entrada para el caso es estudio.

Tabla 23
Pesos de los criterios generados por el software RSF

C1	C2	C3	C4	C5
28.36	17.91	17.91	33.58	2.24

Gonçalves et al., (2015) **Metodología de Decisión para la Selección de KPI de Mantenimiento - Basada en ELECTRE I . – Traducción.**

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Tabla 24
Evaluación de KPI's contra criterios (rendimiento de alternativas)

Am	C1	C2	C3	C4	C5
1	8	9	9	8	7
2	7	8	8	7	7
3	9	8	7	9	5
4	8	7	8	8	8
5	9	8	7	7	7
6	8	5	1	5	7
7	7	4	4	7	6
8	8	6	8	7	8
9	5	7	8	7	9
10	9	8	9	8	9
11	9	9	9	9	9
12	7	8	7	4	7
13	9	9	9	8	9
14	8	3	4	8	8
15	9	8	8	8	9
16	9	8	9	7	6
17	7	9	8	7	7
18	8	7	9	8	9
19	8	9	8	5	8
20	3	7	6	5	5

Gonçalves et al., (2015) **Metodología de Decisión para la Selección de KPI de Mantenimiento - Basada en ELECTRE I . – Traducción..**

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Luego de realizar el modelado de las ecuaciones del modelo que los autores detallan en la sección 2 del citado documento. El resultado de este proceso de validación fue satisfactorio, logrando replicar exactamente los resultados presentados por los autores, las Tablas 25 y 26 muestran la organización de los valores de Concordancia Neta y Discordancia Neta respectivamente. Es importante resaltar, que a partir del indicador Numero 12 no coinciden perfectamente las posiciones en las tablas de NC y ND, esto se debe a que las calificaciones de los indicadores seleccionados respecto a los criterios de evaluación no fueron concluyentes para los expertos que participaron en la contestación de las encuestas, según lo mencionado por los autores.

Tabla 25
Ranking de Concordancia Neta

Indicador	Valor Neto Superior	Ranking C
11	1523.87	1
13	1221.65	2
10	1006.73	3
3	825.34	4
1	779.81	5
15	773.9	6
16	473.89	7
18	412.68	8
4	157.45	9
5	79.88	10
17	-235.1	11
19	-236.54	12
14	-344.03	13
8	-402.22	14
2	-450.02	15
9	-744.03	16
12	-1099.24	17
7	-1130.61	18
6	-1154.44	19
20	-1458.97	20

Gonçalves et al., (2015) **Metodología de Decisión para la Selección de KPI de Mantenimiento - Basada en ELECTRE I . – Traducción..**

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

Tabla 26
Ranking de Discordancia Neta

Indicador	Valor Neto Inferior	Ranking D
11	-19.0000	1
13	-16.0161	2
10	-12.8535	3
3	-10.1294	4
1	-9.4813	5
15	-9.1803	6
18	-5.2597	7
16	-5.0338	8
4	-1.9931	9
5	-1.4539	10
17	-1.1079	11
2	3.1863	12
8	4.7772	13
19	6.3972	14
14	8.8398	15
9	10.3287	16
7	12.4794	17
12	13.1710	18
6	15.4671	19
20	16.8622	20

Gonçalves et al., (2015) **Metodología de Decisión para la Selección de KPI de Mantenimiento - Basada en ELECTRE I . – Traducción.**

Nota: los valores mostrados en esta tabla, fueron presentados por los autores en su publicación y la validación de los mismos no es parte del presente trabajo.

CAPITULO 4 RESULTADOS

4.1 RESPUESTAS DE LOS ENCUESTADOS.

La encuesta mencionada en el numeral 3.1 fue aplicada a 3 voluntarios que son miembros de la organización, que cuentan con amplia experiencia en la gestión de mantenimiento y con una visión clara de la filosofía organizacional de la empresa a la cual se está aplicando en presente caso de estudio.

Previo a que las personas seleccionadas para diligenciar las encuestas así lo hicieran, se sostuvo reuniones con cada uno ellos, donde se explicó a cada uno de ellos el proceso en el cual iban a formar parte y la importancia del proceso de calificación de los indicadores seleccionados en función de los objetivos del área de mantenimiento y como esta información seria modelada para la selección final de los KPI's más preponderantes según los resultados obtenidos.

En las mencionadas reuniones surgieron algunas propuestas por parte de los participantes, algunas de la cuales fueron consideradas e incluidas como parte de la versión final de la encuesta que se observa en el numeral 3. Una vez contestada la encuesta, los resultados obtenidos que se muestran en el Anexo 4, fueron modelados en un documento de Excel, donde previamente se había simulado el cálculo de las ecuaciones del MCDM ELECTRE I.

Por otro lado, y como se mencionó en el capítulo 3, los criterios seleccionados para la calificación de los KPI's según el método ELECTRE I, debían ser categorizados y para ello se utilizó el procedimiento de SIMOS, explicado por Figueira & Roy, (2002) y cuyas ecuaciones se muestran en el numeral 3.2.1. para ello se solicitó el apoyo de un profesional que había estado frente al área de mantenimiento de la organización. La Tabla 27 resumen los pesos normalizados (K_i), valores que fueron tomados como base para la modelación del ELECTRE I.

Tabla 27
Determinación de los Pesos Normalizados de cada Criterio

Rango	Criterio	N	Pesos Normalizados K^*_i	Pesos Normalizados K''_i	Ratio d_i	Ratio \bar{d}_i	Pesos Normalizados K_i
1	C5	5	5.333333333	5.3	0.012500000	0.006250000	5.3
2	C3	3	10.24	10.2	0.005859375	0.003906250	10.2
3	C4	4	24.90666667	24.9	0.003747323	0.000267666	24.9
4	C1	1	29.76	29.7	0.001344086	0.002016129	29.8
5	C2	2	29.76	29.7	0.001344086	0.002016129	29.8
Suma	5	...		99.8			100.0

Fuente: Documento elaborado por el autor.

Con los valores de los pesos para cada criterio de evaluación calculados, se procedió a modelar los resultados de cada una de las 3 encuestas aplicadas, y así obtener una calificación de relevancia previa para cada indicador, a continuación, en las Tablas 28, 29 y 30 se muestran las tablas de resultados según el Raking de Concordancia de cada uno de los 3 expertos consultados.

Tabla 28
Raking de Concordancia Experto 1

KPI	Valor Neto Superior	Ranking Concordancia
2	1589.4	1
3	1049.8	2
10	991.2	3
8	938.3	4
14	739.6	5
1	725.2	6
5	395.2	7
12	300.1	8
18	28.2	9
4	3.3	10
17	-324.1	11
6	-403.9	12
9	-528.6	13
19	-595.9	14
7	-707.8	15
20	-708.2	16
16	-894.9	17
13	-935.8	18
11	-946.9	19
15	-987.3	20

Fuente: Documento elaborado por el autor.

Tabla 29
Raking de Concordancia Experto 2

KPI	Valor Neto Superior	Ranking Concordancia
2	1319.3	1
6	1232.2	2
5	1202.5	3
14	731.5	4
1	724.4	5
10	619.3	6
8	493.1	7
12	269.3	8
4	228.1	9
19	-19.3	10
17	-102.9	11
20	-192.3	12
18	-215.1	13
7	-261.2	14
9	-298.3	15
15	-505.4	16
11	-734.2	17
16	-1045.4	18
3	-1240.8	19
13	-1870.2	20

Fuente: Documento elaborado por el autor.

Tabla 30
Ranking de Concordancia Experto 3

KPI	Valor Neto Superior	Ranking Concordancia
10	1099	1
3	1038	2
12	887.8	3
1	777.9	4
2	777.9	4
4	714.3	6
8	714.3	6
7	544	8
6	428.8	9
11	410	10
14	332.3	11
9	-178.3	12
13	-321.3	13
19	-399.6	14
5	-418.8	15
20	-900.5	16
15	-1082.8	17
17	-1372.6	18
18	-1521.2	19
16	-1529.2	20

Fuente: Documento elaborado por el autor.

4.2 CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.

Con el propósito de conciliar las ponderaciones de cada uno de los expertos, se procedió a realizar una comparativa de los resultados de cada uno de ellos para poder tener un consenso sobre los KPI's más relevantes. Para este proceso no se tiene un procedimiento determinado, por lo tanto, se decidió desarrollar un proceso que consistía en lo siguiente:

- La posición que ocupa cada KPI según el Ranking de Concordancia, se asumió como su valor de calificación y se calculó el promedio aritmético de los 3 valores, tendiendo como resultado un arreglo como se observa en la Tabla 31.
- Con el valor de Promedio, se reorganizó la tabla, en función de los valores resultantes del Promedio Aritmético de menor a mayor, la Tabla 32 muestra el resultado final de este proceso.

Para la verificación de estos resultados, se procedió tal y como le indica el método, a cotejar los resultados de la clasificación de Ranking Discordante.

Tabla 31
Calculo Promedio Aritmético de Valores del Ranking Concordante

KPI	Ranking Concordancia Experto 1	Ranking Concordancia Experto 2	Ranking Concordancia Experto 3	Promedio
1	6	5	4	5.00
2	1	1	4	2.00
3	2	19	2	7.67
4	10	9	6	8.33
5	7	3	15	8.33
6	12	2	9	7.67
7	15	14	8	12.33
8	4	7	6	5.67
9	13	15	12	13.33
10	3	6	1	3.33
11	19	17	10	15.33
12	8	8	3	6.33
13	18	20	13	17.00
14	5	4	11	6.67
15	20	16	17	17.67
16	17	18	20	18.33
17	11	11	18	13.33
18	9	13	19	13.67
19	14	10	14	12.67
20	16	12	16	14.67

Fuente: Documento elaborado por el autor.

Tabla 32
Clasificación Final de los KPI's para el Ranking Concordante

KPI	Promedio
2	2.00
10	3.33
1	5.00
8	5.67
12	6.33
14	6.67
3	7.67
6	7.67
4	8.33
5	8.33
7	12.33
19	12.67
9	13.33
17	13.33
18	13.67
20	14.67
11	15.33
13	17.00
15	17.67
16	18.33

Fuente: Documento elaborado por el autor.

De la misma forma en que se realizó el análisis para los resultados del Ranking Concordante, en la Tabla 33 se observa el resumen de

los resultados de los 3 expertos para el Ranking Discordantes.

Tabla 33
Calculo Promedio Aritmético de Valores del Ranking Discordante

KPI	Ranking Discordancia Experto 1	Ranking Discordancia Experto 2	Ranking Discordancia Experto 3	Promedio
1	14	14	16	14.67
2	20	19	18	19.00
3	19	3	17	13.00
4	12	12	13	12.33
5	15	18	7	13.33
6	6	20	10	12.00
7	2	6	12	6.67
8	16	17	15	16.00
9	9	11	9	9.67
10	18	15	20	17.67
11	4	5	14	7.67
12	13	13	19	15.00
13	7	1	8	5.33
14	17	16	11	14.67
15	3	4	4	3.67
16	1	2	3	2.00
17	10	7	2	6.33
18	11	8	1	6.67
19	8	10	6	8.00
20	5	9	5	6.33

Fuente: Documento elaborado por el autor.

Siguiendo los pasos del proceso planteado, la Tabla 34, muestra la reorganización de los indicadores en función de la su calificación, en este caso de mayor a menor. El objetivo es verificar que los resultados obtenidos sean consecuentes, garantizando que los indicadores ocupan casi la misma posición, pero en sentido inverso.

Haciendo una revisión de las Tablas 32 y 34, podemos ver que los KPI's N° 2 y 10 ocupan exactamente las mismas posiciones tanto en la verificación Concordante como la Discordante. A continuación, tenemos los indicadores N° 1, 8, 12 y 14 en la tabla de Concordancia, pero en la tabla de Discordancia están aparecen secuencialmente como 8,12,1 y 14. Estos nos muestra que en caso del KPI N° 1, existió una variación en su calificación que los desplazo un par de casillas en el listado Discordante, aspecto que no es significativamente grave para su consideración.

Tabla 34
Clasificación Final de los KPI's para el Ranking Discordante.

KPI	Promedio
2	19.00
10	17.67
8	16.00
12	15.00
1	14.67
14	14.67
5	13.33
3	13.00
4	12.33
6	12.00
9	9.67
19	8.00
11	7.67
7	6.67
18	6.67
17	6.33
20	6.33
13	5.33
15	3.67
16	2.00

Fuente: Documento elaborado por el autor.

A partir del 6 indicador, observamos que existen variaciones más considerables respecto de las calificaciones de cada indicador y, por ende, hay distorsiones respecto a las posiciones que ocupa cada KPI en cada tabla. Este aspecto lo que indica es que, para el caso de los 3 expertos consultados, no existe un consenso respecto de la importancia del indicador o su verdadera contribución para el alcance de los objetivos propuestos.

Tal como lo afirman Gonçalves et al., (2015) *“El cerebro humano solo puede manejar de cuatro a ocho mediciones destinadas a cuantificar un aspecto, lo que sugiere que es razonable utilizar seis indicadores de desempeño para medir cada aspecto de mantenimiento”*. **Basados en esta información y teniendo en cuenta los resultados comparativos de los ranking Concordantes y Discordantes se evidencia que los 6 primeros indicadores serían los más adecuados para la organización, la Tabla 35 nos muestra cuales serían estos.**

Tabla 35
Selección de Final de Indicadores.

N° Indicador	Posición	KPI	DESCRIPCIÓN
2	1	Confiabilidad.	Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.
10	2	% órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución) .	No. de órdenes de trabajo para reprocesar / No. Total de órdenes de trabajo.
1	3	Disponibilidad.	La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPF y el TPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.
8	4	% de Costo del Correctivo.	Es la relación existente entre los costos generados en la atención de unidades por atenciones correctivas y el costo total de mantenimiento por mes.
12	5	Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación).	Corresponde al total de reclamaciones hechas por el concedente a causa de unidades varadas durante la operación.
14	6	% de Correctivos sobre el número intervenciones totales.	Es la relación de la cantidad de intervenciones correctivas respecto del total de intervenciones realizadas en el taller.

Fuente: Documento elaborado por el autor.

4.3 CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS.

4.3.1 Contrastación de Hipótesis General.

La hipótesis general planteada fue: *“La cantidad optima de indicadores claves de gestión de mantenimiento para una flota de buses de tránsito rápido basado en los objetivos de mantenimiento será menor a 7”*.

Como resultado del presente trabajo de investigación, se consiguió la selección de 6 indicadores claves de mantenimiento para una empresa de buses, mediante el uso de un método multicriterio para la toma de decisiones; vemos que la hipótesis no fue acertada pues el resultado final difiere en 1 unidad.

Respecto a este proceso es importante mencionar que si bien esta metodología ha sido validada en múltiples estudios de diferentes áreas - como lo podemos encontrar en Gonçalves et al., (2015) quienes tomaron el método ELECTRE I para seleccionar los indicadores de mantenimiento para el área de mantenimiento de un aeropuerto y

a Eshtaiwi et al., (2018) quienes realizar la comparación objetiva de 3 aeropuertos en Libia y determinar cuál era el mejor de ellos y Haider et al., (2015) quienes realizaron la selección de indicadores claves de mantenimiento para empresas que suministran agua potable en Canadá, también Jun et al., (2014) quienes utilizaron los métodos multicriterio para encontrar la mejor ubicación para una planta de generación de energía híbrida solar/eólica y Thames Cantolla et al., (2021) que lo utilizaron para seleccionar el mejor método de extracción para mineras de litio.- los resultados pueden varias en función de múltiples variables, como lo son el tiempo y la cantidad de expertos consultados y el tiempo de madures de la organización.

Por otro lado, al hacer un análisis de los 6 indicadores seleccionados es razonable afirmar que son resultados realistas dado que, el control de la Disponibilidad y la Confiabilidad mecánica son indicadores que hacen parte de los considerados Indicadores de Clase Mundial, como lo resume Tavares (2010); así mismo, el % del costo del correctivo, hace parte de los indicadores de gestión de costo que también menciona en su libro.

Y, por otro lado, Cisneros et al., (2022) mencionan que de acuerdo con VIANNA (2008) la implementación de indicadores usados por el sector de mantenimiento debe relacionarse con aquellos aspectos que la propia empresa entienda que son importantes y agreguen un valor a la gestión de este sector. No debe gastarse recursos en el levantamiento e implementación de indicadores que no contribuyan al desarrollo de las actividades de mantenimiento. Por ello, la investigación arrojo los indicadores de % órdenes de trabajo que requieren re trabajo, % de Correctivos sobre el número intervenciones totales y Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación) son importantes para la organización desde el punto de vista de sus gestión y estrategia empresarial.

4.3.2 Contrastación de Hipótesis Especificas.

- H.E. 1 *“Todos los criterios seleccionados tendrán un mismo peso luego de su ponderación.”*

Respecto a este punto, como se evidencio luego de la aplicación del Procedimiento de Simos no todos los criterios evaluados tuvieron el mismo peso, incluso teniendo

uno de ellos un valor mucho menor respecto a los demás, por lo que podemos por lo que se demuestra que la hipótesis no era acertada.

Gonçalves et al., (2015), Jun et al., (2014) y Camargo-Pérez et al., (2013) entre otros, mencionan en sus trabajos la importancia de realizar una selección clara y adecuada de los criterios de evaluación, para que los resultados encontrados sean congruentes con las condiciones reales del entorno a aplicar.

- H.E. 2 “Se evaluarán los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento mediante los criterios de evaluación y la metodología multicriterio.”

La experiencia de este estudio, enseñó el cuidado que se debe tener al seleccionar cada uno de los indicadores que formaran parte del grupo a evaluar, vigilando principalmente que estos sean congruentes con el tipo de organización, que la organización este en la capacidad de gestionar la información necesaria para su medición y seguimiento de manera fácil u oportuna, todos esto para evitar que los resultados obtenidos puedan ser de fácil implementación. Teniendo en cuenta que el proceso se pudo desarrollar sin complicaciones se podría considerar que la hipótesis fue correcta.

Gonçalves et al., (2015) y Erdogan & Kaya, (2019) en sus respectivos trabajos mencionan y le prestan una especial atención selección de todos los indicadores que formaran partes del grupo evaluado, incluso al utilizar diferente MCDM. Así mismo, se resalta la importancia de las ponderaciones que realicen sean hechas por expertos que estén familiarizados con estos indicadores.

- H.E. 3 “Se podrá realizar una clasificación adecuada de los indicadores claves de gestión que respondan a los objetivos del área de mantenimiento.”

Luego de aplicar todos los pasos del método seleccionado y el proceso de ponderación de los indicadores entrego un resultado que fue retroalimentado con los expertos que participaron en el proceso de evaluación, quienes luego de realizar algunos comentarios, aprobaron los resultados y los consideraron válidos. Así mismo, las personas encargadas de dirigir el área de mantenimiento consideración que el raking de los indicadores es coherente para la realidad de la organización. Por lo que se podría considerar que la hipótesis fue acertada.

Gonçalves et al., (2015) y Eshtaiwi et al., (2018) también sometieron a validación sus resultados con los expertos consultados para que validaran sus resultados; Por otro lado, es natural que no siempre los resultados arrojados por cada experto sean iguales, incluso con la aplicación de otro MCDM se podrían obtener algunos resultados distintos como lo demostraron Zak & Kruszyński, (2015).

CONCLUSIONES

1. En primero lugar, se puede concluir que el objetivo de “Seleccionar la cantidad optima de indicadores clave de gestión de mantenimiento en una flota de Buses de Transito Rápido basado en los objetivos del área de mantenimiento utilizando un método multicriterio para la toma de decisiones.” fue alcanzado. El resultado final fue la selección de 6 KPI's que están encaminados al cumplimiento de los Objetivos de Gestión de Mantenimiento y que fueron avalados por las Directivas de la Empresa.

Los indicadores resultantes fueron los siguientes:

- Confiabilidad.
- % órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución).
- Disponibilidad.
- % de Costo del Correctivo.
- Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación).
- % de Correctivos por intervenciones totales.

2. El planteamiento de los **Criterios de Evaluación** para la selección de los indicadores fue realizado en conjuntos con algunos expertos en gestión de mantenimiento, para nuestro caso de estudio se tuvieron varias preselecciones de un listado final de 5 criterios, esto se debió a que durante el proceso de estudio del Método ELECTRE I, se evidencio que estos criterios jugaban un rol muy importante en el proceso de calificación y era supremamente indispensable que los criterios plantados cumplieron los algunos requisitos fundamentales, como:

- a. Claridad.
- b. Idoneidad.
- c. Pertinencia.

Por su importancia en el proceso, los Criterios de Evaluación deben tener una formulación clara y ser completamente entendibles para todos los participantes en las encuestas de evaluación, pues de lo contrario los resultados de la evaluación podrían no ser concluyentes o elegir Indicadores que no satisfagan del todo el cumplimiento de los Objetivos de Gestión de Mantenimiento.

3. Recordamos que el presente caso de estudio surgió como una posibilidad de replicar la aplicación del Método Multicriterio para la Toma de Decisiones ELECTRE I que ya había sido utilizado en diferentes campos de la ciencia, como lo podemos evidenciar en la bibliografía adjunta, pero que no se encontró registro alguno en empresas de transporte de pasajeros con buses. Si bien es cierto, el ejercicio más cercano que se encontró fue la aplicación para la selección de indicadores en un importante Aeropuerto; era una interrogante si este proceso se podría replicar exitosamente para una empresa de transporte de buses en Lima, Perú.

El desarrollo del presente caso de estudio fue una lección de aprendizaje para el autor, los directivos de la empresa seleccionada y los expertos en gestión de mantenimiento consultados.

4. Se podría decir que la principal barrera que se debió superar fue la selección de los expertos más adecuados para participar en el proceso de evaluación, puesto que durante el desarrollo de las entrevistas con ellos se evidencia que, aunque tuvieran una amplia trayectoria en área de mantenimiento industrial, era necesaria un conocimiento específico en el principio de funcionamiento de los sistemas BRT y el modelos contractual y legal que rige a este tipo de empresa.

5. Por último, respecto a los expertos consultados, cuando se planteó el proyecto se encontró algún escepticismo sobre la posibilidad de obtener un resultado acorde, pero una disponibilidad plena a participar en todo el proceso; aspecto que fue fundamental pues se tuvieron que realizar muchos cambios sobre la marcha para poder ajustar los valores de ingreso y garantizar un resultado lo más acorde posible. Por ello consideramos que, si alguien quisiera replicar este caso de estudio en su empresa, es básico y fundamental contar con el apoyo y compromiso de todas las personas que participaran en el proceso.

RECOMENDACIONES.

1. En el proceso de identificación de KPI's se debe involucrar a las personas que van a participar en la aplicación de la encuesta y conciliar las definiciones de cada criterio, con el propósito de unificar puntos de vista y no tener variación en las respuestas por diferencias en la definición o proceso de cálculo. Las encuestas deben ser aplicadas a especialistas en mantenimiento y que estén o hayan estado relacionadas al área de mantenimiento de la organización; pues de lo contrario, se pueden presentar sesgos en los resultados obtenidos dado que su visión de organización está influenciada por criterios externos.

Como ejemplo, para la aplicación de las encuestas mencionadas en el numeral 3.1 se identificaron en principio a 5 personas especialistas en gestión de mantenimiento, con amplia experiencia en la administración de áreas de mantenimiento; de resaltar que 2 de ellas, no habían tenido antes una relación laboral con la organización; Pero, durante las conversaciones previas donde se les explicaban a cada uno el caso de estudio en el que participarían, se notó que los especialistas que no hacían parte de la organización tenían una visión de los indicadores muy diferentes a quienes si eran o habían sido parte de la organización y esto se resumía a la estructuración de los objetivos organizacionales, por lo tanto y con el propósito de evitar resultado que pudieran distorsionara un más el modelo, se determinó que solamente se aplicarían las encuestas a quienes hacen parte de la empresa.

2. Por otro lado, para que el proceso de selección de los KPI's tenga un resultado que se pueda sostener en el tiempo, es importante que los encargados del área se encuentren planamente identificados con los objetivos establecidos para el área y sus esfuerzos de trabajo día a día este encaminados al cumplimiento de los mismos.

3. Por último, se recomienda que este estudio sea realizado nuevamente en un periodo de tiempo prudencial puesto que los objetivos del área, de la organización y el contexto operacional de la organización son cambiantes en el tiempo.
4. También se sugiere un posterior estudio con una metodología diferente a la ya utilizada con el propósito de comprobar los resultados obtenidos, conocer las desviaciones que se puedan presentar y así poder identificar los indicadores más acordes.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Risco, A. (2020). Clasificación de las investigaciones. *Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Carrera de Negocios Internacionales*, 1–5. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10818>
- Bibliotecas Duoc UC. (2022). *Investigación Aplicada*. Bibliotecas Duoc UC. <https://bibliotecas.duoc.cl/investigación-aplicada>
- BRT+ Centre of Excellence, & EMBARQ. (2020). *Global BRTData*. <http://www.brtdata.org/>. <http://www.brtdata.org/>
- Camargo-Pérez, J., Montoya-Torres, J. R., & Ramírez, M. H. C. (2013). Multi-criteria Decision Making for Locating Multimodal Transfer Nodes in Passenger Transport Systems. *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 718–723. <https://doi.org/10.1109/SMC.2013.127>
- Chorfi, Z., Berrado, A., & Benabbou, L. (2015). Selection of Key Performance Indicators for Supply Chain monitoring using MCDA. *10th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications, SITA 2015*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SITA.2015.7358395>
- Cisneros, E., Gondres Torné, I., Matos Ramirez, N., Printes, A. L., Souza Gomes, R. C., & De Souza Cardoso, F. (2022). Análisis del mantenimiento en vehículos de transporte masivo a través de indicadores de mantenimiento de clase mundial. *Conjecturas*, 22(2), 1230–1242. <https://doi.org/10.53660/CONJ-836-F19>
- Erdogan, M., & Kaya, I. (2016). Evaluating alternative-fuel busses for public transportation in Istanbul using interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, 26(6), 625–642.
- Erdogan, M., & Kaya, I. (2019). Prioritizing failures by using hybrid multi criteria decision making methodology with a real case application. *Sustainable Cities and Society*, 45, 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.027>
- Eshtaiwi, M., Badi, I., Abdulshahed, A., & Erkan, T. E. (2018). Determination of key performance indicators for measuring airport success: A case study in Libya. *Journal of Air Transport Management*, 68, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.12.004>
- Figueira, J., & Roy, B. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 317–326. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00370-8)
- Gonçalves, C. D. F., Dias, J. A. M., & Cruz-Machado, V. A. (2014). Decision methodology for maintenance KPI selection: Based on ELECTRE I. *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management, Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1001–1012. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55122-2_87

- Gonçalves, C. D. F., Dias, J. A. M., & Machado, V. A. C. (2015a). Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 10(3), 215–223. <https://doi.org/10.1080/17509653.2014.954280>
- Gonçalves, C. D. F., Dias, J. A. M., & Machado, V. A. C. (2015b). Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 10(3), 215–223. <https://doi.org/10.1080/17509653.2014.954280>
- Haider, H., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2015). Selecting performance indicators for small and medium sized water utilities: Multi-criteria analysis using ELECTRE method. *Urban Water Journal*, 12(4), 305–327. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.900089>
- Hernández Cruz, E., & Navarrete Pérez, E. (2001). Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*, 4(4), 15–20.
- Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), Palomino, A., Huayaney, F., Moreno, J., & Lino, H. (2018). Perú: VI censo nacional de comisarías 2017 resultados definitivos. En *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Jun, D., Tian-Tian, F., Yi-Sheng, Y., & Yu, M. (2014). Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on ELECTRE-II. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.005>
- Kaganski, S., Majak, J., Karjust, K., & Toompalu, S. (2017). Implementation of Key Performance Indicators Selection Model as Part of the Enterprise Analysis Model. *Procedia CIRP*, 63, 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.143>
- Kiani Mavi, R., Zarbakhshnia, N., & Khazraei, A. (2018). Bus rapid transit (BRT): A simulation and multi criteria decision making (MCDM) approach. *Transport Policy*, 72, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.03.010>
- Kumar, S. M., & Belwal, M. (2018). Performance dashboard: Cutting-edge business intelligence and data visualization. *Proceedings of the 2017 International Conference On Smart Technology for Smart Nation, SmartTechCon 2017*, 1201–1207. <https://doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358558>
- Landázuri, A. (2019). Planteamiento de objetivos corporativos y su orientación para las grandes y medianas empresas como factores claves para el éxito en los 6 últimos años. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento CEAC*.
- Lao León, C., Orlando, Y., Pravia, P., Caridad, M., & Delgado, M. (2016). Procedimiento para la selección de la Comunidad de Expertos con técnicas

- multicriterio. *Ciencias Holguín*, 22(1), 34–49.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181543577003>
- Mutlag, S. A., Dawood, H. K., Info, A., History, A., Plants, P., & Maintenance, P. (2020). A maintenance management -based decision Support System for multicriteria using AHP methodology for power plants. *Test Engineering and Management*, 82, 10146–10153.
- Rodriguez, E., Bonet, C., & Perez, L. (2013). Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 61–37.
- Sabaei, D., Erkoyuncu, J., & Roy, R. (2015). A review of multi-criteria decision making methods for enhanced maintenance delivery. *Procedia CIRP*, 37, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.086>
- Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2018). What do we talk about when we talk about dashboards? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1), 682–692.
<https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864903>
- Scholl, L. (2015). *Casos de estudio comparativos de tres proyectos de transporte urbano apoyados por el BID*. <https://doi.org/10.18235/0000019>
- SimpliRoute. (2022). *KPI: Qué Son, Para Qué Sirven y Cómo se Eligen*. SimpliRoute. https://simpliroute.com/blog/kpi-que-son-para-que-sirven-y-como-se-eligen?utm_source=google-search&utm_campaign=%7Bperu%7D&utm_agid=%7Bdinamico%7D&utm_term=%7Bdinamico%7D&creative=616093566216&device=c&placement=&gclid=CjwKCAjwu5yYBhAJEiwAKXk_eCGaMjYW4NPR
- Stojčić, M., Zavadskas, E. K., Pamučar, D., Stević, Ž., & Mardani, A. (2019). Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008-2018. *Symmetry*, 11(3), 350. <https://doi.org/10.3390/sym11030350>
- Tavares, L. (1999). Administración Moderna de Mantenimiento. En *Novo Polo Publication-Brasil*.
- Thames Cantolla, M. I., Valdez, S. K., & Orce Schwarz, A. M. (2021). Selección multicriterio para el procesamiento de salmueras de litio en Argentina. *SciELO Analytics*, 43(3), 78–91.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362021000300078&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. *Renewable Energy*, 109, 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.041>
- Vujanović, D., Momčilović, V., Bojović, N., & Papić, V. (2012). Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and

- ANP. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10552–10563.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.02.159>
- Zak, J., & Kruszyński, M. (2015). Application of AHP and ELECTRE III/IV methods to multiple level, multiple criteria evaluation of urban transportation projects. *Transportation Research Procedia*, 10, 820–830.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.035>
- Zamora Colín, U., Campos Alanís, H., & Calderón Maya, J. (2013). Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil). *Quivera. Revista de estudios territoriales*, 15(1), 101–118.
- Zegarra Ventura, M. E. (2016). Gestión moderna del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo*, 18(1), 57–67.
<https://doi.org/10.21503/cyd.v18i1.1087>

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	110
ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	111
ANEXO 3: FORMATO DE ENCUESTA.....	113
ANEXO 4: RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS.....	116

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

SELECCIÓN DE INDICADORES CLAVES DE GESTIÓN BASADOS EN LOS OBJETIVOS DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO PARA UNA FLOTA DE BUSES DE TRÁNSITO RÁPIDO: UN ENFOQUE MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE DECISIONES				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿Cuál es la cantidad óptima de indicadores clave de gestión de mantenimiento que deben ser seleccionados en una flota de Buses de Tránsito Rápido, basándose en los objetivos del área de mantenimiento, utilizando un método multicriterio para la toma de decisiones?	Seleccionar la cantidad optima de indicadores clave de gestión de mantenimiento en una flota de Buses de Transito Rápido basado en los objetivos del área de mantenimiento utilizando un método multicriterio para la toma de decisiones.	La cantidad optima de indicadores claves de gestión de mantenimiento para una flota de buses de tránsito rápido basado en los objetivos del área de mantenimiento será menor a 7.	Variable Independiente: Objetivos del Área	<p>Tipo de Investigación: Tipo aplicada.</p> <p>Nivel de Investigación: Correlacional.</p> <p>Métodos de Diseño: Investigación Cuantitativa</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		Población y Muestra: Área de mantenimiento.
¿Cómo se puede ponderar de manera efectiva los criterios de evaluación para lograr una valorización adecuada de los indicadores de gestión para el cumplimiento de los objetivos del área de mantenimiento?	Ponderar los criterios de evaluación para la valorización de los indicadores de gestión de mantenimiento para el cumplimiento de los objetivos del área de mantenimiento.	Todos los criterios de evaluación seleccionados tendrán un mismo peso luego de su ponderación.		
¿Cómo se evalúan los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento mediante el uso de los criterios de evaluación y la metodología multicriterio?	Evaluar los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento utilizando los criterios de evaluación y la metodología multicriterio.	Se evaluarán los indicadores de gestión de los objetivos del área de mantenimiento mediante los criterios de evaluación y la metodología multicriterio.	Variable Dependiente:	<p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos: Encuestas. Plan Estratégico de la empresa. Juicio de Expertos.</p>
¿De qué forma se clasificarían correctamente los indicadores claves de gestión de manera que estén alineados con los objetivos del área de mantenimiento?	Elaborar una clasificación correcta de indicadores claves de gestión que respondan a los objetivos del área de mantenimiento.	Se podrá realizar una clasificación adecuada de los indicadores claves de gestión que respondan a los objetivos del área de mantenimiento.	Indicadores claves de gestión.	<p>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</p> <p>Modelo Matemático del Método ELECTRE I. Software Microsoft Excel.</p>

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	OPERACIONALIZACIÓN		ESCALA DE MEDICIÓN
			DIMENSIONES	INDICADORES	
Variable Independiente (x): Objetivos del Área.	Los objetivos corporativos son los resultados globales que una organización espera alcanzar en el desarrollo y operacionalización concreta de su misión y visión. (Landázuri, 2019)	Para el cumplimiento de los objetivos del área se identificarán los indicadores que contribuyan en mayor medida al alcance de estos. Metas como optimización de recursos, alto índice de disponibilidad, ambiente de trabajo seguro, reducción del impacto ambiental y aumento del compromiso organizacional son las que la gerencia general ha trazado por al área de mantenimiento y deben cumplirse de la mejor manera.	Optimización de recursos económicos y control de calidad	• Costo Total del Mantenimiento por mes.	Valor Numérico.
				• Costo real de mantenimiento por mes.	Valor Numérico.
				• % de Costo del Correctivo.	Porcentaje.
				• % de Ejecución de Horas Hombre.	Porcentaje.
				• Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación).	Valor Numérico.
				• % de Fallas que generan formatos de varadas.	Porcentaje.
				• % de Correctivos sobre el número de intervenciones totales.	Porcentaje.
			Alta disponibilidad y confiabilidad de activos.	• Disponibilidad	Porcentaje.
				• Confiabilidad.	Porcentaje.
				• Relación de Horas de Operación por Bus.	Porcentaje.

				• Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF).	Unidad de tiempo.
				• Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR).	Unidad de tiempo.
				• Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF).	Unidad de tiempo.
			Ambiente de trabajo seguro y empleados motivados	• Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo.	Porcentaje.
				• % órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución).	Porcentaje.
			Reducción del impacto ambiental	• Calidad de la programación del mantenimiento.	Porcentaje.
				• Edad Media de la flota.	Valor Numérico
			Compromiso organizacional y de mejora de competencias	• % de Horas de capacitación reales.	Porcentaje.
				• % de técnicos con certificación de competencias.	Porcentaje.
				• Calidad de la programación del personal.	Porcentaje.
Variable Dependiente (y): Indicadores claves de gestión.	Un indicador clave de rendimiento (KPI) es una métrica utilizada para medir los factores que son fundamentales para el éxito de una organización. (SimpliRoute, (2022))	Se realizará una selección previa de un gran grupo de los indicadores más utilizados para medir el desempeño del área de mantenimiento, para luego identificar cuáles de estos son los más adecuados para controlar el cumplimiento de los objetivos del área.	(No aplica)	Cantidad de indicadores clave de mantenimiento	Valor Numérico.

ANEXO 3: FORMATO DE ENCUESTA

OBJETIVOS			CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Optimizar las actividades de mantenimiento haciendo un uso razonable de los recursos económicos de la organización, basado en los principios de control y aseguramiento de la calidad. Lograr una alta disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos, garantizando el funcionamiento adecuado según el plan operativo de la organización orientado al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el contrato de concesión. Proporcionar un ambiente de trabajo seguro con empleados motivados. Reducir del impacto al medio ambiente, mediante políticas de REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE y así asegurar el uso y disposición adecuado de los recursos potencialmente contaminantes (combustible, lubricantes, neumáticos y materiales). Incrementar el compromiso organizacional de los colaboradores mediante la mejora permanente de sus competencias. 		Calidad de mantenimiento (C1): para evaluar cómo el KPI mide cuantitativamente los aspectos de calidad del servicio de mantenimiento; cómo permite medir y comparar el desempeño del mantenimiento, identificando las fortalezas y debilidades del servicio de mantenimiento.	Correlación con Objetivos de mantenimiento (C2): evaluar cómo el KPI mide el estado de mantenimiento en el cumplimiento de los objetivos establecidos para el mantenimiento y de acuerdo con los objetivos de la empresa; Cómo el KPI ayuda a la administración a establecer objetivos en un proceso de mejora continua.	Influencia de KPI (C3): para evaluar cómo el resultado de KPI puede influir en la toma de decisiones en el mantenimiento; Cómo el KPI ayuda a guiar las decisiones futuras, a seguir el progreso y los cambios a lo largo del tiempo.	Facilidad de comprensión del KPI (C4): para evaluar cómo el KPI expresa una medida que traduce fácilmente un resultado real obtenido o esperado; para evaluar la facilidad con la que el KPI proporciona una percepción de la realidad, la interpretación de los datos y el análisis de los resultados sin comprometer la efectividad de la gestión del mantenimiento en la toma de decisiones.	Familiarización de los resultados (C5): para evaluar cómo los resultados de los KPI son de interés para ser compartidos con otros sectores de la empresa, empleados o clientes; cómo los resultados de los KPI son interesantes para informar y motivar a los empleados; Evaluar el interés común entre el mantenimiento y otros sectores de la empresa en compartir los resultados del KPI.
			C1	C2	C3	C4	C5
INDICADORES POTENCIALES INDICADORES POTENCIALES	Disponibilidad: La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TTPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.	1					
	Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.	2					
	Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF): Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.	3					

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
	Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR): Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.	4				
	Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF): El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo". Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.	5				
	Costo Total del Mantenimiento por mes: Corresponde a la relación entre el monto total gastado por el área de mantenimiento por cada mes respecto al costo presupuestado para dicho mes.	6				
	Costo real de mantenimiento por mes: Corresponde a la relación existente entre las facturaciones totales generadas por el área respecto del gasto generados por las unidades.	7				
	% de Costo del Correctivo: Es la relación existente entre los costos generados en la atención de unidades por atenciones correctivas y el costo total de mantenimiento por mes.	8				
	Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo: N° de órdenes de trabajo realizadas según lo programado / N° total de órdenes de trabajo programadas.	9				
	% órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución): N° de órdenes de trabajo para reprocesar / N° Total de órdenes de trabajo.	10				

OBJETIVOS			CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
	Calidad de la programación del mantenimiento: N° de órdenes de trabajo con ejecución retrasada por material o mano de obra / N° total de órdenes de trabajo.	11					
	Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación): Corresponde al total de reclamaciones hechas por el concedente a causa de unidades varadas durante la operación.	12					
	% de Fallas que generan formatos de varadas: Es la relación fallas que se presentan en la prestación del servicio y la cantidad de estas que generan formatos de falla por parte del concedente.	13					
	% de Correctivos sobre el número de intervenciones totales: Es la relación de la cantidad de intervenciones correctivas respecto del total de intervenciones realizadas en el taller.	14					
	Relación de Horas de Operación por Bus: Es la relación existente entre la cantidad de horas de operación de las unidades y la cantidad de horas de mantenimiento que estas requieren.	15					
	Edad Media de la flota: Es el promedio del recorrido acumulado de la flota, en función a la necesidad de controlar su desgaste, entendiendo que a medida que las unidades acumulan más kilómetros demandan una mayor cantidad de mantenimiento.	16					
	% de Horas de capacitación reales: Es la relación entre la cantidad de horas brindadas al personal técnico de mantenimiento y las horas de capacitación planificadas dentro del plan anual de capacitaciones.	17					
	% de técnicos con certificación de competencias: Es la relación existente entre la cantidad de personal técnicos que tiene certificaciones de competencias según especialidad, respecto a la cantidad total de técnicos según especialidad.	18					
	% de Ejecución de Horas Hombre: Es la relación existente entre la cantidad de horas hombre ejecutadas en las atenciones de las unidades y las cantidades de horas hombre disponibles.	19					
	Calidad de la programación del personal: Es la relación horas extras ejecutadas por el personal técnicos respecto a la cantidad de horas standard contratadas.	20					
OBSERVACIONES							

ANEXO 4: RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

Encuesta N° 1.

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN					
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none">• Optimizar las actividades de mantenimiento haciendo un uso razonable de los recursos económicos de la organización, basado en los principios de control y aseguramiento de la calidad.• Lograr una alta disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos, garantizando el funcionamiento adecuado según el plan operativo de la organización orientado al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el contrato de concesión.• Proporcionar un ambiente de trabajo seguro con empleados motivados.• Reducir del impacto al medio ambiente, mediante políticas de REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE y así asegurar el uso y disposición adecuado de los recursos potencialmente contaminantes (combustible, lubricantes, neumáticos y materiales).• Incrementar el compromiso organizacional de los colaboradores mediante la mejora permanente de sus competencias.	Calidad de mantenimiento (C1): para evaluar cómo el KPI mide cuantitativamente los aspectos de calidad del servicio de mantenimiento; cómo permite medir y comparar el desempeño del mantenimiento, identificando las fortalezas y debilidades del servicio de mantenimiento.	Correlación con Objetivos de mantenimiento (C2): evaluar cómo el KPI mide el estado de mantenimiento en el cumplimiento de los objetivos establecidos para el mantenimiento y de acuerdo con los objetivos de la empresa; Cómo el KPI ayuda a la administración a establecer objetivos en un proceso de mejora continua.	Influencia de KPI (C3): para evaluar cómo el resultado de KPI puede influir en la toma de decisiones en el mantenimiento; Cómo el KPI ayuda a guiar las decisiones futuras, a seguir el progreso y los cambios a lo largo del tiempo.	Facilidad de comprensión del KPI (C4): para evaluar cómo el KPI expresa una medida que traduce fácilmente un resultado real obtenido o esperado; para evaluar la facilidad con la que el KPI proporciona una percepción de la realidad, la interpretación de los datos y el análisis de los resultados sin comprometer la efectividad de la gestión del mantenimiento en la toma de decisiones.	Familiarización de los resultados (C5): para evaluar cómo los resultados de los KPI son de interés para ser compartidos con otros sectores de la empresa, empleados o clientes; cómo los resultados de los KPI son interesantes para informar y motivar a los empleados; Evaluar el interés común entre el mantenimiento y otros sectores de la empresa en compartir los resultados del KPI.	
		C1	C2	C3	C4	C5	
INDICADORES POTENCIALES	Disponibilidad: La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPRP, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.	1	5	9	9	10	10
	Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo:	2	10	9	9	10	10

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN					
	probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.						
	Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF): Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.	3	10	8	9	9	8
	Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR): Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.	4	8	6	8	8	5
	Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF): El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.	5	9	8	8	7	5

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN				CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
	Costo Total del Mantenimiento por mes: Corresponde a la relación entre el monto total gastado por el área de mantenimiento por cada mes respecto al costo presupuestado para dicho mes.	6	4	8	9	5	10
	Costo real de mantenimiento por mes: Corresponde a la relación existente entre las facturaciones totales generadas por el área respecto del gasto generados por las unidades.	7	4	8	6	5	6
	% de Costo del Correctivo: Es la relación existente entre los costos generados en la atención de unidades por atenciones correctivas y el costo total de mantenimiento por mes.	8	7	9	9	8	10
	Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo: N° de órdenes de trabajo realizadas según lo programado / N° total de órdenes de trabajo programadas.	9	6	6	8	7	5
	% órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución): N° de órdenes de trabajo para reprocesar / N° total de órdenes de trabajo.	10	10	9	8	7	5
	Calidad de la programación del mantenimiento: N° de órdenes de trabajo con ejecución retrasada por material o mano de obra / N° total de órdenes de trabajo.	11	6	6	6	5	4
	Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación): Corresponde al total de reclamaciones hechas por el concedente a causa de unidades varadas durante la operación.	12	10	8	8	5	5
	% de Fallas que generan formatos de varadas: Es la relación fallas que se presentan en la prestación del servicio y la cantidad de estas que generan formatos de falla por parte del concedente.	13	8	6	4	3	2
	% de Correctivos sobre el número de intervenciones totales: Es la relación de la cantidad de intervenciones correctivas respecto del total de intervenciones realizadas en el taller.	14	9	8	9	8	6
	Relación de Horas de Operación por Bus: Es la relación existente entre la cantidad de horas de operación de las unidades y la cantidad de horas de mantenimiento que estas requieren.	15	7	6	6	3	4
	Edad Media de la flota: Es el promedio del recorrido acumulado de la flota, en función a la necesidad de controlar su desgaste, entendiendo que a medida que las unidades acumulan más kilómetros demandan una mayor cantidad de mantenimiento.	16	3	4	9	7	6
	% de Horas de capacitación reales: Es la relación entre la cantidad de horas brindadas al personal técnico de mantenimiento y las horas de capacitación planificadas dentro del plan anual de capacitaciones.	17	6	8	4	6	9
	% de técnicos con certificación de competencias: Es la relación existente entre la cantidad de personal técnicos que tiene certificaciones de competencias según especialidad, respecto a la cantidad total de técnicos según especialidad.	18	8	9	4	5	9
	% de Ejecución de Horas Hombre: Es la relación existente entre la cantidad de horas hombre ejecutadas en las atenciones de las unidades y las cantidades de horas hombre disponibles.	19	6	8	7	4	5

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
	Calidad de la programación del personal: Es la relación horas extras ejecutadas por el personal técnicos respecto a la cantidad de horas standard contratadas.	20	6	8	5	3
						7
OBSERVACIONES		No puse ningún valor menor de 3 porque creo que todos los indicadores pueden reflejar o contribuyen a que se logre la calidad del servicio de mantenimiento que es un tema tan completo e interrelacionado.	No puse ningún 10 porque creo que hay indicadores muy importantes que mediante los criterios de evaluación representan varios de los objetivos, pero ninguno representa todos. Por eso a ninguno le puse el puntaje ms alto. Los puntajes más altos fueron asignados a los indicadores que considero contribuyen a mayor cantidad de indicadores.	Para este Criterio considero valores altos porque todos los indicadores tienen una influencia grande para la toma de decisiones en el proceso de mantenimiento. A pesar de tener valores relativamente bajos, ellos también influyen de manera significativa.		

Encuesta N° 2.

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN					
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none">• Optimizar las actividades de mantenimiento haciendo un uso razonable de los recursos económicos de la organización, basado en los principios de control y aseguramiento de la calidad.• Lograr una alta disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos, garantizando el funcionamiento adecuado según el plan operativo de la organización orientado al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el contrato de concesión.• Proporcionar un ambiente de trabajo seguro con empleados motivados.• Reducir del impacto al medio ambiente, mediante políticas de REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE y así asegurar el uso y disposición adecuado de los recursos potencialmente contaminantes (combustible, lubricantes, neumáticos y materiales).• Incrementar el compromiso organizacional de los colaboradores mediante la mejora permanente de sus competencias.	Calidad de mantenimiento (C1): para evaluar cómo el KPI mide cuantitativamente los aspectos de calidad del servicio de mantenimiento; cómo permite medir y comparar el desempeño del mantenimiento, identificando las fortalezas y debilidades del servicio de mantenimiento.	Correlación con Objetivos de mantenimiento (C2): para evaluar cómo el KPI mide el estado de mantenimiento en el cumplimiento de los objetivos establecidos para el mantenimiento y de acuerdo con los objetivos de la empresa; Cómo el KPI ayuda a la administración a establecer objetivos en un proceso de mejora continua.	Influencia de KPI (C3): para evaluar cómo el resultado de KPI puede influir en la toma de decisiones en el mantenimiento; Cómo el KPI ayuda a guiar las decisiones futuras, a seguir el progreso y los cambios a lo largo del tiempo.	Facilidad de comprensión del KPI (C4): para evaluar cómo el KPI expresa una medida que traduce fácilmente un resultado real obtenido o esperado; para evaluar la facilidad con la que el KPI proporciona una percepción de la realidad, la interpretación de los datos y el análisis de los resultados sin comprometer la efectividad de la gestión del mantenimiento en la toma de decisiones.	Familiarización de los resultados (C5): para evaluar cómo los resultados de los KPI son de interés para ser compartidos con otros sectores de la empresa, empleados o clientes; cómo los resultados de los KPI son interesantes para informar y motivar a los empleados; Evaluar el interés común entre el mantenimiento y otros sectores de la empresa en compartir los resultados del KPI.	
		C1	C2	C3	C4	C5	
INDICADORES POTENCIALES	Disponibilidad: La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.	1	6	8	8	8	9
	Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.	2	8	8	9	9	7
	Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF): Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el	3	5	6	6	6	6

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN		
	equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.						
	Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR): Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.	4	7	7	8	7	8
	Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF): El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.	5	7	9	8	8	8
	Costo Total del Mantenimiento por mes: Corresponde a la relación entre el monto total gastado por el área de mantenimiento por cada mes respecto al costo presupuestado para dicho mes.	6	8	9	10	7	9
	Costo real de mantenimiento por mes: Corresponde a la relación existente entre las facturaciones totales generadas por el área respecto del gasto generados por las unidades.	7	6	7	7	7	7
	% de Costo del Correctivo: Es la relación existente entre los costos generados en la atención de unidades por atenciones correctivas y el costo total de mantenimiento por mes.	8	9	7	7	7	8
	Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo: N° de órdenes de trabajo realizadas según lo programado / N° total de órdenes de trabajo programadas.	9	7	6	7	7	6
	% órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución): N° de órdenes de trabajo para reprocesar / N° total de órdenes de trabajo.	10	8	8	6	7	8

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN				
		CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
	Calidad de la programación del mantenimiento: N° de órdenes de trabajo con ejecución retrasada por material o mano de obra / N° total de órdenes de trabajo.	11	6	7	6	6
	Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación): Corresponde al total de reclamaciones hechas por el concedente a causa de unidades varadas durante la operación.	12	6	8	7	10
	% de Fallas que generan formatos de varadas: Es la relación fallas que se presentan en la prestación del servicio y la cantidad de estas que generan formatos de falla por parte del concedente.	13	3	3	3	2
	% de Correctivos sobre el número de intervenciones totales: Es la relación de la cantidad de intervenciones correctivas respecto del total de intervenciones realizadas en el taller.	14	8	8	7	8
	Relación de Horas de Operación por Bus: Es la relación existente entre la cantidad de horas de operación de las unidades y la cantidad de horas de mantenimiento que estas requieren.	15	4	4	8	7
	Edad Media de la flota: Es el promedio del recorrido acumulado de la flota, en función a la necesidad de controlar su desgaste, entendiéndose que a medida que las unidades acumulan más kilómetros demandan una mayor cantidad de mantenimiento.	16	3	7	6	8
	% de Horas de capacitación reales: Es la relación entre la cantidad de horas brindadas al personal técnico de mantenimiento y las horas de capacitación planificadas dentro del plan anual de capacitaciones.	17	4	8	7	8
	% de técnicos con certificación de competencias: Es la relación existente entre la cantidad de personal técnicos que tiene certificaciones de competencias según especialidad, respecto a la cantidad total de técnicos según especialidad.	18	7	7	5	7
	% de Ejecución de Horas Hombre: Es la relación existente entre la cantidad de horas hombre ejecutadas en las atenciones de las unidades y las cantidades de horas hombre disponibles.	19	6	6	8	8
	Calidad de la programación del personal: Es la relación horas extras ejecutadas por el personal técnicos respecto a la cantidad de horas standard contratadas.	20	6	7	7	8
OBSERVACIONES						

Encuesta N° 3.

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN					
OBJETIVOS	<ul style="list-style-type: none">• Optimizar las actividades de mantenimiento haciendo un uso razonable de los recursos económicos de la organización, basado en los principios de control y aseguramiento de la calidad.• Lograr una alta disponibilidad y confiabilidad de los activos físicos, garantizando el funcionamiento adecuado según el plan operativo de la organización orientado al cumplimiento de las obligaciones establecidas en el contrato de concesión.• Proporcionar un ambiente de trabajo seguro con empleados motivados.• Reducir del impacto al medio ambiente, mediante políticas de REDUCCIÓN, REUTILIZACIÓN Y RECICLAJE y así asegurar el uso y disposición adecuado de los recursos potencialmente contaminantes (combustible, lubricantes, neumáticos y materiales).• Incrementar el compromiso organizacional de los colaboradores mediante la mejora permanente de sus competencias.	Calidad de mantenimiento (C1): para evaluar cómo el KPI mide cuantitativamente los aspectos de calidad del servicio de mantenimiento; cómo permite medir y comparar el desempeño del mantenimiento, identificando las fortalezas y debilidades del servicio de mantenimiento.	Correlación con Objetivos de mantenimiento (C2): evaluar cómo el KPI mide el estado de mantenimiento en el cumplimiento de los objetivos establecidos para el mantenimiento y de acuerdo con los objetivos de la empresa; Cómo el KPI ayuda a la administración a establecer objetivos en un proceso de mejora continua.	Influencia de KPI (C3): para evaluar cómo el resultado de KPI puede influir en la toma de decisiones en el mantenimiento; Cómo el KPI ayuda a guiar las decisiones futuras, a seguir el progreso y los cambios a lo largo del tiempo.	Facilidad de comprensión del KPI (C4): para evaluar cómo el KPI expresa una medida que traduce fácilmente un resultado real obtenido o esperado; para evaluar la facilidad con la que el KPI proporciona una percepción de la realidad, la interpretación de los datos y el análisis de los resultados sin comprometer la efectividad de la gestión del mantenimiento en la toma de decisiones.	Familiarización de los resultados (C5): para evaluar cómo los resultados de los KP son de interés para ser compartidos con otros sectores de la empresa, empleados o clientes; cómo los resultados de los KPI son interesantes para informar y motivar a los empleados; Evaluar el interés común entre el mantenimiento y otros sectores de la empresa en compartir los resultados del KPI.	
		C1	C2	C3	C4	C5	
INDICADORES POTENCIALES	Disponibilidad: La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.	1	7	7	8	8	9
	Confiabilidad: Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.	2	7	7	8	8	9

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN				
Tiempo Promedio para Fallar (TPPF) – Mean Time To Fail (MTTF): Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del período considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El Tiempo Promedio para Fallar también es llamado “Tiempo Promedio Operativo” o “Tiempo Promedio hasta la Falla”.	3	7	7	8	9	7
Tiempo Promedio para Reparar (TPPR) – Mean Time To Repair (MTTR): Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. La mantenibilidad, definida como la probabilidad de devolver el equipo a condiciones operativas en un cierto tiempo utilizando procedimientos prescritos, es una función del diseño del equipo (factores tales como accesibilidad, modularidad, estandarización y facilidades de diagnóstico, facilitan enormemente el mantenimiento). Para un diseño dado, si las reparaciones se realizan con personal calificado y con herramientas, documentación y procedimientos prescritos, el tiempo de reparación depende de la naturaleza del fallo y de las mencionadas características de diseño.	4	7	7	8	8	7
Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) – Mean Time Between Failures (MTBF): El Tiempo Promedio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Asimismo, para determinar el valor de este indicador se deberá utilizar la data primaria histórica almacenada en los sistemas de información.	5	5	5	8	8	4
Costo Total del Mantenimiento por mes: Corresponde a la relación entre el monto total gastado por el área de mantenimiento por cada mes respecto al costo presupuestado para dicho mes.	6	5	6	9	9	9
Costo real de mantenimiento por mes: Corresponde a la relación existente entre las facturaciones totales generadas por el área respecto del gasto generados por las unidades.	7	6	6	9	9	7
% de Costo del Correctivo: Es la relación existente entre los costos generados en la atención de unidades por atenciones correctivas y el costo total de mantenimiento por mes.	8	7	7	8	8	7
Tasa de cumplimiento de órdenes de trabajo: N° de órdenes de trabajo realizadas según lo programado / N° total de órdenes de trabajo programadas.	9	4	8	6	7	5

OBJETIVOS		CRITERIOS DE EVALUACIÓN				
		CRITERIOS DE EVALUACIÓN			CRITERIOS DE EVALUACIÓN	
% órdenes de trabajo que requieren re trabajo (calidad de ejecución): N° de órdenes de trabajo para reprocesar / N° total de órdenes de trabajo.	10	9	9	6	8	5
Calidad de la programación del mantenimiento: N° de órdenes de trabajo con ejecución retrasada por material o mano de obra / N° total de órdenes de trabajo.	11	6	8	5	8	4
Tasa de reclamaciones del concedente por causas imputadas a mantenimiento (por cada 30 días de operación): Corresponde al total de reclamaciones hechas por el concedente a causa de unidades varadas durante la operación.	12	9	7	7	8	8
% de Fallas que generan formatos de varadas: Es la relación fallas que se presentan en la prestación del servicio y la cantidad de estas que generan formatos de falla por parte del concedente.	13	6	6	6	7	8
% de Correctivos sobre el número de intervenciones totales: Es la relación de la cantidad de intervenciones correctivas respecto del total de intervenciones realizadas en el taller.	14	7	7	8	7	5
Relación de Horas de Operación por Bus: Es la relación existente entre la cantidad de horas de operación de las unidades y la cantidad de horas de mantenimiento que estas requieren.	15	5	5	5	5	2
Edad Media de la flota: Es el promedio del recorrido acumulado de la flota, en función a la necesidad de controlar su desgaste, entendiéndose que a medida que las unidades acumulan más kilómetros demandan una mayor cantidad de mantenimiento.	16	1	2	8	2	6
% de Horas de capacitación reales: Es la relación entre la cantidad de horas brindadas al personal técnico de mantenimiento y las horas de capacitación planificadas dentro del plan anual de capacitaciones.	17	4	5	1	4	2
% de técnicos con certificación de competencias: Es la relación existente entre la cantidad de personal técnicos que tiene certificaciones de competencias según especialidad, respecto a la cantidad total de técnicos según especialidad.	18	3	5	3	3	2
% de Ejecución de Horas Hombre: Es la relación existente entre la cantidad de horas hombre ejecutadas en las atenciones de las unidades y las cantidades de horas hombre disponibles.	19	4	6	7	8	5
Calidad de la programación del personal: Es la relación horas extras ejecutadas por el personal técnicos respecto a la cantidad de horas standard contratadas.	20	2	5	5	8	7
OBSERVACIONES						