

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

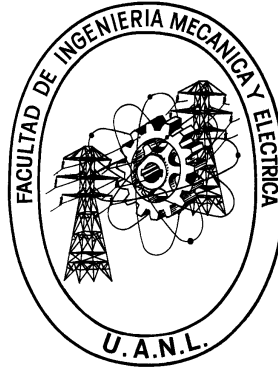


**“REDES NEURONALES EN LA PREDICCIÓN DE VIABILIDAD COSTO-
MANUFACTURA APLICADA A MOTORES ELÉCTRICOS”**

Por:
RICARDO ZÚÑIGA GÓMEZ DE LA MATA

EN OPCIÓN AL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA AUTOMOTRIZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**“REDES NEURONALES EN LA PREDICCIÓN DE VIABILIDAD COSTO-
MANUFACTURA APLICADA A MOTORES ELÉCTRICOS”**

Por:
RICARDO ZÚÑIGA GÓMEZ DE LA MATA

EN OPCIÓN AL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA AUTOMOTRIZ

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN

2025-06-17

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Posgrado

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis "Redes neuronales en la predicción de viabilidad costo-manufactura aplicada a motores eléctricos.", realizada por el estudiante Ricardo Zúñiga Gómez de la Mata, con número de matrícula 1791749, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Automotriz.

El Comité de Evaluación de Tesis

Dr. Martín Castillo Morales
Director

Dr. Oscar Jesús Zapata Hernández
Revisor

Dr. Mario Alberto Bello Gómez
Revisor

M.C. Aldair Edivaldo Lujano Díaz
Revisor

Vo.Bo


Dr. Simón Martínez Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

Institución 190001

Programa 554502

Acta Núm. 4491

Ciudad Universitaria, a abril 2025.

Índice

1.	Resumen	4
2.	Fundamento teórico	5
2.1.	Fundamentos generales.....	5
2.1.1.	Redes Neuronales	5
2.1.2.	Motores eléctricos vehiculares.....	12
2.1.3.	Objetivos medioambientales.....	17
2.1.4.	Cadena de suministro	21
2.1.5.	Interfaz Gráfica de Usuario	24
2.2.	Antecedentes del proyecto	27
2.2.1.	Tendencias del motor eléctrico	27
2.2.2.	Uso de redes neuronales en cadena de suministro o predicción de costo	30
3.	Hipótesis	32
4.	Objetivos.....	32
4.1.	Objetivo General	32
4.2.	Objetivos Específicos.....	32
5.	Implementación.....	33
5.1.	Consideraciones	33
5.1.1	Identificación del problema.....	33
5.1.2	Vehículos todo terreno	34
5.1.3	División de costos	35
5.2.	Base de Datos.....	36
5.2.1.	Estructura de subensambles	38
5.2.2.	Estructura por Costos	42
5.2.3.	Importancia de la identificación de cada elemento	44
5.3.	Correlaciones	56
5.3.1.	Correlaciones en Rotor	61
5.3.2.	Correlaciones en Estator	66
5.4.	Comparativas de métodos	75

5.5.	Pronósticos.....	83
5.5.1	Interpolación	83
5.5.2	Regresión Lineal	85
5.5.3	Regresión Polinomial.....	86
5.5.4	K-Vecinos Cercanos	88
5.5.5	Máquinas de Vector Soporte	89
6.	Resultados.....	92
6.1.	Algoritmo.....	92
6.2.	Pronósticos	97
6.2.1.	Arquitectura de nodos baja	97
6.2.2.	Arquitectura de nodos media	98
6.2.3.	Arquitectura de nodos alta	100
6.3.	Datos nuevos	101
6.4.	Resultados individuales	107
6.5.	Factores externos	118
7.	Conclusiones.....	122
7.1.	Alcance.....	124
7.2.	Trabajo a Futuro	125
8.	Apéndice	126
8.1.	Glosario	126
8.2.	Interfaz Gráfica.....	130
8.3.	Tablas con Resultados	142
9.	Referencias.....	160

1. Resumen

El presente proyecto se enfoca en la aplicación de redes neuronales dentro de la industria automotriz con el objetivo de obtener un estimado de los costos de un motor eléctrico y sus componentes. Mediante el estudio y análisis de los diferentes motores eléctricos que se contaban en prototipado y producción, se desglosaron las características clave en una base de datos la cual cuenta con los factores de diseño, manufactura y externos. Con esta información, se desarrolló un algoritmo con la capacidad de predecir los precios manteniéndose dentro de un margen de error de $\pm 10\%$ en motores grandes o doscientos dólares en motores de menor tamaño. Los resultados obtenidos indican que este enfoque ofrece una forma eficaz de estimar los costos de los componentes del motor eléctrico, lo que facilita significativamente la gestión de costos, la toma de decisiones, así como en el desarrollo y producción de sistemas de tren motriz de nueva generación.

2. Fundamento teórico

2.1. Fundamentos generales

2.1.1. Redes Neuronales

Los avances de hoy en día no serían posibles si no existiese el conocimiento y las herramientas desarrolladas en el pasado por lo que es importante conocer un poco acerca de la evolución de la tecnología. La primera red neuronal fue desarrollada en el año de 1943 por Warren McCulloch y Walter Pitts, esta fue conceptualizada por circuitos eléctricos, a partir de este punto se dividió en aplicaciones a biología e inteligencia artificial.[1]

El siguiente gran paso fue en 1956, cuando empezaron las primeras investigaciones de inteligencia artificial lideradas por Nathaniel Rochester. Seguidos por Bernard Widrow y Marcian Hoff en 1959 que fueron capaces de reconocer patrones binarios. En 1982 John Hopfield realizó el análisis matemático y demostró el potencial de las redes neuronales, en 1987 fue la primera conferencia internacional que trataba los temas de inteligencia artificial, redes neuronales y aprendizaje profundo. En 1992 Juayan Weng diseñó un método para reconocer objetos 3D. En el 2009 ocurrió el “Sistema de procesamiento de información neuronal” (NIPS por sus siglas en inglés) que entregaría el primer reconocimiento de voz, otro gran avance ocurrió en 2012 cuando la compañía Google mejora el algoritmo a nivel humano en tareas sencillas. Por último, en 2017 surgió una adopción en masa de la inteligencia artificial. [2]

Como se puede observar, se tiene bastante historia, sin embargo, también tienen mucho futuro. Actualmente las aplicaciones que tienen las redes neuronales y la inteligencia artificial son varias, por ejemplo: ciberseguridad, ciencia forense, computación en la nube, reconocimiento de patrones, predicción de costos, aplicaciones de calidad y en medicina. [3]

Las redes neuronales tienen este nombre porque funcionan detectando patrones como lo haría el cerebro del ser humano, tienen la capacidad de establecer relaciones entre hechos y una memoria, que se afecta con entrenamiento o con experiencias, el propósito principal de una red neuronal es asignar un peso relativo en ¿cuánto una variable va a afectar en el resultado final?, su combinación con otras variables y cómo van cambiando con el tiempo.[4]

Su funcionamiento básicamente se resume en: recibir una entrada, el algoritmo la pasa por varias capas de filtros los cuales la van refinando, pasando por los filtros de retroalimentación la dirige a la asignación de conclusiones donde al final dará un resultado dependiendo de todo el camino recorrido. [5]

Su principal ventaja es el desarrollo de modelos complejos con un gran número de entradas que se convierten en modelos precisos y fáciles de usar para el usuario. Todas las capas son independientes entre sí, sin embargo, cada capa tiene un número arbitrario de “neuronas” o nodos, cada una con cierto sesgo, a esto se denomina bias^[1], su función principal es entregar un valor constante. Este valor se cambia (se denomina “entrenar”) con los impulsos recibidos dentro de la red, denominados función de activación, funciona como un interruptor dando valores o señales que cambian según la hipótesis que tenga la neurona. Dando la capacidad que los valores tengan un movimiento positivo o negativo lo cual crea un comportamiento similar al esperado o en otras palabras un entrenamiento exitoso. [3]

Existen 4 tipos de funciones de activación como se muestran en la figura 1:

- 1) La función lineal: relaciona el valor de la entrada directamente con el valor arrojado en la salida, resultando en un comportamiento similar al de una regresión lineal.
- 2) Función escalón: Categoriza entre dos posibles resultados, es decir arroja un valor

booleano ^[2], falso/verdadero o 0/1 dependiendo el formato o notación que se le dé.

3) Función sigmoide: Sirve para representar diferentes probabilidades, valores muy pequeños se categorizan como falso (0) y valores muy altos se categorizan como verdadero (1), sin embargo, en un rango cercano al origen los valores de entrada sí presentarán un impacto variable respecto a los valores de salida.

4) Función unidad rectificada lineal. Tiene la característica que para valores inferiores a cierto límite establecido se retorna un valor en específico. Sin embargo, cuando sobrepasa el límite previamente establecido pasa a tomar la forma de la función lineal.

[6]

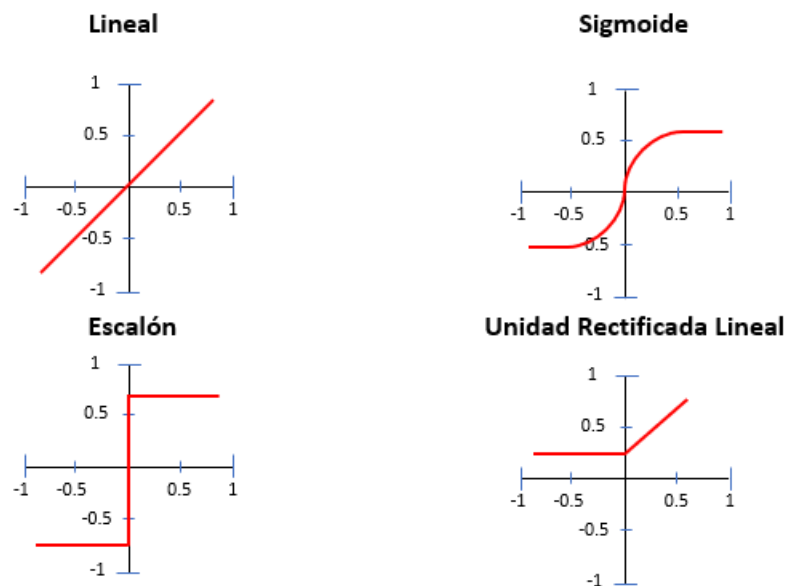


Fig. 1. Gráficos de tipos de funciones de activación valores de entrada vs valores de salida

Existen clasificaciones y modelos para describir mejor las redes neuronales, básicamente se dividen en dos apartados: las redes neuronales de retroalimentación adelantada (FFNN, por sus siglas en inglés) y las redes neuronales de retroalimentación atrasada (FBNN, por sus siglas en inglés), en la clasificación FFNN cada nodo de las capas están relacionadas con los otros nodos ^[3] de las diferentes capas, la diferencia está en la fuerza de la conexión, las capas pueden ser de entrada, de salida, u ocultas, como se puede ver en la figura 2, las de entrada reciben la información, las ocultas es donde se realizan todos los cálculos y las de salida entregan los resultados. [7]

En la clasificación FBNN, tiene la capacidad de guardar información y su diferencia radica en que hace los procesos de forma secuencial conforme los datos llegan, las conexiones entre los nodos producen una secuencia ordenada, lo que crea un proceso más clasificadorio o por jerarquía en forma de árbol de decisiones ^[4].

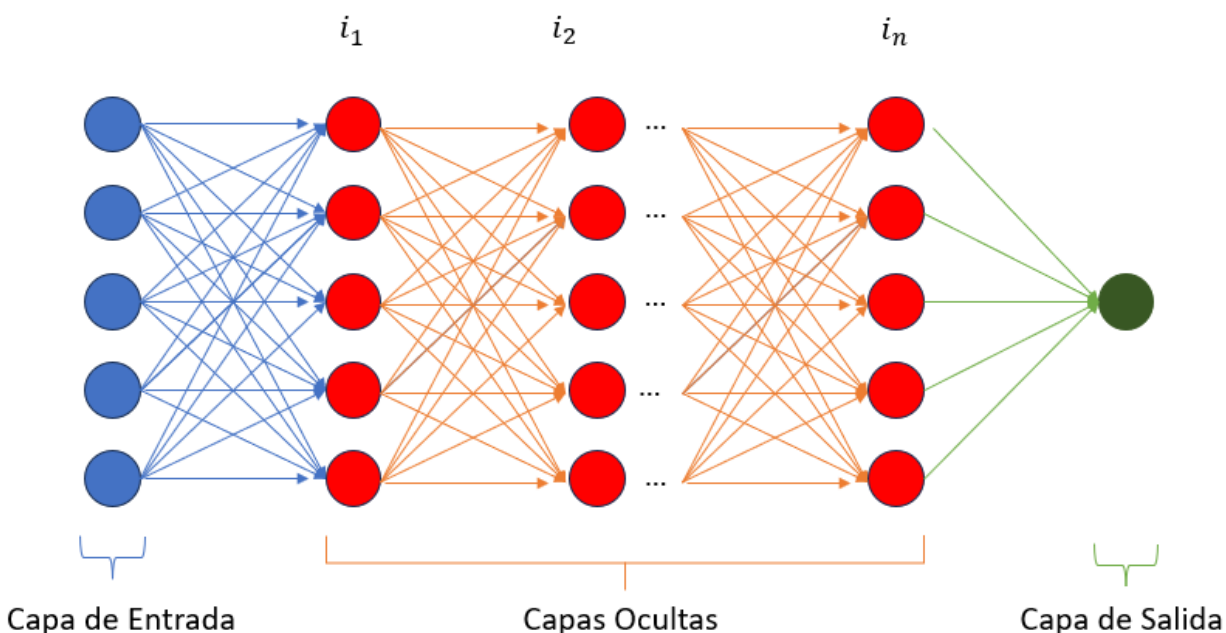


Fig. 2. Esquemático capas en redes neuronales [3]

Generalmente existe una confusión entre los términos: “Inteligencia artificial” (IA), “Aprendizaje Autónomo”(ML), “Aprendizaje por Refuerzo” (RL), “Redes Neuronales” (NN) y “Aprendizaje Profundo” (DP), si bien son conceptos relacionados, se piensa que son sinónimos cuando cada uno tiene su propio significado y campo, como se describe a continuación: inteligencia artificial se refiere a la capacidad de un algoritmo a tomar una decisión en base a los datos proporcionados, el aprendizaje automático es un algoritmo que detecta patrones y mejora conforme más datos reciba para realizar una tarea determinada, el aprendizaje por refuerzo es una sub rama del aprendizaje automático, este algoritmo mejora al estar programado para darle una “recompensa” ^[5] al algoritmo cada que tome una decisión correcta. Por último, el aprendizaje profundo se basa en

organizar mediante varias capas de reconocimiento los datos para que creen relaciones y patrones más complejos, de hecho, las redes neuronales son un ejemplo del aprendizaje profundo. [8]

Por lo anterior se tiene que las redes neuronales no son la única forma de inteligencia artificial que existe, son una pequeña rama dentro del aprendizaje profundo, el cual es un subconjunto del aprendizaje automático [7]. Como se ve en la figura 3.

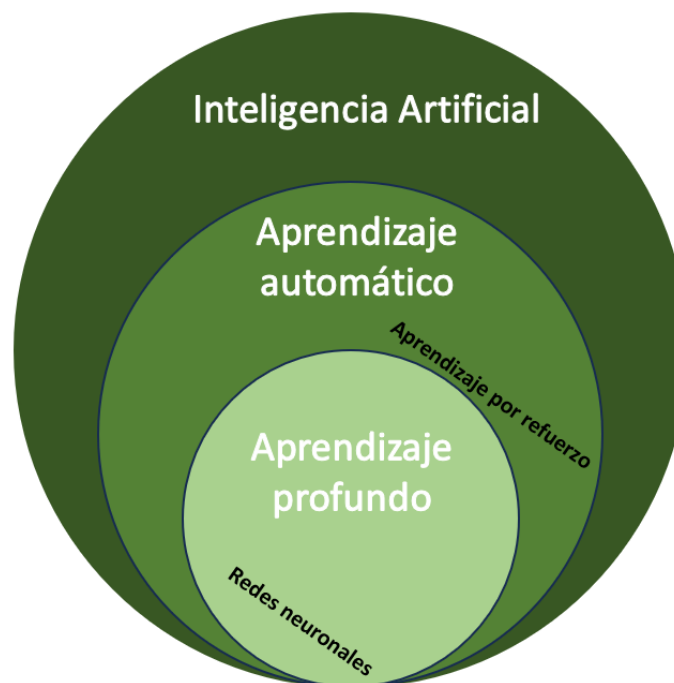


Fig. 3. División Inteligencia artificial [8]

¿Cómo puedo saber si el algoritmo es confiable o que tan preciso es? En inteligencia artificial se entrenan los algoritmos, los métodos varían dependiendo el tipo, la precisión y la funcionalidad, pero básicamente el grupo de datos obtenidos se van a dividir en al menos dos subgrupos, un grupo de entrenamiento y un grupo de control. Por lo que el algoritmo se desarrolló en base a que aprendiera, organizará la información con el primer

subconjunto de datos. Una vez que se define que el algoritmo cumple con un rango de precisión aceptable, se prueba con el segundo subconjunto de datos. [9]

La razón de los subconjuntos y diferentes pruebas es para evitar el “sobre entrenamiento”, este concepto se refiere a que el algoritmo utilice un sesgo a los datos presentados con elevados niveles de varianza donde únicamente relacione una de las variables con uno de los resultados. Cuando esto pasa un algoritmo no es fiable por lo cual no puede utilizarse, un sobre entrenamiento se detecta cuando la fiabilidad del primer grupo parece cercana a 100% pero en el grupo de control baja considerablemente. También existe el concepto de infra ajuste el cual es un modelo que toma muy poco en consideración las variables, por lo que puede detectar una tendencia. Sin embargo, los resultados tendrán un alto margen de error. Se pueden apreciar las diferencias entre modelos de entrenamientos en la figura 4. [10]

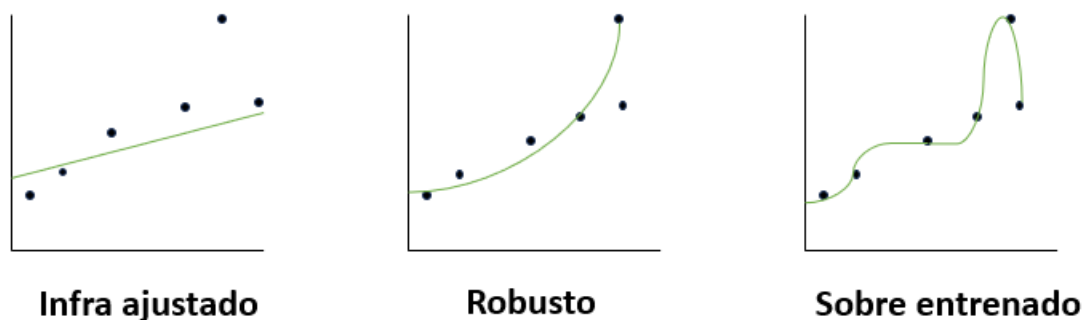


Fig. 4. Explicación gráfica de entrenamientos

La siguiente pregunta es, ¿Cómo medir la precisión de un algoritmo?, primero es un requisito saber el uso del algoritmo, si será continuo ^[6] o discreto ^[7], para valores numéricos el método más utilizado es la distancia media cuadrática mínima (RMSE por sus siglas en inglés), el cual se define como “la raíz cuadrada de la media de los errores al cuadrado entre las predicciones y los valores reales de los datos de la prueba”. [10]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y}_j)^2}$$

Ec.1. Distancia media cuadrática mínima

Donde:

RMSE: Suma de los cuadrados de las distancias.

n: Número total de observaciones.

y_j : Valor real para el punto j.

$\bar{y}_j$: Valor estimado para el punto j.

j: Índice actual del conjunto de datos (de 1 a n).

En el caso donde se tiene que clasificar un resultado se utiliza una “matriz de confusión” que es el caso donde el algoritmo puede dar cuatro resultados “verdadero positivo”, “verdadero negativo”, “falso negativo”, “falso positivo” donde el primer término indica si el algoritmo tuvo un acierto o una equivocación, el segundo termino indica el lugar de la clasificación, como se explica en la figura 5. La diferencia es importante debido a la aplicación donde en ciertos casos conviene cargar el algoritmo más hacia un resultado que al otro. [10]

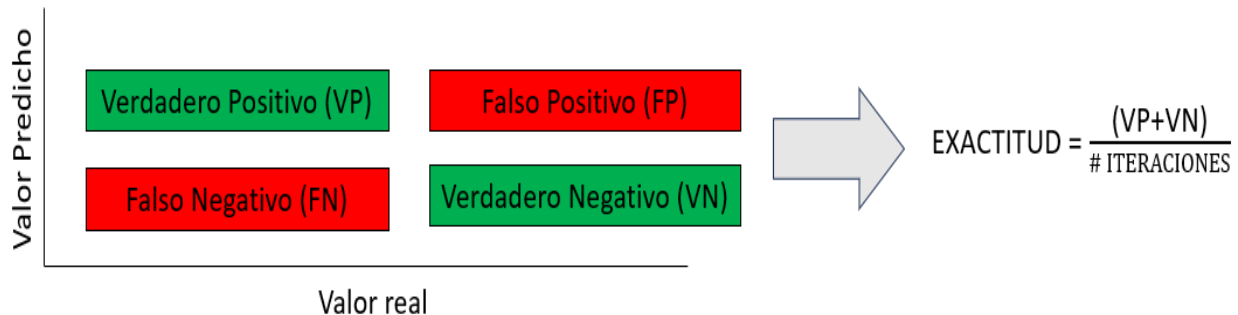


Fig. 5. Matriz de Confusión.

Se tienen antecedentes de varias empresas del sector automotriz como GM, Stellantis o Ford que utilizan la inteligencia artificial para la adecuación de sus vehículos para otros propósitos como herramientas agrícolas, armamentísticas o recreativos, otro uso dado

es en las líneas de producción donde se implementaron varios sensores que detectan que los procesos se estén haciendo de forma correcta y segura, el último ejemplo es para el procesamiento de las preferencias de conducción del usuario donde se genera una “memoria” sobre estas. [11]

2.1.2. Motores eléctricos vehiculares

El motor de un vehículo es su corazón, básicamente es el componente que proporciona la energía necesaria para realizar sus funciones mecánicas, la industria automotriz se ha basado en el desarrollo de motores de combustión interna a base de combustibles fósiles. Sin embargo, en los últimos años se ha planteado sustituir el uso de combustibles fósiles por medio de motores eléctricos, lo que resulta en un vehículo completamente eléctrico o híbrido.

¿Qué es un motor eléctrico? Es una máquina que funciona a base de electricidad, la cual tiene la capacidad de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, algunos tienen mecanismos integrados (generadores) que otorgan la capacidad de funcionar en ambos sentidos es decir transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Hay antecedentes de la existencia de los motores eléctricos en 1834 por Thomas Davenport, actualmente tienen varias aplicaciones, ahora la tarea para los ingenieros y armadoras es integrarlos dentro de los vehículos para que sean la fuente parcial o total de la energía para la movilidad necesitada. [12]

En términos generales la diferencia contra los motores de combustión es el torque máximo a bajas velocidades incluyendo cero revoluciones por minuto, como se muestra en la figura 6, el sistema motriz además de tener la transmisión, baterías, inversor y motor también cuenta con un controlador y un sistema de recarga. El sistema de recarga funciona mediante el frenado regenerativo ^[8] donde el torque realizado por los frenos recargará una parte de la batería que alimenta al motor eléctrico. [13]

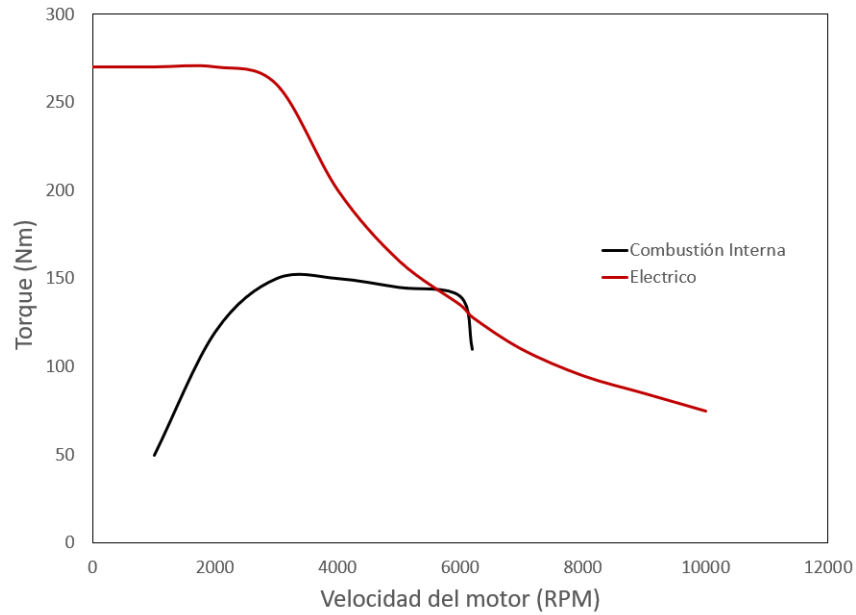


Fig.6. Tendencia par motor eléctrico vs combustión interna.

El motor eléctrico funciona bajo el concepto de “rotación electromagnética”, este se refiere al rechazo/atracción que experimentan dos imanes dependiendo de cómo se encuentren alineados sus polos, siendo estos los acomodos de polo: positivo/negativo o negativo/positivo se atraen, en caso contrario positivo/positivo o negativo/negativo se repelen, de forma que si se acomodan de cierta manera se obtiene un desplazamiento en la dirección deseada. Como se muestra en la figura 7. [14]

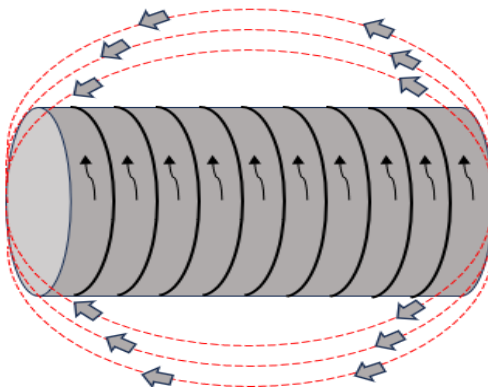


Fig.7. Rotación electromagnética.

Para lograrlo se deben tener tres componentes principales que son el estator, el rotor y la bobina. El rotor, como su nombre indica, es un ensamble el cual rota, este será

acoplado a los ejes para entregar la potencia necesaria al vehículo. Por otro lado, el estator está encargado de proveer un campo magnético que mantendrá al rotor girando, resaltando que este componente es fijo o dicho de otra forma no posee ningún grado de libertad ^[9]; por último, la bobina hace referencia a los cables (fabricados actualmente de cobre) que tienen un campo magnético en dirección contraria al campo generado, para fines de ensambles la bobina puede ser considerada parte de los componentes del estator, caso similar que la carcasa. Se pueden observar los tres componentes en la figura 8. [14]

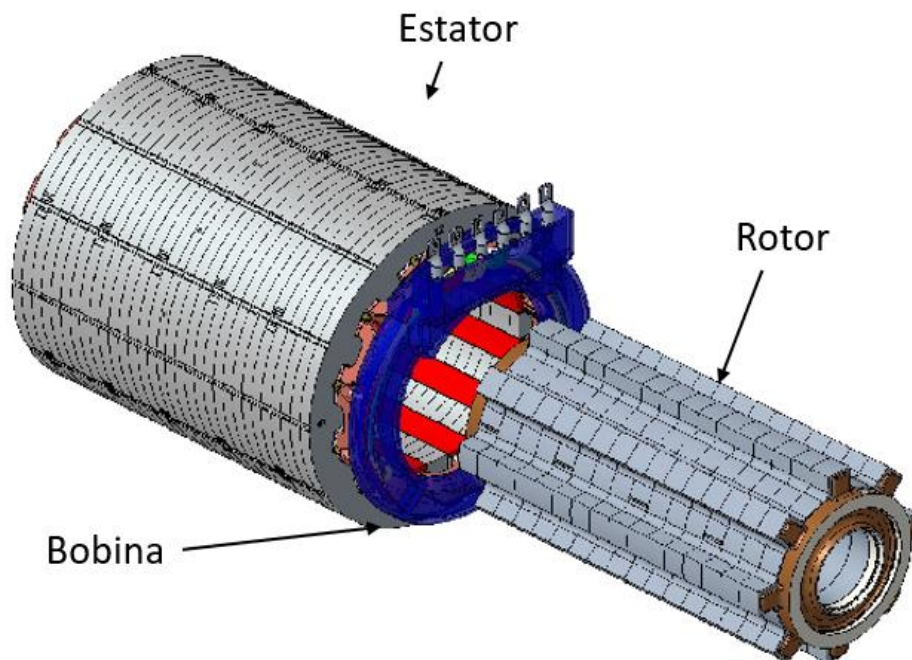


Fig.8. Motor eléctrico explosionado.

Existen dos tipos o modelos de vehículos híbridos eléctricos:

a) Vehículos Híbridos Eléctricos (HEV por sus siglas en inglés)

Tienen un sistema de doble motor, uno eléctrico que obtiene la energía por medio de la batería, combinado con un motor de combustión interna. Durante la conducción en carretera, tanto la combustión como el motor eléctrico proporcionan

impulso. A bajas velocidades el vehículo es propulsado únicamente por el motor eléctrico, lo que resulta en cero emisiones. Otra ventaja es cuando el vehículo se detiene, el motor de combustión se apaga, evitando así el consumo de combustible. Los vehículos cuentan con un sistema electrónico, el cual ajusta de forma óptima la potencia de ambos motores. Durante el frenado, el motor eléctrico funciona como generador ^[10], recuperando parte de la energía cinética. [15]

b) Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV por sus siglas en inglés)

Tienen el mismo principio de combinación de un motor eléctrico junto con un motor de combustión interna, modulando su uso dependiendo la velocidad. Su diferencia radica en la forma de recarga de las baterías, sí el anterior caso usaba frenado regenerativo, este tipo de vehículos recarga las baterías con energía directamente de la red eléctrica. [16]

Además de las clasificaciones de enchufables o a gasolina existen otras clasificaciones como pueden ser el tipo de campo rotatorio que los divide en motores síncronos y asíncronos, como se observa en la figura 9. Los primeros utilizan un imán dentro del rotor que girará sincronizadamente con la velocidad del estator, tienen cargas variables lo que complica el momento de arranque. En los asíncronos la masa del rotor girará a una velocidad determinada, pero será diferente a la velocidad del campo magnético generado por el estator, la diferencia de velocidades se denomina deslizamiento, cuando existan aumento o disminuciones bruscas de carga afectarán al deslizamiento y este a su vez al torque entregado. En resumen, un motor asíncrono es más sencillo de construir, requiere menor mantenimiento por otro lado un motor síncrono ayuda a tener un torque y potencia confiable en todo momento de su operación. [12]

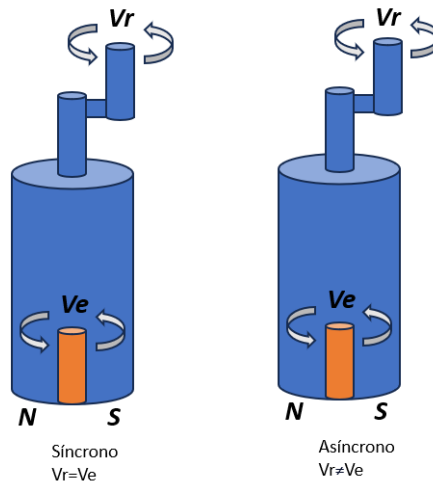


Fig. 9. Velocidad de rotor con motor síncrono o asíncrono (V_r) respecto a la velocidad del estator (V_e).

Los avances en el motor eléctrico apuntan en varias direcciones. Sin embargo, una configuración diferente, llamada “In-Wheel Motor” es la que está tomando más relevancia, se refiere a una arquitectura donde cada rueda del vehículo tiene integrado un motor más pequeño, pero que en conjunto genera una mayor potencia, así como una mejor recarga, en contraste con los actuales que cuentan con solo uno en el centro del sistema de transmisión. Prometen ser revolucionarios por sus amplios beneficios, sin embargo, todavía están en fases de prototipado. Al estar en cada rueda trae varias ventajas, como se mencionó antes permite reducir las pérdidas de energía a lo largo de la transmisión, así como integración de sistemas de control más avanzados que ayuden a entregar la potencia y torque en la medida que se necesite, facilidad de estabilizarse u optimizar el frenado regenerativo. Otro beneficio es un mayor espacio al interior del chasis al eliminar un motor central, lo que ayuda a acomodar más componentes y flexibilidad en el diseño de otros componentes o subsistemas. Algunas de sus limitaciones son el aumento del peso no suspendido, el manejo de las temperaturas y la integración de componentes dentro de la misma rueda. [17]

2.1.3. Objetivos medioambientales

Hoy en día la sociedad es consciente que la actividad humana e industrial tiene repercusiones sobre el mundo en el que vivimos, la contaminación, deforestación, combustión de petróleo, carbón y gas o sus derivados que producen gases de efecto invernadero son algunos de los causantes de los recientes cambios globales en las condiciones climatológicas. Estos cambios son los causantes de que los eventos extremos sean aún más severos como las altas y bajas temperaturas, prolongadas sequias, derretimiento de glaciares, así como la mayor frecuencia en diferentes desastres naturales. De acuerdo con José Antonio Santiago Lastra [15] si se mantienen las tendencias actuales existirá un aumento de la temperatura promedio del planeta de 1.1°C a 6.4°C, un incremento de 1.2% de la cantidad de vapor de agua encontrada en la atmosfera, la desaparición de glaciares árticos en el año 2040 y un aumento del nivel del mar de 18 cm a 88 cm. [18]

Debido a que son problemas ampliamente conocidos varios países del mundo se reunieron para comprometerse y cumplir los acuerdos de Paris 2015 en un intento para reducir los gases de efecto invernadero. A partir de ahí se marcó el inicio de una agenda global, conocida como la Agenda 2030 que se basa en transformar la economía en una climáticamente neutra y emprendimientos sostenibles con el planeta. Uno de los principales estatutos de dicha agenda es el Pacto verde europeo que citó “sociedad equitativa y próspera, con una economía moderna, eficiente en el uso de los recursos y competitiva, en la que no habrá emisiones netas de gases de efecto invernadero en 2050 y el crecimiento económico estará disociado del uso de los recursos” [19] debido a estos acuerdos muchas cosas están cambiando en los procesos industriales mundialmente así como en los servicios, donde en este artículo el mayor punto de interés lo tienen los cambios en los vehículos. [18]

Los vehículos actuales pueden utilizar un ciclo de combustión interna conocido como Otto (gasolina) o Diesel según el combustible que estén utilizando, dicha combustión que proporciona la energía necesaria al automóvil para generar su movimiento también genera partículas contaminantes, así como gases de efecto invernadero en mayor o menor medida dependiendo de la eficiencia del proceso y la calidad del combustible utilizado. Para dar una idea de la repercusión según datos de la ONU [20] los vehículos particulares son los responsables de emitir un 18% de las emisiones de gases de dióxido de carbono (CO₂) en el mundo, el cual es un gas de efecto invernadero. Aparte del CO₂ en la combustión se clasifican los gases en inofensivos (oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno y agua) y nocivos como (Monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre) con una relación de 98% y 2% respectivamente, por lo que además de causar daños en el medio ambiente, tiene efectos en la salud de las personas, tal como se muestra en la figura 10. [13]

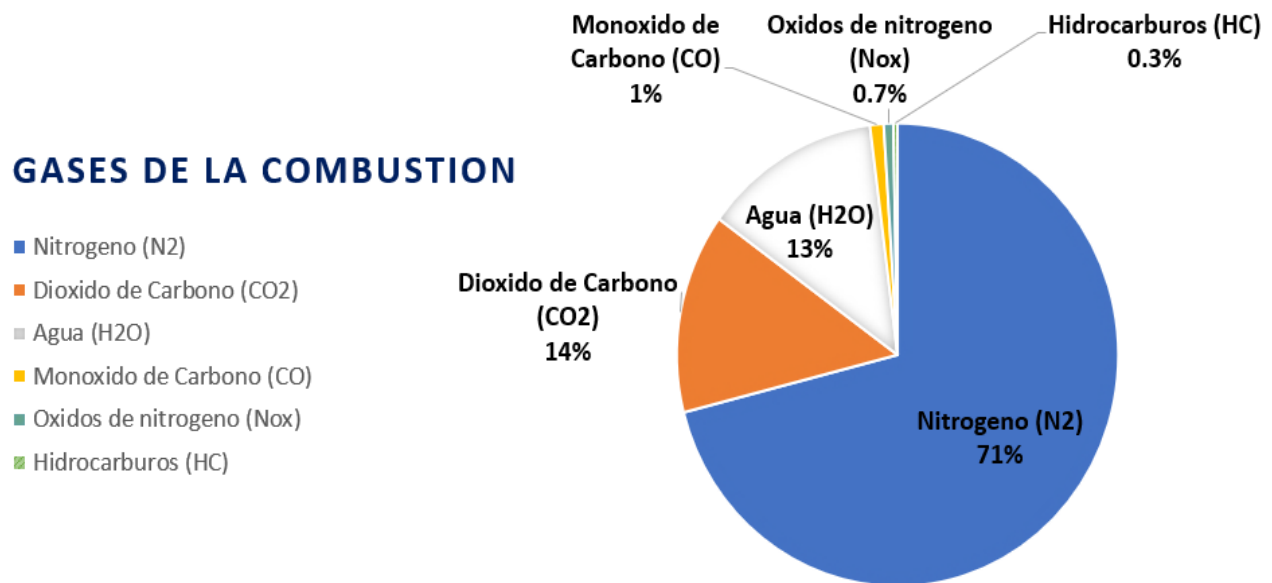


Fig. 10. Porcentajes promedio de gases en la combustión. [13]

Con los antecedentes anteriores no es de extrañar que varias de las potencias económicas como, por ejemplo: China, la Unión Europea o los Estados Unidos de

América estén impulsando iniciativas para que se vendan coches eléctricos por encima de los motores de combustión interna.

Por ejemplo, en China se aprobó en el congreso la ley de vehículos eléctricos 6B de emisiones, que entró en vigor a partir del 1 de julio 2020. Se establecieron los límites de emisiones que puede emitir un vehículo, los cuales son: Monóxido de carbono (CO) 0.5 g/km, óxidos de nitrógeno (NO_x) 0.035 g/km, Óxido nitroso (N_2O) 0.02 g/km, Hidrocarburos no metánicos (NMHC) 0.035g/km, además exige que las provincias establezcan una fecha para la prohibición de venta de vehículos que cuenten con motores de combustión interna para el año 2030, un caso destacable es la provincia de Hainan donde se planea el uso de motores ambientalmente amigables para el año 2025 en al menos un 75%. [21]

En la Unión europea la prohibición de venta de vehículos sin motor a combustión está establecida para el año 2035, sus esfuerzos se justifican con la actual ley “Euro 6” y la futura ley “Euro 7”, que entrará en vigor el 1 de julio del 2025, la primera ley establece un control únicamente a los óxidos de nitrógeno (NO_x), exige que las emisiones totales máximas para un vehículo a diésel sean de 80mg/km NO_x y para los vehículos de gasolina un valor máximo de 60mg/km NO_x . Debido a que no se estaban regulando más gases, la ley Euro 7 además de reducir las cantidades de NO_x permitidas también limita los óxidos nitrosos y partículas ultrafinas. Sus valores son los siguientes: ambos motores diésel y gasolina deberán emitir como máximo 60mg/km NO_x , las emisiones de N_2O no pueden superar 35mg/km y no se permite que las partículas ultrafinas sean más de 4.5mg/kWh. [21]

Por otro lado, Estados Unidos actualmente no tiene una fecha de prohibición de ningún tipo de motor exceptuando a California donde el estado puso como año límite 2035 para la venta exclusiva de vehículos cero emisiones [22]. Sin embargo, el país a nivel federal está haciendo esfuerzos para reducir las partículas contaminantes donde igualmente

puso límite en las partículas contaminantes para el año 2030, donde se establece que los vehículos no pueden sobrepasar de 50g/km de CO₂ y mantenerse por debajo de 0.4g/kWh de NO_x. Otra forma en la que están luchando es con las leyes que apoyan e incentivan la compra de vehículos eléctricos, por ejemplo, la “Ley de Reducción de la Inflación” establece que el gobierno tendrá un presupuesto para otorgar subsidios a los vehículos propulsados por energías limpias que sean construidos en su mayoría en la región de América del Norte. [23]

En México también existe una regulación, la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013, la cual establece las máximas emisiones que puede generar un motor. Sin embargo, estas no son tan restrictivas como las mencionadas anteriormente, y se basan más en las emisiones de CO₂ que no puede pasar dependiendo los años de fabricación del vehículo, que van del rango de 188.9 g/km a 58.6 g/km. [24]

Si se logran cumplir todas las iniciativas medioambientales sobre emisiones de gases de efecto invernadero, se mantendrá en rango el aumento de temperatura normal en aproximadamente 2°C para el 2100, lo que a su vez generará menos impactos en los diferentes problemas ambientales que se viven actualmente. Figura 11 [25]

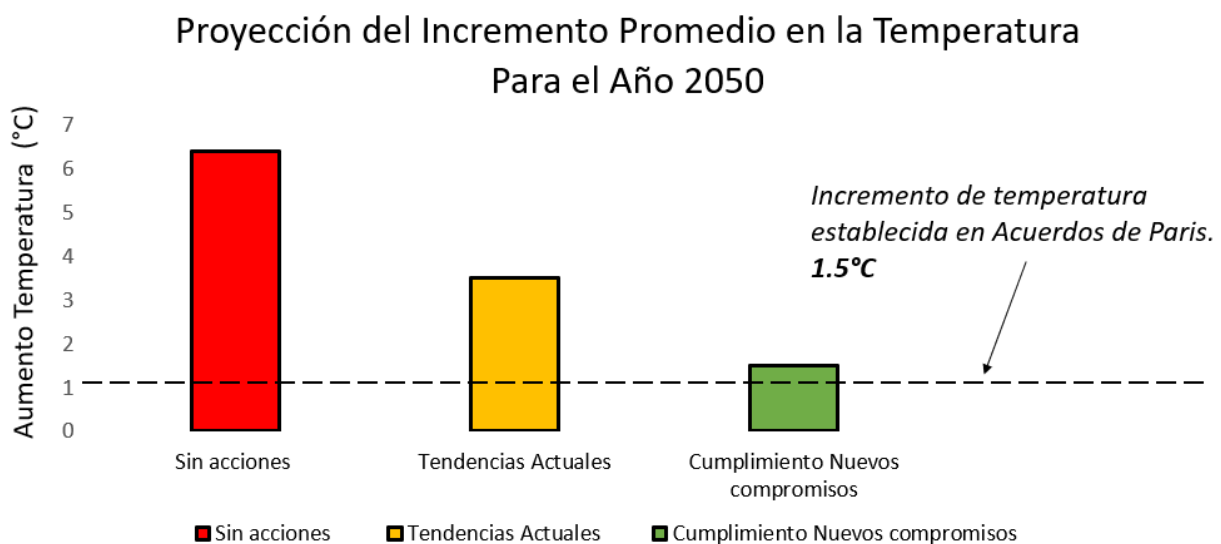


Fig. 11. Proyección del incremento Promedio en la Temperatura [26]

2.1.4. Cadena de suministro

La cadena de suministro son todos los pasos, procesos y empresas por los que debe pasar cierto producto o servicio con el objetivo de llegar a un usuario final. Esta cadena busca que se organice de la mejor forma posible todos los flujos de productos, información y actividades a realizar de forma que se eviten cuellos de botella ^[11], se realicen de la manera más eficiente y se evite la mayor cantidad de errores. Este proceso debe tener en cuenta parámetros claves como son el costo total, la estandarización, consolidación y la ley de Pareto (“establece que aproximadamente el 80% de los efectos proviene del 20% de las causas”). ¿Porque es importante cada parámetro? tener en cuenta el costo total asegura que el proceso este hecho de la manera más simple posible y eficiente para obtener mayores beneficios. Estandarizar un proceso genera repetibilidad de los resultados, lo cual evita errores o en su defecto los evidencia para su reparación inmediata. La consolidación da solidez al proceso y por último la ley de Pareto ayuda a mantener la atención en los puntos críticos del sistema. [28]

Un ejemplo de la cadena de suministro en el sector automotriz sería: En primer lugar, la adquisición de las materias primas, ya sean aceros, aluminios, plásticos o cualquier material a utilizar. En segundo lugar, la manufactura de uno por uno de los componentes, después de esto se mandan a una línea de ensamble para obtener subsistemas, luego todos los subsistemas diseñados pasan a pruebas para asegurar su correcto funcionamiento para proceder a ensamblarse en el vehículo final, donde también se necesitará de pruebas en conjunto, dentro de todo este proceso se ocupan servicios de transporte, logística y aduanas para el movimiento de piezas, por último, son recibidas en el concesionario para su venta y terminar con el usuario final. En la figura 12 se muestra un esquemático de cómo funciona la cadena de suministro en la industria automotriz. [29]

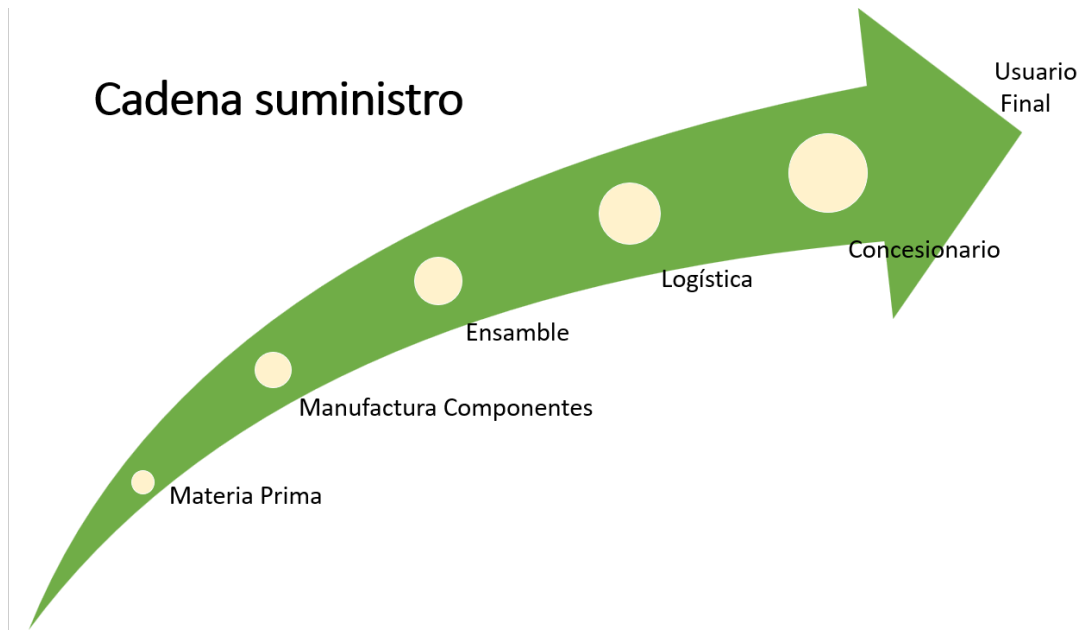


Fig. 12. Simplificación de pasos en la cadena de suministro de un motor eléctrico.

Los pasos de una cadena de suministro requieren de mucha planeación y cooperación entre varias partes, este proceso se ha complicado con las condiciones del mundo globalizado actual, donde se presentan retos de las diferentes regulaciones de importación/exportación, los compromisos medio ambientales u horas productivas en los diferentes países del mundo además los tiempos de entrega de un punto a otro afectan a todos los demás eslabones en la cadena, los cuales pueden forzar a realizar turnos extras, contratar servicios no contemplados y/o pagar multas por incumplimientos de contrato en el caso de una subestimación de inventario. En el caso contrario se pueden producir paros en la línea, reducir turnos y/o pérdidas por almacenamiento cuando se tiene una sobreestimación. Un ejemplo de esto fueron los primeros meses de la pandemia en el año 2020, donde fábricas de muchos países del mundo pararon producción, sin embargo, cuando se retornaron las actividades productivas se generaron cuellos de botella, escases de materias primas, alta especulación y listas de espera debido a que las empresas en las últimas etapas de la cadena necesitaban que las primeras etapas regularizaran e incrementaran sus producciones para compensar los tiempos de desconexión. [30]

La importancia de la cadena de suministro radica en saber a largo plazo donde es más conveniente hacer los procesos, debido a que en teoría puede salir más barato manufacturar en cierto lugar, pero los costes de transportación, impuestos, tiempos de esperas y capacidades en la línea son costos extras por añadir. Por este motivo, muchas empresas realizan un análisis de costos, identificación de los mercados más significativos, así como un pronóstico de la demanda de sus productos en un lapso generalmente dentro de tres meses a un año, dependiendo de la empresa. [30]

Una vez introducido el concepto de que la demanda y el costo pueden variar dentro de la cadena de suministro, es momento de ponerlos en conjunto, debido a que en la producción existirán dos grandes conceptos que incurrirán en la producción, variables y fijos, a estos hay que sumarles las inversiones de herramientas y mantenimientos correctivos, pero al ser costos no recurrentes al nivel de producción no se entrará en detalle. Los costos fijos son aquellos que se mantienen constantes sin importar el nivel de ventas o volumen de piezas, por ejemplo: salarios, mantenimientos programados, costo para mantener los hornos prendidos, etcétera. Por otro lado, los costos variables tienen relación al volumen de piezas fabricados en determinado tiempo como pueden ser, las materias primas, el tiempo de uso de máquina, número de camiones a contratar para transporte o empaquetamiento. [31]

Es vital tener un buen estimado de la demanda y costos de fabricación en un rango mínimo de un año ya que el material faltante o sobrante puede resultar en pérdidas de dinero o reputación. Por otra parte una pobre estimación de los costos aumenta la probabilidad de llevar a cabo un proyecto que al final sea inválido por lo que es indispensable tener bajo control todos los trabajos en el área de la cadena de suministro, para esto existen varias técnicas estadísticas que se pueden utilizar como KNN ^[12] (por sus siglas en inglés “k-nearest neighbors”), SVM ^[13] (por sus siglas en inglés “support vector machines”), ETS ^[14] (por sus siglas en inglés “exponential smothing”), ARIMA ^[15] (“autoregressive integrated moving average”) y ANN ^[16] (por sus siglas en inglés “artificial neural networks”). [32]

2.1.5. Interfaz Gráfica de Usuario

Una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés “Graphical User Interface”) nace de la necesidad de tener una forma más intuitiva, dinámica y organizada para que el usuario pueda interactuar con el algoritmo. Anteriormente, todos los comandos e instrucciones eran ingresados por medio de una consola, la cual daban apariencia de desorganización y era necesario dar una pequeña capacitación para los comandos. En la actualidad prácticamente cualquier producto que contenga un algoritmo siempre se interactúa por medio de interfaces gráficas, aunque muchas veces la GUI es considerada una actividad secundaria o sin mucha importancia, se ha comprobado que está directamente relacionada con la aceptación de un producto. Para que una persona considere efectiva una aplicación, esta tiene que dar los resultados que se están buscando, los cuales se podrán encontrar solo si los pasos a seguir son intuitivos. De esta manera se ve una organización en la aplicación y saltan a la vista las diferentes opciones posibles sin dar muchos pasos para encontrarlas. [33]

La estructura principal consta de dos partes: la recopilación de datos o entrada, donde se comunican las especificaciones o necesidades; y la entrega de resultados o salida, en la cual la interfaz proporciona los resultados solicitados anteriormente. Al momento de diseñar una GUI, es indispensable tener en cuenta que la interfaz: debe ser uniforme, debe presentar mínima o ninguna sorpresa, tenga la capacidad de regresar pasos o guardar los valores, debe ser versátil para diferentes tipos de usuarios y anticipar sus posibles acciones, dar la sensación de control y evitar cualquier memorización, fácil de intuir y altamente legible, por último, tener valores por defecto ideales/estándar para velar por la eficiencia. [34]

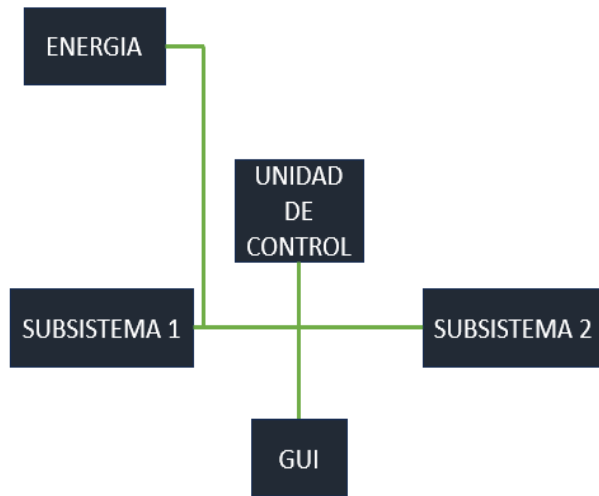
Las diferentes opciones de consola e interfaz tienen sus propias ventajas y limitaciones. Por ejemplo, el uso de la consola contribuye a la automatización de tareas, evita distracciones, consume menos recursos (procesador y memoria) y permite una ejecución más rápida. Por otro lado, el uso de una interfaz gráfica facilita su utilización, proporciona

una mejor interacción, ofrece acceso más sencillo a funciones avanzadas, brinda una retroalimentación prácticamente instantánea y simplifica el mantenimiento. [35]

Algunas de las interfaces gráficas que usan los usuarios en sus vehículos pueden ser los “Head-up display” que son pantallas incorporadas en diferentes puntos como retrovisores o parabrisas para que el conductor mantenga siempre su mirada enfrente, pantallas táctiles, sistemas de audio o botones, existen diversos protocolos ^[17] que utilizan las diferentes interfaces gráficas para comunicarse entre sí, estos se crearon para estandarizar componentes y codificación entre diferentes proveedores y ensambladoras. Aunque el trabajo no utiliza protocolos debido a que es interno y no con el usuario de vehículo vale la pena explicarlas. [36]

El protocolo más utilizado es el controlador de red de zona “CAN”, por sus siglas en inglés de “Controller Area Network”, su funcionamiento se describe en la figura 13. Se utiliza para transmitir información entre los diversos componentes o sistemas que están en el vehículo y facilitar una red de conexión entre todos los programas centralizados en un solo lugar. Existen otros tres ampliamente utilizados que son: el primero, transporte de sistema orientado a media “MOST” por sus siglas en inglés “Media Oriented Systems Transport” este protocolo se caracteriza por su alta velocidad, permite la transmisión de datos de audio, video y controles entre varios subsistemas. El segundo ethernet, son comunicaciones basadas en cable donde su principal ventaja es el ancho de banda. Por último, el “MirrorLink”, este estándar establece las conexiones de dispositivos externos a las GUI de las pantallas del vehículo. [28]

Protocolo CAN



Sin Protocolo

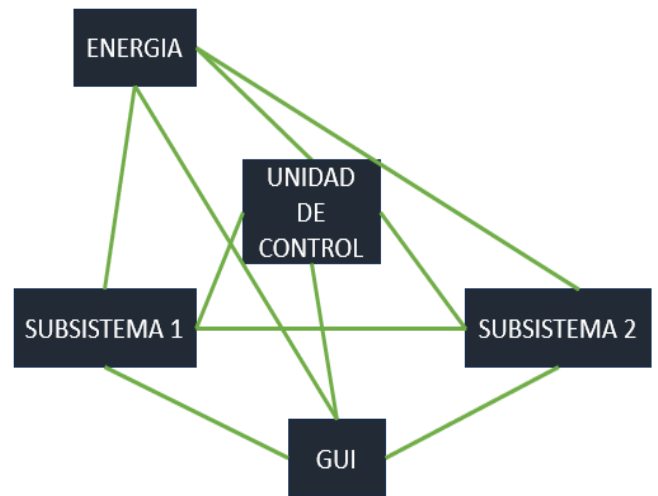


Fig. 13. Protocolo CAN. [28]

2.2. Antecedentes del proyecto

2.2.1. Tendencias del motor eléctrico

Varias empresas alrededor del mundo están investigando maneras de eficientizar, economizar e innovar el motor eléctrico, por ejemplo.

Existen empresas como Lucid motors trabajando en compactarlos para reducir su peso, remplazar la forma actual de los embobinados ^[18] a una malla tejida para generar mayor campo magnético y al mismo tiempo ayudar al enfriamiento. [37]

Otras empresas como ZF buscan hacerlo más eficiente, remplazando los electroimanes ^[19] dentro de las ranuras del motor por imanes permanentes se ha logrado mejorar un 45% la densidad magnética con imanes de ferrita y un 100% utilizando neodimio, también mejora a un factor de potencia de hasta 0.7. Sin embargo, actualmente presentan el reto de la pérdida de intensidad en magnetismo a altas velocidades. [38]

En un intento de aprovechar el frenado regenerativo y obtener una mayor potencia se está evaluando la opción de tener un motor eléctrico en cada rueda remplazando al motor central, optimizando el espacio dentro del chasis para diferentes subsistemas. Además, se incrementa el par máximo entregando hasta 610Nm, otra ventaja es que se puede añadir controladores los cuales controlen la aplicación de diferente torque y/o potencia en cada rueda de igual forma se sustituyó la fundición y maquinado con un proceso de fusión laser, figura 14, para ahorrar 10% de peso. [39, 40 y 41]

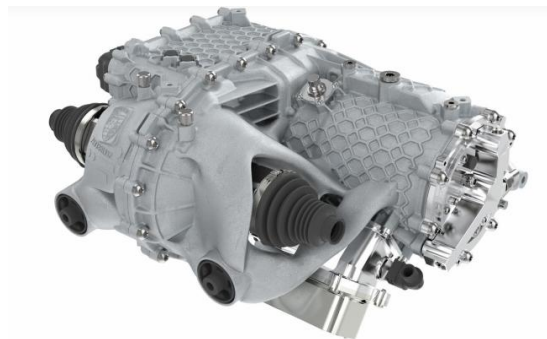


Fig. 14. Carcasa de motor eléctrico topología optimizada por fusión laser. [40]

La forma más eficiente hasta ahora para optimizar el peso fue un motor axial ^[20], como se muestra en la figura 15, este modelo se basa en el uso de un doble rotor con un simple estator, el cual se apoya de aceite y refrigerantes para propagar el campo electromagnético en la dirección de rotación deseada con la misma intensidad. [42]



Fig. 15. Motor eléctrico axial [43]

Además de las investigaciones en los motores de vehículos eléctricos, existen en otros campos como las transmisiones, donde se remplazan las bombas mecánicas de aceite por bombas eléctricas, o el acoplamiento de la caja de engranes a través de imanes síncronos a los motores, eficientizando la recarga mediante el frenado regenerativo.[44] En las baterías, se investigan diferentes materiales a los ya utilizados que eran las baterías níquel-cadmio o litio así como la aplicación de iones en estado sólido para el aumento de la energía específica ^[21]. En el 2022 se tenía 250Wh/kg como promedio, se espera que esta capacidad se duplique para el 2030. [45]

De igual forma los motores eléctricos no son los únicos en desarrollo, existen investigaciones acerca de motores de hidrógeno, como se muestra en la figura 16. Estos operan con un tanque de hidrógeno, ingresando el gas al motor donde se produce una reacción química con el hidrógeno y el oxígeno proveniente del exterior, generando energía para el movimiento del vehículo y desechando vapor de agua por los tubos de escape, aunque existan algunos modelos todavía se encuentran en una fase inicial debido a que tienen varios problemas. Primero el espacio de almacenamiento del hidrógeno debe ser lo suficientemente estable porque dicho gas tiene una energía de ignición ^[22] mínima, comparado con la gasolina o el gas natural y al ser de baja densidad es muy sencillo que este gas se filtre al ambiente, el segundo problema es que la densidad de energía que puede otorgar es muy pequeña por lo que se busca diseñar un motor que pueda tener una relación de compresión ^[23] lo suficientemente elevado para elevar la eficiencia térmica ^[24] a puntos viables en la relación costo beneficio, debido a que la eficiencia térmica presentada actualmente y los desgastes dentro del motor no lo hacen una opción viable. [46,47 y 48]

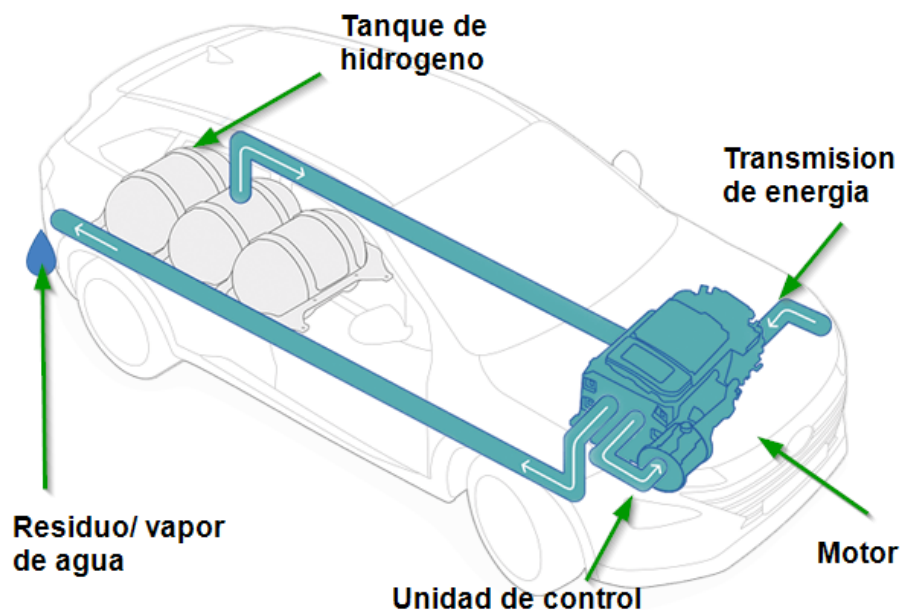


Fig. 16. Subsistema de transmisión un motor de hidrogeno [46]

2.2.2. Uso de redes neuronales en cadena de suministro o predicción de costo

El uso de las redes neuronales es amplio, donde actualmente se hicieron varios proyectos para la predicción de costos en sectores altamente especulativos y sectores más sencillos, un ejemplo de esto es el uso de redes neuronales para el seguimiento del precio de las acciones cotizadas en bolsa, en el cual las redes neuronales en base a árboles de decisiones, análisis de sentimientos y comportamientos previos del mercado creaban un análisis técnico^[26] [28], el cual entregaba los puntos máximos y mínimos para indicar entradas de compra o venta de dichas acciones, los periodos de prueba fueron de un día y hasta una semana, los cuales llegaban tener una precisión promedio de 60% en las tendencias. [49]

Además del mercado bursátil, también existen análisis para el mercado inmobiliario, más concretamente Yu Zhang, realizó dos estudios dentro del mercado chino en donde por medio de un algoritmo que combinaba una regularización bayesiana^[27] y ocho capas predecía los sectores con mayor crecimiento, con un porcentaje de error del 1%. En otra parte se obtuvieron los datos de precio de las zonas residenciales de las ciudades más importantes desde julio 2005 hasta abril 2021, para pronosticar los precios futuros de hasta un año, su valoración fue tan buena que contó con un margen de error del 0.75%. [50 y 51]

Aditya Narayan en 2021 realizó un estudio con redes neuronales de los motores de combustión interna, lo que encontró fue una manera de optimizar los parámetros con redes neuronales para la experimentación de la mejora continua de los motores, donde vio la diferencia de utilizar diferentes combustibles y como podían reducir la huella de carbono a los motores sin necesidad de pasarlos a eléctricos, las redes neuronales se combinaban dentro del sistema para analizar el calor específico del combustible, la temperatura del aire al entrar, el torque necesario y la velocidad. El algoritmo constaba de catorce capas donde los resultados tenían un error de 17.05 g/kWh RMSE, se determinó cual era la cantidad de aire y su temperatura ideal para obtener la mejor

eficiencia térmica al combinar etanol con combustible de alto octanaje, en sus siguientes estudios se incorporarán filtros para analizar el tamaño de partícula. [52]

Existen varios antecedentes que incorporan análisis de datos e inteligencia artificial para optimizar o aumentar el valor de la cadena de suministro, por ejemplo en 2021 Chaoliang Han, estudió la eficiencia de los manejos de la cadena de suministro, desarrolló un modelo de redes neuronales y simulaciones en la plataforma de MATLAB, el cual entregaba cual era el nivel de riesgo y velocidad de cierta estrategia, esta metodología está siendo aplicada y usada por el departamento de economía de su organización [53]. Por otro lado, Guillermo Muños en 2020 trabajó en un algoritmo de inteligencia artificial, donde las entradas estaban compuestas por la información, el plan, compras, inventario, transporte y rendimiento, lo cual lo aplicó a una fábrica textil en Ecuador, el resultado terminó en una correlación de 0.9754 sobre los datos reales lo cual optimizó los costos, ciclos, demandas e inventarios en uso. [54]

Por último, Qi li, utilizó base de datos con la información de toda la cadena de suministro de componentes del tren motriz, como engranes o portadores de planetas ^[28] donde creó cuatro modelos con diferentes suposiciones de la cadena de suministro, los cuales son: permanece estable, se ajusta lentamente a los cambios, se ajusta rápidamente a los cambios, se ajusta con proyecciones a cambios futuros. Estos indican como actuar dependiendo de los factores externos. [55]

3. Hipótesis

La velocidad de toma de decisiones aumentará y tendrá una mejor relación costo beneficio respecto al diseño de motores eléctricos mediante un algoritmo de redes neuronales con capacidad de predecir su costo con un margen de error aceptable.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Desarrollar un algoritmo que emplee redes neuronales y/o métodos estadísticos basado en las características geométricas de rotores, estatores, flechas, cableado, carcasas y aislantes para predecir el costo sobre los factores clave de su manufactura con un margen de error de $\pm 10\%$ que se adapte a los precios de mercado año con año, así como una relación en las condiciones físicas, del peso y dimensiones.

4.2. Objetivos Específicos

- ❖ Organizar una base de datos con todos los motores eléctricos fabricados o prototipados anteriormente en la organización, identificar las características más importantes e influyentes en costo y funcionalidad.
- ❖ Generar un algoritmo matemático adaptable que relacione los costos de los componentes contra los datos existentes en la base de datos, sin que pierda precisión cuando se agreguen o modifiquen los parámetros previamente definidos.
- ❖ Desarrollar una interfaz gráfica que permita visualizar los costos por componente y por ensamble, así como dar un estimado de los pesos o dimensiones básicas que deberían tener las partes entre sí.
- ❖ Validar el algoritmo generado mediante comparación entre cotizaciones reales y los resultados propuestos por el algoritmo, comprobar su precisión y retroalimentar al programa, así como expandir la base de datos con cada prueba.

5. Implementación

5.1. Consideraciones

5.1.1 Identificación del problema

Con lo mencionado en el marco teórico existe una obligación por parte de las compañías automotrices o cualquiera que fabrique vehículos independientemente de su uso, para cambiar la fuente de poder, de motores de combustión interna actuales por motores que tengan menor cantidad de emisiones nocivas para el ambiente. Debido a esto los departamentos de ingeniería de producto, innovación y desarrollo están enfocados en cumplir la meta de reducción de emisiones lo más rápido posible. La problemática identificada respecto a la tecnología híbrida y eléctrica para vehículos recreativos, maquinaria pesada o agricultura se da en que sus requerimientos son diferentes a los vehículos de uso particular, por lo que su desarrollo cuenta con muy pocas referencias existentes. Por esta razón surge un problema en específico: cuando la empresa estaba en fases finales para lanzar una nueva línea de producto, se presentaron inconsistencias respecto a los planes generados al principio del proyecto. Se concluyó que para diseños futuros se optaría en adaptar la maquinaria al motor y no el motor a las estructuras existentes para eso es necesario tener identificados tres factores principales: dimensiones, funcionabilidad y precio.

En el último factor, el precio, es donde nace la problemática de toma de decisiones, se puede diseñar un motor eléctrico donde se conozcan perfectamente las dimensiones y garantizar su funcionabilidad, sin embargo, hay muchas maneras de idear un diseño. Existen muchas combinaciones de variables que pueden cambiar y dar como resultado un motor con la misma potencia y par torque. Por lo que se identificó que la mejor forma de trabajar consiste en identificar cual sería la opción más económica que cumpla las características requeridas. Para esto se evaluarán cuáles son las características que más influyen en el costo de un motor eléctrico, una vez conocidas se pueden tomar las decisiones de diseño en base a las capacidades de los proveedores. Para esto se creará

una red neuronal para detectar cual sería la tendencia del costo con un motor de características dadas.

De una forma simplificada, la problemática es: si se tienen dos conceptos de motor eléctrico que pueden dar 156hp, como se muestra en la figura 17, donde el tamaño de diámetro y longitud varían. ¿Cuál será la opción en la que se deben enfocar los esfuerzos para su desarrollo e implementación?

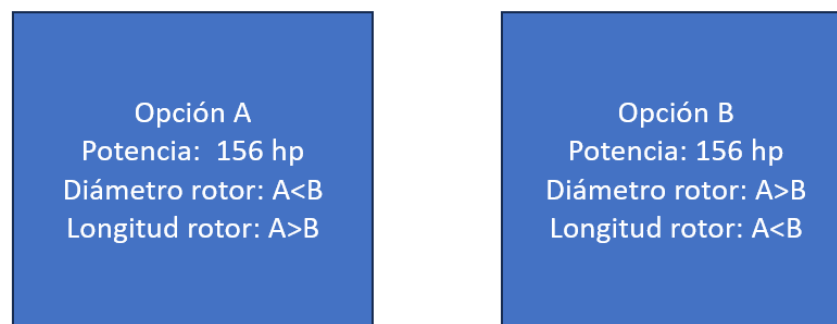


Fig. 17. Comparación entre opciones de manufactura de motores eléctricos.

5.1.2 Vehículos todo terreno

Para los vehículos todo terreno ^[25], en inglés, que pueden ser de construcción, agricultura, maquinaria, etcétera, los motores eléctricos suelen tener una eficiencia menor a los anteriores, debido a que estos necesitan de un torque más alto, así como tiempo de operación más largo. Una de las principales innovaciones es en la sustitución de baterías donde los camiones mineros están siempre conectados a un sistema de red eléctrica que cubre la zona de movimiento, los motores suelen ser una sola unidad central en embobinados cilíndricos junto a un motor de combustión interna, el regenerado de las baterías es de baja eficiencia, pero se apoya con la transmisión hidrostática. [56]

5.1.3 División de costos

Las tendencias de medición de costos para los motores eléctricos, se pueden dividir en tres subcategorías más importantes, que serían: El costo de la materia prima que incluye los diferentes materiales como acero, cobre, imanes, resinas etc. El costo por el valor añadido, aquí se incluyen las horas de trabajo, las modificaciones, maquinados, ensamblaje y todo aquel proceso que se de en la línea. Y por último los costos de transporte, en este rubro se incluye todo lo relacionado a que el motor llegue en buenas condiciones, como serian aranceles por cruzar fronteras, costos de envío, empaques, recubrimientos contra óxidos entre otros. El primer rubro de materia prima es un costo que será igual o tendrá una variación insignificante en todos los lugares del mundo, los siguientes dos sí son variables, aunque existan países donde es más barato manufacturar respecto a otros este no debe ser el único factor de decisión debido a que si no se evalúan bien los costos de transporte, e impuestos, estos pueden incrementar si nuestra logística no es lo suficientemente robusta. Por eso, todas las predicciones se tienen que hacer sobre los estimados en la materia prima, así como en cuantas operaciones y tiempo de operaciones deberá tomar, de esta forma se puede tener un aproximado para cada planta de manufactura con la que se cuente. [57 y 58]

Existen otros factores que no tienen relación en la producción, pero son importantes a tener en cuenta, ya que pueden cambiar los costos de manera inesperada o presionar a la toma de decisiones que basadas únicamente en los gastos a corto plazo no tendrían mucho sentido. Debido a que todos estos productos cuentan con un valor agregado, además de depender de precios de mercado, las cotizaciones de los productos pueden cambiar por diversos motivos que pueden ser la baja o la alta demanda de un producto lo que puede llevar a un proveedor a disminuir o aumentar los márgenes de beneficio para recuperar su inversión. Otro tema son los riesgos geopolíticos ligados con la globalización, es decir, existen países con sanciones, las cuales, aunque puedan parecer atractivas sus cotizaciones y métodos de logística no son viables para ser vendedores a ciertos países, por lo que se tiene que encontrar a un proveedor externo. De igual forma si un país tiene conflicto con otro, se busca mantener las relaciones siempre y cuando

no se puedan ver afectadas a largo o mediano plazo por diferentes problemáticas ajenas al producto. Un último factor por considerar es el tipo cambiario, aunque todas las órdenes de compra estén cotizadas en dólares, si la moneda de uso legal en el país del proveedor se devalúa o aprecia con mucha velocidad puede derivar en que en los próximos contratos estos precios cambien debido a que sus márgenes de beneficio se verán afectados ya sea positiva o negativamente, lo cual si no se especifican unidades o tiempo de compra se renegociarían constantemente.

5.2. Base de Datos

Se realizó una investigación dentro de los archivos disponibles, una vez que se determinaron cuáles serían los motores eléctricos que cumplieran con toda la documentación adecuada, se obtuvo la información necesaria para desarrollar una base de datos, su estructura se conforma en varias observaciones ^[29] donde se utilizaron 25 motores eléctricos de los cuales se obtuvieron 50 números de parte diferente que pudieran ser estatores o rotores, es decir ensambles de nivel mayor, ya que los diferentes números de parte que conforman estos subensambles no se identifican detalladamente en la base de datos debido a que las cotizaciones no son por componente individual, para cada observación se registraron 264 datos, los cuales se consideraron los que tendrían mayor relación con el proyecto, se realizarán correlaciones entre varios datos para garantizar su validez, estos datos incluyen:

-Identificación. Básicamente son todos los datos tipo valor de cadena ^[30], por ejemplo: como cuál es el proveedor, la región de compra y envió, clasificación del nivel de demanda, máquina a la que pertenece, tipo de conexión, método de enfriamiento, números de parte, requerimiento especial; actualmente existen dos, para flechas, se especifica si su sección transversal es sólida o hueca, y en carcasas, se detallan si es necesario el uso o no de una brida.

-Cuantificación. Básicamente son todos los valores numéricos dentro de la base de datos, independientemente a que se refieran, por ejemplo, existen grupos que dividen el

funcionamiento como pueden ser las distintas partes del subensamble por lo que aquí se especifican sus respectivas características geométricas, pudiendo ser los valores en milímetros, milímetros cuadrados, kilogramos, etcétera. Igualmente representa los valores relacionados con el costo asociado a cada etapa de la cadena de suministro, pudiendo ser los valores horas, dólares, cantidad utilizada entre otras. Se clasificaron en función del componente (Estructura de subensambles) y los diferentes tipos de costos (Estructura de costos) así como el motivo de sus características geométricas, como se relacionan unas con otras, las correlaciones que validan las tendencias entre las diferentes características. En la figura 18 se puede apreciar el tamaño de la base de datos y en la figura 19 una muestra de la información contenida.

Data	
tesis_r	49 obs. of 264 variables

Fig. 18. Representación del tamaño de la base de datos número de columnas y observaciones

	Machine	Rotor/Stator	Part Number	Stator Length (from inputs)	Number of laminations	Lamination OD	Stator(Rotor Slot) ID Lamination
1	M1	MOTOR - STATOR AS	602-0291	610	1672	533	335.00
2	M1	MOTOR - ROTOR AS	602-0292	NA	1723	334	260.00
3	M1	GENERATOR - STATOR AS	602-0326	434	1176	533	335.00
4	M1	GENERATOR - ROTOR AS	602-0327	NA	1228	334	260.00
5	M2	MOTOR - STATOR AS	478-4093	552.45000000000005	1554	533	335.00
6	M2	MOTOR - ROTOR AS	474-1070	NA	1562	334	260.00
7	M2	GENERATOR - STATOR AS	480-3282	241.3	680	533	335.00
8	M2	GENERATOR - ROTOR AS	474-1069	NA	689	334	260.00
9	M3	MOTOR - ROTOR AS	597-2385	NA	1307	334	260.00
10	M3	GENERATOR - ROTOR AS	527-3464	NA	796	240	188.00
11	M3	GENERATOR - STATOR AS	527-3463	259.92	732	420	241.00
12	M4	GENERATOR - ROTOR AS	532-8951	NA	454	240	188.00
13	M4	MOTOR - ROTOR AS	532-8968	NA	1204	240	188.00
14	M4	MOTOR - STATOR AS	532-8967	426.16	1200	420	241.00
15	M5	MOTOR - STATOR AS	567-0151	462	1296	533	335.00
16	M6	GENERATOR - STATOR AS	532-8949	159.46	450	420	241.00

Fig. 19. Encabezado de datos.

Para conocer cuáles eran los limitantes de información se realizó una exploración de los datos, se encontró cual es el rango de trabajo que actualmente existe, los precios de los motores van de un rango desde 5454 dólares hasta 15433 dólares que representan un costo de estator desde 4542 hasta 13738.72 y rotores desde 912.28 hasta 4567.07 dólares. En cuanto a sus longitudes suelen ser muy similares ambas desde 140.5 hasta 720 milímetros lo que indica cual es el margen de trabajo documentado previamente.

Se pueden desarrollar maquinas más grandes e incluso más pequeñas de las que se encuentran actualmente en la base de datos, por lo que es importante tener en cuenta los límites inferiores y superiores de la base de datos ya sea en costo o dimensiones, esto porque es muy probable que el algoritmo extrapole con los datos preexistentes, lo que significa que estos resultados tendrán un margen de error más amplio en comparación a los resultados que se encuentran dentro del rango especificado para entrenamiento.

5.2.1. Estructura de subensambles

La base de datos se dividió en dos grupos primarios de rotor y estator, sin importar si eran parte de motores o de generadores, así como si fueron máquinas de nueva generación, de antigua generación o si son solo prototipados. El motivo de la agrupación fue para identificar los componentes claves de los subensambles, además se encontraron relaciones de las medidas de los grupos que afectaban al grupo contrario, el embobinado podría ser considerado como un tercer grupo de acuerdo con la funcionalidad dentro del motor, la razón de estar dentro del subgrupo del estator es debido a que puede ser ensamblado en un mismo proceso por lo que los costos establecidos serán identificados en un mismo número de parte.

El rotor, como se mencionó anteriormente, es la parte giratoria del ensamble, sus componentes claves se resumieron, como se muestra en la figura 20, en: la flecha, esta generará el par torque necesario para mover el motor; las laminaciones ^[31] son las

responsables de la eficiencia de transmisión de la energía magnética; la caja de rotor ^[32] que facilita la instalación, logística y movimientos entre fábricas; los dispersores ^[33] y difusores ^[34], son los encargados de distribuir aceite para enfriar o lubricar los componentes en movimiento y recolección de dichos fluidos respectivamente; por último en esta subdivisión de la base de datos se encuentran todos los componentes de sujeción como pernos y tuercas.



Fig. 20. Componentes por analizar del rotor.

El estator es la parte fija del ensamble, genera el campo magnético que produce movimiento, además es el subensamble más caro del motor eléctrico, los principales componentes con respecto a sus costos se dividen, como se muestra en la figura 21, en: la carcasa, sirve para el alojamiento y resistencia de todas las cargas aplicadas y recibidas; el núcleo igual que las laminaciones del rotor son las encargadas de la transmisión de la energía eléctrica, la única diferencia son los cortes, en el rotor tienen cortes externos y en el estator son cortes internos; los aislantes permiten que la corriente fluya solo en los espacios necesarios, los cuales son tres diferentes, la bobina, el cableado y el espaciado dentro de las laminaciones (denominados lineales); la bobina, se encarga de la distribución de la energía eléctrica, esta contiene: el cableado; los revestimientos para contener los cables de cobre y crear apartados de corriente; aislante de los cables, las terminales del anillo y manguera.

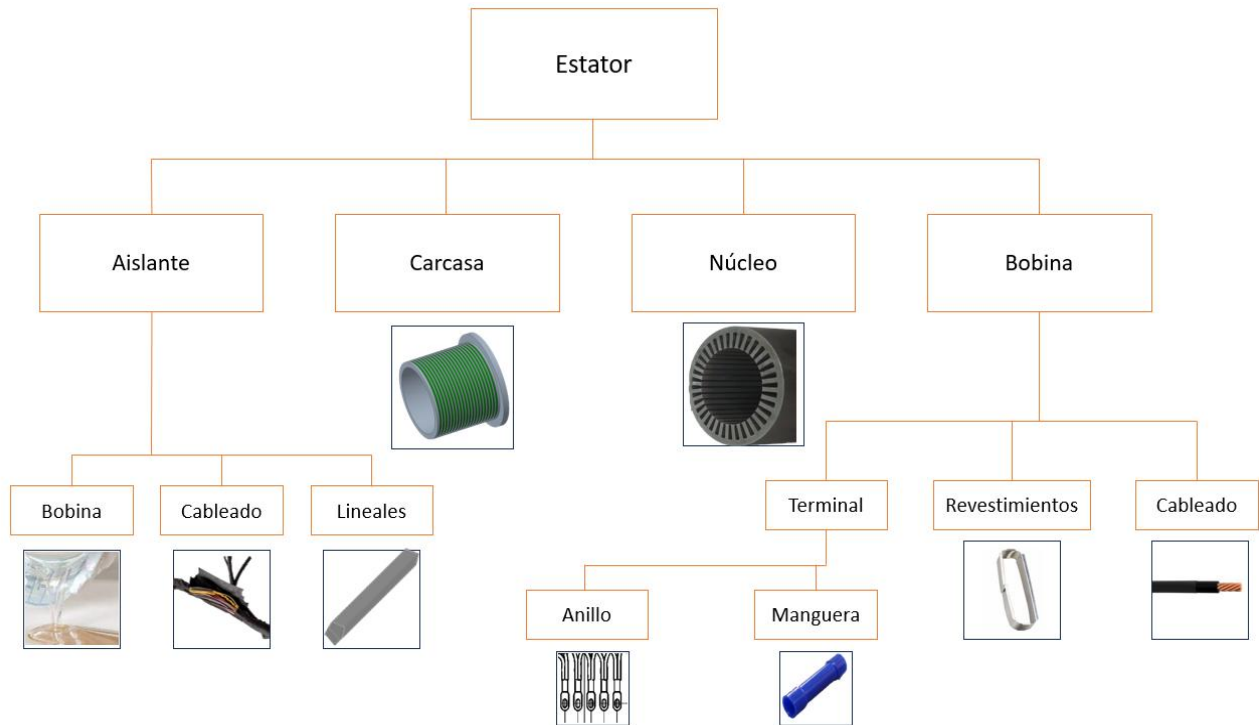


Fig. 21. Componentes por analizar del estator.

Ambos subensambles tanto el rotor como el estator presentan un núcleo formado por varias laminaciones de espesores muy pequeños apiladas, como se muestra en la figura 22, aunque la función sea básicamente la misma de ser un material ferromagnético capaz de transmitir la energía magnética tienen diferencias, son cuatro dimensiones principales para ambos componentes el diámetro interno, diámetro de ranura, ancho de diente, y diámetro externo en el caso del estator y diámetro de laminación para el caso del rotor.

Las diferencias entre las dimensiones del rotor y del estator radican en:

-Diámetro interno: Para un rotor este diámetro es el espacio dado por la flecha, sirve para su ensamblaje y prácticamente su relación es que la máxima condición de material de la flecha coincide con el valor nominal del diámetro interno. Caso contrario para un estator este diámetro está definido por el diámetro de laminación del rotor, donde es 3mm

diametrales más amplio, este diámetro dicta el corte que se le tienen que hacer a los dientes del estator.

-Diámetro de ranura: En ambos elementos este diámetro indica en qué punto el material debe parar para hacer los cortes de las ranuras, la diferencia está en la dirección del maquinado, para el ensamble rotativo el corte se fija arriba del diámetro especificado (diámetro menor), el caso contrario del elemento estable el corte de maquinado toma la dirección hacia abajo (diámetro mayor).

-Ancho de diente: Esta dimensión indica cual es el ancho del material y cuál es el ancho de la ranura después del corte de maquinado, en el caso del estator esta dimensión será menor debido a que existe una relación entre el número de dientes que debe tener, será 50% mayor que las propias del rotor.

-Diámetro Externo o Laminación: Establece cual será el diámetro mayor en ambos casos, sea para el rotor, la condición máxima que puedan alcanzar los dientes de las laminaciones o en caso del estator diámetro mínimo a la cual el cilindro pueda ser ensamblado.

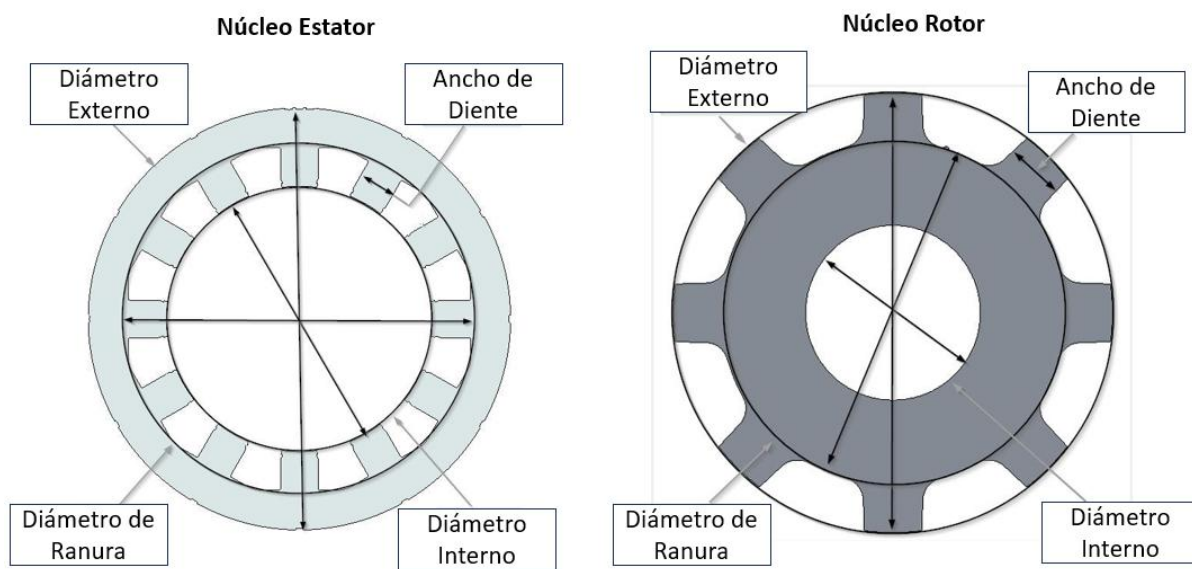


Fig. 22. Núcleo del estator vs núcleo de rotor.

5.2.2. Estructura por Costos

El costo considerado para un producto se divide en tres aspectos principales, el costo del material, el costo variable y el costo fijo, como se muestra en la figura 23, todos ellos dependen de factores externos diferentes por lo que algunos proveedores son más competitivos en un campo que en otro, la empresa siempre evalúa cual es el menor costo por la misma calidad de entregables, la importancia de la división radica en entender porque y en que varían las opciones y poder identificar las tendencias propias o externas para adelantarse a oportunidades futuras.

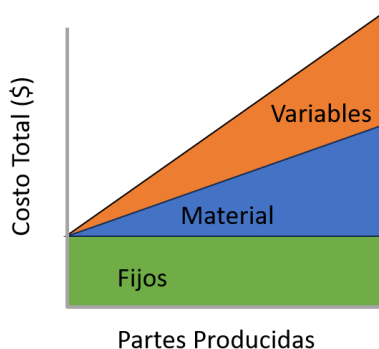


Fig. 23. Representación gráfica de los tipos de costos.

El costo de material, se resume como el precio de la materia prima, está determinado por los valores del mercado, es decir la mayoría de los metales existentes fijan su costo por medio de subastas en los mercados internacionales, por lo que los precios cambian prácticamente todos los días, por esto mismo se hacen contratos para pactar el precio de un metal, en este caso el cobre y el mineral de hierro, a un tiempo futuro generalmente dos años en promedio, específicamente con el mineral de hierro se tiene que tratar debido a que sus costos cambian dependiendo las propiedades mecánicas, tipo de acero y tratamiento térmico que se necesite. Si se conocen los precios promedio de los contratos de la materia prima, así como las propiedades deseadas/ estándar a aplicar, este aspecto es de los más sencillos de predecir debido a que se cobra una cantidad fija por cada unidad de masa utilizada, siendo este el gasto más significativo de un proceso

de manufactura, en este rubro todos los competidores presentan un valor muy similar, debido a que los factores que pueden afectar lo hacen por igual en todas las partes del mundo. Además del costo de la materia prima, se agregarán todos los demás costos que se incluyen en el proceso hasta la entrega y recibimiento de los componentes. En este rubro también todos los competidores presentan un valor muy similar, debido a que los factores que pueden afectar lo hacen por igual en todas las partes del mundo.

El costo variable, es aquel que se relaciona o varía de forma proporcional con el nivel de productos o cantidad de esfuerzos aplicados, estos pueden comprender el costo de hora de las máquinas utilizadas, las comisiones de venta, el costo de envío, es decir este costo se agregaría de forma individual a cada pieza fabricada, normalmente se incluye el precio de la materia prima, sin embargo, en este caso se separan debido a que se está considerando, como un parámetro aparte, en este rubro se enfoca más en los gastos propios de la empresa al realizar un proceso independientemente de las propiedades del material requeridas. Los proveedores se pueden diferenciar debido a varios factores, como la eficiencia en sus procesos, tecnología utilizada en sus herramientas, el país donde radica este puede traer ventajas ya sea fiscales, de energía, o de salario de los empleados y el nivel de subcontratación de procesos. Un factor o tendencia para tener en cuenta es si la cantidad de demanda aumenta o disminuye, este costo igual se verá afectado, la moneda del país de residencia, modificaciones en las políticas, impuestos o aranceles.

El costo fijo, se define como aquel que permanece constante independientemente del nivel de la actividad o la cantidad de producción, en este rubro es posible encontrar las inversiones para herramental, en maquinaria, amortización de los activos, investigación y desarrollo, los gastos que incluye la renta o compra del espacio para la producción, seguros, formas de envío, pruebas de inspección, salarios de personal administrativo y mantenimiento de los equipos. De igual forma que en los costos variables, existen factores que afectan este rubro, estos se basan completamente en el proveedor, como pueden ser que el país presente un aumento en costos de tierras, aumento de

competencia para retención de talento, la frecuencia de inversión en nueva tecnología o equipos, distancia entre punto de manufactura y lugar de entrega, requerimientos o normativas en los países. En el presente trabajo el costo fijo se simplificará como el gasto fijo anual total entre el volumen pronosticado para dicha pieza, esto con la finalidad de entregarle un valor estimado a cada componente y poder analizarlo evitando ingresar el ruido al modelo en un caso donde las estimaciones de ventas cambien en un porcentaje bajo, así mismo existe la clasificación entre alta y baja demanda para prevenir o estar consiente en sobreprecio debido a alguno de estos dos casos.

5.2.3. Importancia de la identificación de cada elemento

A continuación, se definirá cuáles son los elementos registrados en cada observación, en caso de ser necesario contendrá una explicación, algunos datos son calculados conforme datos establecidos, la relación entre los parámetros será aclarada y el porqué de las decisiones de incluirla en la base de datos.

Para facilitar el análisis, así como la explicación, la base de datos contiene subgrupos formados por varias columnas que describen un componente o función. Las primeras tres columnas conforman la sección de “campos de identificación” estas ayudan a identificar el lugar y uso de los componentes. La primer columna especifica cual es la máquina en donde se utiliza dicho componente, la siguiente especifica si se clasificará como rotor o como estator, la tercer columna, indica el número de parte a analizar; da seguimiento a los cambios propuestos, así como la lista de materiales, como se ve en la figura 24. El número de parte está compuesto por nueve dígitos, los primeros tres indican la fábrica en la cual fue ensamblada, seguido de un guion el siguiente carácter especifica el vehículo, los dígitos del cuarto al octavo son los seriales de la pieza, y por último una letra la cual hace referencia a la revisión.

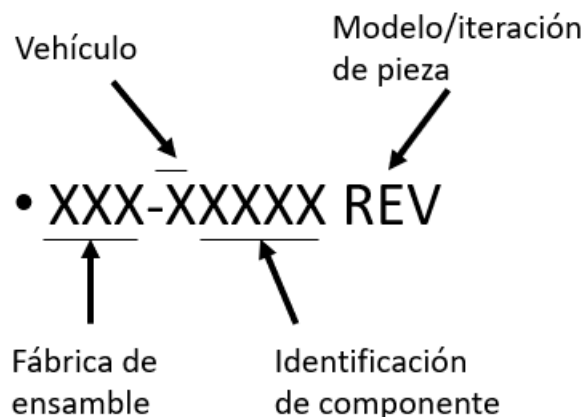


Fig. 24. Significado del número de parte.

El siguiente grupo de la base de datos contiene información sobre el nivel de ensamble superior del estator, lo conforman de la columna cuarta a la columna trigésima de la matriz de datos, en caso de que la clasificación (grupo previo) se indicará que el componente es un rotor estas celdas tendrán un valor Null ^[35], en el caso contrario tendrán la siguiente información: dato cuatro, indica la longitud total medida en milímetros del núcleo, dato cinco, seis y siete son el número total de las laminaciones que conforman el núcleo, su diámetro externo e interno de igual forma medido en milímetros. Dato ocho, nueve, diez y once son longitudes, la de la carcasa, la del motor en total, la flecha y las laminaciones del rotor respectivamente. El dato doce es el volumen pronosticado de requerimientos en máquina, este valor permite clasificarlo en categorías de alta o baja demanda lo cual es un factor a la hora de las cotizaciones. Los datos trece, catorce, quince y dieciséis, son relaciones con el precio ensamble, siendo estas el precio total, costo de material, costo variable y fijo, todas las divisas tendrán unidad en dólares. Diecisiete y dieciocho son horas productivas necesarias, indican el tiempo total de horas de personas en el proceso de ensamble, así como el total de horas que maquinas se emplearon. Del diecinueve al veintidós es el desglose principal de los costes variables, incluyen el precio del transporte, manufactura, impuestos y por ensamble. Del veintitrés al veinticinco es el desglosé de los costos fijos, compuestos por logística, herramental y mantenimiento. El siguiente grupo veintiséis a veintinueve son los porcentajes de cada división de costo, es decir el precio total entre material, variable y fijo. El último dato de este subgrupo, indica el peso del estator medido en kilogramos.

El siguiente subgrupo va hasta la columna cuadragésimo-octava, solo aplica para los rotores, aquí se incluyen los diferentes componentes que conforman el ensamble, del dato treinta y uno a treinta y seis abarca los platos finales, se registraron el precio del material, costos variables, fijos, totales, además de las horas de trabajo y el peso. Después se tienen los datos de la flecha, que vienen siendo los registros treinta y siete a cuarenta y cuatro. Al igual que en el anterior contiene el precio del material, costos variables, fijos, totales, las horas de trabajo, el peso y en adición son tres datos extras, la norma del material, el cual indica cuáles son sus propiedades deseadas, el diámetro exterior de la flecha (medido en milímetros), se expresa una relación entre el precio en dólares por cada kilogramo, siendo este valor importante ya que especifica cual es la diferencia entre los diferentes tratamientos térmicos y propiedades mecánicas de los estándares, evaluando cuanto es el valor agregado por el aumento de calidad en la flecha. El último valor de las flechas clasifica su tipo pudiendo ser “sólidas” o “huecas”, como se observa en la figura 25, cada una de ellas tiene ventajas dependiendo su aplicación y las variables críticas como torque, rigidez, o necesidad de maquinados

-Flecha sólida: es un eje cilíndrico con una sección transversal sólida y continua a lo largo de toda su longitud, son conocidos por su alta resistencia y rigidez, se utilizan mayormente en aplicaciones de cargas pesadas, de alto par de torsión o cuando la deflexión mínima es un factor crítico.

-Flecha hueca: se caracteriza como un tubo cilíndrico con un centro hueco, su característica de una estructura tubular proporciona un equilibrio entre resistencia y peso reducido, se utilizan para reducción de peso o cuando la inercia rotacional o el paso de fluidos para enfriamiento o cables dentro de rotor son críticos.

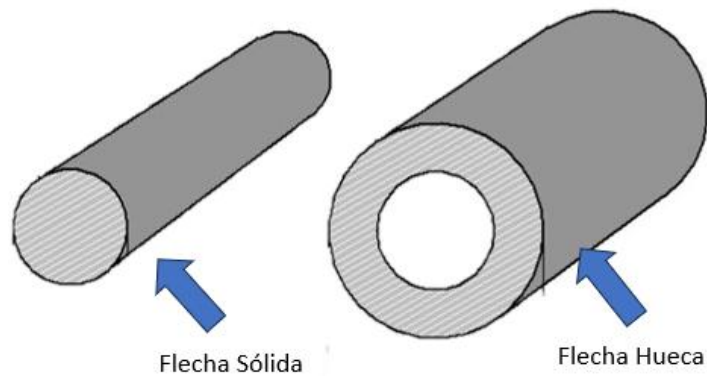


Fig. 25. Representación tipos de flechas

Dentro de los valores exclusivos del rotor continua con el grupo que está enfocado en la caja de empaquetamiento (columnas cuarenta y cinco a cuarenta y ocho), incluye todos los tipos de costos y su peso.

Al igual que la identificación los valores incluidos de la columna cuadragésima novena a la septuagésimo tercera, se presentan sin importar su clasificación de función debido a que estos pertenecen a las características del núcleo, explicado anteriormente las cotas principales tienen nombres similares, pero funciones u operaciones diferentes. Los elementos del cuarenta y nueve a sesenta son conformados por costos y sus diferentes desgloses, estos incluyen el total, el material, el núcleo de rotor, estator, costos variables, desglosados en manufactura, en logística, ensamble; costos fijos, divididos en envíos, producción, herramental y mantenimiento. Pasando a características físicas, el diámetro de ranura, así como la base de ranura se definen en milímetros en la variable sesenta y uno y sesenta y dos, La ranura brinda la característica de cómo se va a relacionar con la laminación del componente contrario, además con los diámetros definidos anteriormente se añaden estos dos factores de base y diámetro de ranura se obtiene el perfil de dentado, lo que define los cortes de maquinado necesarios a aplicar. Las siguientes dos columnas definen el peso de cada laminación y el cálculo de peso del núcleo, las laminaciones se especifica la densidad del material seleccionado anteriormente,

teniendo en cuenta la geometría de cada laminación se multiplica por el número existente de ellas sacando el peso total, la columna sesentaicinco muestra la densidad medida del material, que debe entrar en el rango de tolerancia de la especificada en los estándares. A continuación las variables sesenta y seis a setenta y dos, son relaciones a características físicas con los diferentes precios y proveedores, incluyen el cálculo del volumen, el cual varía debido a la forma de laminaciones que no son iguales en el rotor contra el estator, entonces distingue la geometría, obtiene el área, la multiplica por el espesor y el número de laminaciones (el volumen es dado en milímetros cúbicos), las demás relaciones son volumen entre costo de envío, volumen entre costo productivo, peso entre costo de rotor, peso entre costo de estator, precio de material de cada proveedor por kilogramo (datos comprobaron su validez debido a que este valor era congruente). Por último, la columna septuagésimo-tercera indica la empresa que entrega el núcleo.

El siguiente subgrupo son los componentes restantes del rotor, los cuales son el difusor, dispersor y tornillería, cada uno de estos tres incluye su respectiva división de precios (material, variable, fijo) así como su peso. Las columnas de la base de datos son de la setenta y cuatro a la ochenta y cuatro.

Los datos posteriores solo incluyen información del estator, es decir, la construcción de la base con respecto al subensamble del rotor está concluida. Empezando con la división de los valores de la carcasa los cuales van de la columna octagésima quinta a la centésimo tercera, los primeros cinco valores definen características geométricas que son el diámetro interno, diámetro externo, longitud (todos en milímetros), el peso así como si cuenta o no con brida para conexión (la brida se puede calcular automáticamente debido a que siguen las normas ASME de acuerdo a las longitudes y características de la conexión, es importante tener en cuenta el aumento de material). Los siguientes tres factores son las horas de trabajo en la carcasa, el proveedor de la pieza y el método de enfriamiento utilizado (dependiendo del método de enfriamiento el costo varía en promedio cuatro mil dólares debido a los costos de las técnicas aplicadas), después de

la columna noventa y cuatro a ciento tres se encuentran los desgloses de los precios, igual que en otros grupos estos son: costo total, costo de material, costos variables, desglosados en manufactura, en logística, ensamble; costos fijos, divididos en envíos, producción, herramental y mantenimiento.

Los métodos de enfriamiento, como se puede ver en la figura 26, pueden ser uno o combinaciones de los tres descritos a continuación:

- Enfriamiento por aire: implica la circulación de aire alrededor del núcleo del estator para disipar el calor. Puede lograrse mediante convección natural o forzada la cual obliga al aire u otro gas a pasar por el núcleo por medio de ventiladores.

- Enfriamiento por agua: se utiliza agua como medio de enfriamiento para disipar el calor del estator. Se consigue añadiendo canales o chaquetas integradas en la estructura de la carcasa. Se limita el contacto únicamente en la superficie, es decir no hace contacto con el núcleo, también llamado enfriamiento indirecto.

- Enfriamiento por aceite: se basa en el mismo concepto que el enfriamiento por agua, en que añadiendo canales o chaquetas se elimina el calor, sin embargo, en este método se utiliza aceite el cual puede penetrar a través del devanado por lo que interactúa con la parte que genera el calor, lo que hace que su disipación sea más rápida, a la cual también puede definirse como enfriamiento directo.

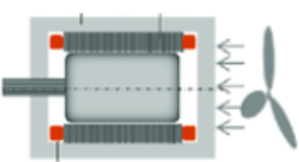
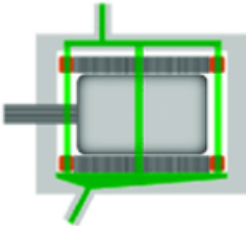
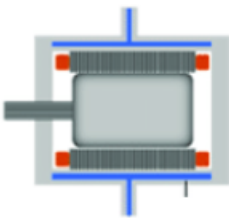
	Enfriamiento por aire	Enfriamiento por aceite	Enfriamiento por agua
Ilustración esquemática			
	Calor intercambiado por aire	Calor intercambiado por aceite directamente a la fuente de calor	Calor intercambiado por agua fluyendo a través de una chamarra
Capacidad de Enfriamiento	Baja	Alta	Media
Uniformidad de Enfriamiento	Uniforme	No-Uniforme	Uniforme

Fig. 26. Tipos de métodos de enfriamientos utilizados para carcasa [59]

La siguiente subsección corresponde al ensamble de la bobina la cual va desde la columna centésimo cuarta a la centésimo vigésimo tercera, incluyendo en el siguiente orden: el tipo de conexión ya sea de estilo radial o axial, seguido por las horas laborables, horas máquina, se desglosa a los cuatro tipos de costos nuevamente (total, material, variable y fijo) las siguientes diez columnas conforman de los desgloses de dichos precios, explicados en el párrafo anterior que sería distribución de manufactura, logística, ensamble hablando en variable; a lo que respecta costos fijos, se divide en envíos, producción, herramental y mantenimiento. El resto de las casillas dentro de este proceso son el peso con sus diferentes relaciones, es decir: peso entre horas utilizadas, peso entre gastos fijos y peso entre gastos variables.

Debido a que muchos parámetros ya se explicaron en cuanto al desglose de los precios, para simplificar, evitar confusiones y repeticiones en las siguientes divisiones se especificarán columnas que incluyen costo total, costo de material, costo variable y costo fijo, como “*representación de costos*”, así mismo se referirá a la especificación de las columnas que indican las divisiones de los costos variables (distribución, manufactura,

logística, ensamble) y fijos (envíos, producción, herramental y mantenimiento) como *“desglose de costos”*.

El grupo de cableado incluye desde la columna centésimo-vigesimocuarta, hasta la centésimo sexagésimo-segunda. Las primeras siete columnas son entradas, es decir estos son los valores disponibles para elegir o modificar en los nuevos diseños, donde estos después se utilizarán para calcular otras relaciones de utilidad en el ensamble.

1- Número de vueltas: quiere decir las veces que el cableado deberá pasar para formar el devanado alrededor de los largueros que fueron posicionados en el estator, el número de ranuras es determinada en la bobina por la relación rotor-estator.



Fig. 27. Bobina, señalando el número de vuelta en cada embobinado. [60]

2- El promedio del largo del cable en cada vuelta, es decir la distancia que le tomaría al cable de cobre cubrir la geometría de la ranura, esta depende del diámetro de ranura y ancho de diente, medición en milímetros.

3- Strands in hands ^[36] o número de alambres, especifica la cantidad de alambres de cobre que van a estar entrelazados dentro de un cable, la conductividad eléctrica es

directamente proporcional a la cantidad de alambres, otra ventaja es que, a mayor cantidad, se eliminan los riesgos de falso contacto si uno o más hilos presentan rupturas.



Fig. 28. Cables con diferente número de alambres.

4- Calibre, se utiliza el indicador de alambre americano, (American Wire Gauge) AWG por sus siglas en inglés, determina el diámetro del alambre, siendo inversamente proporcional, entre más pequeño el valor, el grosor será mayor, este sistema indica el tamaño apropiado para la aplicación eléctrica además especifica a partir de ciertos valores cual es el número mínimo de alambres para cumplir con los requerimientos.

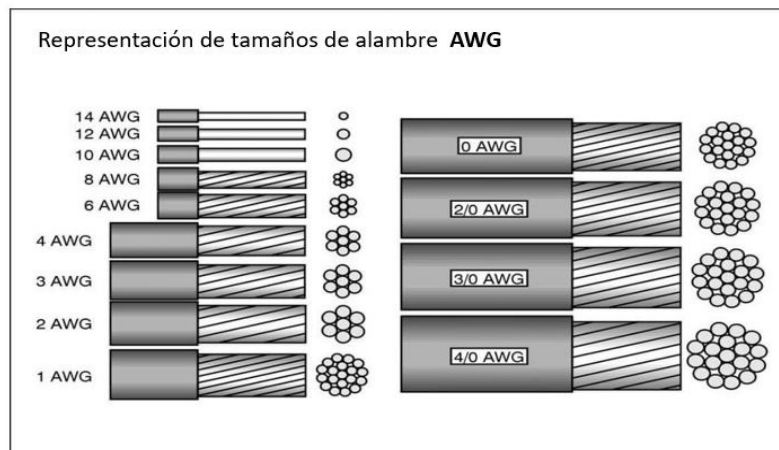


Fig. 29. Representación de tamaños de alambre AWG. [61]

5- Número de embobinados, hace referencia a la cantidad de embobinados que estarán presentes en el motor, estos son iguales al número de ranuras del estator, cada uno de los embobinados debe presentar las mismas características, es decir número de vueltas, largo de cable en cada vuelta, cantidad y el calibre de los alambres.

6- Longitud interior de bobina, es la medida de la longitud del alambre, excluyendo cualquier recubrimiento o aislamiento, dicha característica afecta directamente a las propiedades de resistencia e inductancia, medición en milímetros.

7- Longitud exterior de bobina, contrario al caso anterior, es la longitud del alambre incluyendo cualquier recubrimiento y aislante que rodeen la bobina, dicha característica está relacionada con el ensamblaje, integración y en el enfriamiento, medición en milímetros.

Con estos siete datos, se calcula el peso total del cableado. También se pueden calcular otros parámetros que se encuentran en la base de datos, como la longitud media del estator, que es la longitud media menos dos veces la longitud de laminación. Para obtener el peso es necesario la longitud del paquete, es que es el número de vueltas por el promedio de longitud de vueltas, esta medida se calcula en milímetros y en pies. La siguiente columna es el cálculo de la longitud total por embobinado, se obtiene multiplicando la longitud de paquete en pies por la cantidad de alambres. Una vez obtenido este dato se calcula el peso por embobinado, teniendo el calibre del alambre se presenta una relación de peso por unidad de longitud lineal, que se multiplica dicho factor por la longitud total. Finalmente se saca el peso total del cableado multiplicando el número de embobinados por el peso por embobinado calculado en el paso anterior, esta medida estará en libras, por lo que se escribe en otra columna su valor en kilogramos.

Las columnas que faltan del grupo de cableado es el peso medido, una comparación entre el peso calculado con el dato previo, la cantidad de aislante tipo A y aislante tipo B, ambos en centímetros por último la representación de costos y el desglose de costos.

Los siguientes grupos se componen por el desglose de los elementos primarios de los ensambles, incluyendo los forros de ranura, cinta aislante, aislante de soporte, ranuras aislantes (lineales), las terminales, mangas, revestimientos y resina.

El forro de ranura va de la columna centésimo sexagésimo tercera hasta la centésimo septuagésimo sexta, Lo conforman la longitud de la ranura, la longitud individual de forro ambas expresadas en milímetros, la cantidad de embobinados por estator así como la cantidad de forros utilizadas en cada ranura, este dato es el mismo número que los embobinados o el doble dependiendo el tipo de forro que se esté utilizando, esto se asocia a la facilidad de ensamble, los siguientes datos son la representación de costos y el desglose de costos.

Los siguientes grupos reducen el número de columnas que los describen, debido a que no están relacionados con características geométricas. Para describir la cinta de aislar se basa la mayor parte en toda la forma de organización de los costos, dicho grupo abarca desde la observación centésimo septuagésimo-séptima hasta la centésimo octogésimo-octava, en este apartado son tres los valores característicos que son la longitud total de cableado utilizada, la medida lineal de cinta utilizada ambas medidas en milímetros, la restante es la relación entre el cableado y la cinta, el restante de los valores los compone la representación de costos y el desglose de costos.

El siguiente apartado pertenece al aislante de soporte para bobina, el cual está conformado por las variables centésimo octogésimo-novena y hasta la ducentésima, al igual que el párrafo anterior son pocas las características principales no relacionadas al desembolso, siendo estas la cantidad de aislante usado por embobinado y la cantidad total (siendo un valor calculado con la previa y la celda que contiene la cantidad de ranuras en el estator), los demás elementos registrados son la representación de costos y el desglose de costos.

El segmento de información que recolecta las ranuras de aislante, también llamadas lineales, ocupan las columnas ducentésimo primera hasta la ducentésimo decimoséptima, en esta se recogen los datos de la cantidad necesarias (relacionadas al dato de los forros de ranura), la longitud de aplicable de estator, el largo del aislante

ambos en milímetros, además se incluye el área superficial total, es decir el área que cubren el aislante multiplicado por la cantidad de ranuras obtenidas, medida en milímetros cuadrados, también se incluyen la representación de costos y el desglose de costos.

La división de terminales es la más corta de la base de datos, se describen a través de los valores ducentésimo décimo octavo hasta el ducentésimo vigésimo noveno, donde solo se incluye la cantidad (debido a que el tipo es normalizado), la representación de costos y el desglose de costos.

A continuación, se presenta el sector de la manga terminal, sus valores son incluidos dentro de los campos ducentésimo trigésimo hasta el ducentésimo cuadragésimo primero, describe la cantidad de mangas necesarias, su longitud expresa en milímetros, la representación de costos y el desglose de costos.

La penúltima división es acerca de los revestimientos, en dicho grupo se enumeran en los elementos ducentésimo cuadragésimo segundo hasta el ducentésimo quincuagésimo segundo, los cuales se refieren al tipo de material, a la cantidad necesaria, distancia del revestimiento, peso ambos en el sistema métrico, la representación de costos y el desglose de costos.

El último grupo que abarca la base de datos es la resina sus atributos van descritos a partir de la columna ducentésimo quincuagésimo-tercera hasta el final de las observaciones, los cuales incluyen la representación de costos, el desglose de costos y características asociadas a la propia resina como son el tipo de material, la cantidad utilizada, el peso de la resina y el peso total del estator, ambos en kilogramos, finalizando con una relación entre la cantidad utilizada y el peso total del estator.

5.3. Correlaciones

Una correlación es una medida utilizada en el campo de la estadística que describe cual es la relación o asociación entre variables, es decir, mide las diferencias de una variable con respecto a las diferencias de otra variable, puede tener un valor dentro del rango uno positivo a uno negativo ($-1 \leq x \leq 1$) con esta descripción es posible detectar que existirán tres situaciones en las que puede caer nuestro valor.

-Correlación nula, es decir el valor numérico es cero, esto quiere decir que no hay una asociación entre las variables, es decir que el aumentar o reducir el valor de una variable no tendrá ninguna repercusión en la otra.

-Correlación positiva, cuando exista un valor numérico positivo, existe una relación proporcional, en otras palabras, entre mayor aumento de un parámetro el otro seguirá una tendencia alcista, y viceversa entre mayor disminuya el dependiente tendrá una tendencia bajista, siendo la correlación con valor uno, el punto más crítico este indica que estas características cambian de la misma relación.

-Correlación negativa, es el caso contrario del anterior, cuando se presente un valor numérico negativo, existirá una tendencia inversamente proporcional, esto quiere decir si aumenta una variable la otra tenderá a disminuir, de igual forma cuando la correlación presenta un valor numérico de menos uno, indica el punto más crítico, donde las características cambian con la misma relación, pero en sentido contrario.

La correlación está dada por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum X_{1i}X_{2i} - n\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{(\sum X_{1i}^2 - n\bar{X}_1^2)(\sum X_{2i}^2 - n\bar{X}_2^2)}}$$

Ec.2. Coeficiente de correlación

$\overline{X_1}$ significa el promedio de la variable número uno, $\overline{X_2}$ significa la media de la variable número dos, n representa el número total de observaciones, por otro lado, X_{1i} y X_{2i} indican las observaciones individuales de cada variable.

Cabe destacar que una alta correlación no implica causalidad ^[37] por lo que, aunque exista una alta correlación entre dos elementos no necesariamente uno es la causa de otro, por ejemplo en las cotizaciones de motores eléctricos se pueden obtener correlaciones positivas de los precios con los números de canales maquinados en un específico método de enfriamiento, bajo esta premisa es lógico pensar que usando este determinado sistema crecerá exponencialmente el precio total del motor por cada canal extra agregado, teniendo este un patrón ya determinado, aunque la correlación es cierta, no es su causa raíz, es más un efecto colateral porque al ser un patrón predeterminado las cantidades así como sus geometrías están ligadas a la longitud, diámetro y peso del estator, los cuales si tienen una correlación con el costo de fabricación, por lo que si se cambia el estándar de diseño y se modifica el número de canales no afectará al precio, o al menos no en la misma proporción, esta es la razón por la cual el número de canales no fue agregado a la base de datos como característica crítica.

Este valor se utiliza para crear una regresión lineal, es un modelo que relaciona a una variable dependiente a relación de otra variable independiente, se define una línea de pendiente con el coeficiente de correlación la cual tiene la distancia mínima vertical entre el resultado verdadero y el resultado teórico, de esta forma se predice el comportamiento de una variable. Siguiendo este método el resultado de una variable dependiente (Y) es igual a una constante (α_0) más el coeficiente de correlación (β_1) por la variable independiente (X) más el error (ϵ).

$$Y = \alpha_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

Ec.3. Regresión lineal simple

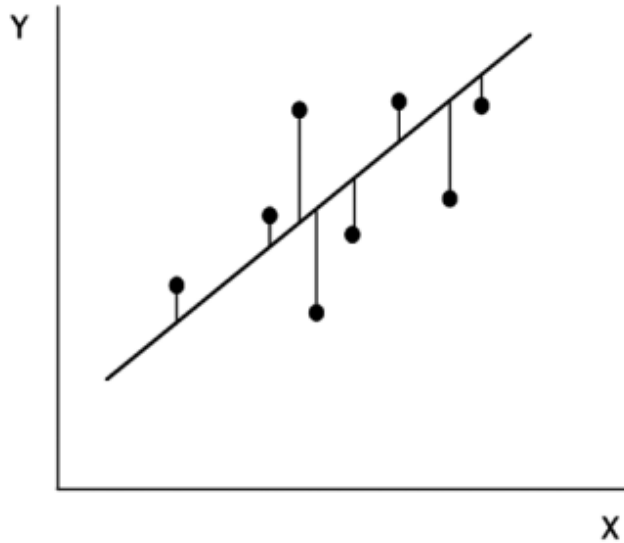


Fig. 30. Ejemplo de regresión lineal simple. [62]

Después de esta pequeña introducción en este proyecto se utilizaron las correlaciones para identificar que las variables a introducir a las redes neuronales tengan la mayor relación y efecto en los costos, además de detectar parámetros que cambian en el mismo sentido para tenerlos en consideración y no crear un modelo de inteligencia artificial sobreentrenado que tenga la capacidad de predecir a la perfección los resultados de la base de datos, pero con razonamiento erróneo para futuros proyectos.

Para el núcleo que ambos subensambles comparten laminación y mismos parámetros se tienen dos correlaciones que generan impacto, por lo que tendrá una mayor consideración en el análisis de las redes neuronales.

El primero es el número de laminaciones, es decir, la longitud total de la parte a laminar contra, los cuatro tipos de costos existentes en el núcleo, es decir, el costo total, el costo del material, costo variable y costo fijo, donde existe una correlación mayor de la longitud respecto al material con un valor de **0.71**, en los otros dos costos (variable y fijo) por separados existe una correlación sin embargo es menos significativa siendo de **0.50** para la variable y **0.51** para el fijo. De forma similar, el costo total al ser una suma de los tres parámetros anteriores se encuentra en un punto medio obteniendo un coeficiente de

correlación de **0.62**, esto ayuda a confirmar que los valores hacen sentido. Dichos resultados se observan en la figura 31, donde existe una relación lineal entre los valores, específicamente en el costo del material, siendo los demás regidos por el conjunto de más variables, al no ser una correlación cercana a 1, hacer una aproximación con regresiones lineales generará un margen de error fuera del rango esperado.

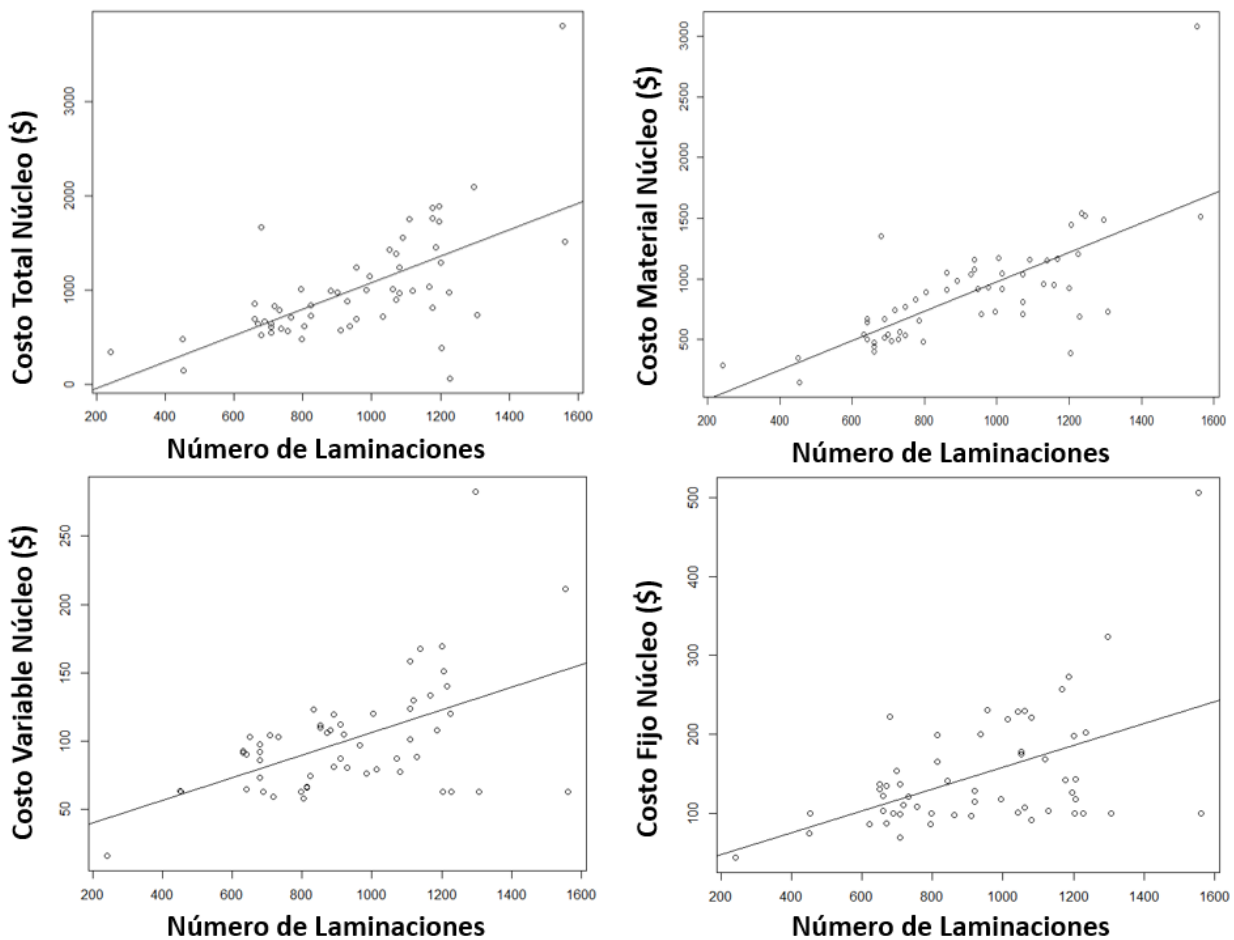


Fig. 31. Correlación número de laminaciones vs costos del núcleo

El otro factor de impacto dentro del núcleo es el peso total, siendo esta una relación entre el diámetro y la longitud, aunque el primero de esta combinación juega un papel importante no se puede utilizar para una correlación significativa debido a que los diámetros se repiten con mucha frecuencia dentro de la base de datos lo que genera

valores con diferencias significativas. El peso por otro lado si implica además del espacio, el material y herramental necesario a la hora de su fabricación. En este caso se obtuvieron valores muy cercanos a uno, siendo la correlación del material la más cercana con un valor de **0.92**, caso contrario a la longitud si existió un acercamiento mucho mayor con respecto a los parámetros de precio fijo y variable, siendo **0.88** y **0.83** respectivamente, como es de esperarse la correlación respecto al costo total también fue alta de **0.89**, estando en un punto medio de los tres valores por lo que confirma que la información hace sentido, la correlación es alta sin embargo como se puede ver en la figura 32, los extremos tienen una diferencia mayor por lo que una regresión lineal es confiable en un rango determinado. Se realizarán pruebas con regresión lineal para saber hasta qué punto mantiene un margen de error aceptable, en caso de existir.

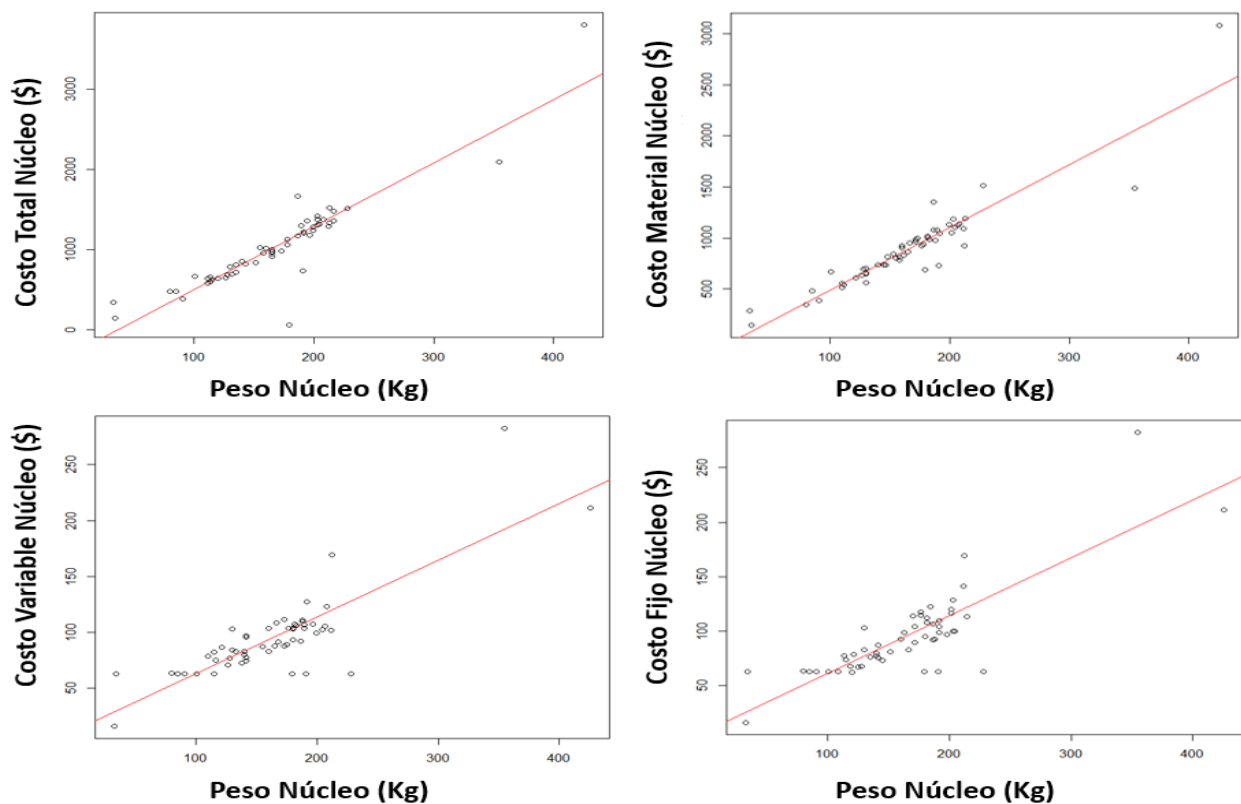


Fig. 32. Correlación peso del núcleo vs costos del núcleo

5.3.1. Correlaciones en Rotor

En el rotor existen varios componentes, sin embargo, a diferencia de las laminaciones existen componentes que tienen una relación directa de sus propiedades con los costos, empezando con los tornillos al ser piezas normalizadas (tornillería M8, M12 y M16) los costos no se separan o se describen como cero, hay una relación directa de \$0.4 dólares por conjunto de sujeción que pueden ser 4, 8 o 12 tornillos (únicamente en el rotor), siendo la configuración de 8 tornillos la más usada. Los difusores y los dispersores presentan la misma característica, tienen una correlación máxima entre el peso de los componentes con el costo, además de que los porcentajes entre los diferentes costos son iguales, costo del material equivale al 92.2%, el costo variable representa el 2.6%, por último, el fijo es igual al 5.2% del costo total. La diferencia entre estos dos es el costo de \$65 dólares por kilogramo de dispersor y \$109 dólares por kilogramo de difusor.

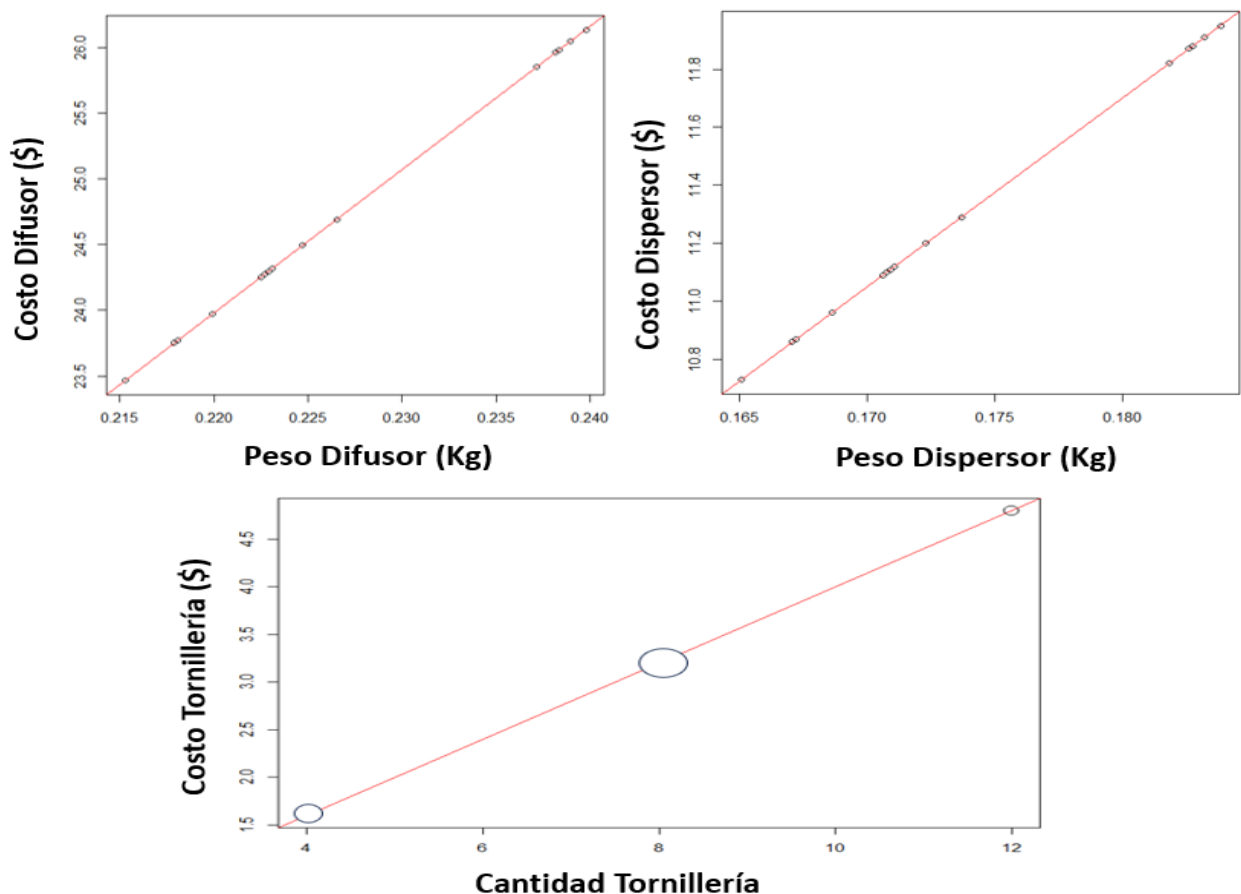


Fig. 33. Gráfica difusor, dispersor y tornillería, Correlación con valor 1.

Los platos finales de ensamble, tienen un buen nivel de correlación, aunque no sea una relación perfecta, se tiene una correlación de **0.985**, sin embargo si se analiza la composición de este resultado, de igual forma se podría sacar el precio con una fórmula un poco más compleja que en el caso anterior, ya que el peso del componente es directamente proporcional al costo de material y variable, siendo la relación de \$9.72 dólares por kilogramo en material y \$0.29 dólares por kilogramo en variable, se detectó que el costo fijo se mantenía en el mismo valor, equivale a \$5.9 dólares, por lo que para obtener el valor se utiliza una regresión lineal con respecto al peso para los costos de material y variable, se le suma la constante del costo fijo por pieza.

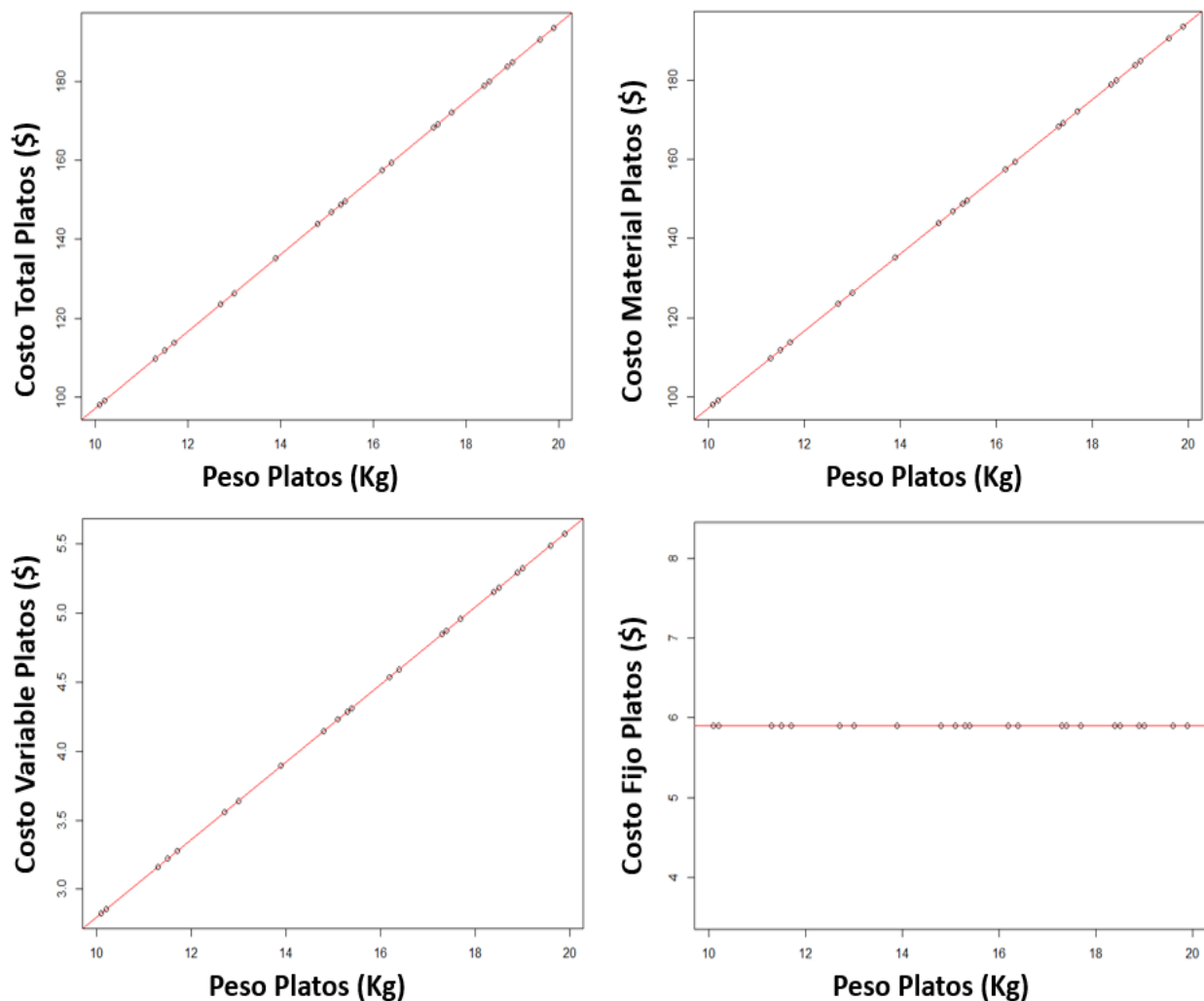


Fig. 34. Grafica Diferentes costos de los platos contra peso.

La caja de rotor, tiene una correlación de **0.7**, sin embargo eso no significa que no tenga patrones de comportamiento, se analizó de forma que se dividen por tamaños si un elemento es menor al tamaño máximo de la caja para obtener estandarización se tienen 3 valores de precios \$90,\$110,\$140, estos al no necesitar un proveedor especializado o se necesite herramental, en su análisis el desglose de costos resulta insignificante por lo que se asumieron como cero y el costo total es el único a evaluar. Este tipo de resultados es ideal para utilizar un algoritmo denominado “Bosque Aleatorio”, siendo esta una subdivisión de un árbol de decisiones, como se observa en la figura 35, su diferencia radica en la cantidad de variables para tomar un camino a seguir, lo que hace es clasificar en base a una característica, el valor del resultado, es decir, si la variable es menor a 300mm, su valor será de 90\$, si está entre 300mm y 500mm, su costo será \$110, si su longitud es mayor será de \$140. Aunque esto en los valores actuales tenga sentido, no se puede confiar en estos únicos tres valores debido a que el algoritmo debe ser capaz de extrapolar valores es decir si existe un rotor a cotizar de menor o mayor longitud a comparación de los máximos y mínimos el valor del costo no se puede tomar de las opciones actuales, por lo cual se debe sacar una relación de cuanto aumentaría o disminuiría en diferentes rangos.

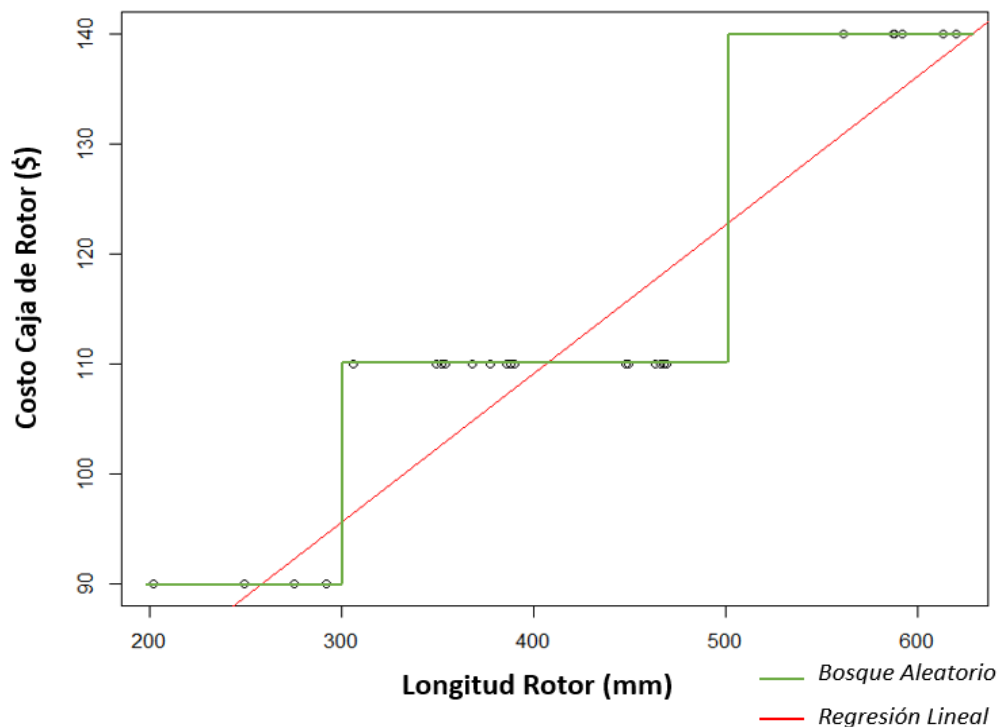


Fig. 35. Comportamiento real contra regresión lineal de la caja de rotor.

Por último, la flecha, los componentes anteriores en el rotor tenían una alta confiabilidad en los resultados de las predicciones, este componente se parece más a las laminaciones, donde existe una correlación positiva sin embargo no es suficiente para dar un resultado dentro del margen de error necesitado. Su correlación se dividió en dos factores principales el largo con un valor de **0.65** y el peso con un valor de **0.76**, que a continuación se desglosarán los datos.

La longitud de la flecha contra, los tres desgloses de costos existentes es decir, el costo del material, costo variable y costo fijo, da una correlación similar entre sí, respecto al material se presenta un valor de **0.64**, de **0.67** para la variable y **0.7** para el fijo, con esta información se confirma que existe una relación lineal entre los valores, como se observa en la figura 36, específicamente en el costo del material, siendo los demás regidos por el conjunto de más variables, al no ser una correlación cercana a 1, hacer una aproximación con regresiones lineales generará un margen de error fuera del rango esperado.

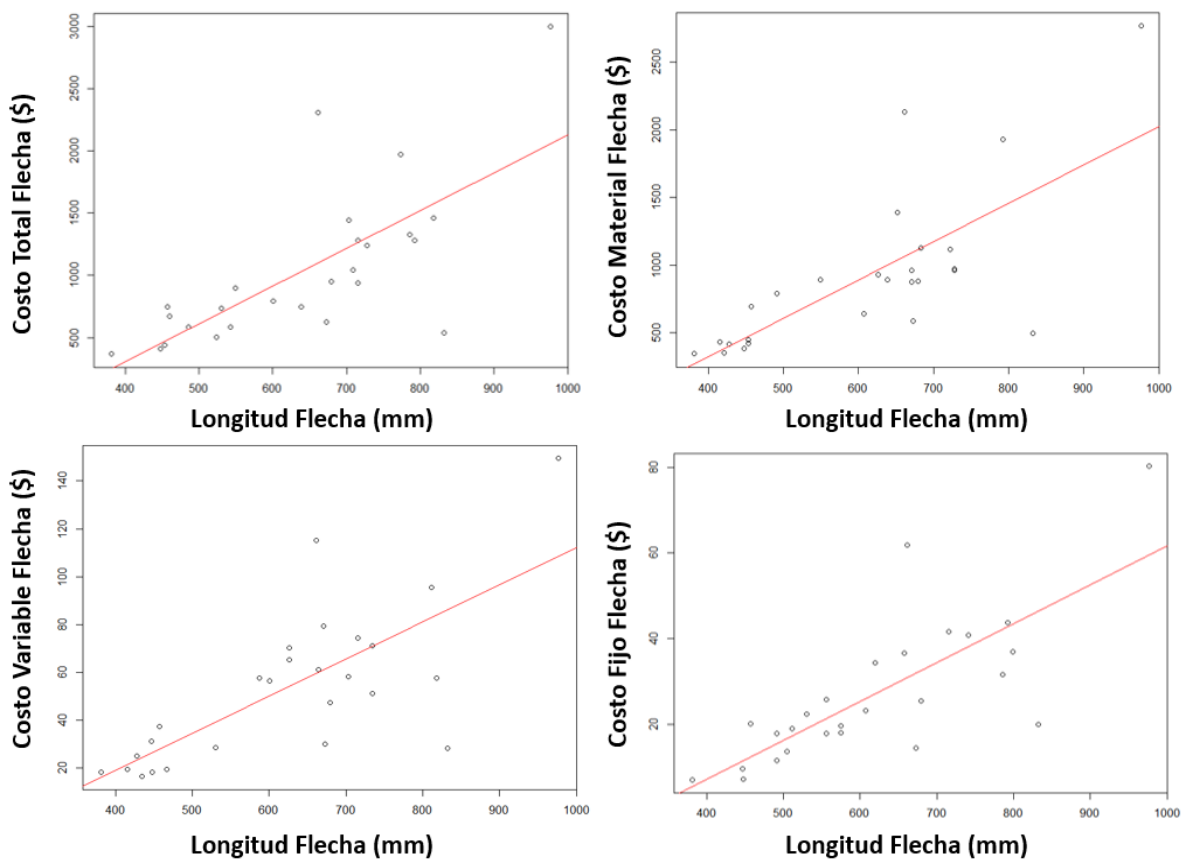


Fig. 36. Correlación longitud contra costos de la flecha.

El otro factor mencionado es el peso de la flecha, siendo esta una relación entre el diámetro y la longitud, aunque se busca utilizar la correlación con el diámetro de la flecha, esto es poco práctico o insignificante debido a que los diámetros se repiten con mucha frecuencia dentro de la base de datos lo que genera valores con diferencias significativas. El peso por otro lado si implica además del espacio, el material y herramental necesario a la hora de su fabricación. La correlación respecto al costo fijo es la más cercana con un valor de **0.81**, caso del material y variables son muy similares con resultados de **0.75** y **0.76** respectivamente, como se puede notar la correlación está significativamente alejada del valor 1 que se busca siendo este componente, por lo que el margen de error de la flecha estará fuera del rango aceptable, por lo que es necesario utilizar diferentes algoritmos y añadir parámetros que incrementen la exactitud.

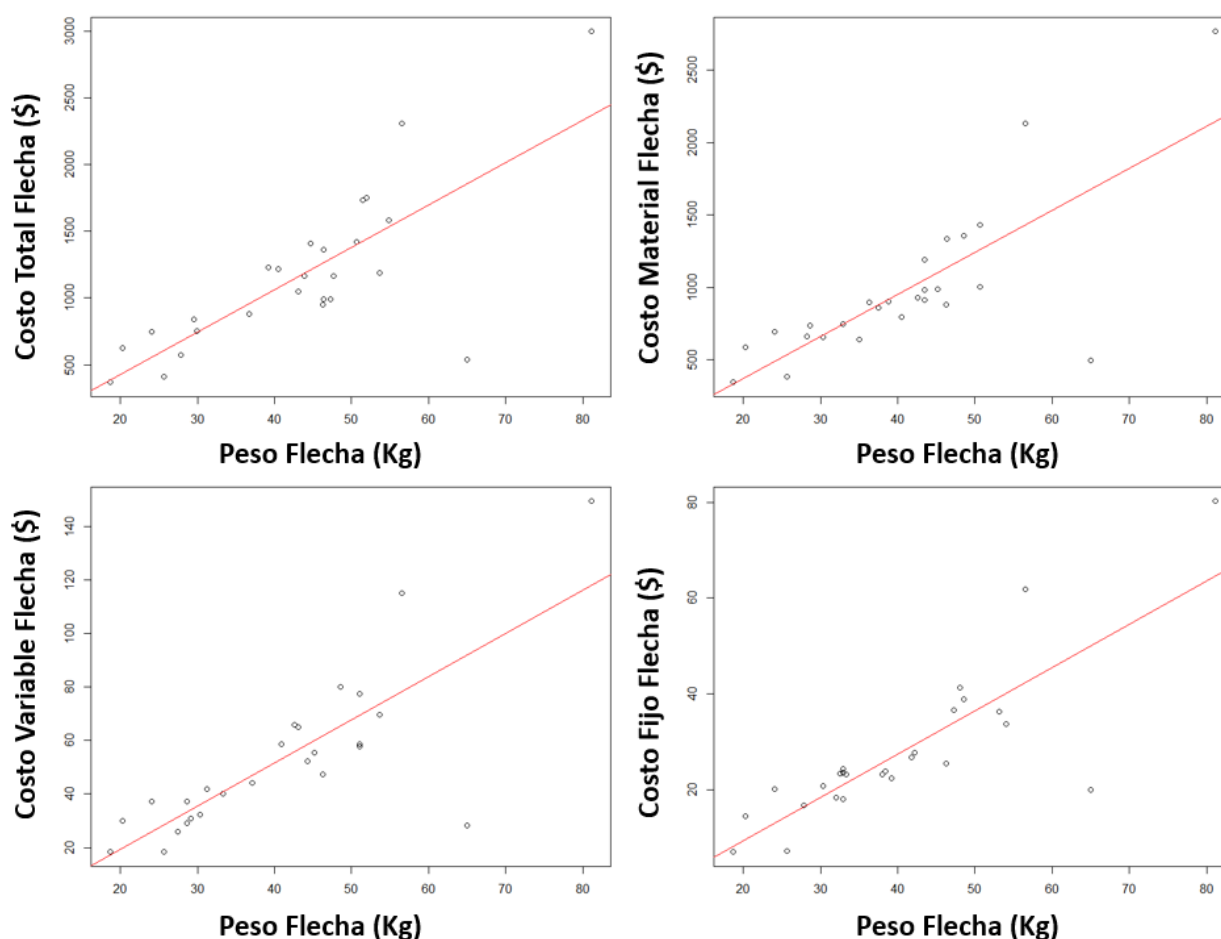


Fig. 37. Correlación peso contra costos de la flecha.

Debido a que, utilizar una regresión lineal es inviable, para mejorar los pronósticos en los modelos siguientes se tomaron en cuenta otros parámetros significativos como son el material, tipo de flecha es decir solida o hueca y si el producto se clasifica como alta o baja demanda.

5.3.2. Correlaciones en Estator

Para poder encontrar las relaciones y parámetros importantes con las que se alimentarán las redes neuronales y los modelos estadísticos o de inteligencia artificial, igual se mostrarán las correlaciones en los diferentes componentes del estator, de esta forma se puede saber que componentes son más críticos, cuales necesitan agregar características especiales, además de conocer en que se tiene que enfocar el algoritmo, por eso se muestran los datos de la carcasa, el cableado, el ensamble, y todos los componentes aislantes.

La carcasa es un componente en donde no se obtuvieron pronósticos precisos mediante el uso de modelos lineales, se obtuvieron y graficaron las correlaciones conforme a longitud y peso. Respecto a la longitud se obtuvieron correlaciones con valores de **0.51** para el costo total, **0.53** para el material, **0.78** costo variable y por último **0.3** costo fijo. Estos resultados tienen la peculiaridad de presentar comportamientos mixtos, es decir la correlación del costo variable es significativa lo que indica que el aumento de inversión está relacionado de manera confiable con la longitud, por otro lado, los valores totales y de material, presenta una tendencia general respecto a ambas variables sin embargo solo ayudan a identificar que los costos son propensos a cambiar conforme a la longitud pero no en su magnitud, además que existen otros parámetros a tomar en cuenta como podría ser las características de la carcasa. Por último, la correlación del costo fijo es muy pobre, es decir los resultados del modelo de regresión lineal no tendrán ningún sentido respecto a los verdaderos valores, al realizar los análisis respecto a la cantidad de piezas solicitadas anualmente brinda dos posibles caminos: que la longitud no es una

característica significativa o que las demandas estimadas no son representativas entre diferentes modelos.

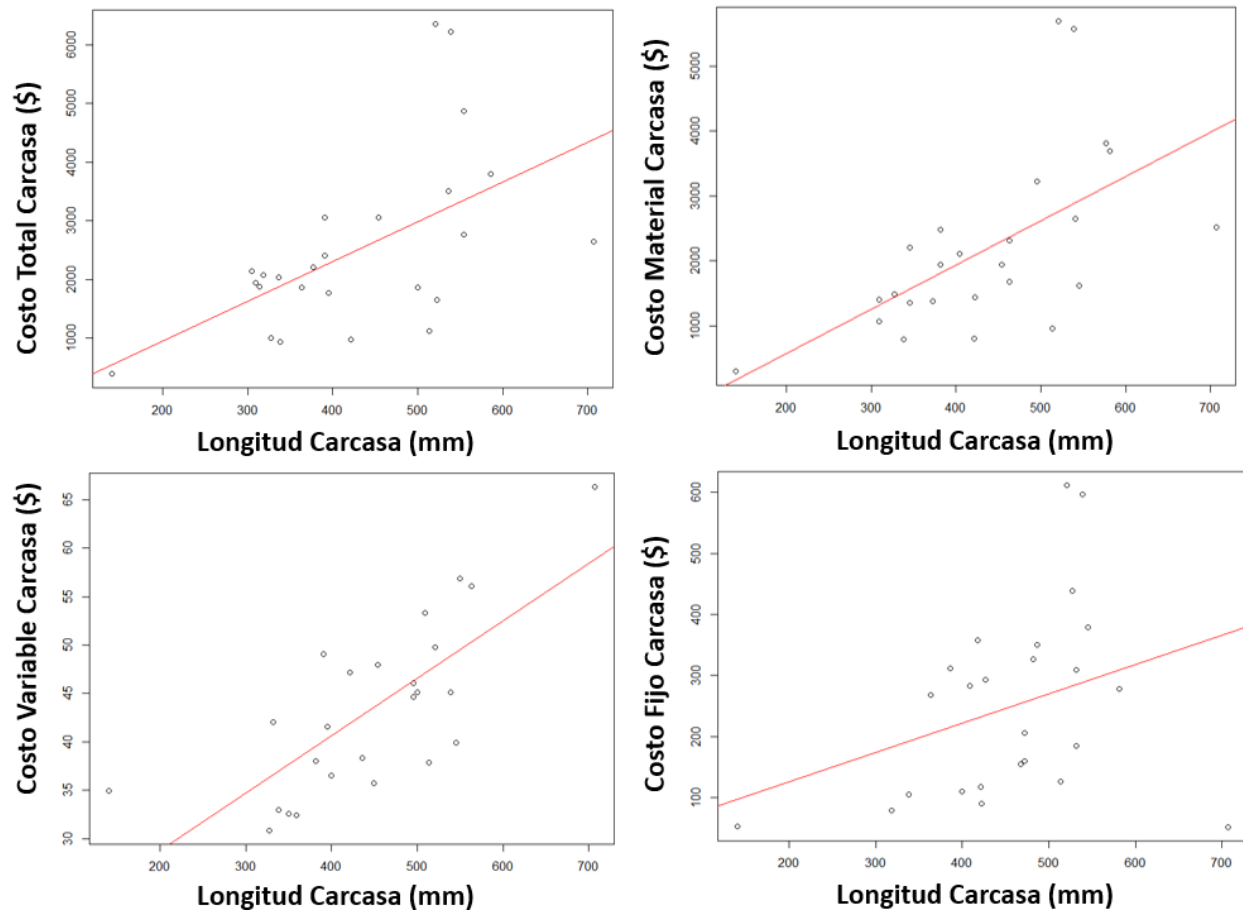


Fig. 38. Correlación longitud contra costos de la carcasa.

En el análisis respecto al peso, se observaron patrones similares a los presentados en las gráficas anteriores. Específicamente, se obtuvieron correlaciones de **0.55** para el costo total, **0.57** para el material, **0.96** para el costo variable y, por último, **0.28** para el costo fijo. Estos resultados apoyan las hipótesis planteadas previamente. Se destaca que los costos variables aumentan de manera prácticamente lineal en relación con el peso de la carcasa, sin presentar una variación significativa. Por otro lado, tanto los costos del material como los costos totales muestran una tendencia similar, sin embargo, estos no están influenciados únicamente por una dimensión o característica específica,

lo que sugiere un componente sensible a múltiples variables. Respecto al costo fijo, parece comportarse como un valor aleatorio que no está vinculado a una característica específica, por lo tanto, es posible descartar que el peso o la longitud no son elementos representativos en este caso, en su lugar, el problema parece radicar en la falta de normativa entre las demandas de carcasas para los diferentes tipos de vehículos.

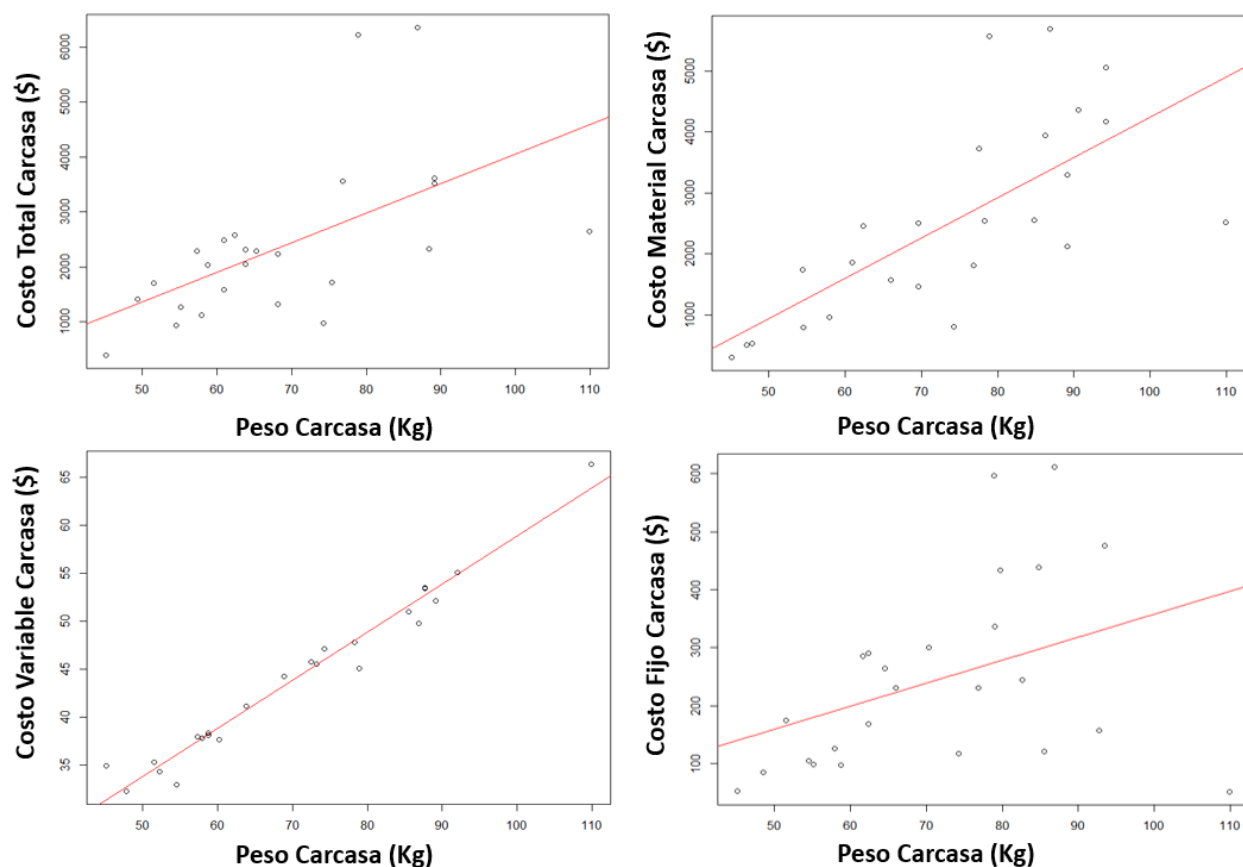


Fig. 39. Correlación Peso contra costos de la carcasa.

En base a ambos datos se concluye que la carcasa tiene una tendencia con la longitud y el peso, siendo que ambos están ampliamente relacionados con los costos variables, sin embargo sus predicciones son muy débiles en los demás rubros, en especial en el costo fijo, por lo que para mejorarlo se buscará tener en consideración el volumen del producto solicitado, pudiéndose inicialmente dividir en dos clases, baja y alta demanda, incluyendo las inversiones que se necesitan por el método de enfriamiento ya sea por

aire, utilizando aceite o agua, así como el proveedor y su lugar de manufactura o envió. De forma menos crítica, para obtener una menor varianza en el costo total y del material, se deben entender las variaciones de la geometría, es decir si es únicamente un cilindro, la cantidad de maquinados o si no se incluyen, la instalación de bridas especificando si son estándares o especiales, por último el material, debido a que los costos entre diferentes aceros con tratamientos térmicos cambian significativamente, al momento de hacer las correlaciones no se detecta cuando dos pesos iguales tienen dimensiones diferentes, debido al cambio de densidades, únicamente analiza la información numérica, lo que se busca implementar con la aplicación de diferentes algoritmos.

El siguiente componente por analizar es el ensamble del cableado o la sección eléctrica del núcleo del estator. Al tratarse de un ensamble los costos variables y los fijos están vinculados con los procesos como la cantidad de horas trabajadas, así como las horas maquina registradas, en cuanto a los costos de materiales se midieron con respecto a la cantidad de cobre utilizado, es imposible presentar una correlación para el costo total debido a que existen diversas variables concluyentes para las clasificaciones de los costos por lo que el algoritmo utilizará datos para cada uno. Respecto al material como se mencionó antes existen factores que afectan el peso total como son: número de vueltas, largo medio por vuelta, cantidad de alambres, calibre del cableado, cifra de embobinados, longitud interna y externa de la bobina, por lo que este resultado realmente es la combinación de siete variables en lugar de un factor único, una vez que se haya determinado cual es el efecto de cada uno de los parámetros es posible calcular el peso total del cableado, siendo este siempre el material denominado como alambre de cobre. Al momento de redactar esta tesis el precio en el mercado del cobre es de 9 DÓLARES el kilogramo, los resultados del análisis arrojan que se tiene el precio de mercado más un premio por contrato del 10%, esto puede ser debido a dos posibles razones: los mercados de las materias primas son volátiles, es decir cambian de un día a otro, al momento de hacer la cotización, por lo que los valores eran superiores previos a los de la escritura de la tesis y se mantienen los precios pactados en el contrato. La segunda razón es debido a las especulaciones y fluctuaciones abruptas en los precios de las

materias primas los contratos se establecieron con un porcentaje mayor al precio internacional actual para establecer un precio constante por un tiempo determinado. Para motivos de este estudio, a partir de aquí en adelante se asumirá la segunda razón, es decir en los cálculos se utilizará el precio actual más un porcentaje adicional.

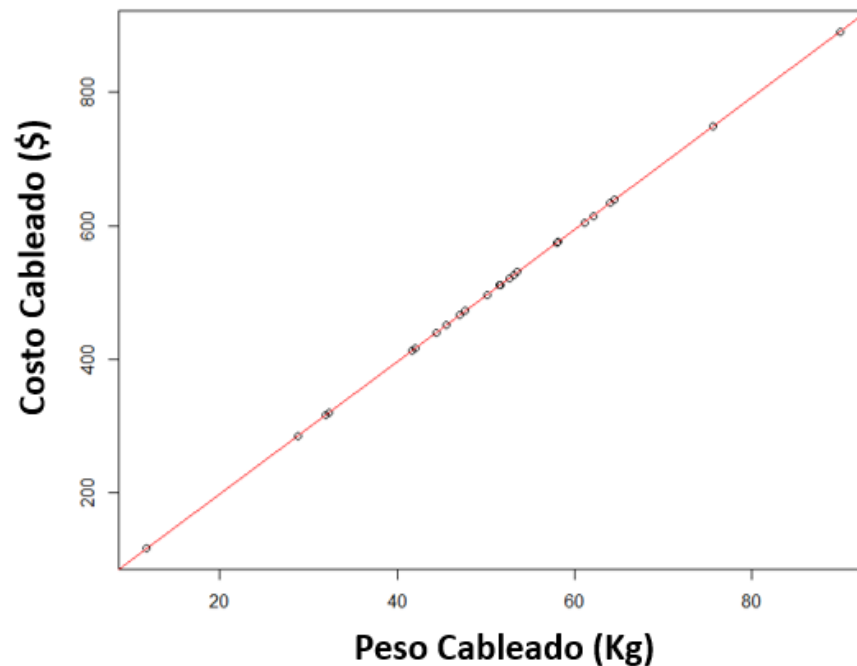


Fig. 40. Gráfica peso del cableado del ensamble del núcleo contra el costo del material.

Se realizó la correlación de los otros costos de manera similar al gráfico anterior, sin embargo, los costos variables y fijos no son afectados directamente por el peso o la longitud debido a que la manufactura de componentes y ensambles son dos procesos diferentes, por lo que se buscaron alternativas que resultarán en una aproximación más cercana, donde al utilizar las horas empleadas durante el armado del sistema dan resultados más prometedores, arrojando resultados con correlación de **0.96** contra el costo variable y un valor de **0.6** respecto al fijo. Existen dos tipos de hora durante este proceso: horas laborales, es decir, la cantidad de tiempo efectivo que los operadores trabajaron desde el inicio hasta el final del proceso; horas máquina, estas se refieren al tiempo de uso del equipo automatizado para entregar el producto terminado. Las horas

laborales afectan más en el costo variable debido a que los sueldos pueden variar dependiendo si hacen turnos extras o se necesitan más personal en ciertas condiciones, sin embargo, no se pueden contar como activo fijo, caso contrario es en la hora máquina, afectan más en el precio fijo debido a que son una inversión inicial pero no afecta el tiempo que estén en uso o desactivadas. La relación entre un tipo y otro de horas es muy amplio (las horas laboradas son mayores que las horas maquina), por lo que para fines prácticos se sumaron ambas al momento de realizar las comparativas, por esta razón la parte variable está muy cerca de ser un precio constante por hora de trabajo y caso contrario el fijo solo arroja una tendencia.

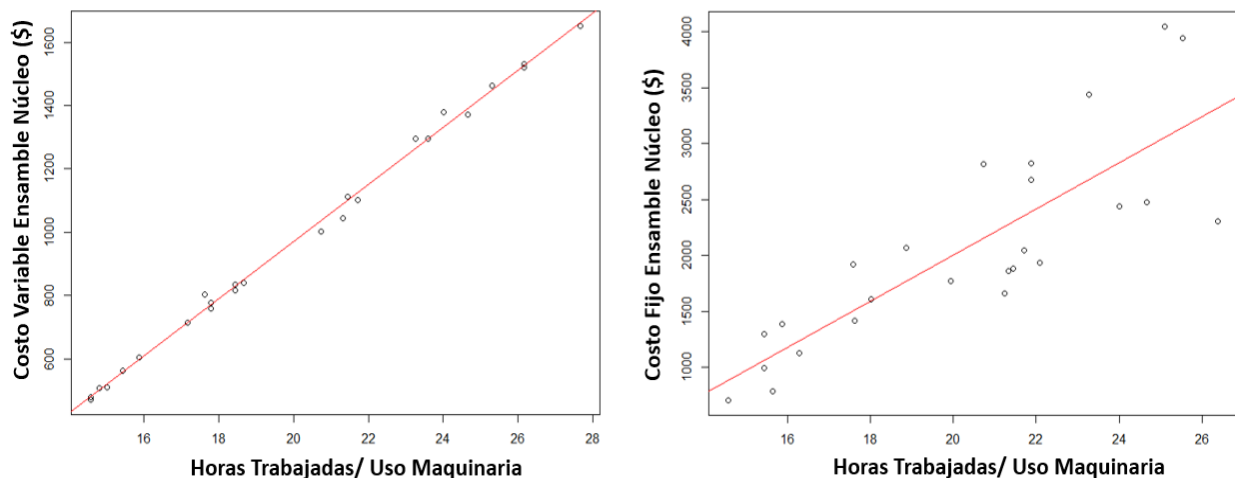


Fig. 41. Correlación horas trabajadas contra costos ensamble núcleo

A partir de los datos anteriores, se definen cuáles son los parámetros que tienen un mayor efecto en cada una de las variables del cableado. En el caso de los costos de material, el primer paso es estimar el peso total del cobre, de donde, únicamente se busca cual es el precio de mercado actual y se le agrega un 10% sobre este precio. Para los costos variables es fundamental conocer la cantidad de horas laborales necesarias para completar un ensamble, posteriormente dependiendo cual es el proveedor y su zona geográfica de manufactura será posible determinar el costo aproximado de cada hora trabajada. Por último, el costo fijo, su valor crítico es la cantidad de horas máquina

utilizadas, donde las redes neuronales ayudarán a identificar valores y patrones que tengan relación respecto a la cantidad por pedido, mantenimientos y herramientas.

Por último, los aislantes, que incluyen los forros de ranura, cinta aislante, aislante de soporte, ranuras lineales, terminales, mangas, revestimientos y resina. En cada uno de estos componentes solo será representativo el valor de costo total, debido a que son productos bajo una norma que se compran prácticamente igual sin importar el proveedor, y no existe diferencia de precio si se pide una o varias piezas, además no generan costos fijos a menos que se mantengan mucho tiempo en almacén. Para motivos de este trabajo se mantendrá la suposición que no influye este rubro, por lo que el costo fijo y el variable serán de cero dólares. Las correlaciones de esta sección comparten la similitud de que todas a partir de una variable tienen un valor de 1, por lo que se pueden utilizar regresiones lineales.

En el caso de los forros de ranura, están ligados directamente al número de embobinados y su longitud media, el costo es de 0.015 dólares por milímetro de cada embobinado.

Para la cinta aislante se emplea una relación directa con respecto al largo total del cableado (este cálculo es una función que emplea diferentes parámetros, especificados en la base de datos, explicado con anterioridad), teniendo esta relación mantiene un valor constante de 0.12 dólares por metro lineal.

Respecto al aislante de soporte, se basa en el diámetro exterior del estator, de la misma manera que la caja del rotor, es decir se genera una red de decisiones que establece un precio constante para cada diferente valor exterior de las laminaciones, es decir un árbol de decisiones determinará el costo los diámetros actuales con los que cuenta la base de datos son 600, 533, 420 milímetros, donde sus costos son \$7.2, \$6.8 y \$6.12 DÓLARES respectivamente. Se realizarán interpolaciones o extrapolaciones en caso de que los diámetros del estator no se encuentren dentro de estos valores.

En cuanto a las ranuras lineales presentan el mismo patrón que los forros de ranura, debido a que estos dos componentes están altamente relacionados, están ligadas directamente al número de embobinados y su longitud media, el costo es de 0.018 dólares por milímetro de cada embobinado.

Con relación a las terminales, este componente no mantiene relación con el peso, longitud o diámetro del estator/bobina, permanece únicamente ligado a la cantidad de terminales a emplear, así como al calibre del cable que divide en dos los tipos de terminal, su diferencia radica en el espesor, siendo el punto de separación el valor AWG 15, donde los calibres inferiores a dicho tipo de cable tendrán un precio de 2 dólares por unidad, mientras que los superiores 4 dólares por unidad.

En lo que concierne a las mangas, están son conectadas directamente a las terminales, por lo que tampoco están en función a las características geométricas o relevantes que se han utilizado previamente como longitud, diámetro o peso, su costo está relacionado con la cantidad empleada y a diferencia de las terminales el calibre no les afecta, sin embargo la posición si, existe una diferencia de la longitud de la manga si las conexiones terminan de forma axial o radial, para el primer caso su costo son de 1.5 dólares por unidad y 30% más en el caso radial.

Refiriéndose a los revestimientos, su función de precios está dada por 0.1 dólares por metro lineal, la cantidad necesaria a aplicar es la misma que el diámetro a aislar del estator.

Finalmente, la relación con la resina resultó en cada litro utilizado en el ensamble que representa un costo de 18 dólares extra, la cantidad de litros necesarios de resina VPI es un litro por cada 50kg de peso del estator, redondeado hacia abajo es decir si el peso es de 220kg únicamente se agregarán 4 litros.

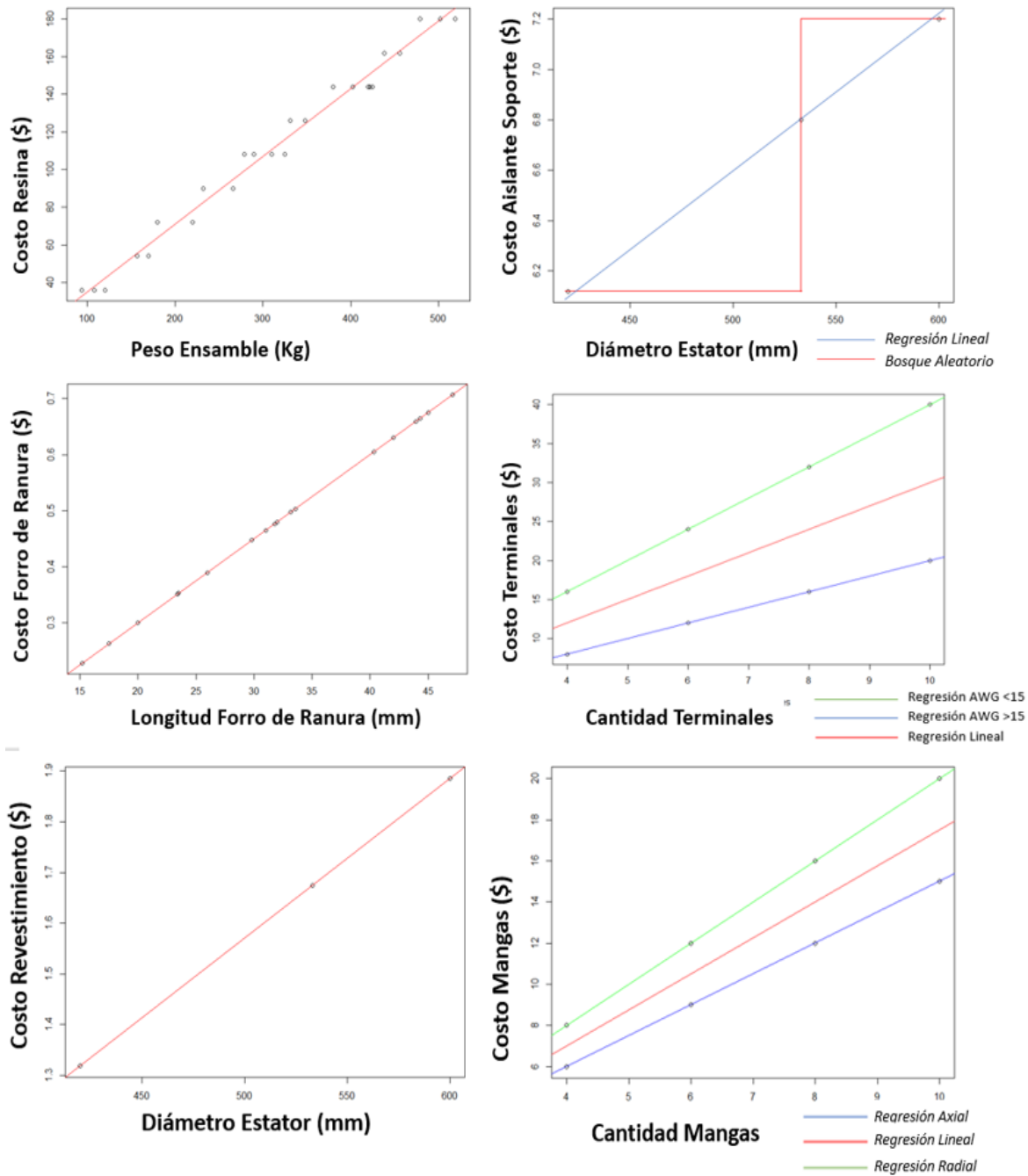


Fig. 42. Correlación Parámetros de los Aislantes.

5.4. Comparativas de métodos

Para realizar la comparativa entre los diferentes métodos y los resultados obtenidos sobre qué tan cercano o alejado del precio real proporcionan los diferentes modelos, así para mantener en perspectiva los márgenes de error objetivos que se presentaron, se empleará una ayuda visual basada en el tipo de gráfico llamado diagrama de caja, como se muestra en la figura 43, en principio este tipo de esquema se utiliza para visualizar como es la distribución de un conjunto de datos, identifica fácilmente cuando existen varios valores atípicos, muestra si existe una simetría o asimetría en el grupo además de especificar cuál es el rango de variabilidad promedio de los datos. El diagrama de caja cuenta con varios elementos importantes. Se presenta una denominada caja, que es el rango intercuartílico ^[38] o rango de cuartiles, es la diferencia entre el primer cuartil y el tercer cuartil (Q1 y Q3). Dentro de la caja se muestra una línea, esta representa la mediana del conjunto de datos, al ser el resultado intermedio y no el promedio, este valor puede estar cargado hacia alguno de los dos cuartiles (asimétrico), es decir no necesariamente tiene que estar ubicado en el centro (simétrico). Fuera de la caja, en la parte superior o inferior se presenta una línea vertical que se extiende hasta llegar a los puntos máximos y mínimos de la agrupación, es decir, fuera de la caja se le considera como un valor atípico.

Para la representación de los resultados se tomará la misma geometría sin embargo el significado de cada parte del diagrama será otro, respecto al rango de cuartiles este será el rango aceptable de predicción es decir el límite superior corresponderá al precio real con un margen de error de +10%, el límite inferior es el precio real con un margen de error de -10%. La línea dentro de la caja será simétrica (se ubicará en el centro) siendo este el costo de lo que se esté comparando (costo total de componente o ensamble, o algún desglosé de costos), no existirá un máximo o un mínimo si no que la extensión de la línea vertical llegará a un rango de +/- 20% para obtener las perspectivas. Por último solo se mostrará un valor que es la predicción hecha por el algoritmo donde la meta es que cada una se encuentre dentro de la caja, en dado caso que sobrepase el 20% de margen de error será necesario utilizar otro modelo o refinarlo.

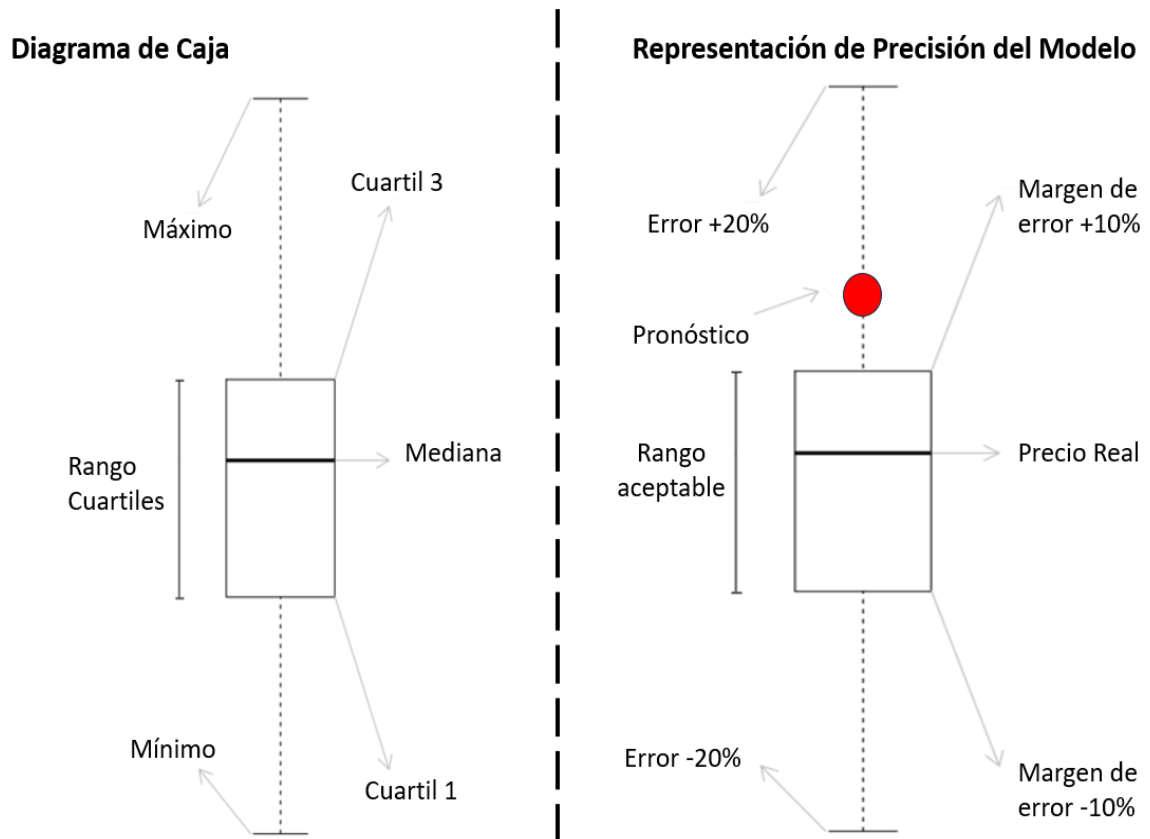


Fig. 43. Interpretación gráfico de precisión del algoritmo

Para confirmar o desestimar el uso de las redes neuronales, se compararán los resultados de diferentes aproximaciones, debido a que si se logra conseguir los objetivos no será necesario gastar recursos en un modelo más complicado, los algoritmos para usar son: métodos estadísticos de regresiones lineales, interpolaciones/ extrapolaciones, regresiones polinomiales en el campo de aprendizaje automático se utilizarán algoritmos k-vecinos más cercanos (KNN) y máquina de soporte de vectores (SVM), estos se describen a continuación:

Regresión lineal: Este método se basa en el uso de las correlaciones hechas anteriormente, para cada elemento se relacionan las variables dentro de una gráfica de dispersión, en la cual se calcularán los coeficientes de pendientes y las constantes, resultando un valor para cada componente, después se sumarán todos los resultados y se compararán los valores determinados por la regresión contra el costo real de cada uno de los motores eléctricos, como resultado se expone el gráfico que indica si todos

se encuentran en un rango aceptable, entender si existe alguna limitación, también se expresará la distancia media cuadrática mínima, siendo esta la forma objetiva de medir cual es la precisión del modelo.

Interpolación/extrapolación: El algoritmo se basa en un proceso que determina cual será el valor de una variable dependiente basado en el comportamiento de otra independiente, para esto se necesita tener más datos de estas dos variables, ya sea mediante puntos en una gráfica o en valores en una tabla de datos. La diferencia radica en que la interpolación, ecuación 4, busca estimar el valor dentro de un rango (es decir se tiene límite superior e inferior) con los dos puntos determinados, en cambio una extrapolación es cuanto se pronostica el valor fuera del rango de datos conocidos, su funcionamiento es trazar una línea que una los dos puntos más cercanos conocidos, el lugar en donde la variable independiente intercepte la pendiente será el resultado de la variable dependiente. Para este caso, debido a que el precio de los motores eléctricos a cotizar ya es conocido, este valor no se tomará en cuenta para evitar que se autoevalúe, la metodología será tomar los valores superior e inferior en cada componente para estimar los costos en su totalidad. Los resultados a obtener serán los rangos de la totalidad de los motores eléctricos, se espera tener limitaciones o un margen de error más amplio cuando se utilicen las extrapolaciones es decir para el motor de menor tamaño y el motor de mayor costo, en estos dos resultados serán los que dicten el comportamiento para los casos futuros que se presenten que no se comprendan en la base de datos actual.

$$y = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0) + y_0$$

Ec.4. Interpolación.

Donde:

x: Valor del punto de la recta que se desea encontrar su resultado.

x_0 : Coordenada eje “x” del primer punto conocido.
 y_0 : Coordenada eje “y” del primer punto conocido.
 x_1 : Coordenada eje “x” del segundo punto conocido.
 y_1 : Coordenada eje “y” del segundo punto conocido.
 y : Valor que se desea encontrar en medio de la recta.

Regresiones polinomiales: Se basa en el mismo concepto de la regresión lineal, donde se utiliza una ecuación para modelar la relación entre dos variables, su uso es válido siempre y cuando exista una correlación entre dos variables. Sin embargo, cuando la relación no presenta una tendencia lineal clara, se ajusta a un polinomio de grado superior, esto otorga la capacidad para capturar curvas o patrones de mayor complejidad dentro los datos obtenidos. El polinomio no tiene un límite en cuanto al número de variables a utilizar, el grado del polinomio indicará la cantidad de constantes existentes, una constante general (α) y los coeficientes de polinomio (β), el primer coeficiente se multiplicará por la variable independiente, el segundo coeficiente multiplica la variable al cuadrado, así sucesivamente hasta el coeficiente final, se añade el error dando el valor de la variable dependiente, ecuación 5.

$$Y = \alpha_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n + \epsilon$$

Ec.5. Regresión polinomial.

Para evaluar el modelo, se expresará la distancia media cuadrática mínima, siendo la forma estandarizada para medir el error de las regresiones, así como los residuos mostrados en cada modelo, dentro del proyecto en particular, se verificará si cumple con las expectativas de los rangos señalados (+/-10%). En este contexto, solo se emplearán y compararán regresiones cuadráticas y cúbicas, debido a que polinomios de grado superior presentan patrones más sensibles que afectaran valores fuera de los límites de las gráficas, y además generarán un sobre entrenamiento con los datos, esto podría dar

la impresión de que poseen una precisión casi perfecta, pero ante una observación desconocida sus pronósticos son muy pobres.

En los siguientes modelos ya se emplearán métodos multivariantes, es decir, aquellos en donde pueden relacionarse dos o más características críticas para obtener un resultado, además de que en forma muy limitada se implementarán las características especiales que previamente se habían reconocido que afectarían los costos en ciertos componentes, por lo que en los casos fuera de rango proporcionarán un margen más cercano, en las instancias que presenten características similares exceptuando a un valor especial se podrá apreciar el efecto de dicho factor.

K vecinos más cercanos (KNN): Es un algoritmo de aprendizaje automático más específicamente de clasificación supervisada, se utiliza para asignar una etiqueta a un nuevo dato basándose en las características de los vecinos más cercanos utilizados en un conjunto de datos de entrenamiento. El primer paso para definir este algoritmo es seleccionar el valor de K, siendo este la cantidad de vecinos cercanos a los cuales se considerará para asignar el valor del nuevo punto. Para los fines de este trabajo se designó un valor de K igual a tres, debido a que la base de datos es pequeña, para evitar que muchos datos afecten al nuevo valor, además es el número suficiente para no ser igual a una regresión de dos puntos.

En cada punto dentro del conjunto de datos de entrenamiento se calcula la distancia euclidiana ^[39], ecuación 6, la cual será de tres dimensiones, estas se componen por el largo y el peso del componente, la última dimensión variará dependiendo del elemento: para la flecha será el material del cual está compuesta, en el caso de la carcasa es su demanda (clasificado como baja o alta), las laminaciones se etiquetarán respecto a cuál sea el proveedor.

$$d = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + (p_3 - q_3)^2}$$

Ec.6. Distancia euclidiana de tres dimensiones.

Donde:

d: Distancia euclidiana entre dos puntos en un espacio tridimensional.

p_1, p_2, p_3 : Coordenadas del primer punto en el espacio tridimensional (eje x, y, z).

q_1, q_2, q_3 : Coordenadas del segundo punto en el espacio tridimensional (eje x, y, z).

El siguiente paso será la clasificación de menor a mayor de todos los puntos del conjunto de entrenamiento, después se seleccionarán los tres vecinos más cercanos basándonos en la menor distancia absoluta, es decir no importa si son mayores o menores. Basado en el análisis actual no se asignará etiqueta, es decir, serán valores continuos, por lo que el método de cálculo una vez teniendo los tres vecinos con menor distancia euclidiana asignará una ponderación, ecuación 7, para cada vecino dependiendo de su cercanía, dicha ponderación se calculará de forma iterativa en función al entrenamiento de los datos, por lo que al modelo en este punto se le pueden agregar observaciones sin embargo no se refinará, una vez obtenidos los pesos de cada variable se calcula un promedio ponderado de los valores de salida siendo este el valor mostrado por el algoritmo.

$$MP = \frac{X_1p_1 + X_2p_2 + X_3p_3}{p_1 + p_2 + p_3}$$

Ec.7. Media Ponderada 3-K vecinos.

El entrenamiento de aprendizaje automático se hará por Validación cruzada ^[40], en particular de todas las observaciones se formarán cuatro subgrupos aleatorios (los valores pueden repetirse), el motivo de tener varios entrenamientos es eliminar la varianza entre los resultados, se compararán las diferentes secciones juntando las bondades de cada sección y se eliminan los picos estadísticos.

Para los propósitos requeridos esta metodología presenta las ventajas de la facilidad de implementación e interpretación para nuevos usuarios o desarrolladores, además de que no realiza suposiciones sobre la distribución de datos y los posibles resultados. Sus áreas de oportunidad es que se espera sensibilidad en las características redundantes, y la división de grupos para el entrenamiento, puede resultar en pequeños datos dificultando la selección de datos más específicos.

Máquina de soporte de vectores (SVM): Algoritmo que puede identificarse como un clasificador ponderado o lineal, es un caso particular de la regularización de Tikhonov ^[41] donde el objetivo es encontrar un hiperplano ^[42] óptimo que separe o clasifique los datos en diferentes clases. Aplicado a la problemática, el entrenamiento para definir y utilizar un SVM, consta de cinco pasos.

Paso 1: Separar linealmente los datos, se clasificará los datos de forma binaria, es decir se formarán dos grupos y dando por resultado un hiperplano que maximiza la distancia entre los puntos más cercanos de cada clase, denominados vectores de soporte.

Paso 2: Determinar los márgenes, para tener un modelo más generalizado se calcula la distancia entre el hiperplano y los vectores de soporte.

Paso 3: Definir los coeficientes, se utiliza una función linealmente que cumpla con las condiciones establecidas, en caso de no ser linealmente separables es posible utilizar el truco de kernel ^[43] la función puede resultar lineal, ecuación 8, polinomial, ecuación 9, o gaussiana, ecuación 10.

$$K(w, b) = w^T x + b$$

Ec.8. Transformación de kernel lineal.

$$K(w, x) = (\gamma w^T x + b)^N$$

Ec.9. Transformación de kernel polinomial.

$$K(w, x) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^n)$$

Ec.10. Transformación de kernel gaussiana.

Donde:

K: Valor de kernel.

w: Vector de coeficientes.

x: Vector que representa los datos en el espacio original.

b: Sesgo.

n: grado del polinomio.

γ: Coeficiente de anchura de kernel.

Paso 4: Optimizar en función a la pérdida, se minimizan los valores por medio de penalizar los errores de clasificación y favorecer un margen más amplio.

Paso 5: Regularizar los resultados, se incluyen términos que evitan un sobreajuste, de forma que el modelo tenga un resultado más general.

5.5. Pronósticos

Visto en el subcapítulo anterior los componentes que poseen mayor complejidad de predicción y a su vez representan el 80% del costo total son: las flechas, carcasas, así como las laminaciones del núcleo en ambos estator y rotor, por lo que se mostrarán las comparativas entre las predicciones de los diferentes algoritmos y los costos reales, analizando el efecto, precisión y comentarios evaluando si pueden ser útiles para los propósitos de esta tesis.

5.5.1 Interpolación

Para el uso de la metodología de la interpolación se tienen cinco casos con un rango aceptable de predicción dentro de los veinticinco motores existentes. En la figura 44 se pueden apreciar las observaciones exitosas y los fracasos, así como, el resultado más crítico con un margen de error del 58.7%, lo que representa un factor significativo por el cual una decisión pudiese ser tomada de manera equivocada. Se observa que diecinueve casos se encuentran en un rango entre el $\pm 20\%$, los seis casos restantes sobrepasan el límite para los picos establecidos, destacando que en tres superan el 30% del margen de error. No existen muchos picos o desviaciones, sin embargo, la precisión del modelo no es aceptable debido a que diecisiete observaciones (68%) se encuentra dentro de un rango entre 10 a 30% y las desviaciones son muy altas.

Delta entre costos reales y predicciones basadas en interpolación

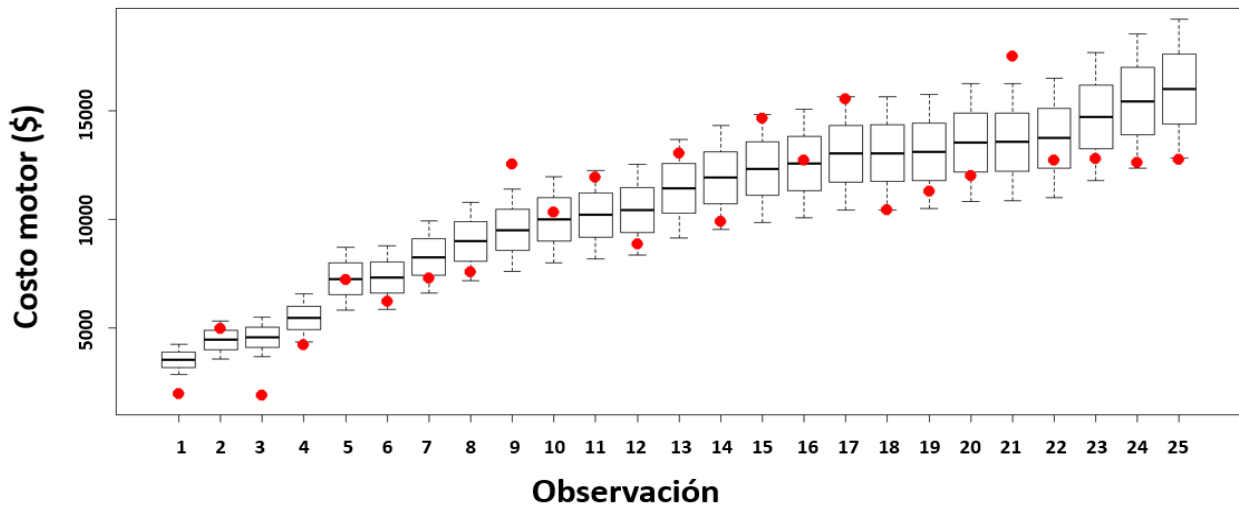


Fig. 44. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando interpolaciones.

Se evaluó el resultado general, los valores de cada subcategoría en cuanto a costo y porcentaje de error se pueden encontrar en la sección de anexos, tabla 5 y 6. Utilizando el desglose para realizar un análisis más profundo y obtener una guía de que se puede corregir o mantener; se puede observar que los resultados entre el rotor y el estator muestran varias diferencias, siendo que las predicciones en el estator presentan una mayor precisión, en el caso que únicamente se evaluaran los errores del estator, ninguna de las observaciones superaría el 30% de diferencia en comparación con el costo total, que es el punto más crítico, sin embargo de igual forma no podría ser considerado como un éxito debido a que ninguna observación se encuentra incluida en un rango de $\pm 10\%$, en el caso de evaluar únicamente el rotor existen cuatro predicciones dentro de las expectativas, pero existen diez casos que superan los valores críticos.

5.5.2 Regresión Lineal

Para el uso de la regresión lineal solo se presentaron cuatro casos con un rango aceptable de predicción dentro de los veinticinco motores existentes, en la figura 45 se pueden apreciar las observaciones exitosas y los fracasos, así como, el resultado más crítico con un margen de error del 40%, lo que representa un factor significativo por el cual una decisión pudiese ser tomada de manera equivocada. Se observa que veintitrés casos se encuentran en un rango entre el $\pm 20\%$, los dos casos restantes sobrepasan el límite para los picos establecidos, en este caso únicamente el peor caso supera el 30% del margen de error siendo el único caso, por lo que se puede tener en cuenta como un caso atípico que será detectable con algoritmos de aprendizaje autónomo o redes neuronales, no existen muchos picos o desviaciones sin embargo la precisión del modelo es cuestionable y necesitara ser comparada con los métodos restantes debido a que los aciertos representan muy poco porcentaje y la mayoría de las observaciones (76%) se encuentran en el rango que se tenía para valores atípicos de 20% de error.

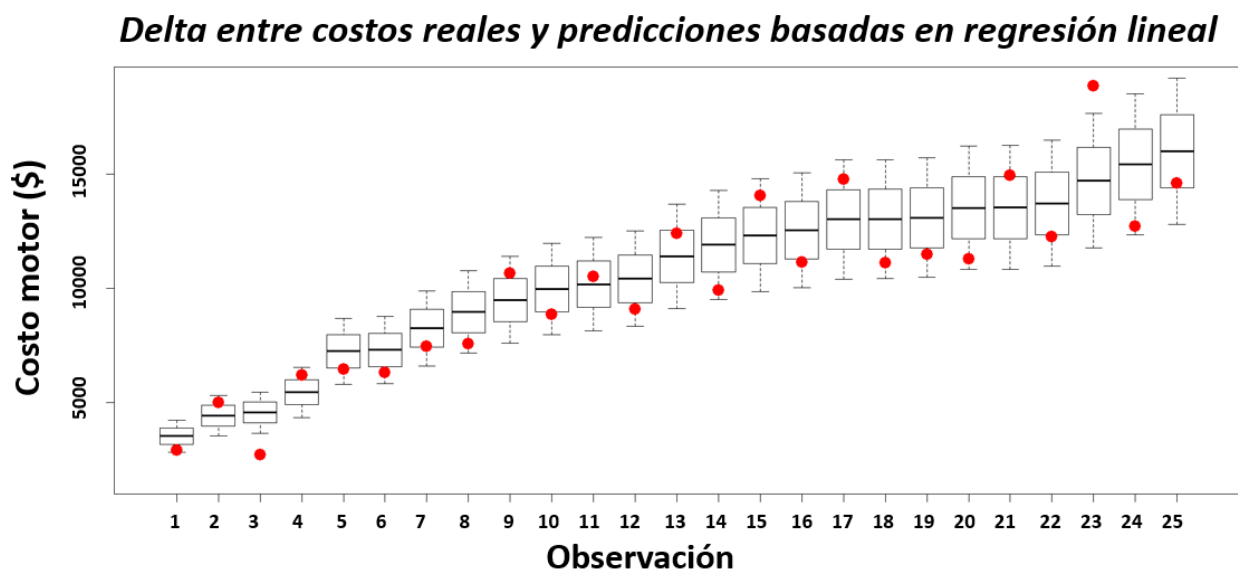


Fig. 45. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando regresión lineal.

Este método, aunque solo arrojó cuatro predicciones dentro del rango de $\pm 10\%$ las demás observaciones mantenían un patrón similar, lo que ayudo a que no existieran

muchos picos o desviaciones, lo que corrobora que existe una buena correlación y muestra que si se expande el criterio de aceptación a $\pm 15\%$ sería una buena opción para tomar en cuenta. En términos generales en el desglose (el cual se encuentra en la sección de anexos como tabla 7 y 8) muestra que los resultados entre el rotor y el estator no presentan tantas discrepancias y ambos se mantienen en un rango similar donde la mayoría no sobrepasa el 20%, sin embargo, si existen casos donde puede variar siendo el caso del estator pasa dos veces en la lista, pero no llegan a puntos críticos que afecten la decisión y en cambio el rotor supera dos veces, pero en estas ocasiones si tiene un error mayor al 30%.

5.5.3 Regresión Polinomial

El método de las predicciones utilizando un algoritmo de regresión polinomial únicamente se encontraron tres casos donde el rango se considera aceptable en la muestra de los veinticinco motores existentes. En la figura 46 se pueden apreciar las observaciones exitosas y los fracasos, así como, el resultado más crítico con un margen de error del 46.7%, lo que representa un factor significativo por el cual una decisión pudiese ser tomada de manera equivocada, se observa que diecinueve casos se encuentran en un rango entre el $\pm 20\%$, los seis casos restantes sobrepasan el límite para los picos establecidos, dentro de este grupo, únicamente el peor caso supera el 30% del margen de error siendo el único caso, por lo que se puede tener en cuenta como un caso atípico que será detectable con algoritmos de aprendizaje autónomo o redes neuronales, la cantidad de desviaciones o resultados atípicos se presenta con mayor frecuencia comparándolo con una regresión lineal, la precisión del modelo no es aceptable debido a que seis observaciones (24%) se encuentran con un delta superior a un 20% de error.

Delta entre costos reales y predicciones basadas en regresión polinomial

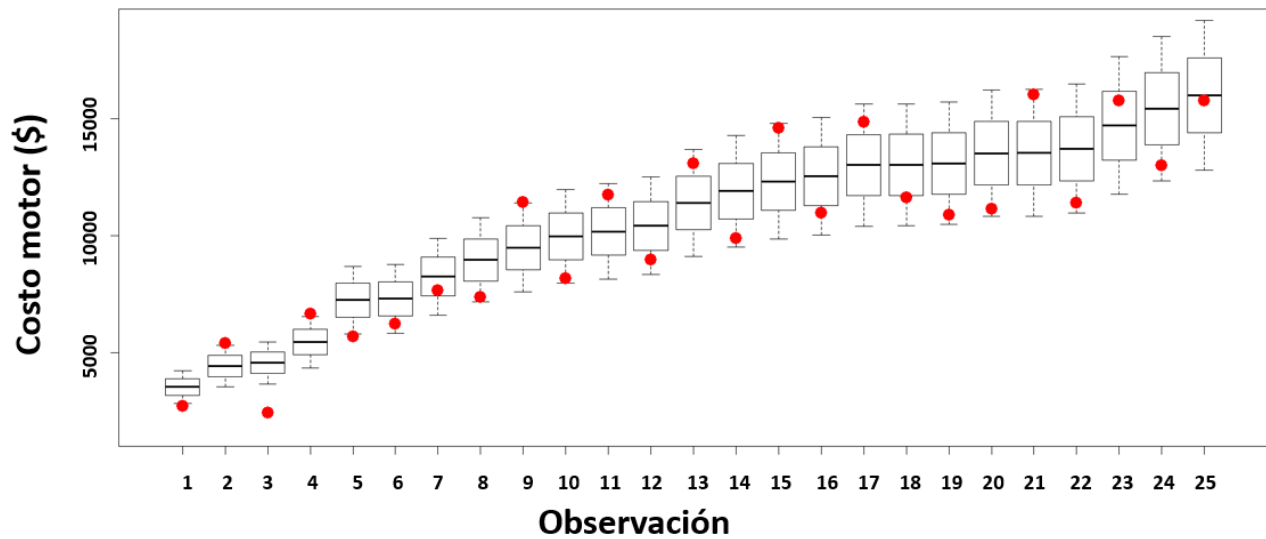


Fig. 46. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando regresión polinomial.

Este método aunque las hipótesis sugerían que tendría mayor potencial comparado con la regresión lineal no resultó ser cierto, si se contrastan ambos en cuanto a número de aciertos, rango de error, y los casos críticos en todos se puede observar que la regresión polinomial es una opción más pobre, esto puede ser debido a un sub-ajuste para que el modelo fuera más general o que las variables a en cada caso no fueron las mejores elecciones, de la misma manera que el método anterior las observaciones mantuvieron un patrón similar lo que ayudó a que disminuyera el número de picos o desviaciones, sin embargo para que este método pudiese ser considerado el margen de error tendría que elevarse a $\pm 20\%$ lo que ya no es posible debido a que existe un algoritmo con mejor precisión. Las diferencias entre los resultados del rotor y el estator ambos se mantienen en un rango similar donde la mayoría no sobrepasa el 20%, únicamente en dos ocasiones se rebasan los límites donde el rotor, al igual que en la regresión lineal, presenta un valor más exagerado que el estator.

5.5.4 K-Vecinos Cercanos

El algoritmo de aprendizaje autónomo K-Vecinos cercanos presentó una mejora significativa respecto a los tres métodos anteriores, donde veintiuno de los veinticinco casos se encuentran en un rango de error de $\pm 10\%$. En la figura 47 se pueden apreciar cuales fueron las observaciones exitosas y las que no cumplieron los requerimientos, igual que en las predicciones anteriores existe un caso atípico el cual presenta un resultado con un margen de error del 36%, exceptuando el peor resultado el resto de los valores que no entraron en el rango de aceptación (4) se encuentran con un delta menor a $\pm 20\%$, por lo que la precisión de este algoritmo a priori es aceptable, se necesita trabajar en una optimización del algoritmo o experimentar con las máquinas de soporte o redes neuronales de forma que no exista ningún valor fuera del rango propuesto o en el peor de los casos reducir el error de los casos atípicos.

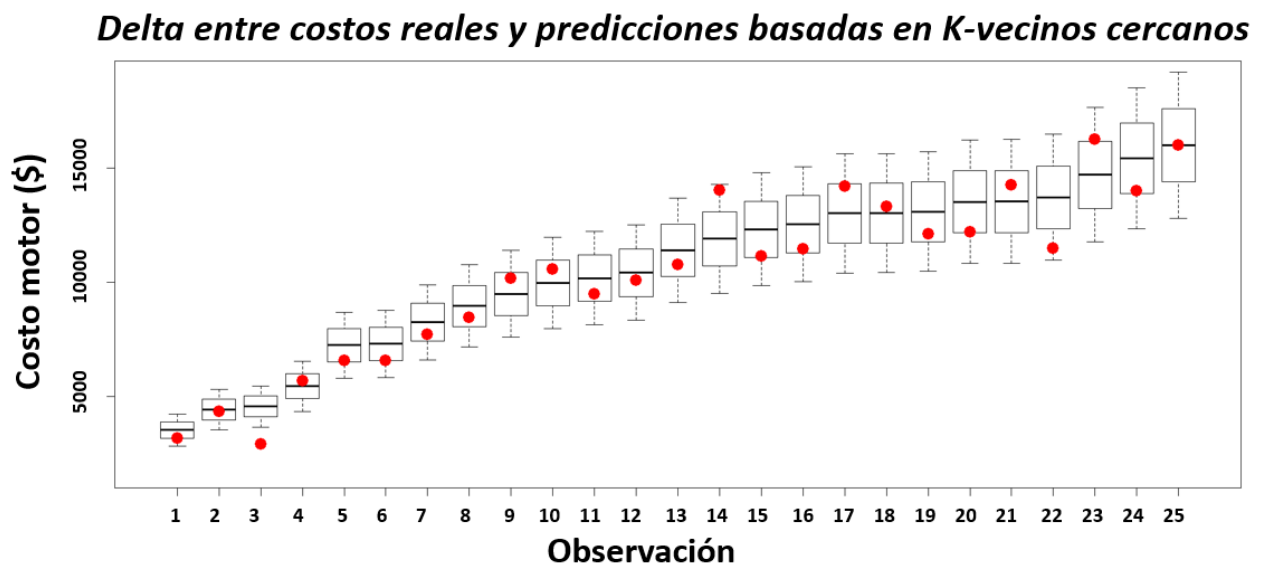


Fig. 47. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando K-vecinos cercanos.

El algoritmo resultó en su mayoría dentro del rango de $\pm 10\%$ las demás observaciones no se mantenían en un rango aceptable para los valores atípicos exceptuando a uno, sin embargo, la intención final es que aun los valores atípicos y nuevos motores puedan ser

predichos con alta confiabilidad. Analizando los porcentajes de error por componente, encontrados en las tablas 11 y 12, se observa que el estator es el que más cercano está a los valores existentes donde en este rubro y en el caso general únicamente existe una observación con mayor al 20%, en cambio el rotor es el que potencializa las desviaciones de los resultados donde cuatro observaciones están por encima del valor crítico aceptable. En todos los casos el factor que más pesa e influye en la precisión del algoritmo es el costo de material.

5.5.5 Máquinas de Vector Soporte

Este último algoritmo “Máquinas de vector soporte” muestra una mejora significativa en comparación a los algoritmos de interpolación, regresión lineal y polinomial, sin embargo, en todo el conjunto de datos de precisión es inferior al aprendizaje autónomo K-Vecinos cercanos, donde doce de los veinticinco casos se encuentran en un rango de error de +/- 10%. En la figura 49 se pueden apreciar cuales fueron las observaciones exitosas y las que no cumplieron los requerimientos, existe un caso atípico el cual presenta un resultado con un margen de error del 38.8% siendo esta misma observación un caso crítico en todos los cálculos presentados previamente, lo que confirma que es un factor atípico o existen datos que no se están tomando en cuenta. Existen dos valores por encima del punto crítico, y otros doce valores que no entraron en el rango de aceptación que se encuentran con un delta menor a +/-20%. Este algoritmo mostró que de optimizarse podría ser aceptable debido que la mayoría de las aproximaciones se cuentan con buenos resultados, sin embargo, ya existe un algoritmo previo con un margen de error menor, el enfoque será trabajar en las redes neuronales u optimizar los resultados del algoritmo KNN, por lo que este será descartado. En la tabla 13 y 14 se puede observar el porcentaje de error en el precio total y su desglose por componente.

Delta entre costos reales y predicciones basadas en Máquinas de Vector Soporte

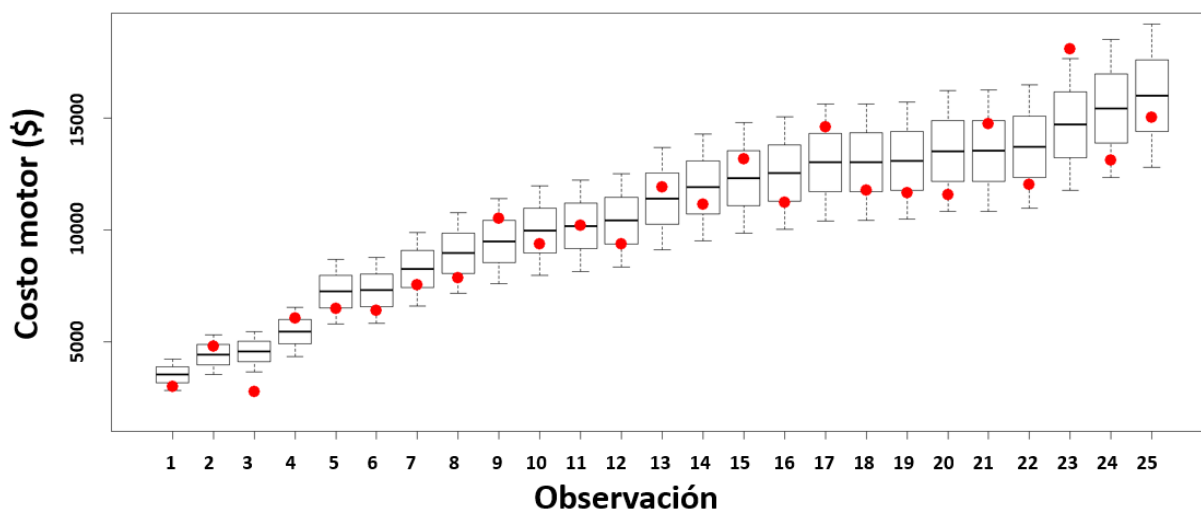


Fig. 49. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando máquinas de vector soporte.

Este método mostró ser un punto medio entre los algoritmos lineales y los de clasificación (siendo este uno de ellos), comparte la misma tendencia que el algoritmo anterior donde los valores generales y los del estator están más acercados a la realidad con solo un valor crítico, de igual forma el rotor en especial su costo de material está potencializando el error en el resultado general.

Ya que se conocen los resultados de los 5 modelos matemáticos se obtienen las siguientes conclusiones que se aplicarán para los siguientes pasos:

- En este punto ninguno de los algoritmos actuales es 100% aceptable, para ser viables se tendrían que refinar, lo que podría causar un sobre entrenamiento, modificar el objetivo, u optar por otra metodología para determinar los costos como son las redes neuronales. Resumen de los resultados y criterios de aceptación mostrado en la tabla 1.
- Entre los dos subensambles, el costo del rotor es donde el margen de error se eleva por lo que afecta al resultado total, para evitarlo, en este parámetro se necesita reevaluar las variables y optimizar su forma de cálculo.

- Existe un resultado crítico (primera observación) que en cualquier modelo matemático genera un alto margen de error, fuera de los rangos estándares de cada método, el objetivo será bajar el error mas no forzarlo a entrar en el rango aceptable para evitar que el modelo genere una curva específica conforme a los valores actuales y no se adapte a casos no vistos anteriormente.
- Un cálculo lineal puede mantener un rango constante mas no uno cercano a los objetivos propuestos de +/-10%, por lo que es indispensable agregar la capacidad de clasificación al algoritmo final, por lo que utilizará inteligencia artificial ya sea en forma de condicionales, aprendizaje autónomo o redes neuronales.
- De los tres tipos de costos, el del material es el factor que requiere más cuidado debido a que los otros dos no tienen tanta variación, además esta es la cantidad más alta por lo que tiene mayor peso en la ecuación del costo total.

Resumen de los resultados y criterios de aceptación de los diferentes algoritmos				
Algoritmo	Observaciones dentro de 10% de error	Caso con mayor error	Margen de error aceptable	Observaciones dentro del nuevo margen propuesto
Interpolación	5	58.70%	25%	22
Regresión Lineal	4	40%	15%	18
Regresión Polinomial	3	46.70%	20%	19
K-Vecino Cercanos	21	36%	12%	22
Máquinas de Vector Soporte	12	38.80%	15%	22

Tabla 1. Comparativa de los resultados entre los diferentes algoritmos.

6. Resultados

6.1. Algoritmo

En base a los resultados de los métodos predictivos mostrados en el capítulo anterior fue necesario implementar un nuevo modelo matemático para los pronósticos de los costos del ensamble y componentes, tomando en cuenta los puntos a mejorar, así como los aciertos respectivos se trabajó en un algoritmo que emplea redes neuronales, las cuales captaron y aprovecharon las conclusiones previas, tomando en cuenta las diferentes bondades de cada intento se ejecutaron varios árboles de decisiones para dar los pesos relativos a cada nodo y así obtener los valores finales.

El algoritmo consta de cinco capas como se muestra en la figura 50, las cuales se dividen en la capa de inicio o entrada, la capa de salida y tres ocultas, aquí es donde se encuentran las combinaciones de nodos con sus respectivas funciones de activación que procesan la información. La primera capa como dice su nombre los nodos de entrada, son los datos necesarios que necesita el programa para alimentar el algoritmo, para este proyecto en particular se decidió que fueran las siguientes variables: longitud total del rotor, diámetro de laminación de rotor, tipo estructural de la flecha (sólida o hueca), material de la flecha, longitud total del estator, diámetro exterior del motor eléctrico, elementos del cableado, los cuales incluye el número de embobinados, de alambres y vueltas así como el calibre del cable, fuera de las características geométricas o físicas se piden el tipo de conexión (axial/radial), clasificación de la demanda del producto, método de enfriamiento y por último proveedor de preferencia.

Aunque en todas las capas se emplean funciones de activación las cuales detectan patrones, realizan cálculos y brindan la información para la siguiente capa, en cada subsección se tiene un propósito en particular. En la primer capa oculta, denominada detección de patrones, su función principal es clasificar los diferentes tipos de variables y su dependencia, es decir, toma decisiones según detecte los conceptos y organiza las

diferentes combinaciones, en este caso se toma más peso por las variables que no son numéricas como son la demanda, el proveedor seleccionado, la estructura de la flecha y el método de enfriamiento, debido a estas características las funciones de activación que predominan son la unidad rectificadora lineal y escalón.

Respecto a la segunda capa oculta, se denomina cálculos, como menciona su nombre en esta sección de nodos lo que se realiza son las diferentes relaciones numéricas respecto a las clasificaciones resultantes de la capa anterior, las funciones de activación empleadas en este caso son en su mayoría lineal, sin embargo, debido a que en ciertos parámetros como son la cantidad de aislantes, tornillería y otros accesorios no se comportan de manera lineal, si no que presentan patrones semejantes a condicionales, máximos/mínimos o valores con relaciones basados en tablas e interpolaciones estos nodos utilizan la función sigmoide.

La tercer capa oculta, se denomina reconfiguración, existe para corregir los valores que se predijeron cuando existan parámetros fuera de los estándares, es decir, el algoritmo tiene la capacidad de establecer la geometría ideal de las laminaciones a partir de un diámetro y longitud, sin embargo, es posible definir la geometría verdadera, lo cual afectara diversas variables como el peso, cantidad de aislantes y relación con el componente a ensamblar cambiando los costos estimados, además de sobrescribir la geometría el algoritmo permite la entrada al usuario de datos de precios actuales con el fin de corregir o añadir la inflación a los precios con los que se entrenó el algoritmo, la función de activación predominante es unidad rectificadora lineal, esto debido a que si el valor se mantiene constante no presentará ningún cambio.

La capa de salida, la cual devuelve todos los resultados, no es solo un nodo, sino que además de entregar el precio total del rotor de forma visible, desglosa todos los costos de los componentes, es decir cuanto afecta un componente en un subensamble, así como cuanto afecta un tipo de costo respecto a los demás, los cuales se pueden observar en formas de gráficas circulares, además de que arroja valores idealizados de como

deberían ser las dimensiones de la carcasa y la flecha, igual presenta el peso de ambos componentes, esto con el fin de mantener noción sobre las dimensiones extras y confirmar si el análisis es viable fuera del tema de costos.

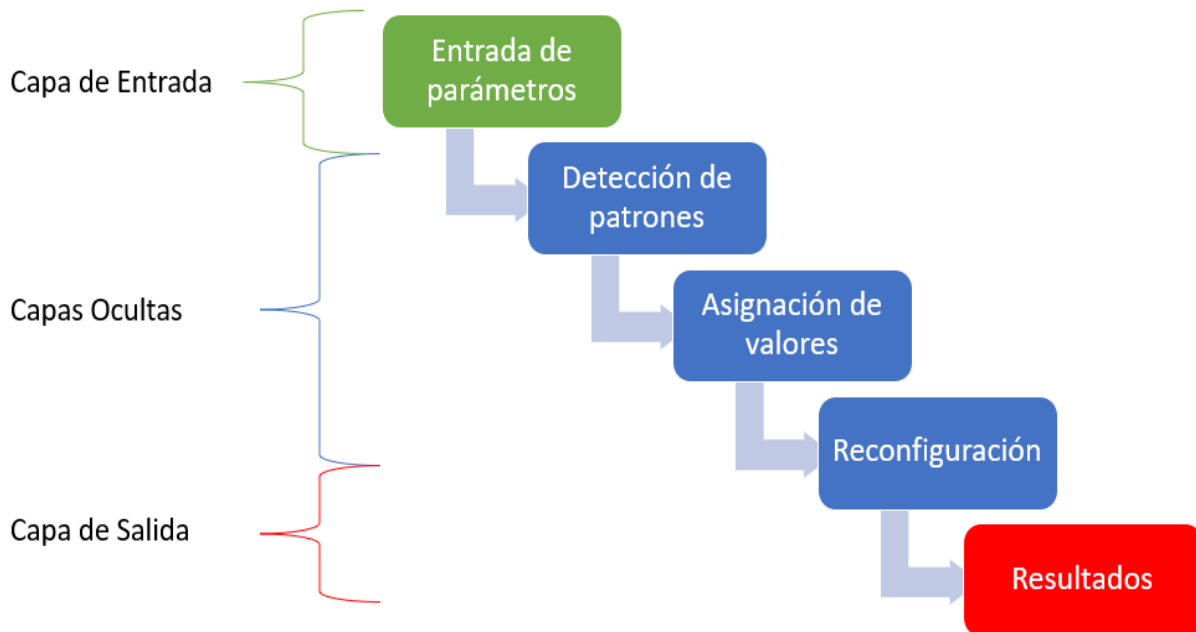


Fig. 50. Flujo de trabajo propuesto para el algoritmo.

Las redes neuronales al igual que los algoritmos de aprendizaje autónomo requieren de un entrenamiento para asignar los pesos relativos a cada nodo de forma que puedan procesar e interpretar los datos para obtener el resultado con un error minimizado respecto a los datos que se encuentran a su disposición. Consta de cinco partes.

Clasificación y estructura de datos

Debido al tamaño de la base de datos se dividirá en cuatro subgrupos de ocho observaciones cada uno, los cuales se formarán de forma aleatoria y no excluyente, esto para poder realizar varios entrenamientos con la metodología de validación cruzada, el tamaño propuesto evita tener muestras muy pequeñas pero significativas de los parámetros, con el fin de eliminar la varianza entre los resultados de cada división, se

compararán las diferentes secciones, se eliminan picos y se obtiene un patrón más general lo que permite predecir valores que no se encuentren actualmente en la base.

Propagación hacia Adelante

En esta etapa del entrenamiento los diferentes nodos de cada capa calculan y clasifican las etiquetas según los datos proporcionados, después el mismo modelo compara los valores reales contra los valores propuestos, en esta etapa es de suma importancia que las clasificaciones sean correctas debido a que los siguientes cálculos dependen de los valores booleanos de nuestro modelo (demanda, proveedor, material).

Función de Pérdida

Se calcula el error entre los valores propuestos por los nodos y los datos reales, una vez que se obtiene la discrepancia entre ambos resultados, esta función adecua el modelo que se obtuvo en el paso anterior con el fin de que se adapte a la base de datos mediante una constante en cada nodo, para encontrar su valor se evalúa los parámetros del modelo y se busca un valor que minimice el error en todas las ocasiones, en este caso se utilizará el método de distancia media cuadrática mínima, sin embargo existen otros métodos los cuales pueden ser empleados como la Entropía cruzada ^[44] y la Pérdida de Huber ^[45].

Retro propagación

En este paso se corrigen los errores de la red neuronal es decir se combina la función de pérdida con los valores propagación hacia delante de los pasos anteriores, se actualizan los valores predictivos de la red neuronal y se le asigna a cada nodo un peso relativo respecto a lo que afectará en la entrada respecto al siguiente nodo.

Optimización

En este último paso se vuelven a evaluar los resultados que arroja el modelo contra los valores reales de la base de datos, de forma que se volverá a generar una función de pérdida y actualizará las etiquetas de cada nodo, debido a que siempre existirá un error la optimización se detendrá hasta que se cumplan los criterios establecido o se llegue a un punto de tiempo esto es, se establecen iteraciones máximas o porcentajes de error aceptables para dar por terminado un modelo, para este proyecto se probará con tres diferentes criterios, los cuales se especificaron que convergiera después de varias iteraciones, la selección de la cantidad de nodos se basa en el tamaño de la base de datos y las referencias de otros proyectos similares como fue el análisis de Villada [67] en el pronóstico de mercado de valores con redes neuronales, donde se puede asumir como una cantidad baja de nodos cualquiera menor a diez, una cantidad intermedia un rango de diez a veinte y una cantidad alta, la cual que representa un mayor poder de cálculo sin mejoras significativas superior a los veinte nodos, se seleccionó un número de cada subcategoría al azar para hacer los estudios, los cuales resultaron ser siete, doce y veinticinco respectivamente, no se utilizará un porcentaje de error en la optimización para garantizar que el algoritmo sea general y mantenga capacidad predictiva con el mismo margen de error en los casos fuera del conjunto de entrenamiento, tampoco se investigará con número mayor de iteraciones o nodos como criterio de convergencia debido al tamaño de la base de datos.

6.2. Pronósticos

6.2.1. Arquitectura de nodos baja

En el primer caso de redes neuronales se utilizó un entrenamiento que constaba de siete nodos en cada grupo de datos, presentó una mejoría en la predicción de los casos atípicos, siendo que ningún valor difirió a una cantidad de 15%, siendo esta menor a los límites propuestos en los experimentos pasados, sin embargo, en cuanto a la capacidad predictiva únicamente dieciocho de los veinticinco casos se encuentran en el rango propuesto de $\pm 10\%$, lo cual significa un retroceso respecto al modelo de K-Vecinos cercanos, en la figura 51 se pueden apreciar cuales fueron las observaciones exitosas y las que no cumplieron los requerimientos. Cabe destacar que la observación que causaba mayor discrepancia bajó a tan solo 14.5% lo que representa un gran avance debido a que los métodos anteriores el mejor caso daba un valor de 36% de error. En la tabla 15 y tabla 16 se puede observar el porcentaje de error en el precio total y su desglose por componente, la precisión de este algoritmo no es aceptable, se necesita trabajar en una optimización del algoritmo, es decir agregar mayor número de optimizaciones para reducir los errores hasta que se encuentren en los rangos aceptables.

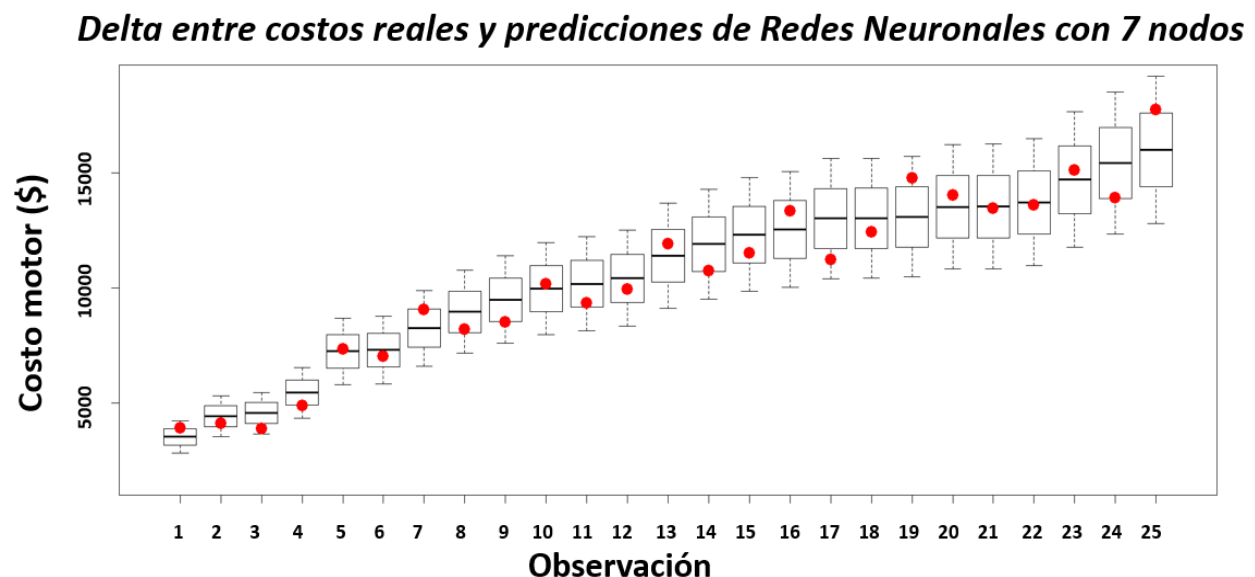


Fig. 51. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando algoritmos de redes neuronales con siete nodos.

La predicción entre rotor y estator tuvo diferencias significativas siendo que en el estator seis casos sobrepasaron el límite propuesto, en el caso del rotor nueve casos, nuevamente el rotor presenta mayor dificultad para aproximar los resultados, es destacable que en varios casos si alguno de estos elementos en particular rebasaba el límite el otro componente se mantenía en un rango aceptable lo cual hace que en la sumatoria se disminuya el error, en la tabla de entrenamiento ayuda a mantener la tendencia aunque también indica que existen áreas de oportunidad a corregir antes de probar con datos fuera de la base de datos donde ambos errores se pueden combinar y crear un escenario donde los resultados no sean válidos.

La capacidad predictiva del algoritmo de redes neuronales con baja cantidad de nodos, resulto estar debajo de las expectativas, se espera que el aumento de la cantidad de nodos se obtengan mejoras en la suavización de desviaciones y disminución en los errores en general.

6.2.2. Arquitectura de nodos media

El segundo caso de redes neuronales se utilizó un entrenamiento que consta de doce nodos en cada grupo de datos, los resultados mostrados en la figura 52, demuestran que el número de iteraciones aumento la precisión del algoritmo y que si se compara con los métodos anteriores los supera en funcionalidad, supone una precisión que cumple el rango propuesto ya que veinticuatro de los veinticinco casos se encuentran exitosamente en la zona de $\pm 10\%$. En la tabla 17 y tabla 18 se puede observar el costo así como el porcentaje de error desglosado por componente, la precisión de este algoritmo es aceptable, aunque exista un valor que no cumpla las expectativas este no presenta un desfase considerable, la siguiente arquitectura de nodos (alta) podrá responder la pregunta: ¿optimizar más el modelo generará un algoritmo que solo copie los resultados de la base de datos?

Delta entre costos reales y predicciones de Redes Neuronales con 12 Nodos

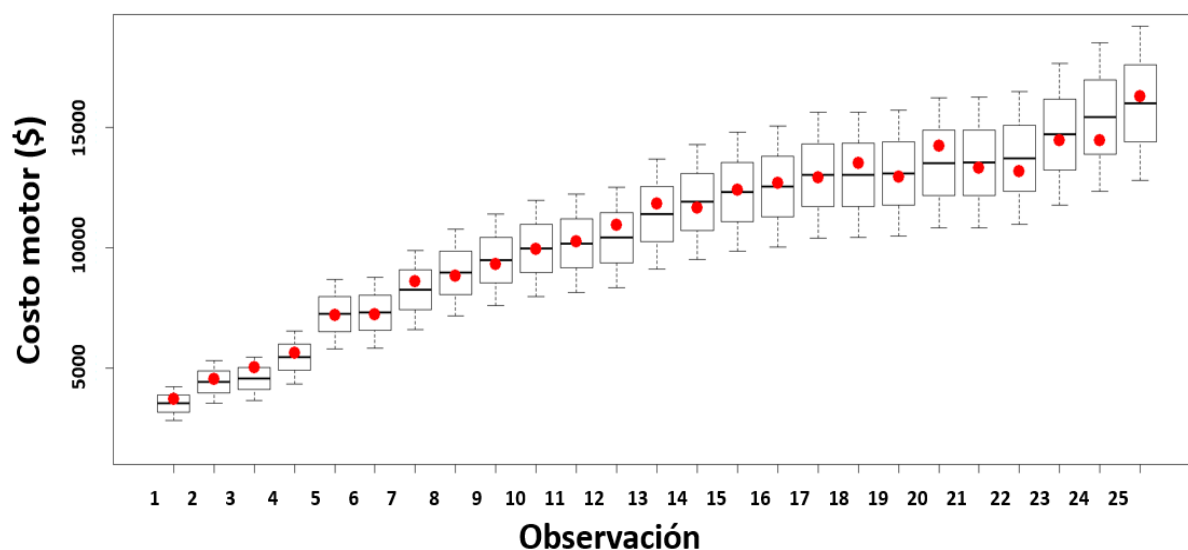


Fig. 52. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando algoritmos de redes neuronales con doce nodos.

Analizando las diferencias entre rotor y estator el efecto mencionado en el primer caso de redes neuronales se intensificó, presenta una condición donde la precisión del motor eléctrico en su conjunto es mayor que en comparación al rotor/estator por separado esto sucede debido a que uno de los componentes está siendo pronosticado más caro de lo real mientras que el otro más barato, al hacer la sumatoria de ambos para el costo total un componente "barato" y uno "caro" tienden a compensar las discrepancias, esto puede representar un problema para observaciones que no se encuentren actualmente en la base de datos al acumular errores, por el momento si alguno de los dos componentes superar el rango se considerará como despreciable, se observará esta tendencia cuando se experimente con motores eléctricos fuera de la base de datos para determinar si es válido o no.

6.2.3. Arquitectura de nodos alta

En el tercer y último caso de experimentación con redes neuronales se utilizó un modelo que consta de veinticinco nodos en cada grupo de datos, los resultados mostrados en la figura 53, muestran que la precisión siguió aumentando con el número de iteraciones, sin embargo, en porcentaje no representó un cambio exponencial comparado con el modelo anterior. En este caso todas las observaciones se pronosticaron exitosamente siendo remarcable que veintidós de los veinticinco resultados se encontraron por debajo del $\pm 5\%$. Los desgloses por componente se muestran en la tabla 19 y en la tabla 20, la precisión de este algoritmo es aceptable, no se necesita optimizarlo más, de hecho, el que todas las observaciones incluidos los casos atípicos muestren un porcentaje de error tan pequeño son indicios de que el algoritmo ya contiene sobre entrenamiento, lo cual deberá ser comprobado con observaciones externas para garantizar su correcto funcionamiento.

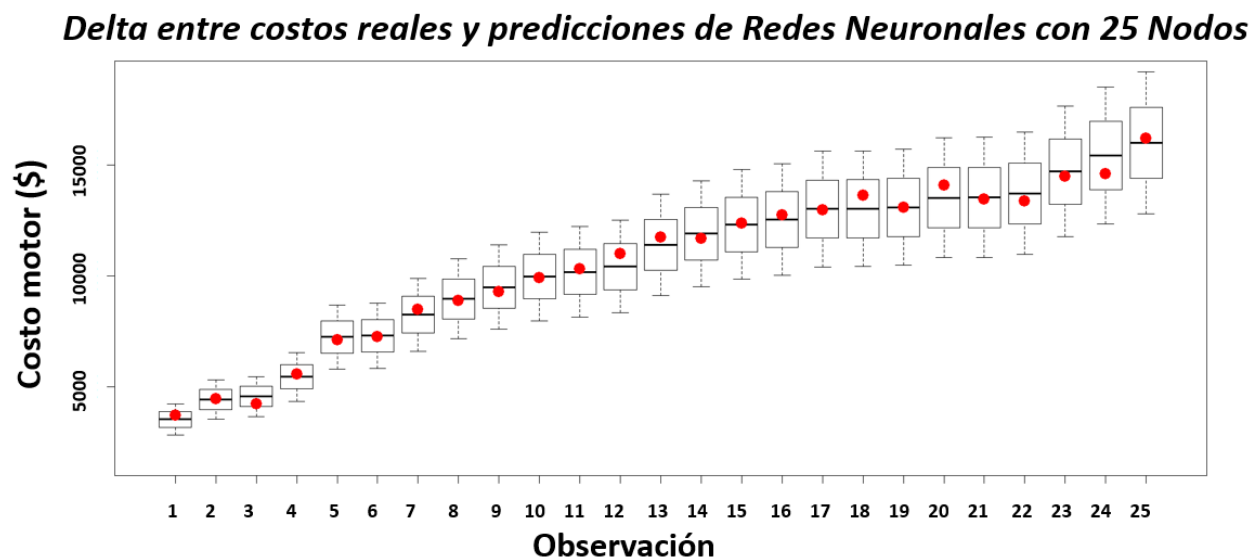


Fig. 53. Gráficos de precisión en la predicción de los costos empleando algoritmos de redes neuronales con veinticinco nodos.

El desfase entre rotor y estator se corrigió, aunque la precisión varía entre los componentes y no presentan los mismos valores si puede decirse estadísticamente que se encuentran en el mismo percentil, lo notable en los tres casos de redes neuronales

es que los costos variables y fijos mantienen un margen de error elevado respecto al costo de material, lo cual era el caso contrario en los métodos anteriores, sin embargo al ser el costo de material lo que más afecta en el resultado final, estos resultados son despreciables.

Entre los tres entrenamientos con los que se experimentaron, el seleccionado para ser adaptado a la interfaz gráfica es el de iteraciones nivel medio, debido a que mantuvo el rango propuesto y es un modelo robusto para datos externos. Para la prueba de cotizaciones externas a la base de datos también se mostrarán las predicciones del nivel de nodo alta para contrastar ambos algoritmos.

6.3. Datos nuevos

Se solicitaron cinco cotizaciones de motores eléctricos que no se encontraban en la base de datos con la cual se entrenó el modelo, estos son parte de proyectos en espera a ser evaluados para su implementación, con el fin de comprobar el alcance de las redes neuronales, las entradas que se ingresarán en la interfaz gráfica para alimentar el algoritmo de estos nuevos motores eléctricos se encuentran dentro de los rangos establecidos en la base de datos, las características principales de cada cotización se pueden observar en la tabla 2, las longitudes de estator van desde los 250 hasta los 352 milímetros, el diámetro del núcleo del estator va desde los 420 hasta los 533 milímetros, todos los proyectos enviados a cotizar cuentan con doce embobinados cada uno, por lo que la geometría del núcleo está normalizada y emplea los valores predeterminados por la interfaz gráfica, existen ambos tipos de conexión: radial y axial. El valor del número de cables se mantiene en un rango de siete a trece, el calibre en referencia AWG, fue de dieciséis con excepción a una observación, siendo esta de quince, el número de vueltas presenta un rango de veintisiete a cincuenta y uno, la longitud media de vuelta se vio relacionada a la longitud del estator, los valores van desde 550 a 1196 milímetros. Por último, se presentaron ambos casos de demandas: alta y baja. Con estas combinaciones de datos, aunque sean pocos los modelos de prueba contienen gran variedad de los

parámetros a usar por lo que son concluyentes a la hora de determinar si el algoritmo es funcional o debe desecharse.

Características motores eléctricos cotizados					
Característica	Cotización 1	Cotización 2	Cotización 3	Cotización 4	Cotización 5
Longitud Estator (mm)	352	265	290	250	275
Diámetro Estator (mm)	533	420	533	420	420
Embobinados	12	12	12	12	12
Tipo de Conexion	Axial	Radial	Radial	Axial	Axial
Número de cables	11	7	10	8	13
Calibre (AWG)	16	16	16	15	16
Número de vueltas	39	51	35	44	27
Longitud media de vuelta	1196	550	975	1010	950
Demanda	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabla 2. Características de principales de los motores eléctricos enviados a cotización.

En el caso de los costos, las cotizaciones enviadas por el proveedor se muestran en la tabla 3, cuatro de las cinco cotizaciones se encuentran dentro de los puntos mínimo y máximo de los costos de la base de datos por lo que al algoritmo no le debería suponer ningún problema mantener la precisión en estas observaciones si fue entrenado correctamente. La observación fuera de los límites conocidos posee un precio mayor en un 6% al límite superior de la base de datos, esta observación es crítica en la determinación de la flexibilidad y robustez de las redes neuronales. El rotor tiene un peso de importancia relativo de 14% hasta 25% del costo total del motor eléctrico, manteniendo la misma relación en los precios encontrado en la base de datos, el costo del material presenta un peso de importancia relativo del 48% hasta 69% del costo total del motor eléctrico, manteniéndose este como el de mayor influencia en el costo total.

Cotizaciones Actuales								
Rotor Actual				Estator Actual				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,367	\$ 1,916	\$ 267	\$ 184	\$ 14,563	\$ 9,519	\$ 1,615	\$ 3,428	\$ 16,930
\$ 1,045	\$ 714	\$ 157	\$ 173	\$ 4,668	\$ 2,042	\$ 856	\$ 1,770	\$ 5,713
\$ 2,142	\$ 1,733	\$ 229	\$ 180	\$ 11,408	\$ 7,633	\$ 1,326	\$ 2,449	\$ 13,550
\$ 1,460	\$ 1,098	\$ 183	\$ 178	\$ 5,824	\$ 3,098	\$ 1,350	\$ 1,376	\$ 7,284
\$ 1,545	\$ 1,209	\$ 185	\$ 151	\$ 6,509	\$ 3,152	\$ 1,228	\$ 2,129	\$ 8,054

Tabla 3. Costos presentados en las cotizaciones de los motores eléctricos enviadas.

En la prueba del algoritmo de redes neuronales que utiliza doce nodos, las cinco predicciones respecto a las cotizaciones enviadas se encontraron dentro del margen de error propuesto en la hipótesis de $\pm 10\%$, incluyendo la observación que estaba por encima de los límites superiores de la base de datos, como se puede ver en la figura 54, siendo el peor caso un 8.2% superior al costo total. La precisión del algoritmo comparando los datos nuevos contra los datos de entrenamiento se vio afectada, en promedio el entrenamiento tenía un error alrededor del 4% en el caso de las cotizaciones se presenta un error aproximado de 6%, al ser un cambio relativamente pequeño y que se mantiene dentro de la zona aceptable se puede considerar despreciable por lo que no se requerirá refinar el modelo. El desglose de predicciones de costos entre rotor y estator se puede observar en la tabla 21 y 22 en el anexo.

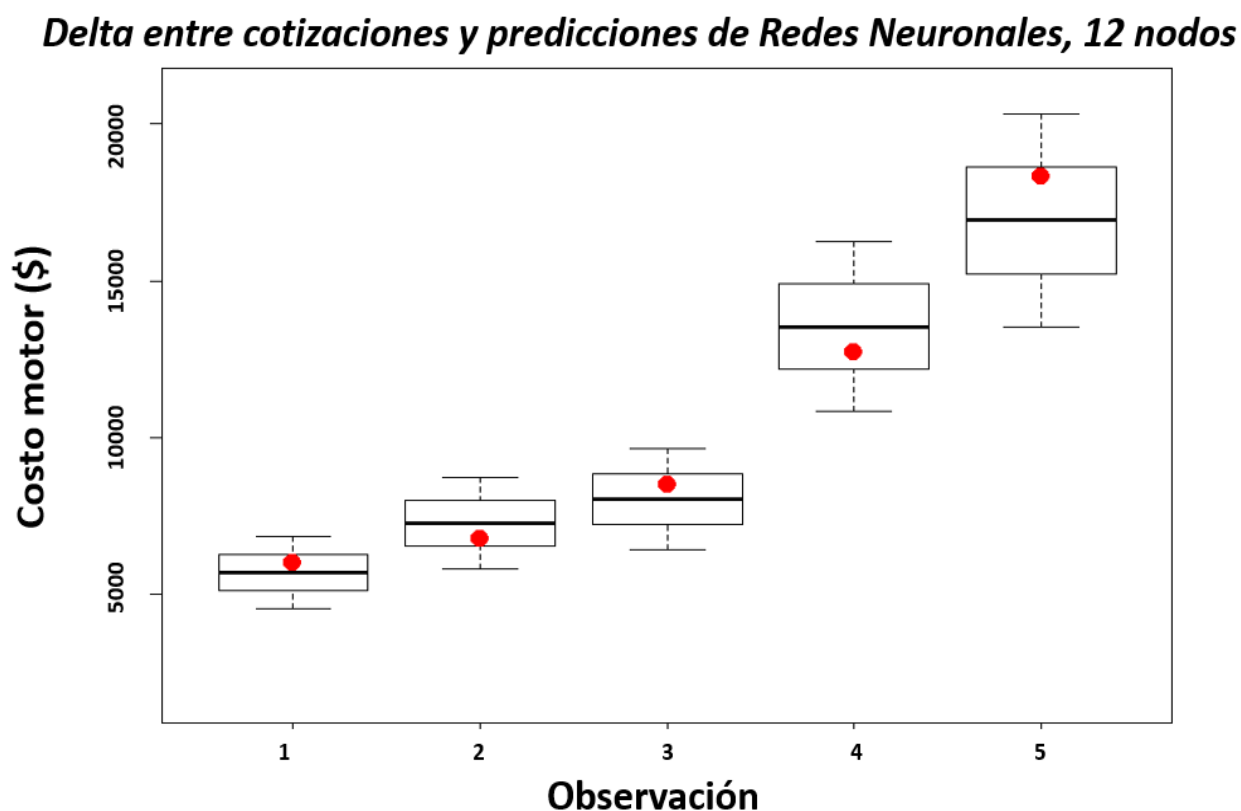


Fig. 54. Gráficos de precisión respecto a las cotizaciones empleando algoritmos de redes neuronales con doce nodos.

Comparando los porcentajes de error, el algoritmo presenta el mismo vicio mostrado en el entrenamiento y en los modelos matemáticos pasados, donde el rotor está más cerca de los límites aceptables en comparación con el estator, siendo el caso de ambos ensambles un margen de error promedio aproximado de 7.5% y 6% respectivamente. Los costos de los materiales son los que mayor efecto tienen sobre el costo total, se encontró con un error de 7% en el caso del rotor y de 6.4% en el estator en promedio. El costo variable es el de menor impacto al final de la sumatoria, sin embargo, para el estator este rubro fue el más próximo al resultado real, con un promedio de error cercano al 3.5%, comparado con el rotor de un promedio de 8%. Por último, el costo fijo es donde se presenta el mayor desfase, el rotor presenta un desvío del 8% en promedio mientras que en el estator 7.3%. Cabe destacar que todos los resultados individuales y en su conjunto cumplieron las condiciones de precisión y manteniéndose dentro de los límites del $\pm 10\%$ de tolerancia.

Con los datos mostrados donde el modelo cumple los requerimientos en el global, en lo individual y no necesita un refinamiento, se puede concluir y confirmar que el algoritmo de redes neuronales con 12 nodos cuenta con una precisión aceptable, y es adecuado para su uso en predicciones de los nuevos proyectos de motores eléctricos a desarrollar, por lo cual se puede proseguir el proceso de implementación a producción ya que la tendencia de los costos se marca de la forma correcta y tomar las decisiones de cuáles son los productos con mejor costo-beneficio por diseñar.

Como forma de comparación se evaluaron los resultados del algoritmo de redes neuronales que utiliza veinticinco nodos, las cinco predicciones respecto a las cotizaciones enviadas incrementaron considerablemente el margen de error, siendo que solo tres de las cinco observaciones se mantuvieran en los rangos de $\pm 10\%$, la observación fuera de los límites de la base de entrenamiento fue la que obtuvo el margen de error más alto con un 12.9% de costo superior al entregado en la cotización, la precisión del algoritmo se puede apreciar en la figura 55, si se comparan los resultados de los datos nuevos contra los datos del grupo de entrenamiento se dispara el error

promedio, siendo que tenía un error promedio aproximado de 3% pero en la prueba con las cotizaciones se elevó hasta llegar a un 9.5%, lo que indica que efectivamente con esta cantidad de nodos se sobreentrena el modelo, por lo cual no puede ser un algoritmo aceptable. El desglose de predicciones entre rotor y estator se puede observar en la tabla 23 y el porcentaje de error en la tabla 24.

Delta entre cotizaciones y predicciones de Redes Neuronales, 25 nodos

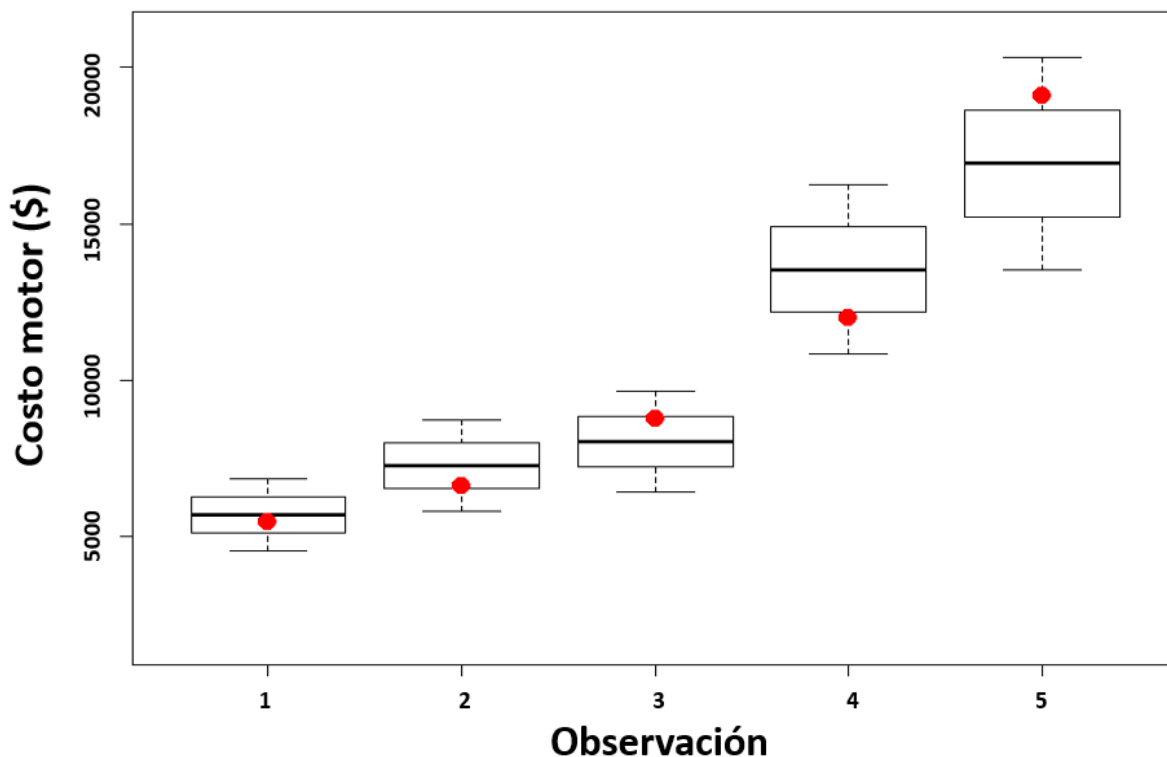


Fig. 55. Gráficos de precisión respecto a las cotizaciones empleando algoritmos de redes neuronales con veinticinco nodos.

En lo que respecta a los porcentajes de error en cada ensamble, las redes neuronales no presentaron una clara tendencia sobre cual producto tenía mayor dificultad al ser pronosticado ya que el rotor tuvo un error promedio de 9.5% mientras que el estator de 10%. El costo de los materiales es el que mayor efecto tiene sobre el costo total, se encontró que en el rotor este fue el rubro con mayor margen de error siendo en promedio de 9.7%, en el caso del estator presento un error promedio aproximado de 10.4%, este

valor por sí solo supera el criterio de aceptación propuesto. El costo variable, siendo el de menor impacto al final de la sumatoria, obtuvo el resultado más próximo al real cotizado para ambos componentes, con un promedio de error cercano al 8.5% para el rotor y un promedio de 7.2% para el estator. Por último, el costo fijo del rotor presenta un desvío del 9.5% en promedio mientras que en el estator 10.6%, siendo el mismo caso que en el material, el valor individual supera el margen de error requerido para el proyecto.

Con los resultados mostrados se concluye que el modelo de 25 nodos no puede ser utilizado en producción, aunque tenga un error tolerable en comparación con otros modelos matemáticos su comportamiento no es robusto y fuera del espacio de datos obtenido su error crece de forma exponencial, por lo que el algoritmo que se utilizará en el futuro e integrará directo a la interfaz gráfica son las redes neuronales con 12 nodos.

6.4. Resultados individuales

El algoritmo de redes neuronales para los costos de material, realiza el pronóstico de cada componente usado en los dos ensambles, para las variables calcula las cuatro principales actividades que son: logística, recepción, mano de obra y manufactura, cuando obtiene los valores individuales realiza una sumatoria que son los resultados arrojados en los capítulos previos, la interfaz gráfica presenta la capacidad de mostrar los costos individuales así como su peso relativo en el costo total, mostrados en cuatro diferentes gráficas, los costos de material respecto al estator, los costos variables respecto al estator, los costos de material respecto al rotor y los costos variables respecto al rotor.

En este capítulo se discutirá como afectó cada variable en el resultado final, también servirá de ayuda para concluir patrones, importancia de los elementos, simetrías o si algún elemento compensa a otros, para esto se analizarán los costos obtenidos con los datos de las nuevas cotizaciones.

En la primera cotización, se puede observar el desglose del estator en la figura 56, donde la carcasa tuvo el mayor impacto dentro de todo el ensamble con \$5,725.29 dólares lo que representa un 60.14% del costo total de los materiales, seguido del núcleo con \$2,085.38 dólares lo que representa un 21.91% del material, el cableado también tiene un valor significativo en el total teniendo un costo de \$1,360.16 dólares que significa el 14.29%, el resto de los componentes podrían considerarse insignificantes siendo que la resina, los revestimientos, las mangas, la cinta aislante, las terminales y el aislante de soporte representan el 1.14%, 0.75%, 0.68%, 0.53% 0.49% y 0.08% respectivamente lo que en conjunto sería un 3.67%, indicando que los aislantes y conexiones presentan limitado rango de optimización. Respecto a sus costes variables la logística fue el menor cargo, con \$114.66 dólares lo que representa un 7.1%, los tres restantes: recepción mano de obra y manufactura tuvieron resultados similares con \$362.42 dólares o 22.4%, \$558.72 o 34.6% y \$579.54 o 35.9% respectivamente.

En el caso del rotor, los desgloses se pueden apreciar en la figura 57, los dos componentes que tienen mayor impacto en el ensamble son la flecha y el núcleo, mostrando un costo de \$461.31 dólares lo que representa un 24.1% del total del material y \$1308.16 dólares o 68.3% respectivamente, los platos finales ocupan el 6% del costo lo que es igual a \$115.08 dólares, una cantidad pequeña mas no despreciable, el dispersor y difusor ocuparon el 0.5% y 1.1% respectivamente, siendo que ambos juntos no alcanzan el 2% no son significativos para el resultado final. Los costos variables tienen una distribución más uniforme, la mano de obra ocupa el 34.2% (\$91.26 dólares) de los costos, recepción y mano de obra representan el 22.9% y 27.6% respectivamente, el costo con menor influencia es la logística siendo de 40.98 dólares por rotor siendo esto un 15.3%.

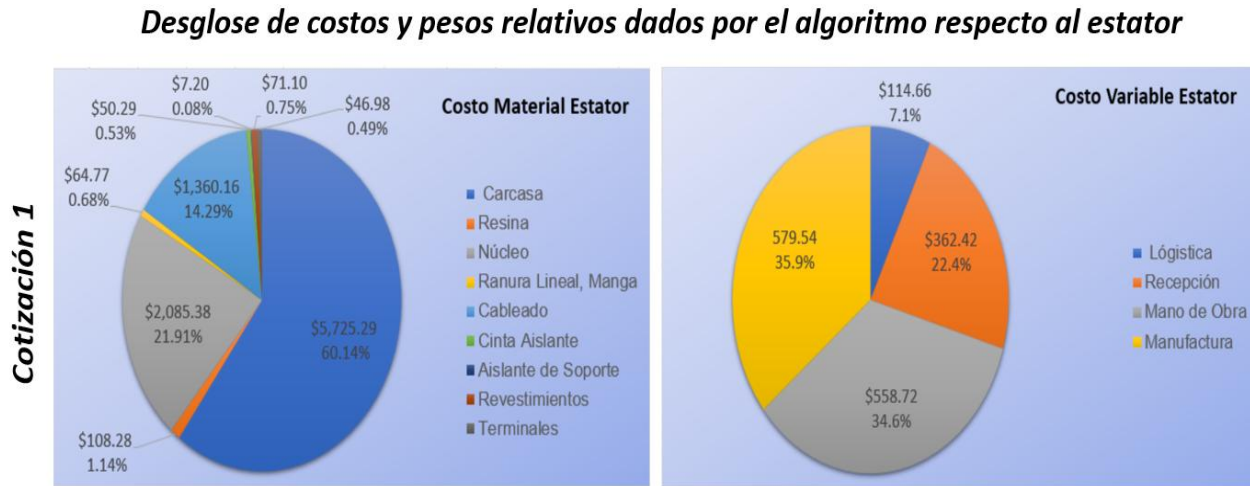


Fig. 56. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del estator respecto a la cotización 1.

Desglose de costos y pesos relativos dados por el algoritmo respecto al rotor

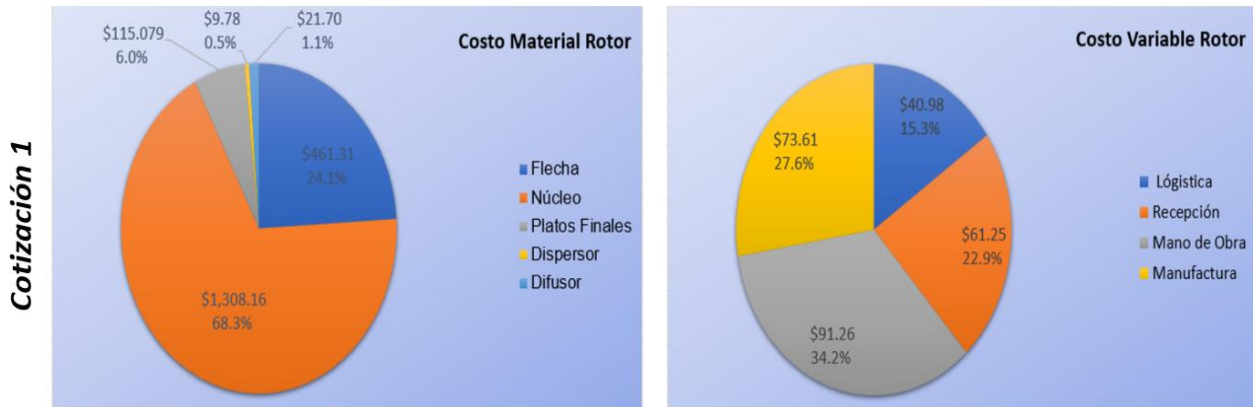


Fig. 57. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del rotor respecto a la cotización 1.

En la segunda cotización, se puede observar el desglose del estator en la figura 58. La carcasa tuvo el mayor impacto dentro de todo el ensamble, pero se diferencia con la primera cotización en que no se despega mucho en porcentajes, la carcasa, núcleo y cableado tuvieron predicciones similares repartiéndose de forma más equitativa el porcentaje total, los costos fueron \$709, \$601.47 y \$514.13 dólares lo que representa un 34.73%, 29.46% y 25.18% del total del material. El resto de los componentes que conforman los aislantes en conjunto sumaron el 7.97% lo que tiene un mayor impacto que el caso anterior, sin embargo, sigue sin ser muy significativo. Los costos no variaron mucho, pero al compararse con núcleos y carcasas más económicas su peso relativo en el costo total se eleva. El orden de impacto también cambio siendo que ahora catalogándonos de mayor a menor son: revestimientos, resina, mangas, cinta aislante, terminales, aislante de soporte, en porcentaje ocupan el 2.8%, 2.65%, 2.34%, 1.34%, 1.19% y 0.3% respectivamente.

Respecto a sus costos variables en comparación a la cotización anterior la manufactura dejó de tener el mayor impacto, siendo remplazada por la mano de obra, esta última tuvo un costo de \$361.04 dólares lo que es igual a un 42.2% del costo total, la recepción y manufactura tuvieron resultados similares con \$234.07 dólares o 27.4%, \$200.69 o

23.5% respectivamente, el porcentaje de logística fue prácticamente el mismo con 7%, siendo que el costo si cambio a \$59.92 dólares.

Para el rotor, los desgloses se pueden apreciar en la figura 59, los dos componentes que tienen mayor impacto en el ensamble son la flecha y el núcleo, con un valor de \$223.72 dólares lo que representa un 31.3% del total del material y \$359.03 dólares o 50.3% respectivamente, aunque los platos finales disminuyeron \$4 dólares, el peso relativo aumento significativamente hasta el 14.2%, el dispersor mantuvo el mismo costo respecto a la primera cotización con 1.4% mientras que el difusor tuvo un ligero descenso en costo pero aumento su porcentaje a 2.9%.

En los costos variables la mano de obra ocupa el mayor porcentaje con 34.8% lo que son \$54.76 dólares, le sigue la manufactura con costos de \$40.21 dólares es decir 25.6%, la logística y la recepción fueron prácticamente lo mismo \$31.25 y \$31.11 dólares, en porcentaje 19.9% y 19.8% respectivamente.

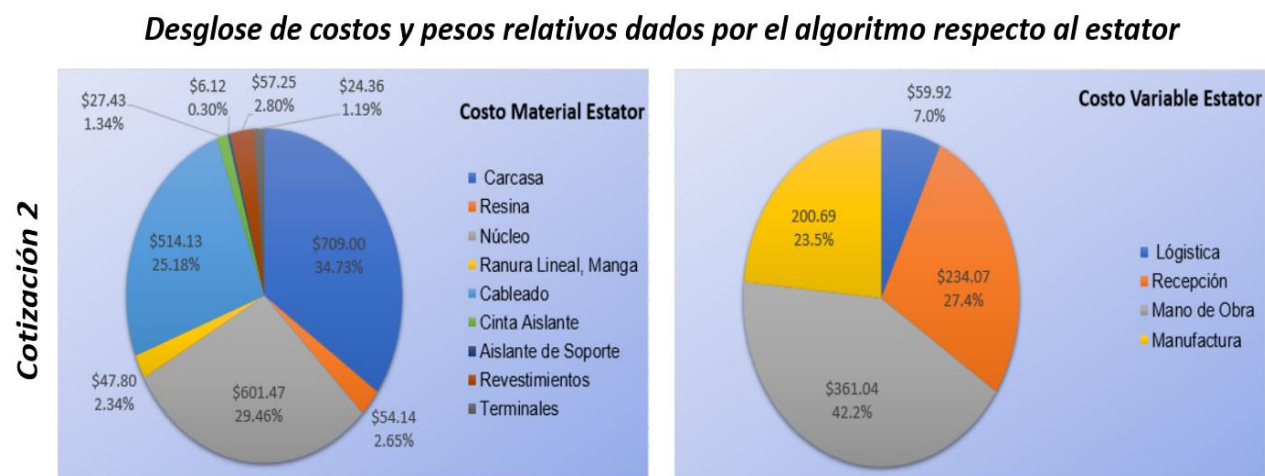


Fig. 58. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del estator respecto a la cotización 2.

Desglose de costos y pesos relativos dados por el algoritmo respecto al rotor



Fig. 59. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del rotor respecto a la cotización 2.

En la tercera cotización, se puede observar el desglose del estator en la figura 60, como en los casos pasados la carcasa tuvo el mayor impacto dentro de todo el ensamble con \$4,561.85 dólares lo que representa un 59.76% del costo total de los materiales, seguido del núcleo con \$1,886.24 dólares lo que representa un 24.71% del material, el cableado en comparación con la cotización anterior perdió impacto en el total, sin llegar a ser despreciable teniendo un costo de \$888.90 dólares que significa el 11.65%, el resto de los componentes podrían considerar que no afectan al resultado final siendo que la resina, los revestimientos, las mangas, las terminales, la cinta aislante, y el aislante de soporte representan el 1.18%, 0.80%, 0.69%, 0.62% 0.50% y 0.09% respectivamente lo que en conjunto sería un 3.88%, conserva el mismo orden que la primera cotización, el único cambio son que las terminales sobrepasaron el costo de la cinta aislante. Respecto a sus costes variables la logística volvió a ser el menor cargo, con \$73.70 dólares lo que representa un 5.6%, mano de obra y manufactura tuvieron resultados similares con \$471.27 dólares o 35.5%, \$484.32 o 36.5% respectivamente, en un punto intermedio se encuentra la recepción valorada en 579.54 o 35.9%.

En el caso del rotor, los desgloses se pueden apreciar en la figura 61, los dos componentes que tienen mayor impacto en el ensamble son la flecha y el núcleo, con un

valor de \$519.02 dólares lo que representa un 29.9% del total del material y \$1074.85 dólares o 62.0% respectivamente, ubicándose en un punto intermedio entre las dos cotizaciones previas, los platos finales al ser aproximadamente el mismo costo su proporción fue similar que la primera cotización de un 6.2% del costo lo que es igual a \$108 dólares, el dispersor y difusor ocuparon mantuvieron el mismo costo respecto a la primera cotización ubicados en 0.6% y 1.3% respectivamente. siendo que juntos no alcanzan el 2%, por lo que no son significativos para el resultado final.

En los costos variables las diferencias no son tan abruptas, la recepción y la manufactura poseen prácticamente el mismo valor, 23.2% y 23% respectivamente. La mano de obra es el costo más caro de la cotización que representa el 38.1% del total, lo que equivale a \$87.26 dólares, en el otro extremo la logística impacta únicamente con un 15.7% del costo variable total, lo que equivale a \$35.9 dólares.

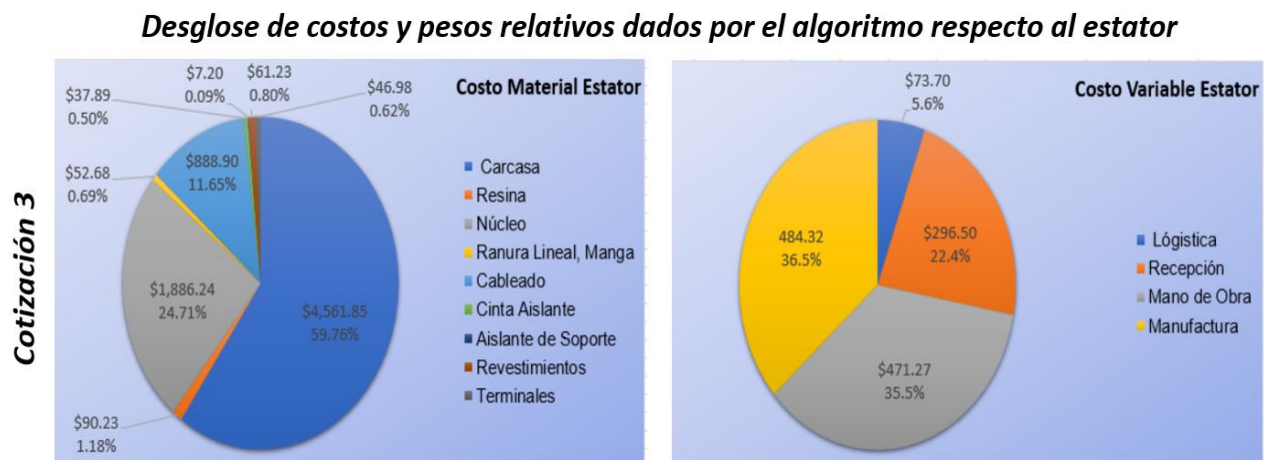


Fig. 60. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del estator respecto a la cotización 3.

Desglose de costos y pesos relativos dados por el algoritmo respecto al rotor

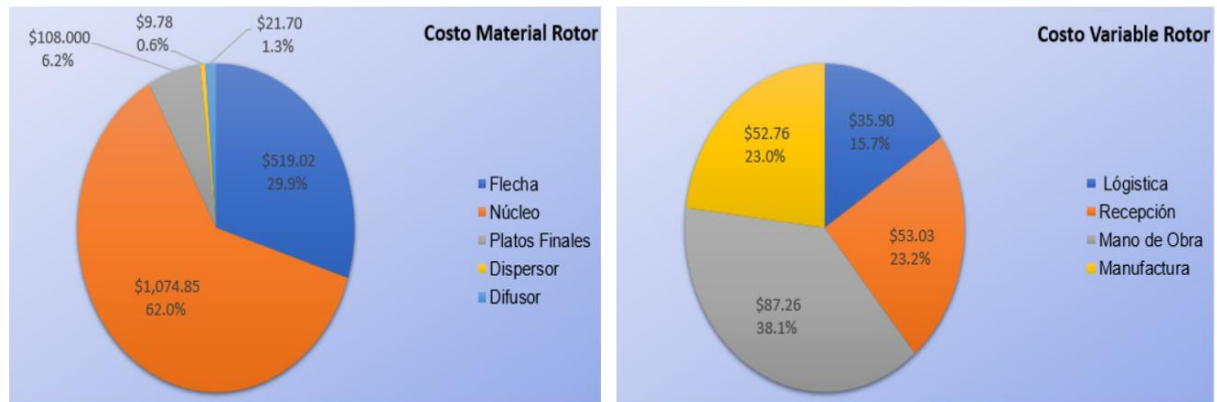


Fig. 61. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del rotor respecto a la cotización 3.

La cuarta cotización, presenta un patrón diferente a los mostrados en los tres casos anteriores el cual se puede observar en el desglose del estator en la figura 62, el costo del cableado supero al costo de la carcasa y del núcleo, el cableado representó el 38.92% (\$1,205.73 dólares) del costo total de los materiales, en cambio la carcasa únicamente el 33.3% (1,031.51 dólares), aunque siga siendo representativo aclara que la carcasa no siempre será el componente más caro, el núcleo abarco el 20.58% (\$637.49 dólares), los componentes de conexión y aislamiento mantuvieron el mismo comportamiento siendo que los revestimientos ocuparon el 1.77%, la resina el 1.75%, la ranura lineal 1.45%, 1.26% para la cinta aislante, 0.79% de las terminales, por último el aislante de soporte un 0.2%.

En los costos variables, el porcentaje de la logística fue el más bajo de los cinco casos con un 5.3% equivalente a \$45.27 dólares, le siguió la recepción con un costo de \$203.29 dólares siendo un 23.7%, la manufactura ocupa un 29.4% (\$252.39) de los cargos variables, por último, la mano de obra tuvo un peso relativo del 41.6% del total siendo este \$356.33 dólares.

La cuarta cotización en el rotor cambia igual el patrón de comportamiento entre los dos componentes más importantes, en la figura 63 se observa que el costo del núcleo y la

flecha son prácticamente iguales, siendo en casos pasados que las laminaciones eran más del 50% del costo de material, las ponderaciones fueron las siguientes 44.6% (\$489.88) para el núcleo, 43.4% (\$477.14) respecto a la flecha, 9.2% (\$101.24) de los platos finales, 1.9% (\$20.38) en el difusor y 0.9% (\$9.78) conforme al dispersor, estos últimos tres mantienen el mismo precio con la segunda y quinta cotización donde comparten diámetro. La mano de obra destaca en los costos variables, la cual tiene el mayor peso relativo de las cuatro características, siendo esta el 37.4% (\$68.45) del costo variable total, los otros tres rubros poseen pronósticos similares, 22.1% (\$40.40) para la recepción, 20.7% (\$37.89) en la logística y la manufactura representa el 19.9% (\$36.46).

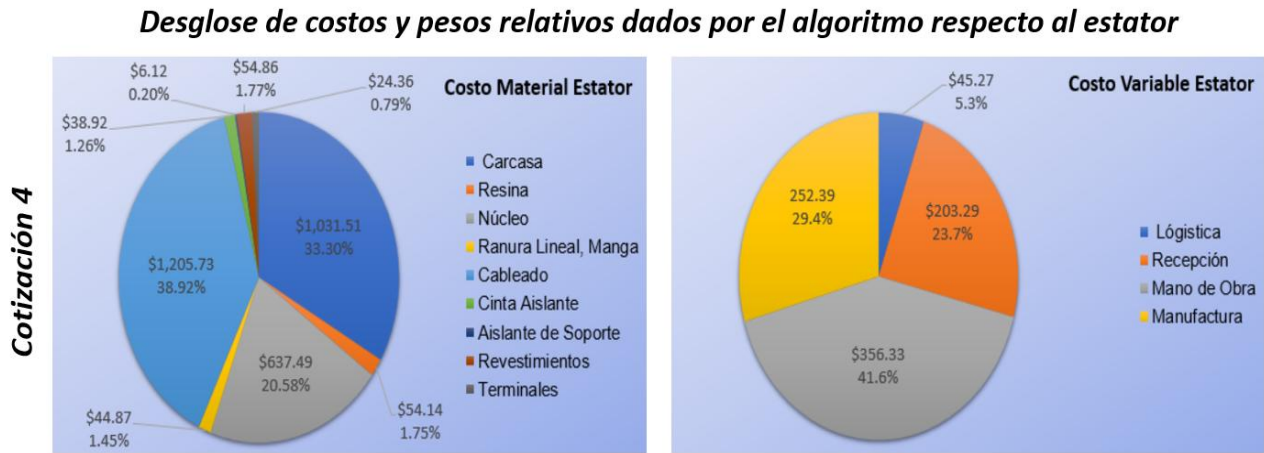


Fig. 62. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del estator respecto a la cotización 4.

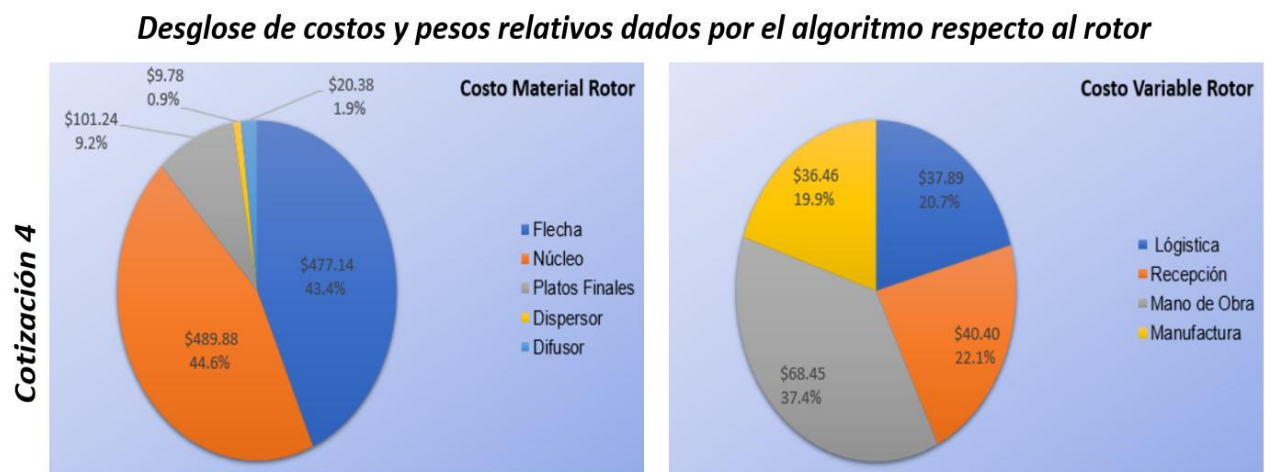


Fig. 63. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del rotor respecto a la cotización 4.

En la quinta y última cotización, se puede observar el desglose del estator en la figura 64, la carcasa tuvo un impacto significativamente mayor al resto de los componentes del ensamble su costo es de 1330.1 dólares, lo que representa el 42.2% del total de material, similar a la cotización anterior el costo del cableado supero al núcleo siendo que en las primeras tres cotizaciones la tendencia era al revés, siendo este un 28.24% del material y el núcleo 22.25% en costo son \$890.13 y 701.24 dólares respectivamente. El resto de los componentes de conexión y aislantes representaron en conjunto un 7.31% parecido a la segunda y cuarta cotización en este caso ocuparon el mayor porcentaje, el orden de importancia fue: revestimientos, resina, mangas, cinta aislante, terminales y aislante de soporte, de la misma forma que la segunda cotización, los pesos relativos fueron: 1.87%, 1.72%, 1.58%, 1.18%, 0.77% y 0.19% respectivamente.

En la segunda parte de la figura 64, muestra los costos variables de la logística y la mano de obra que fueron los extremos con \$81.24 dólares lo que representa un 6.6% y \$529.38 dólares o bien un 43.1% respectivamente, los costos de recepción y manufactura estuvieron cercanos, en este caso si existe una diferencia notable, los pesos relativos son 23.4% para la manufactura y 26.9% para la recepción.

Los costos del rotor se pueden apreciar en la figura 65, el núcleo y la flecha predicen prácticamente el mismo valor, siendo la flecha 539.83 dólares es decir 44.6% y el núcleo se pronosticó 538.10 dólares un equivalente a 44.5%, siendo esta cotización y la cuarta donde los materiales mantienen una proporción cercana, al conservar el mismo diámetro de 420milímetros ocupado en la segunda y cuarta cotización el costo de los platos, dispersor y difusor fueron los mismo \$101.24, \$9.78 y \$20.38 dólares, representando los platos un 8.4% del total del material.

Los costos variables del rotor muestran la misma tendencia que todas las cotizaciones pasadas, la logística como el rubro que menos afecta con un 18.6% (\$34.45), la recepción y manufactura muy parecidas en su costo con un 21.4% (\$39.6) y 23.1% (\$42.8) respectivamente, por último, la mano de obra es el campo con mayor influencia en los costos variables ocupando el 36.9%, siendo en costos \$68.45 dólares.



Fig. 64. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del estator respecto a la cotización 5.

Desglose de costos y pesos relativos dados por el algoritmo respecto al rotor

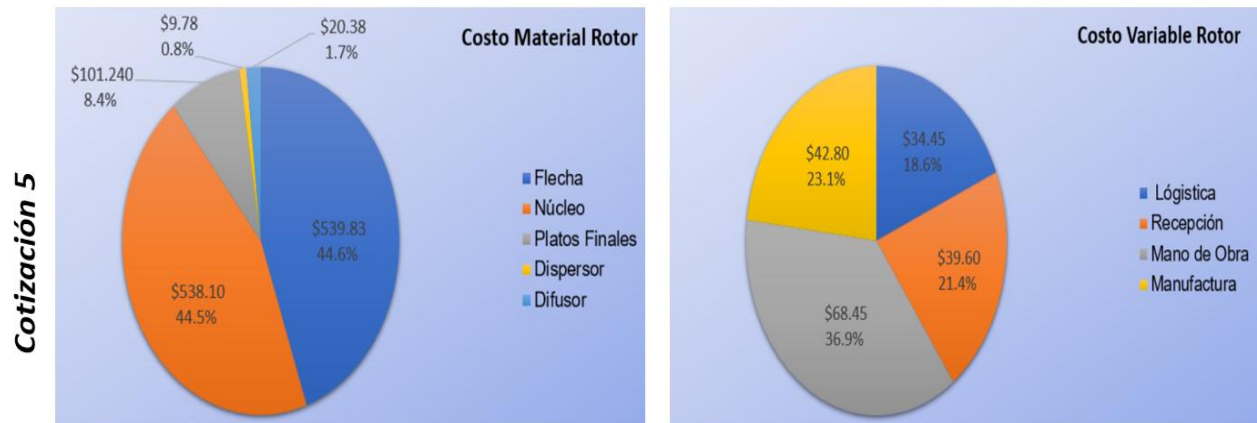


Fig. 65. Pronóstico de las redes neuronales desglosando los costos de material por componente y variable por actividad del rotor respecto a la cotización 5.

Las tendencias de estos resultados indican los comportamientos de ambos subensambles, los costos de la carcasa al igual que la flecha incrementan de forma más agresiva que los demás componentes que conforman los materiales, en cambio las laminaciones incrementan los costos en mayor proporción con el aumento diametral que el resto de los componentes, el costo del cableado cambia en particular con las necesidades del motor eléctrico debido a su configuración, el cableado, carcasa y núcleo conforman el 90% del costo de material del estator, el resto de los componentes presentan cambios pequeños que resultan insignificantes en el costo total, el rotor dependiendo del tamaño el núcleo y la flecha son el 80%, los cambios en los platos finales, dispersor y difusor no representan un impacto. En los costos variables la característica de la mano de obra representa siempre el mayor impacto en cambio la logística es la que menos afecta al total.

6.5. Factores externos

En este apartado se discutirán las principales razones por las cuales el algoritmo no puede tener una eficiencia de 100% así como los puntos clave a considerar ya que con el paso del tiempo los costos de todos los materiales, logística, maquinaria y esfuerzos para manufacturar los motores eléctricos variarán con una tendencia al alza, para que el algoritmo propuesto no pierda efectividad se necesita estar en constante revisión. A lo largo de los entrenamientos, investigación e implementación de los diferentes algoritmos se detectaron los factores con mayor impacto, que deben ser tomados en cuenta para la continuidad o futuros proyectos relacionados con el tema y son los siguientes:

- **Proveedores:** El algoritmo fue entrenado basándose en los precios establecidos por varios proveedores que representan los diferentes componentes a excepción de partes generales como tornillería, cableado o aislantes, en el caso de no especificarse, existe la opción que pronostica de una forma general los costos si todavía no se tiene claro quién será el encargado de las cotizaciones de los nuevos proyectos. Sin embargo, los márgenes de beneficio que mantienen los diferentes proveedores pueden cambiar de forma paulatina o esporádicamente, por diferentes factores algunos por mencionar son: Un cambio en el número de opciones disponibles a cotizar en la región lo cual si aumentan los competidores cada empresa buscará su diferenciador para ganar los contratos (costo, calidad, tiempo de entrega, etcétera). Otras razones podrían ser relocalizaciones de fábricas a lugares convenientes, estrategias agresivas de captación de clientes, incremento de costos por garantías o exigencias de cualquier tipo, por último, la visibilidad/renombre de marca.
- **Cantidad demandada y contratos:** La principal área de oportunidad que presenta el algoritmo es que no se cuenta con la cantidad exacta de motores eléctricos necesarios en la línea de ensamble ni sus tiempos de entrega, la separación entre alta y baja demanda de los componentes aproxima cuales pudieran ser los costos en las licitaciones con los proveedores. Conociendo los

requerimientos exactos es posible identificar un patrón en lugar de dos clasificaciones de nivel de uso.

- **Tipo cambiario:** Todos los costos descritos en la base de datos se expresan en dólares estadounidenses, en los contratos están pactados con la misma divisa, por lo cual a corto plazo no representa un problema, sin embargo cuando se firma uno nuevo o cada cierto periodo donde se actualizan, la mayoría de las fábricas donde se manufacturan los componentes de los motores eléctricos no se encuentran dentro de una economía dolarizada por lo que el grueso de sus costos de operación e inversiones internas serán en la moneda local oficial. Los cambios en la conversión de divisa afectarán proporcionalmente a las ganancias y costos de los proveedores, siendo el caso que se aprecie respecto al dólar un aumento en los costos futuros. Por el contrario, si se deprecia hay posibilidades de una disminución en las revisiones de contrato, sin embargo, esto tiene muy poca frecuencia debido a los otros elementos que impactan los precios. Otro aspecto por considerar es que el tipo de cambio de un país lo vuelve atractivo o riesgoso para el desarrollo de nuevos proyectos.
- **Leyes y riesgos geopolíticos:** Los costos actuales no tienen en consideración ningún factor externo relacionado a las políticas de cada país, por lo que en dado caso que un gobierno apruebe un incremento a salarios mínimos, impuestos a exportaciones e importaciones a hacia determinados países o se celebren tratados de libre comercio para eliminar aranceles estos afectarán en los resultados finales, también tomar en cuenta que si un proveedor cuenta con una posición privilegiada o riesgosa para la cadena de suministro interna los potenciales ahorros pasan a segundo plano.
- **Inflación:** El efecto del aumento de los precios año con año afecta globalmente a todas las empresas, el algoritmo cuenta con la capacidad de adaptarse a este efecto en donde se puede especificar el porcentaje de inflación general que sufrió la economía del periodo donde fue desarrollado el modelo hasta el día de la

consulta, esto propondrá en el modelo un aumento de costo proporcional a la inflación la cual abarca los costos de producción, mano de obra, toda la logística influenciada por los combustibles por otra parte los metales y diferentes materias primas presentan fluctuaciones que no están ligadas a la inflación (mantienen alta correlación) por lo que el algoritmo cuenta con la capacidad de especificar el precio de cotización de los metales en el día de uso. Aunque se considere esta problemática los valores reales de aumento en cada rubro pueden ser diferentes ya que la inflación es la media de los aumentos de varios servicios y productos.

- **Oferta y demanda de motores eléctricos:** Con el paso del tiempo, la adopción de nuevas tecnologías de movilidad amigables con el nuevo ambiente se incrementará. Entre ellas los motores eléctricos, por lo tanto, se requerirá una mayor fabricación de estos componentes, si no existen nuevas opciones y las capacidades actuales de manufactura de los proveedores se mantienen constantes los precios subirán en consecuencia. En cambio, si la producción en el sector aumenta a un ritmo más acelerado que el mercado de vehículos propulsados con energía limpia los precios se reducirán. Este cambio en los precios es imposible de anticipar con las entradas y desarrollo actual.
- **Problemas de cadena de suministro:** Este apartado se refiere a todos los eventos extraordinarios que pueden ocurrir que afectan o retrasan la cadena de suministros, cualquier evento global o factor externo que no se mencionó en este capítulo se catalogaría en este rubro, dichos eventos son sorpresivos por los cuales todos los cambios incluyen efectos considerables y costos no prevenibles, algunos ejemplos de estos son la crisis sanitaria vivida en el 2020 y la escasez mundial de semiconductores en el año 2022.
- **Innovación tecnológica:** La geometría, componentes, funcionamiento y estimaciones de los motores eléctricos actuales fue descrita a lo largo de esta tesis, dichos parámetros sirvieron de entrada para que las redes neuronales determinaran los resultados. Sin embargo, el campo de las tecnologías verdes en

especial la electromovilidad esta priorizada por los equipos de investigación y desarrollo de la industria automotriz, gobiernos y centros educativos, conforme las nuevas investigaciones o los avances tecnológicos se aplican en la industria surgirán cambios en el ensamble actual, estos pueden incluir más no limitarse a nuevas formas de transmitir la energía, actualizaciones en las conexiones, agregar nuevos componentes a la lista de materiales, remplazar piezas, cambios en la geometría estándar, los materiales utilizados para la fabricación o fusión con otros subsistemas. Destacando que cada cambio traerá consigo una actualización en las estimaciones.

7. Conclusiones

Basado en los resultados de este trabajo, es posible afirmar que la hipótesis es correcta. Pronosticar el costo total, el desglose en cuanto material, variable y fijo de un motor eléctrico, incluyendo los diferentes costos de los subensambles y componentes principales en cuanto a la materia prima y los trabajos de valor agregado requeridos para manufacturar el producto con un margen de error de $\pm 10\%$ es posible. Los métodos de predicción como interpolaciones lineales o cálculos basados en modelos de machine learning cumplen con proporcionar resultados y dirección sin embargo el margen de error es más amplio por lo que se concluye que la mejor opción son las redes neuronales. Además que al entrenar el algoritmo con los prototipos y motores eléctricos actuales, no solo se identifican los valores en una base de datos con resultados ya conocidos, sino que también se cuenta con la capacidad de utilizar el algoritmo de redes neuronales para nuevas geometrías con condiciones diferentes manteniendo el margen de error en el rango aceptable, esto a su vez, facilitará cualquier toma de decisiones ya que al conocer la tendencia de como impactará cada modificación resulta en un ahorro en el tiempo de iteraciones en la fase de diseño. De igual forma, acelerará la optimización costo-funcionalidad de los nuevos diseños de motores eléctricos.

El modelo tiene áreas de oportunidad, aunque los volúmenes de producción actuales contra los cotizados son prácticamente los mismos, existe la posibilidad de que esta tendencia cambie en el futuro. Se necesita conocer la demanda exacta o bien con un margen definido del producto para que el algoritmo pueda ofrecer una predicción acertada del costo, es decir si se remplaza el factor de alto o bajo volumen, contra las unidades requeridas anualmente el entrenamiento daría una mayor sensibilidad para los costos variables y la división de precio para el costo fijo, resultando en una estimación que minimiza el margen de error aproximando mejor los resultados a los valores reales. Además, el algoritmo de redes neuronales debe ser actualizado constantemente, con los datos de los nuevos proyectos, así como con el cambio de los motores eléctricos actuales año con año, debido a que los factores externos son impredecibles y pueden cambiar

repentinamente varias condiciones en la cadena de suministro, por otro lado, los fenómenos inflacionarios afectan tanto a materiales como costos de operación, lo cual resulta en variaciones en los costos cada determinado tiempo.

En cuanto a optimización del producto para reducción de costos, el desglose de costos muestra que entre rotor y estator tiene mayor impacto el segundo. La carcasa para el estator y la flecha en el rotor son más sensibles al cambio de longitud que el resto de los componentes en cambio el núcleo en ambos presenta variaciones más pronunciadas con cambio de diámetro, por lo que se compensa el cambio uno contra el otro en ciertos puntos, debido a la diferencia de costos entre los diferentes componentes y enfocado en el estator al ser el de mayor influencia en el resultado final, se encuentran zonas donde aunque se aumente el costo de uno de los componentes en este caso el núcleo, la reducción de otro, en este caso la carcasa teoriza un motor eléctrico más competitivo. La forma óptima de los nuevos diseños es compactar estructura y desarrollar motores axiales o cercanos a ellos.

En el caso de la división entre los tres diferentes tipos de costos, los materiales representan entre el 50% y el 87% del total, por lo que la optimización debe priorizar sus esfuerzos y enfocarse en este campo. Esto se puede lograr compactando diseños, reduciendo pesos, y simplificando las geometrías. También se puede trabajar en la investigación y desarrollo de nuevos materiales que replacen los actuales ya sea mejorando las propiedades mecánicas que poseen, facilitando la disminución de espesores o modificarlo por alguno más económico en cuanto a su manufactura u obtención. Sin embargo, también se pueden hacer esfuerzos en otras áreas, como la relocalización de los proveedores, optimizar los procesos respecto a la materia prima y mejorar la calidad en la línea de forma que se minimice o idealmente se elimine que cualquier material pase a ser chatarra.

Respecto al desarrollo de redes neuronales, se puede concluir que, aunque el modelo funcione en óptimas condiciones y replique los resultados idénticamente en los diferentes

grupos de entrenamiento, esto no garantiza que tenga la capacidad de pronosticar adecuadamente los resultados cuando nuevos datos sean puestos a prueba, al contrario cuando el modelo presente márgenes de error sumamente pequeños en comparación con otras metodologías de cálculo son indicios de que el modelo va perdiendo su robustez y únicamente dibujando una gráfica que conecte todos los puntos.

El rango para saber si un modelo está en condiciones de sobre entrenamiento, infra entrenamiento o se encuentra en un punto óptimo es subjetivo ya que no existe un criterio en el cual se establezca un rango, se tienen que entrenar varios modelos con diferentes capas, números de nodos, valores de entrada, valorar el método de entrenamiento con su selección de datos y regularización, después de que se obtengan los diferentes algoritmos se comparan sus resultados entre los modelos en dos situaciones, primero contra los grupos de prueba y después con un conjunto de datos que nunca estuvo presente en la base de datos, seleccionando el que mejor se haya desempeñado en ambos casos, lo cual deja la posibilidad de que el modelo seleccionado aún pueda presentar una tendencia o inclinación hacia un sobreajuste o un infra ajuste.

7.1. Alcance

La capacidad que poseen las redes neuronales en cuanto a pronosticar geometrías específicas (formas de laminaciones fuera de la norma, bridas especiales o características extras en la carcasa, maquinados especiales o acoplamiento de componentes y estructura en la flecha) es baja considerando que están fuera del rango de confianza de los costos reales, esto quiere decir que el algoritmo únicamente genera los resultados esperados a los casos normalizados o que presenten condiciones que ya existieran previamente en la base de datos, los costos de materiales son los que mayor precisión presentaron de misma forma que estos afectan en mayor proporción al resultado final por lo que si se busca un resultado global el programa brinda las soluciones correctas sin embargo esperar que cada rubro de cada componente se encuentre en un punto ideal de pronóstico todavía no es posible, por lo que este

programa solo puede usarse de referencia en toma de decisiones y no como método de obtención real de cotizaciones de opciones de motores eléctricos.

7.2. Trabajo a Futuro

Aunque los costos variables no representan la mayoría del total, también existen formas de optimizarlos, especialmente la mano de obra y en menor medida la manufactura, fueron los campos en donde se concentraban los costos, debido a esto el enfoque de optimización se basa en la relocalización de plantas, ya sea para tener una mayor eficiencia de producción por hora o un menor costo por hora en capital humano, también para optimizar se debe invertir y compra de equipos más eficientes los cuales permitan una mayor producción con menores recursos y disminución en el tiempo.

Se debe trabajar en que el algoritmo corrija hacia la misma dirección el desfase que se presenta en los subensambles del rotor y estator, refiriéndonos que si el pronóstico del rotor es más barato pero el del estator es más caro el costo del ensamble va a tender a equilibrarse al centro debido a que los errores se cancelan, esto en casos de poco volumen o de dimensiones fuera de la base de datos provocaría una reducción considerable de la precisión

Por último, en un vehículo todo terreno existen más elementos que integran el sistema de tren motriz, por lo que si se quieren tener en cuenta costos de ensamble o de un producto más complejo se propone integrar diferentes componentes del subsistema y componentes de otros sistemas, además de agrandar la base de datos para tener cálculos más confiables para futuros trabajos.

8. Apéndice

8.1. Glosario

1. **Bias** - Medición de la exactitud de un sistema de medición, representa el error sistemático de un modelo, sirve para indicar la diferencia entre el valor estimado esperado y el valor estimado real.
2. **Booleano** - Tipo de dato que solo tiene dos posibles valores, generalmente representados como verdadero o falso.
3. **Nodos** - Unidad fundamental de procesamiento que constituye cada capa de la red neuronal, aquí ocurren las funciones de activación.
4. **Árbol de decisiones** – Representación gráfica de un modelo de toma de decisiones, tiene forma de un árbol, donde cada rama es un nodo y representa los resultados posibles de cada decisión tomada.
5. **Recompensa** – Señal de retroalimentación que indica si un problema se está resolviendo de forma correcta o incorrecta, donde el algoritmo busca maximizar este valor a lo largo del tiempo.
6. **Continuo** – Variable que puede tener una infinitud de valores dentro de un rango específico.
7. **Discreto** – Variable que solo puede tomar valores finitos dentro de un rango específico.
8. **Frenado regenerativo** – Sistema que permite recuperar la energía cinética del frenado, convertirla en energía eléctrica y almacenarla en las baterías.
9. **Grados de libertad** – Se refiere al número de variables dentro de un sistema que se necesitan para describir en su totalidad la orientación y posición de un objeto.
10. **Generador** – Dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.
11. **Cuellos de botella** – Punto de mayor limitación o restricción de un sistema, en esta etapa se reduce la velocidad general de todo un conjunto de fases.

12. **KNN** – Algoritmo que se basa en que los objetos con características similares tienen valores parecidos o tienden a estar en una misma clasificación.
13. **SVM** – Algoritmo que busca una característica que optimice la separación de clases.
14. **ETS** – Método estadístico capaz de detectar una estructura de error, tendencia y estacionalidad en series de tiempo.
15. **ARIMA** - Modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia el futuro.
16. **ANN** – Modelo computacional formado por varias unidades de procesamiento conectadas, programadas para procesar la información como lo hace el cerebro humano.
17. **Protocolos** – Conjuntos de reglas que existen dentro del intercambio de datos y comunicación dentro de un mismo sistema.
18. **Embobinados** – Proceso en el cual se enrollan alambres alrededor de un elemento magnético.
19. **Electroimanes** – Imán que solo tiene capacidad magnética cuando se le aplica una corriente eléctrica.
20. **Motor axial** – Motor el cual los pistones se mueven en dirección paralela al eje de salida.
21. **Energía específica** – Cantidad de energía almacenada por unidad de masa.
22. **Energía de ignición** – Cantidad mínima necesaria de energía para que comience la combustión.
23. **Relación de compresión** – Relación entre el volumen mínimo alcanzable y el volumen máximo de una cámara de combustión.
24. **Eficiencia térmica** – Cantidad de energía aprovechada durante la combustión.
25. **Vehículo todo terreno** - Es aquella destinada a ser utilizada en terrenos empinados o irregulares e incluye las utilizadas para la construcción o la agricultura.

26. Análisis técnico – Método basado en la lectura de gráficos, basado en que los patrones humanos pasados serán repetidos en el futuro, este análisis encuentra estos patrones, pronostica una tendencia futura para tomar decisiones en entradas o salidas.

27. Regularización bayesiana – Técnica utilizada para evitar el sobre entrenamiento, consiste en incluir una distribución de probabilidad sobre los parámetros del modelo de acuerdo con el teorema de Bayes.

28. Portadores de planetas – Pieza mecánica que contiene a los engranes periféricos, este puede estar conectado a un anillo externo o a un anillo solar, su función es ayudar a transmitir altas velocidades y torque en espacios limitados.

29. Observaciones – Referencia al número de muestras de interés que se cuentan dentro de un experimento determinado.

30. Valor de Cadena – Dato que se conforma por caracteres alfanuméricos, sirve para categorizar observaciones.

31. Laminaciones – Capas de pequeño espesor fabricadas de un material ferromagnético que genera el magnetismo en el núcleo del motor.

32. Caja de rotor – Contenedor destinado a almacenar, proteger y transportar rotores de maquinaria, así como su manipulación evitando cualquier daño en el proceso de logística.

33. Dispersor – Componente en motores que está diseñado para rociar o dispersar aceite u otros fluidos para enfriar o lubricar elementos rotativos.

34. Difusor – Componente en motores diseñado para ralentizar y expandir los flujos, aumenta la presión y reduce la velocidad.

35. Null - Se utiliza para representar la ausencia de un valor o la falta de una entrada de datos en una determinada casilla o campo.

36. Stands in hands – Se refiere al proceso de organizar y posicionar manualmente los hilos individuales de un devanado antes de insertarlos en las ranuras del estator.

37. Causalidad - Relación que explica como un cambio en o tendencia en un resultado medido es responsable o dicta los resultados de otra situación.

38. Rango intercuartílico – Medida gráfica de dispersión empleada en estadística para explicar la variabilidad, es la diferencia entre el tercer y primer cuartil de un conjunto de datos.

39. Distancia euclidiana – Distancia entre dos puntos en un espacio vectorial de n -dimensiones, se calcula mediante la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado, se utiliza para el modelado matemático o análisis de patrones.

40. Validación cruzada – Método donde se divide una serie de datos en varios conjuntos, se realiza el proceso de entrenamiento con los diferentes grupos y combinaciones, ayudando a tener mejor estimación y eliminar errores estadísticos que se encuentren en los pliegues.

41. Regularización de Tikhonov – Técnica utilizada en regresiones para eliminar el sobreajuste, agrega una penalización a la regresión lineal por la magnitud de los coeficientes del modelo agregando el término “ajuste de datos” y “regularización” evitando que los coeficientes crezcan excesivamente en relación con el número de observaciones.

42. Hiperplano – Concepto geométrico que describe una superficie que divide el espacio en dos regiones, minimizando errores de clasificación.

43. Truco de kernel – Técnica que permite trabajar con conjuntos de datos que no son linealmente separables al mapearlos a un espacio de mayor dimensión, aplica una función que calcula el producto escalar de los datos en dirección de un espacio de mayor dimensión sin transformar directamente los datos.

44. Entropía Cruzada – Método que mide la discrepancia entre dos probabilidades del mismo conjunto de evento, se utiliza cuando no se conoce la verdadera distribución de los datos, ajusta los parámetros durante el entrenamiento en áreas de aprendizaje autónomo o redes neuronales.

45. Pérdida de Huber – Método que define el error condicionalmente, si la diferencia es pequeña la función será cuadrática, si la diferencia es amplia la función será lineal.

8.2. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica a la cual se adaptó el algoritmo de las redes neuronales consta de seis secciones principales. Como se puede ver en la figura 66, la primera sección se seleccionan los ensambles a evaluar los cuales será el motor completo, únicamente el rotor o estator, para especificar las características críticas. La segunda sección redirige a una ventana la cual permite considerar los cambios en los precios debido a la inflación o por efectos en las condiciones económicas. La tercera sección es opcional, en caso de requerir una geometría fuera de los estándares en la laminación, sirve para definir como serían las dimensiones primarias. La cuarta sección brinda la opción de ajustar los cálculos para que tengan una mayor cercanía a un proveedor en particular, siendo el caso predefinido no dar preferencia a ninguno. La quinta sección muestra varias opciones sobre los componentes de la carcasa y flecha pudiendo sobrescribir dimensiones u obteniendo estimados de las características geométricas y mostrando sus costos como componente y no solo únicamente del ensamble. La sexta y última sección permite al usuario definir las condiciones del cableado. Una vez que se llenen todos los campos el programa se ejecuta cuando se pulsa el botón de “Cálculo”, si se cometió un error y se quiere volver a llenar los valores sin cerrar el programa existe el botón de “Reiniciar” el cual devuelve todos los valores a predeterminado.

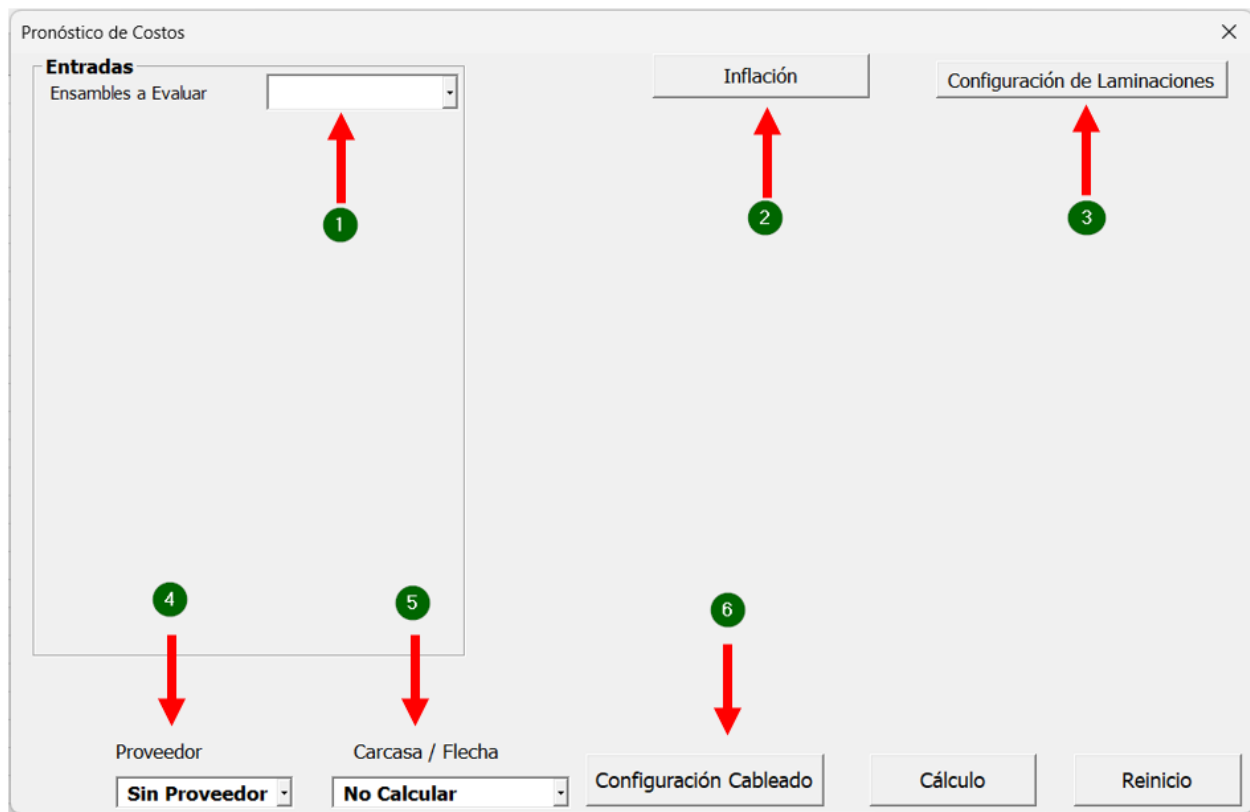


Fig. 66. Pantalla inicial de la interfaz gráfica

En la primera sección se selecciona el ensamble a evaluar, existiendo tres opciones: “Estator & Rotor”, “Estator” y “Rotor”, cada una de estas opciones desplegará diferentes entradas e imágenes en la interfaz.

Pronóstico de Costos

Entradas
Ensamblajes a Evaluar

Estator & Rotor
Estator
Rotor

Inflación

Configuración de Laminaciones

Proveedor: Sin Proveedor

Carcasa / Flecha: No Calcular

Configuración Cableado

Cálculo

Reinicio

Fig. 67. Selección de Ensamblajes Por Evaluar

En caso de seleccionar “Rotor”, en la parte derecha de la interfaz gráfica aparecerá una imagen de las laminaciones y campos de entrada como se muestra en la figura 68, los campos a llenar son la longitud total de las laminaciones, el diámetro (ambos en milímetros), por otro lado, un menú desplegable indica que tipo de flecha se requiere siendo las opciones hueca o sólida. Para definir el material de la flecha se especificaron material tipo 1 o tipo 2, por lo que existen cuatro combinaciones posibles.

Pronóstico de Costos

Entradas
Ensamblajes a Evaluar: **Rotor**

INPUT

Rotor (mm)

Longitud

Diámetro

Tipo de Flecha

- Hueca Tipo 1
- Hueca Tipo 1**
- Hueca Tipo 2
- Solida Tipo 1
- Solida Tipo 2

Proveedor: **Sin Proveedor**

Carcasa / Flecha: **No Calcular**

Configuración Cableado

Cálculo

Reinicio

Fig. 68. Datos de entrada para el rotor

En caso de seleccionar “Estator”, en la parte izquierda de la interfaz gráfica aparecerá una imagen de las laminaciones y campos de entrada como se muestra en la figura 69 los campos a llenar son la longitud total de las laminaciones, el diámetro (ambos en milímetros). Una vez llenado, se requerirán tipos de conexión, número de embobinados y como se categoriza la demanda de los productos.

Pronóstico de Costos

Entradas

Ensamblajes a Evaluar: **Estator**

Estator (mm)

Longitud

Diámetro

☐ Baja Demanda

Proveedor: **Sin Proveedor**

Carcasa / Flecha: **No Calcular**

Configuración Cableado

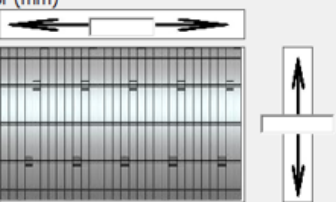
Cálculo

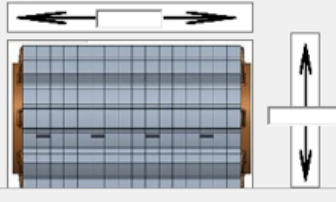
Reinicio

Fig. 69. Datos de entrada para el estator

En caso de seleccionar “Estator & Rotor”, se habilitarán ambos campos en la interfaz gráfica mostrados previamente, como se muestra en la figura 70, la diferencia radica en que si se selecciona “Rotor únicamente” los campos son una entrada, sin embargo en este apartado predeterminadamente el campo del rotor es una salida la cual se guiará de las entradas del estator, agregando la longitud y diámetro, se permite el llenado del tipo de conexión siendo esta “axial” o “radial”, se especifica el número de embobinados y como se categoriza la demanda de los productos.

Pronóstico de Costos

Entradas
 Ensamblajes a Evaluar **Estator & Rotor**
 Estator (mm)
 

Rotor (mm)
 

Tipo de Flecha
Hueca Tipo 1

Numero de embobinados


Conexión


☒ Baja Demanda

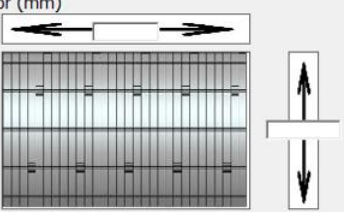
Proveedor
 Carcasa / Flecha

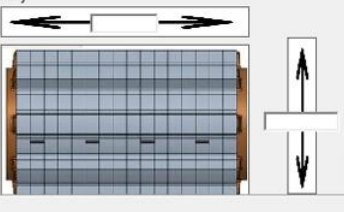
Configuración Cableado

Fig. 70. Datos de entrada estator y rotor

Cuando todos los datos sean llenados, asumiendo que se utilizaron las otras secciones opcionales, el botón de “Cálculo” mostrará los resultados, como se muestra en la figura 71. La salida consta de una imagen de un motor eléctrico explosionado, se divide en dos partes los costos del estator y los costos del rotor, cada uno de ellos muestra el conjunto de los tres tipos de costos, los respectivos al material, los variables conjunto a los de material y por último los costos totales. Existe un pequeño icono al lado de las descripciones con forma de gráfica circular, si se selecciona desplegará los porcentajes con los valores de cada componente dentro del ensamble general, únicamente disponible para costos de material y variable.

Pronóstico de Costos

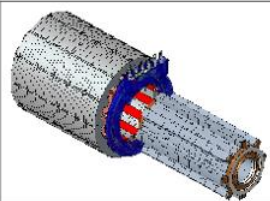
Entradas
 Ensamblajes a Evaluar
 Estator (mm)
 

Salida
 Inflación
 Rotor (mm)
 

Tipo de Flecha
Hueca Tipo 1

SALIDA
COSTO TOTAL ESTIMADO

Costo Estator
 Material (\$)
 Variable y Material (\$)
 Total (\$)



Costo Rotor
 Material (\$)
 Variable y Material (\$)
 Total (\$)

☐ Baja Demanda

Proveedor
Sin Proveedor

Carcasa / Flecha
No Calcular

Configuración Cableado

Cálculo

Reinicio

Fig. 71. Resultados General

En la segunda división, denominada “Inflación”, habilita una pantalla, como se muestra en la figura 72, la cual muestra una tabla de tres columnas, en la primera indicará el precio cotizado al momento de hacer el análisis para los siguientes materiales: cobre, dos tipos de acero (utilizados en las laminaciones y flechas) y las resinas, también incluye el costo por hora de la mano de obra promedio en el lugar de manufactura, la segunda columna es el precio actual, en esos recuadros se escriben los valores al día de utilizar los programas, la tercer columna indica la relación de cuanto aumento o disminuyo el precio con respecto al valor inicial, el cual lo trasladará directamente a los cálculos.

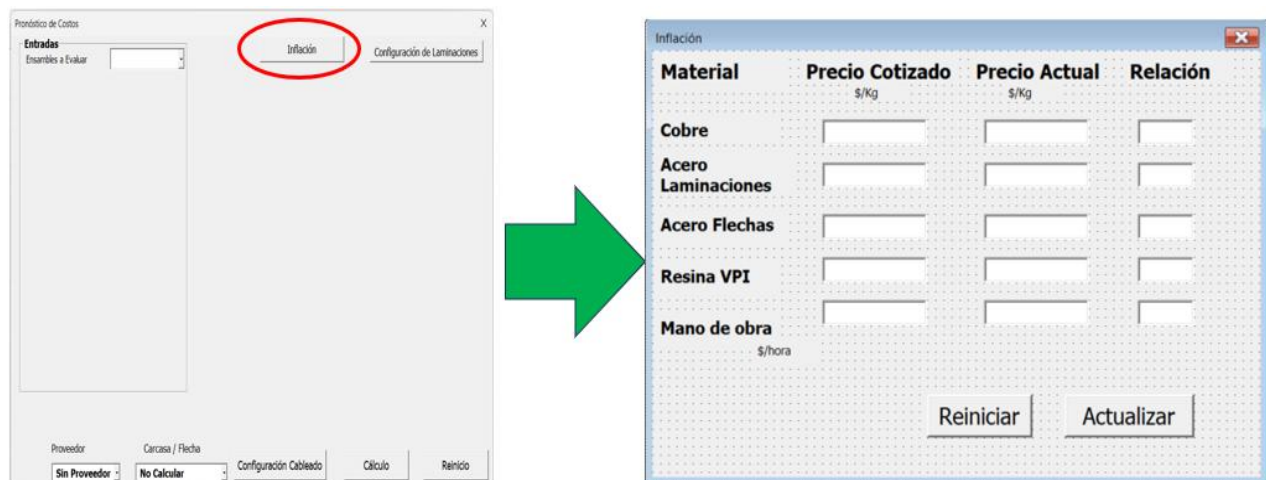


Fig. 72. Actualización por Inflación

La tercera sección, al hacer clic en el apartado de “configuración de laminaciones”, estará disponible una ventana emergente la cual permite definir un perfil del núcleo personalizable, como se muestra en la figura 73, hay una referencia respecto al estator y al rotor sobre que se refiere cada dimensión, las variables modificables son el diámetro exterior, el diámetro interior, el ancho de diente y el diámetro de ranura, todos expresados en milímetros.

Configuración de Laminaciones

Forma Laminaciones Estator

Diametro de Externo (mm)
Diametro de Ranura (mm)
Ancho de Diente (mm)
Diametro Interno (mm)

Forma Laminaciones Rotor

Diametro de Externo (mm)
Diametro de Ranura (mm)
Ancho de Diente (mm)
Diametro Interno (mm)

Calcular

Núcleo Estator

Diámetro Externo

Ancho de Diente

Diámetro de Ranura

Diámetro Interno

Núcleo Rotor

Diámetro Externo

Ancho de Diente

Diámetro de Ranura

Diámetro Interno

Fig. 73. Configuración de laminaciones

La cuarta sección es un menú desplegable el cual predeterminadamente no indica ningún proveedor, por lo que los resultados son generales, la lista contiene a los diferentes proveedores de laminaciones, en caso de que se seleccione alguno de la lista, los cálculos se adaptan a las condiciones y cotizaciones previas que se han solicitado a dichos proveedores.

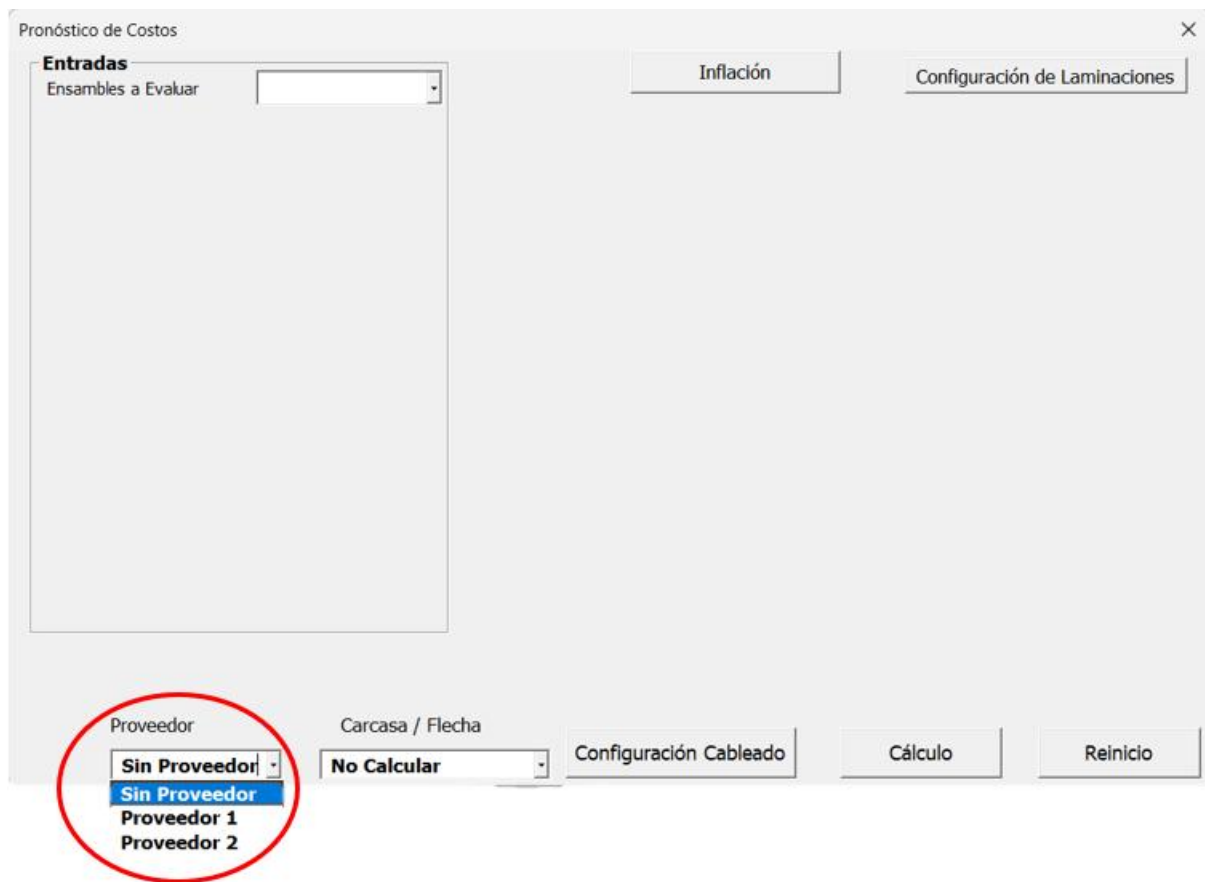


Fig. 74. Selección de Proveedor de Preferencia

La quinta sección se basa en un menú desplegable que brinda opciones de la carcasa y la flecha, como se ve en la figura 75. Existen cuatro opciones que son: no calcular, calcular, valores conocidos y geometría especial, la primera opción es la predeterminada, en esta el programa hará los cálculos normales, no generará desgloses ni información acerca de estos dos componentes.

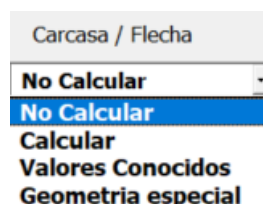


Fig. 75. Opciones Carcasa y flecha

En las otras tres opciones se habilitará una ventana emergente como se muestra en la figura 76, donde se muestran el costo de la flecha y la carcasa individualmente, así como los precios del ensamble, en la opción de calcular, los valores del diámetro de brida, espesor de brida, longitud, diámetro externo y peso serán determinados para la carcasa, en la flecha determinará la longitud, el diámetro de montaje, el diámetro externo, longitud de montaje y el peso. En la opción de valores conocidos es utilizado cuando se quiere normalizar o utilizar un componente ya existente para otro motor eléctrico, no se calcularán los costos de los dos nuevos componentes y se agregarán los especificados a la suma del ensamble. La opción de geometría especial permite sobrescribir las dimensiones, especificar si existen diferentes normas o procesos especiales de fabricación.

Fig. 76. Módulo Carcasa-Flecha

Por último, la sexta sección al hacer clic en “Configuración de cableado” habilita una ventana donde proporcionarán las condiciones del cableado, alado de cada parámetro existe una imagen de referencia para guía del usuario, como se puede ver en la figura 77, los datos solicitados son el número de alambres, el calibre del cable en el sistema

“American wire gauge”, el número de vueltas y la longitud media de vuelta, existe una opción para predeterminar la longitud media de vuelta respecto a la longitud del estator.



Fig. 77. Configuración de cableado

En el caso de que no se llene correctamente alguna entrada o se produzca un error en los módulos opcionales el programa lanzará un error con el mensaje “FAVOR DE LLENAR TODOS LOS CAMPOS” en letras rojas, como se muestra en la figura 78, no se proporciona ningún resultado para evitar que se asuman datos y generar pronósticos erróneos. Para eliminar el mensaje se tendrá que usar el botón de “Reiniciar” para escribir los datos nuevamente.

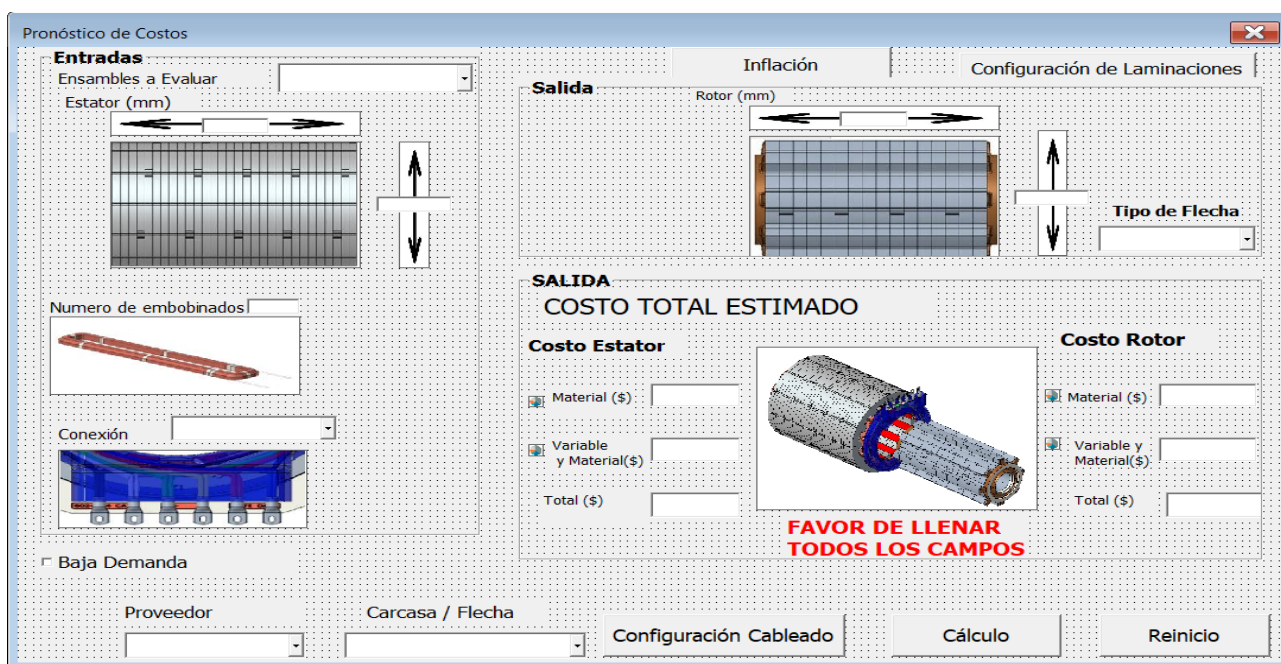


Fig. 78. Error o falta de datos

8.3. Tablas con Resultados

En la tabla 4 se muestra el desglose de los datos que se utilizaron para cada subdivisión de costos de los veinticinco motores que integran la base de datos.

Datos Actuales								
Rotor Actual				Estator Actual				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 4,567	\$ 3,970	\$ 430	\$ 168	\$ -	\$ -	NA	NA	\$ 4,567
\$ 3,540	\$ 3,059	\$ 338	\$ 143	\$ -	\$ -	NA	NA	\$ 3,540
\$ 2,528	\$ 2,115	\$ 260	\$ 152	\$ 12,906	\$ 7,743	\$ 1,465	\$ 3,698	\$ 15,434
\$ 1,469	\$ 1,160	\$ 173	\$ 137	\$ 7,504	\$ 3,236	\$ 1,138	\$ 3,129	\$ 8,973
\$ 2,255	\$ 1,825	\$ 254	\$ 175	\$ 13,739	\$ 8,981	\$ 1,524	\$ 3,234	\$ 15,993
\$ 1,770	\$ 1,381	\$ 213	\$ 175	\$ 11,264	\$ 7,390	\$ 1,194	\$ 2,679	\$ 13,033
\$ 912	\$ 621	\$ 138	\$ 152	\$ 4,543	\$ 1,856	\$ 951	\$ 1,736	\$ 5,455
\$ 1,448	\$ 1,103	\$ 185	\$ 160	\$ 6,807	\$ 3,192	\$ 1,240	\$ 2,375	\$ 8,255
\$ -	\$ -	NA	NA	\$ 4,438	\$ 974	\$ 745	\$ 2,720	\$ 4,438
\$ 3,177	\$ 2,654	\$ 348	\$ 175	\$ 7,249	\$ 2,269	\$ 1,512	\$ 3,468	\$ 10,426
\$ 1,383	\$ 873	\$ 338	\$ 172	\$ 11,640	\$ 8,000	\$ 1,337	\$ 2,302	\$ 13,022
\$ 1,685	\$ 1,222	\$ 308	\$ 155	\$ 11,846	\$ 8,720	\$ 1,041	\$ 2,085	\$ 13,530
\$ 2,601	\$ 2,272	\$ 185	\$ 145	\$ 9,726	\$ 5,611	\$ 1,384	\$ 2,731	\$ 12,327
\$ 3,587	\$ 3,275	\$ 146	\$ 165	\$ 5,912	\$ 2,470	\$ 1,182	\$ 2,261	\$ 9,499
\$ 1,423	\$ 1,011	\$ 260	\$ 152	\$ 11,678	\$ 7,911	\$ 1,388	\$ 2,379	\$ 13,101
\$ 3,665	\$ 3,347	\$ 148	\$ 170	\$ 8,894	\$ 4,134	\$ 1,381	\$ 3,378	\$ 12,559
\$ 2,571	\$ 2,147	\$ 273	\$ 151	\$ 9,341	\$ 4,324	\$ 1,505	\$ 3,512	\$ 11,912
\$ 1,024	\$ 685	\$ 192	\$ 147	\$ 6,288	\$ 2,881	\$ 1,217	\$ 2,190	\$ 7,311
\$ 4,230	\$ 3,720	\$ 363	\$ 148	\$ 9,313	\$ 5,588	\$ 880	\$ 2,845	\$ 13,543
\$ 3,968	\$ 3,544	\$ 276	\$ 148	\$ 6,223	\$ 1,630	\$ 925	\$ 3,667	\$ 10,190
\$ 3,385	\$ 2,906	\$ 311	\$ 169	\$ 10,346	\$ 7,256	\$ 980	\$ 2,110	\$ 13,732
\$ 4,106	\$ 3,717	\$ 222	\$ 167	\$ 5,868	\$ 2,506	\$ 759	\$ 2,603	\$ 9,974
\$ 2,753	\$ 2,300	\$ 279	\$ 175	\$ 8,650	\$ 4,321	\$ 867	\$ 3,461	\$ 11,403
\$ 3,102	\$ 2,812	\$ 150	\$ 140	\$ 4,151	\$ 1,001	\$ 862	\$ 2,288	\$ 7,253
\$ 1,565	\$ 1,081	\$ 333	\$ 151	\$ 13,143	\$ 8,570	\$ 1,408	\$ 3,165	\$ 14,708

Tabla 4. Costos actuales de los motores eléctricos registrados.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con base al método de interpolación para cada subcategoría del motor eléctrico de cada uno de los veinticinco motores de la base de datos se pueden observar en la tabla 5, además en la tabla 6 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología de Interpolación								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 1,887	\$ 1,614	\$ 99	\$ 141	NA	NA	NA	NA	\$ 1,887
\$ 1,969	\$ 1,694	\$ 106	\$ 151	NA	NA	NA	NA	\$ 1,969
\$ 1,805	\$ 1,583	\$ 91	\$ 130	\$ 10,783	\$ 5,186	\$ 1,565	\$ 4,033	\$ 12,588
\$ 1,125	\$ 1,012	\$ 47	\$ 66	\$ 6,448	\$ 2,438	\$ 1,048	\$ 2,962	\$ 7,573
\$ 1,695	\$ 1,422	\$ 78	\$ 111	\$ 11,061	\$ 6,431	\$ 1,454	\$ 3,175	\$ 12,756
\$ 932	\$ 659	\$ 36	\$ 238	\$ 9,492	\$ 6,288	\$ 1,167	\$ 2,036	\$ 10,424
\$ 773	\$ 501	\$ 27	\$ 36	\$ 3,433	\$ 962	\$ 904	\$ 1,567	\$ 4,206
\$ 1,575	\$ 1,301	\$ 207	\$ 67	\$ 5,711	\$ 2,209	\$ 1,260	\$ 2,242	\$ 7,286
NA	NA	NA	NA	\$ 4,948	\$ 729	\$ 711	\$ 3,509	\$ 4,948
\$ 3,017	\$ 2,803	\$ 91	\$ 123	\$ 5,815	\$ 1,792	\$ 1,179	\$ 2,844	\$ 8,833
\$ 2,142	\$ 1,944	\$ 79	\$ 119	\$ 13,391	\$ 9,200	\$ 1,498	\$ 2,694	\$ 15,534
\$ 2,543	\$ 2,322	\$ 84	\$ 138	\$ 9,456	\$ 6,976	\$ 812	\$ 1,668	\$ 11,998
\$ 3,484	\$ 3,253	\$ 84	\$ 146	\$ 11,161	\$ 6,565	\$ 1,591	\$ 3,004	\$ 14,645
\$ 5,487	\$ 5,278	\$ 92	\$ 116	\$ 7,030	\$ 3,038	\$ 1,347	\$ 2,645	\$ 12,516
\$ 2,062	\$ 1,821	\$ 103	\$ 138	\$ 9,214	\$ 6,171	\$ 1,069	\$ 1,974	\$ 11,275
\$ 5,423	\$ 5,180	\$ 106	\$ 137	\$ 7,274	\$ 3,432	\$ 1,174	\$ 2,669	\$ 12,697
\$ 2,339	\$ 2,120	\$ 81	\$ 137	\$ 7,531	\$ 3,503	\$ 1,324	\$ 2,704	\$ 9,870
\$ 1,063	\$ 834	\$ 84	\$ 145	\$ 5,157	\$ 2,304	\$ 1,035	\$ 1,818	\$ 6,220
\$ 6,342	\$ 6,109	\$ 84	\$ 149	\$ 11,130	\$ 6,650	\$ 1,038	\$ 3,442	\$ 17,472
\$ 4,521	\$ 4,305	\$ 86	\$ 130	\$ 7,392	\$ 1,973	\$ 1,129	\$ 4,291	\$ 11,913
\$ 4,095	\$ 3,842	\$ 106	\$ 147	\$ 8,606	\$ 6,168	\$ 813	\$ 1,625	\$ 12,701
\$ 5,625	\$ 5,393	\$ 88	\$ 144	\$ 4,699	\$ 2,005	\$ 637	\$ 2,057	\$ 10,324
\$ 2,751	\$ 2,507	\$ 106	\$ 139	\$ 10,284	\$ 5,185	\$ 1,015	\$ 4,084	\$ 13,035
\$ 3,660	\$ 3,416	\$ 95	\$ 150	\$ 3,534	\$ 831	\$ 758	\$ 1,945	\$ 7,195
\$ 1,877	\$ 1,670	\$ 79	\$ 127	\$ 10,897	\$ 7,027	\$ 1,084	\$ 2,785	\$ 12,774

Tabla 5. Desglose de los costos pronosticados por interpolación

Metodología de Interpolación								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
58.7%	59.4%	76.9%	16.0%	NA	NA	NA	NA	58.7%
44.4%	44.6%	68.7%	-5.7%	NA	NA	NA	NA	44.4%
28.6%	25.2%	64.9%	14.8%	16.4%	33.0%	-6.8%	-9.1%	18.4%
23.5%	12.7%	72.7%	52.1%	14.1%	24.7%	7.9%	5.3%	15.6%
24.8%	22.1%	69.2%	36.7%	19.5%	28.4%	4.6%	1.8%	20.2%
47.3%	52.3%	83.1%	-35.5%	15.7%	14.9%	2.3%	24.0%	20.0%
15.2%	19.4%	80.5%	76.5%	24.4%	48.2%	5.0%	9.7%	22.9%
-8.8%	-18.0%	-11.7%	58.2%	16.1%	30.8%	-1.7%	5.6%	11.7%
NA	NA	NA	NA	-11.5%	25.1%	4.6%	-29.0%	-11.5%
5.0%	-5.6%	73.8%	29.4%	19.8%	21.0%	22.0%	18.0%	15.3%
-54.9%	-122.8%	76.6%	30.8%	-15.1%	-15.0%	-12.0%	-17.0%	-19.3%
-50.9%	-90.0%	72.9%	11.2%	20.2%	20.0%	22.0%	20.0%	11.3%
-33.9%	-43.2%	54.4%	-1.0%	-14.8%	-17.0%	-15.0%	-10.0%	-18.8%
-53.0%	-61.2%	37.0%	29.6%	-18.9%	-23.0%	-14.0%	-17.0%	-31.8%
-44.9%	-80.0%	60.5%	8.8%	21.1%	22.0%	23.0%	17.0%	13.9%
-48.0%	-54.7%	28.2%	19.4%	18.2%	17.0%	15.0%	21.0%	-1.1%
9.0%	1.3%	70.3%	9.1%	19.4%	19.0%	12.0%	23.0%	17.1%
-3.8%	-21.8%	56.0%	2.0%	18.0%	20.0%	15.0%	17.0%	14.9%
-49.9%	-64.2%	76.7%	-0.9%	-19.5%	-19.0%	-18.0%	-21.0%	-29.0%
-14.0%	-21.5%	68.9%	12.0%	-18.8%	-21.0%	-22.0%	-17.0%	-16.9%
-21.0%	-32.2%	65.9%	12.9%	16.8%	15.0%	17.0%	23.0%	7.5%
-37.0%	-45.1%	60.6%	13.5%	19.9%	20.0%	16.0%	21.0%	-3.5%
0.1%	-9.0%	62.1%	20.5%	-18.9%	-20.0%	-17.0%	-18.0%	-14.3%
-18.0%	-21.5%	36.9%	-7.2%	14.9%	17.0%	12.0%	15.0%	0.8%
-20.0%	-54.5%	76.2%	15.7%	17.1%	18.0%	23.0%	12.0%	13.2%

Tabla 6. Desglose del porcentaje de error de la metodología de interpolación.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con base al método de regresión lineal para cada subcategoría del motor eléctrico de cada uno de los veinticinco motores de la base de datos se pueden observar en la tabla 7, además en la tabla 8 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología de Regresión Lineal								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,739	\$ 2,299	\$ 298	\$ 142	NA	NA	NA	NA	\$ 2,739
\$ 2,917	\$ 2,442	\$ 324	\$ 151	NA	NA	NA	NA	\$ 2,917
\$ 2,526	\$ 2,128	\$ 268	\$ 130	\$ 10,193	\$ 4,595	\$ 1,565	\$ 4,033	\$ 12,719
\$ 1,416	\$ 1,195	\$ 155	\$ 66	\$ 6,172	\$ 2,162	\$ 1,048	\$ 2,962	\$ 7,588
\$ 2,194	\$ 1,857	\$ 227	\$ 111	\$ 12,407	\$ 7,782	\$ 1,450	\$ 3,175	\$ 14,602
\$ 1,222	\$ 948	\$ 133	\$ 148	\$ 9,897	\$ 6,694	\$ 1,167	\$ 2,036	\$ 11,119
\$ 1,035	\$ 762	\$ 121	\$ 152	\$ 5,181	\$ 2,707	\$ 904	\$ 1,569	\$ 6,216
\$ 1,443	\$ 1,212	\$ 164	\$ 67	\$ 6,034	\$ 2,532	\$ 1,260	\$ 2,242	\$ 7,478
NA	NA	NA	NA	\$ 5,017	\$ 600	\$ 708	\$ 3,708	\$ 5,017
\$ 2,612	\$ 2,176	\$ 289	\$ 147	\$ 6,468	\$ 1,997	\$ 1,316	\$ 3,156	\$ 9,080
\$ 1,564	\$ 986	\$ 389	\$ 189	\$ 13,204	\$ 9,200	\$ 1,471	\$ 2,533	\$ 14,768
\$ 1,423	\$ 1,026	\$ 265	\$ 132	\$ 9,880	\$ 7,150	\$ 916	\$ 1,814	\$ 11,303
\$ 3,034	\$ 2,658	\$ 212	\$ 164	\$ 11,017	\$ 6,341	\$ 1,508	\$ 3,168	\$ 14,051
\$ 4,107	\$ 3,767	\$ 164	\$ 177	\$ 6,563	\$ 2,766	\$ 1,288	\$ 2,509	\$ 10,670
\$ 1,248	\$ 900	\$ 213	\$ 135	\$ 10,235	\$ 6,962	\$ 1,180	\$ 2,093	\$ 11,483
\$ 3,393	\$ 3,113	\$ 125	\$ 155	\$ 7,751	\$ 3,638	\$ 1,174	\$ 2,939	\$ 11,145
\$ 2,181	\$ 1,847	\$ 205	\$ 130	\$ 7,729	\$ 3,330	\$ 1,309	\$ 3,090	\$ 9,910
\$ 891	\$ 603	\$ 167	\$ 122	\$ 5,432	\$ 2,477	\$ 1,071	\$ 1,883	\$ 6,323
\$ 4,630	\$ 4,054	\$ 406	\$ 170	\$ 10,315	\$ 6,091	\$ 1,038	\$ 3,186	\$ 14,946
\$ 4,559	\$ 4,075	\$ 323	\$ 161	\$ 5,972	\$ 1,793	\$ 842	\$ 3,337	\$ 10,532
\$ 2,862	\$ 2,470	\$ 243	\$ 150	\$ 9,415	\$ 6,603	\$ 892	\$ 1,920	\$ 12,278
\$ 3,646	\$ 3,308	\$ 198	\$ 140	\$ 5,217	\$ 2,255	\$ 645	\$ 2,317	\$ 8,863
\$ 2,240	\$ 1,863	\$ 228	\$ 149	\$ 10,180	\$ 5,402	\$ 971	\$ 3,807	\$ 12,420
\$ 2,779	\$ 2,531	\$ 126	\$ 122	\$ 3,694	\$ 871	\$ 741	\$ 2,083	\$ 6,473
\$ 1,827	\$ 1,275	\$ 380	\$ 172	\$ 17,043	\$ 11,827	\$ 1,577	\$ 3,640	\$ 18,870

Tabla 7. Desglose de los costos pronosticados por regresión lineal.

Metodología de Regresión Lineal								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
40.0%	42.1%	30.7%	15.6%	NA	NA	NA	NA	40.0%
17.6%	20.2%	4.2%	-5.7%	NA	NA	NA	NA	17.6%
0.1%	-0.6%	-2.9%	14.8%	21.0%	40.7%	-6.8%	-9.1%	17.6%
3.7%	-3.1%	10.3%	52.1%	17.7%	33.2%	7.9%	5.3%	15.4%
2.7%	-1.8%	11.0%	36.7%	9.7%	13.3%	4.8%	1.8%	8.7%
30.9%	31.4%	37.8%	15.4%	12.1%	9.4%	2.3%	24.0%	14.7%
-13.5%	-22.7%	12.8%	0.1%	-14.0%	-45.9%	4.9%	9.6%	-14.0%
0.3%	-9.9%	11.3%	58.2%	11.3%	20.7%	-1.7%	5.6%	9.4%
NA	NA	NA	NA	-13.0%	38.4%	4.9%	-36.3%	-13.0%
17.8%	18.0%	17.0%	16.0%	10.8%	12.0%	13.0%	9.0%	12.9%
-13.1%	-13.0%	-15.0%	-10.0%	-13.4%	-15.0%	-10.0%	-10.0%	-13.4%
15.5%	16.0%	14.0%	15.0%	16.6%	18.0%	12.0%	13.0%	16.5%
-16.6%	-17.0%	-15.0%	-13.0%	-13.3%	-13.0%	-9.0%	-16.0%	-14.0%
-14.5%	-15.0%	-12.0%	-7.0%	-11.0%	-12.0%	-9.0%	-11.0%	-12.3%
12.3%	11.0%	18.0%	11.0%	12.4%	12.0%	15.0%	12.0%	12.3%
7.4%	7.0%	15.0%	9.0%	12.8%	12.0%	15.0%	13.0%	11.3%
15.2%	14.0%	25.0%	14.0%	17.3%	23.0%	13.0%	12.0%	16.8%
12.9%	12.0%	13.0%	17.0%	13.6%	14.0%	12.0%	14.0%	13.5%
-9.5%	-9.0%	-12.0%	-15.0%	-10.8%	-9.0%	-18.0%	-12.0%	-10.4%
-14.9%	-15.0%	-17.0%	-9.0%	4.0%	-10.0%	9.0%	9.0%	-3.4%
15.4%	15.0%	22.0%	11.0%	9.0%	9.0%	9.0%	9.0%	10.6%
11.2%	11.0%	11.0%	16.0%	11.1%	10.0%	15.0%	11.0%	11.1%
18.6%	19.0%	18.0%	15.0%	-17.7%	-25.0%	-12.0%	-10.0%	-8.9%
10.4%	10.0%	16.0%	13.0%	11.0%	13.0%	14.0%	9.0%	10.8%
-16.8%	-18.0%	-14.0%	-14.0%	-29.7%	-38.0%	-12.0%	-15.0%	-28.3%

Tabla 8. Desglose del porcentaje de error de la metodología de regresión lineal.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con base al método de regresión polinomial para cada subcategoría del motor eléctrico de cada uno de los veinticinco motores de la base de datos se pueden observar en la tabla 9, además en la tabla 10 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología de Regresión Polinomial								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,433	\$ 2,037	\$ 305	\$ 91	NA	NA	NA	NA	\$ 2,433
\$ 2,719	\$ 2,308	\$ 331	\$ 80	NA	NA	NA	NA	\$ 2,719
\$ 2,638	\$ 2,259	\$ 276	\$ 103	\$ 10,372	\$ 4,774	\$ 1,566	\$ 4,033	\$ 13,010
\$ 1,264	\$ 984	\$ 159	\$ 120	\$ 6,126	\$ 2,112	\$ 1,052	\$ 2,962	\$ 7,390
\$ 2,209	\$ 1,858	\$ 235	\$ 116	\$ 13,581	\$ 8,951	\$ 1,454	\$ 3,175	\$ 15,789
\$ 811	\$ 545	\$ 136	\$ 129	\$ 10,815	\$ 7,803	\$ 1,163	\$ 2,149	\$ 11,626
\$ 1,274	\$ 1,001	\$ 122	\$ 119	\$ 5,401	\$ 2,816	\$ 901	\$ 1,685	\$ 6,675
\$ 1,809	\$ 1,539	\$ 167	\$ 103	\$ 5,868	\$ 2,361	\$ 1,265	\$ 2,242	\$ 7,677
NA	NA	NA	NA	\$ 5,418	\$ 751	\$ 702	\$ 3,964	\$ 5,418
\$ 2,706	\$ 2,283	\$ 285	\$ 138	\$ 6,265	\$ 1,929	\$ 1,285	\$ 3,052	\$ 8,972
\$ 1,770	\$ 1,126	\$ 426	\$ 219	\$ 13,103	\$ 8,960	\$ 1,564	\$ 2,579	\$ 14,873
\$ 1,273	\$ 929	\$ 222	\$ 122	\$ 9,863	\$ 7,238	\$ 875	\$ 1,751	\$ 11,136
\$ 3,352	\$ 2,931	\$ 240	\$ 181	\$ 11,254	\$ 6,453	\$ 1,633	\$ 3,168	\$ 14,606
\$ 4,651	\$ 4,258	\$ 187	\$ 206	\$ 6,796	\$ 2,816	\$ 1,335	\$ 2,645	\$ 11,447
\$ 1,048	\$ 738	\$ 200	\$ 109	\$ 9,833	\$ 6,566	\$ 1,221	\$ 2,046	\$ 10,881
\$ 3,220	\$ 2,979	\$ 117	\$ 124	\$ 7,765	\$ 3,638	\$ 1,188	\$ 2,939	\$ 10,985
\$ 1,868	\$ 1,546	\$ 207	\$ 115	\$ 8,023	\$ 3,719	\$ 1,249	\$ 3,055	\$ 9,891
\$ 807	\$ 548	\$ 153	\$ 106	\$ 5,424	\$ 2,506	\$ 1,035	\$ 1,883	\$ 6,231
\$ 5,102	\$ 4,464	\$ 457	\$ 182	\$ 10,931	\$ 6,650	\$ 1,038	\$ 3,243	\$ 16,033
\$ 4,606	\$ 4,075	\$ 350	\$ 181	\$ 7,149	\$ 1,858	\$ 1,073	\$ 4,217	\$ 11,755
\$ 2,571	\$ 2,208	\$ 240	\$ 123	\$ 8,824	\$ 6,168	\$ 862	\$ 1,793	\$ 11,395
\$ 3,262	\$ 2,974	\$ 171	\$ 117	\$ 4,920	\$ 2,055	\$ 653	\$ 2,213	\$ 8,182
\$ 3,341	\$ 2,783	\$ 357	\$ 201	\$ 9,740	\$ 4,840	\$ 989	\$ 3,911	\$ 13,080
\$ 2,242	\$ 2,025	\$ 114	\$ 104	\$ 3,461	\$ 821	\$ 741	\$ 1,899	\$ 5,704
\$ 1,284	\$ 865	\$ 300	\$ 119	\$ 14,482	\$ 9,598	\$ 1,661	\$ 3,222	\$ 15,765

Tabla 9. Desglose de los costos pronosticados por regresión polinomial.

Metodología de Regresión Polinomial								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
46.7%	48.7%	28.9%	45.6%	NA	NA	NA	NA	46.7%
23.2%	24.6%	2.0%	44.4%	NA	NA	NA	NA	23.2%
-4.3%	-6.8%	-6.1%	32.4%	19.6%	38.3%	-6.9%	-9.1%	15.7%
14.0%	15.1%	7.7%	12.2%	18.4%	34.7%	7.6%	5.3%	17.6%
2.0%	-1.8%	7.7%	33.8%	1.1%	0.3%	4.6%	1.8%	1.3%
54.2%	60.5%	36.1%	26.3%	4.0%	-5.6%	2.6%	19.8%	10.8%
-39.7%	-61.1%	11.9%	21.7%	-18.9%	-51.7%	5.3%	2.9%	-22.4%
-25.0%	-39.6%	9.6%	35.7%	13.8%	26.0%	-2.0%	5.6%	7.0%
NA	NA	NA	NA	-22.1%	22.9%	5.7%	-45.7%	-22.1%
14.8%	14.0%	18.0%	21.0%	13.6%	15.0%	15.0%	12.0%	13.9%
-28.0%	-29.0%	-26.0%	-27.0%	-12.6%	-12.0%	-17.0%	-12.0%	-14.2%
24.5%	24.0%	28.0%	21.0%	16.7%	17.0%	16.0%	16.0%	17.7%
-28.8%	-29.0%	-30.0%	-25.0%	-15.7%	-15.0%	-18.0%	-16.0%	-18.5%
-29.7%	-30.0%	-28.0%	-25.0%	-14.9%	-14.0%	-13.0%	-17.0%	-20.5%
26.4%	27.0%	23.0%	28.0%	15.8%	17.0%	12.0%	14.0%	16.9%
12.1%	11.0%	21.0%	27.0%	12.7%	12.0%	14.0%	13.0%	12.5%
27.3%	28.0%	24.0%	24.0%	14.1%	14.0%	17.0%	13.0%	17.0%
21.2%	20.0%	20.0%	28.0%	13.7%	13.0%	15.0%	14.0%	14.8%
-20.6%	-20.0%	-26.0%	-23.0%	-17.4%	-19.0%	-18.0%	-14.0%	-18.4%
-16.1%	-15.0%	-27.0%	-22.0%	-14.9%	-14.0%	-16.0%	-15.0%	-15.4%
24.1%	24.0%	23.0%	27.0%	14.7%	15.0%	12.0%	15.0%	17.0%
20.6%	20.0%	23.0%	30.0%	16.2%	18.0%	14.0%	15.0%	18.0%
-21.3%	-21.0%	-28.0%	-15.0%	-12.6%	-12.0%	-14.0%	-13.0%	-14.7%
27.7%	28.0%	24.0%	26.0%	16.6%	18.0%	14.0%	17.0%	21.4%
18.0%	20.0%	10.0%	21.0%	-10.2%	-12.0%	-18.0%	-1.8%	-7.2%

Tabla 10. Desglose del porcentaje de error de la metodología de regresión polinomial.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con base al método de K-vecinos cercanos para cada subcategoría del motor eléctrico de cada uno de los veinticinco motores de la base de datos se pueden observar en la tabla 11, además en la tabla 12 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología de K-Vecinos Cercanos								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,924	\$ 2,541	\$ 292	\$ 91	NA	NA	NA	NA	\$ 2,924
\$ 3,185	\$ 2,788	\$ 318	\$ 80	NA	NA	NA	NA	\$ 3,185
\$ 2,606	\$ 2,332	\$ 263	\$ 103	\$ 11,388	\$ 5,690	\$ 1,565	\$ 4,133	\$ 13,993
\$ 1,439	\$ 1,165	\$ 152	\$ 120	\$ 7,038	\$ 2,825	\$ 1,048	\$ 3,165	\$ 8,478
\$ 2,317	\$ 2,044	\$ 223	\$ 116	\$ 13,699	\$ 8,951	\$ 1,521	\$ 3,227	\$ 16,016
\$ 1,717	\$ 1,438	\$ 128	\$ 129	\$ 11,609	\$ 8,406	\$ 1,167	\$ 2,036	\$ 13,326
\$ 817	\$ 582	\$ 116	\$ 119	\$ 4,867	\$ 2,078	\$ 907	\$ 1,882	\$ 5,684
\$ 1,782	\$ 1,518	\$ 161	\$ 67	\$ 5,951	\$ 2,446	\$ 1,263	\$ 2,242	\$ 7,733
NA	NA	NA	NA	\$ 4,339	\$ 803	\$ 745	\$ 2,792	\$ 4,339
\$ 3,309	\$ 2,760	\$ 366	\$ 184	\$ 6,774	\$ 2,142	\$ 1,421	\$ 3,211	\$ 10,084
\$ 1,482	\$ 960	\$ 345	\$ 177	\$ 12,728	\$ 8,712	\$ 1,444	\$ 2,572	\$ 14,210
\$ 1,311	\$ 941	\$ 243	\$ 127	\$ 10,890	\$ 7,961	\$ 986	\$ 1,943	\$ 12,201
\$ 2,348	\$ 2,045	\$ 170	\$ 133	\$ 8,808	\$ 5,140	\$ 1,262	\$ 2,406	\$ 11,156
\$ 3,716	\$ 3,373	\$ 161	\$ 182	\$ 6,475	\$ 2,751	\$ 1,250	\$ 2,473	\$ 10,191
\$ 1,390	\$ 1,001	\$ 252	\$ 137	\$ 10,723	\$ 7,199	\$ 1,318	\$ 2,205	\$ 12,112
\$ 3,322	\$ 3,012	\$ 143	\$ 167	\$ 8,128	\$ 3,849	\$ 1,265	\$ 3,013	\$ 11,450
\$ 2,612	\$ 2,169	\$ 278	\$ 165	\$ 11,432	\$ 5,574	\$ 1,777	\$ 4,080	\$ 14,043
\$ 803	\$ 514	\$ 161	\$ 128	\$ 5,786	\$ 2,618	\$ 1,136	\$ 2,032	\$ 6,589
\$ 4,321	\$ 3,794	\$ 366	\$ 161	\$ 9,953	\$ 5,934	\$ 957	\$ 3,061	\$ 14,274
\$ 3,872	\$ 3,473	\$ 254	\$ 145	\$ 5,608	\$ 1,443	\$ 850	\$ 3,315	\$ 9,480
\$ 2,791	\$ 2,412	\$ 237	\$ 143	\$ 8,715	\$ 5,928	\$ 793	\$ 1,994	\$ 11,507
\$ 4,309	\$ 3,903	\$ 235	\$ 170	\$ 6,277	\$ 2,661	\$ 820	\$ 2,796	\$ 10,585
\$ 2,813	\$ 2,346	\$ 281	\$ 185	\$ 7,962	\$ 3,928	\$ 791	\$ 3,243	\$ 10,775
\$ 2,833	\$ 2,559	\$ 140	\$ 134	\$ 3,733	\$ 897	\$ 788	\$ 2,048	\$ 6,566
\$ 1,736	\$ 1,189	\$ 393	\$ 154	\$ 14,523	\$ 9,427	\$ 1,567	\$ 3,529	\$ 16,259

Tabla 11. Desglose de los costos pronosticados por K-vecinos cercanos.

Metodología de K-Vecinos Cercanos								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
36.0%	36.0%	32.0%	45.6%	NA	NA	NA	NA	36.0%
10.0%	8.8%	6.1%	44.4%	NA	NA	NA	NA	10.0%
-3.1%	-10.2%	-1.2%	32.4%	11.8%	26.5%	-6.8%	-11.8%	9.3%
2.1%	-0.5%	12.2%	12.2%	6.2%	12.7%	7.9%	-1.1%	5.5%
-2.8%	-12.0%	12.3%	33.8%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	-0.1%
3.0%	-4.1%	39.7%	26.3%	-3.1%	-13.7%	2.3%	24.0%	-2.2%
10.4%	6.4%	16.0%	21.7%	-7.2%	-12.0%	4.6%	-8.4%	-4.2%
-23.1%	-37.6%	13.0%	58.2%	12.6%	23.4%	-1.8%	5.6%	6.3%
NA	NA	NA	NA	2.2%	17.5%	0.0%	-2.6%	2.2%
-4.2%	-4.0%	-5.0%	-5.0%	6.5%	5.6%	6.0%	7.4%	3.3%
-7.2%	-10.0%	-2.0%	-3.0%	-9.4%	-8.9%	-8.0%	-11.7%	-9.1%
22.2%	23.0%	21.0%	18.0%	8.1%	8.7%	5.3%	6.8%	9.8%
9.7%	10.0%	8.0%	8.0%	9.4%	8.4%	8.8%	11.9%	9.5%
-3.6%	-3.0%	-10.0%	-10.0%	-9.5%	-11.4%	-5.8%	-9.4%	-7.3%
2.3%	1.0%	3.0%	10.0%	8.2%	9.0%	5.0%	7.3%	7.5%
9.3%	10.0%	3.0%	2.0%	8.6%	6.9%	8.4%	10.8%	8.8%
-1.6%	-1.0%	-2.0%	-9.0%	-22.4%	-28.9%	-18.1%	-16.2%	-17.9%
21.6%	25.0%	16.0%	13.0%	8.0%	9.1%	6.7%	7.2%	9.9%
-2.2%	-2.0%	-1.0%	-9.0%	-6.9%	-6.2%	-8.8%	-7.6%	-5.4%
2.4%	2.0%	8.0%	2.0%	9.9%	11.5%	8.1%	9.6%	7.0%
17.5%	17.0%	24.0%	15.0%	15.8%	18.3%	19.1%	5.5%	16.2%
-4.9%	-5.0%	-6.0%	-2.0%	-7.0%	-6.2%	-8.0%	-7.4%	-6.1%
-2.2%	-2.0%	-1.0%	-6.0%	7.9%	9.1%	8.8%	6.3%	5.5%
8.7%	9.0%	7.0%	4.0%	10.1%	10.4%	8.5%	10.5%	9.5%
-10.9%	-10.0%	-18.0%	-2.0%	-10.5%	-10.0%	-11.3%	-11.5%	-10.5%

Tabla 12. Desglose del porcentaje de error de la metodología de K-vecinos cercanos.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con base al método de máquinas vector soporte para cada subcategoría del motor eléctrico de cada uno de los veinticinco motores de la base de datos se puede observar en la tabla 13, además en la tabla 14 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología de Máquinas de Vector Soporte								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,794	\$ 2,372	\$ 296	\$ 126	NA	NA	NA	NA	\$ 2,794
\$ 2,998	\$ 2,546	\$ 322	\$ 130	NA	NA	NA	NA	\$ 2,998
\$ 2,578	\$ 2,189	\$ 266	\$ 122	\$ 10,551	\$ 4,924	\$ 1,565	\$ 4,063	\$ 13,129
\$ 1,422	\$ 1,186	\$ 154	\$ 82	\$ 6,432	\$ 2,361	\$ 1,048	\$ 3,023	\$ 7,854
\$ 2,251	\$ 1,913	\$ 225	\$ 113	\$ 12,795	\$ 8,133	\$ 1,471	\$ 3,191	\$ 15,046
\$ 1,369	\$ 1,095	\$ 131	\$ 143	\$ 10,411	\$ 7,208	\$ 1,167	\$ 2,036	\$ 11,780
\$ 970	\$ 708	\$ 119	\$ 142	\$ 5,087	\$ 2,519	\$ 905	\$ 1,663	\$ 6,056
\$ 1,534	\$ 1,304	\$ 163	\$ 67	\$ 6,009	\$ 2,506	\$ 1,261	\$ 2,242	\$ 7,543
NA	NA	NA	NA	\$ 4,813	\$ 661	\$ 719	\$ 3,433	\$ 4,813
\$ 2,821	\$ 2,352	\$ 312	\$ 158	\$ 6,560	\$ 2,040	\$ 1,347	\$ 3,172	\$ 9,381
\$ 1,540	\$ 978	\$ 376	\$ 186	\$ 13,061	\$ 9,054	\$ 1,463	\$ 2,544	\$ 14,600
\$ 1,389	\$ 1,001	\$ 258	\$ 130	\$ 10,183	\$ 7,394	\$ 937	\$ 1,852	\$ 11,572
\$ 2,828	\$ 2,474	\$ 199	\$ 155	\$ 10,354	\$ 5,980	\$ 1,435	\$ 2,939	\$ 13,182
\$ 3,990	\$ 3,649	\$ 163	\$ 178	\$ 6,537	\$ 2,762	\$ 1,277	\$ 2,498	\$ 10,526
\$ 1,291	\$ 930	\$ 225	\$ 135	\$ 10,381	\$ 7,033	\$ 1,221	\$ 2,127	\$ 11,672
\$ 3,372	\$ 3,083	\$ 131	\$ 159	\$ 7,864	\$ 3,702	\$ 1,201	\$ 2,961	\$ 11,236
\$ 2,310	\$ 1,943	\$ 227	\$ 140	\$ 8,840	\$ 4,003	\$ 1,450	\$ 3,387	\$ 11,150
\$ 865	\$ 576	\$ 165	\$ 124	\$ 5,538	\$ 2,520	\$ 1,090	\$ 1,928	\$ 6,403
\$ 4,538	\$ 3,976	\$ 394	\$ 167	\$ 10,206	\$ 6,044	\$ 1,014	\$ 3,149	\$ 14,744
\$ 4,353	\$ 3,895	\$ 302	\$ 156	\$ 5,863	\$ 1,688	\$ 844	\$ 3,331	\$ 10,216
\$ 2,841	\$ 2,452	\$ 241	\$ 148	\$ 9,205	\$ 6,401	\$ 862	\$ 1,942	\$ 12,046
\$ 3,845	\$ 3,487	\$ 209	\$ 149	\$ 5,535	\$ 2,377	\$ 697	\$ 2,461	\$ 9,380
\$ 2,412	\$ 2,008	\$ 244	\$ 160	\$ 9,515	\$ 4,959	\$ 917	\$ 3,638	\$ 11,927
\$ 2,795	\$ 2,539	\$ 130	\$ 126	\$ 3,706	\$ 879	\$ 755	\$ 2,072	\$ 6,501
\$ 1,800	\$ 1,249	\$ 384	\$ 167	\$ 16,287	\$ 11,107	\$ 1,574	\$ 3,607	\$ 18,087

Tabla 13. Desglose de los costos pronosticados por máquinas de vector soporte.

Metodología de Máquinas de Vector Soporte								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
38.8%	40.3%	31.1%	24.6%	NA	NA	NA	NA	38.8%
15.3%	16.8%	4.8%	9.3%	NA	NA	NA	NA	15.3%
-2.0%	-3.5%	-2.4%	20.1%	18.2%	36.4%	-6.8%	-9.9%	14.9%
3.2%	-2.3%	10.9%	40.2%	14.3%	27.0%	7.9%	3.4%	12.5%
0.2%	-4.8%	11.4%	35.8%	6.9%	9.4%	3.5%	1.3%	5.9%
22.6%	20.7%	38.4%	18.7%	7.6%	2.5%	2.3%	24.0%	9.6%
-6.3%	-13.9%	13.7%	6.6%	-12.0%	-35.7%	4.8%	4.2%	-11.0%
-5.9%	-18.2%	11.8%	58.2%	11.7%	21.5%	-1.7%	5.6%	8.6%
NA	NA	NA	NA	-8.4%	32.1%	3.5%	-26.2%	-8.4%
11.2%	11.4%	10.4%	9.7%	9.5%	10.1%	10.9%	8.5%	10.0%
-11.3%	-12.1%	-11.1%	-7.9%	-12.2%	-13.2%	-9.4%	-10.5%	-12.1%
17.5%	18.1%	16.1%	15.9%	14.0%	15.2%	10.0%	11.1%	14.5%
-8.7%	-8.9%	-8.1%	-6.7%	-6.5%	-6.6%	-3.7%	-7.6%	-6.9%
-11.2%	-11.4%	-11.4%	-7.9%	-10.6%	-11.8%	-8.0%	-10.5%	-10.8%
9.3%	8.0%	13.5%	10.7%	11.1%	11.1%	12.0%	10.6%	10.9%
8.0%	7.9%	11.4%	6.9%	11.6%	10.5%	13.0%	12.3%	10.5%
10.1%	9.5%	16.9%	7.1%	5.4%	7.4%	3.7%	3.5%	6.4%
15.5%	15.9%	13.9%	15.8%	11.9%	12.5%	10.4%	12.0%	12.4%
-7.3%	-6.9%	-8.7%	-13.2%	-9.6%	-8.2%	-15.2%	-10.7%	-8.9%
-9.7%	-9.9%	-9.5%	-5.7%	5.8%	-3.5%	8.7%	9.2%	-0.3%
16.1%	15.6%	22.6%	12.2%	11.0%	11.8%	12.0%	8.0%	12.3%
6.4%	6.2%	5.9%	10.6%	5.7%	5.1%	8.1%	5.5%	6.0%
12.4%	12.7%	12.3%	8.7%	-10.0%	-14.8%	-5.8%	-5.1%	-4.6%
9.9%	9.7%	13.3%	10.3%	10.7%	12.2%	12.4%	9.5%	10.4%
-15.0%	-15.6%	-15.2%	-10.4%	-23.9%	-29.6%	-11.8%	-14.0%	-23.0%

Tabla 14. Desglose del porcentaje de error de la metodología de máquinas de vector soporte.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con una cantidad pequeña de nodos, en este caso siete, se pueden observar en la tabla 15, además en la tabla 16 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología Redes Neuronales, 7 Nodos								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 3,903	\$ 3,374	\$ 374	\$ 155	NA	NA	NA	NA	\$ 3,903
\$ 3,932	\$ 3,456	\$ 332	\$ 145	NA	NA	NA	NA	\$ 3,932
\$ 2,022	\$ 1,671	\$ 219	\$ 133	\$ 11,899	\$ 7,147	\$ 1,417	\$ 3,335	\$ 13,921
\$ 1,371	\$ 1,079	\$ 162	\$ 130	\$ 6,849	\$ 2,932	\$ 1,004	\$ 2,913	\$ 8,220
\$ 2,279	\$ 1,807	\$ 277	\$ 195	\$ 15,475	\$ 10,184	\$ 1,688	\$ 3,603	\$ 17,754
\$ 1,788	\$ 1,436	\$ 202	\$ 149	\$ 10,640	\$ 6,947	\$ 1,183	\$ 2,510	\$ 12,427
\$ 842	\$ 559	\$ 127	\$ 155	\$ 4,062	\$ 1,635	\$ 861	\$ 1,566	\$ 4,904
\$ 1,523	\$ 1,158	\$ 187	\$ 178	\$ 7,546	\$ 3,479	\$ 1,402	\$ 2,665	\$ 9,069
NA	NA	NA	NA	\$ 4,136	\$ 914	\$ 725	\$ 2,497	\$ 4,136
\$ 3,084	\$ 2,574	\$ 338	\$ 171	\$ 6,872	\$ 2,099	\$ 1,465	\$ 3,308	\$ 9,956
\$ 1,171	\$ 759	\$ 267	\$ 145	\$ 10,064	\$ 6,776	\$ 1,135	\$ 2,153	\$ 11,235
\$ 1,807	\$ 1,344	\$ 311	\$ 152	\$ 12,240	\$ 8,825	\$ 1,072	\$ 2,343	\$ 14,047
\$ 2,703	\$ 2,363	\$ 194	\$ 146	\$ 8,808	\$ 4,932	\$ 1,290	\$ 2,586	\$ 11,511
\$ 3,313	\$ 3,013	\$ 133	\$ 167	\$ 5,210	\$ 2,139	\$ 1,093	\$ 1,978	\$ 8,523
\$ 1,589	\$ 1,133	\$ 294	\$ 162	\$ 13,202	\$ 9,019	\$ 1,531	\$ 2,652	\$ 14,790
\$ 4,062	\$ 3,749	\$ 133	\$ 181	\$ 9,290	\$ 4,176	\$ 1,533	\$ 3,581	\$ 13,352
\$ 2,534	\$ 2,126	\$ 254	\$ 154	\$ 8,211	\$ 3,676	\$ 1,445	\$ 3,090	\$ 10,744
\$ 1,045	\$ 698	\$ 226	\$ 121	\$ 5,989	\$ 2,621	\$ 1,047	\$ 2,321	\$ 7,035
\$ 4,529	\$ 4,092	\$ 305	\$ 133	\$ 8,934	\$ 5,308	\$ 810	\$ 2,816	\$ 13,464
\$ 3,433	\$ 3,048	\$ 240	\$ 145	\$ 5,913	\$ 1,679	\$ 823	\$ 3,411	\$ 9,346
\$ 3,592	\$ 3,167	\$ 243	\$ 182	\$ 10,021	\$ 6,821	\$ 921	\$ 2,279	\$ 13,613
\$ 4,541	\$ 4,163	\$ 222	\$ 155	\$ 5,648	\$ 2,656	\$ 675	\$ 2,317	\$ 10,189
\$ 2,912	\$ 2,438	\$ 293	\$ 182	\$ 9,013	\$ 4,537	\$ 980	\$ 3,496	\$ 11,925
\$ 3,461	\$ 3,206	\$ 126	\$ 129	\$ 3,890	\$ 1,101	\$ 775	\$ 2,014	\$ 7,351
\$ 1,450	\$ 908	\$ 370	\$ 172	\$ 13,674	\$ 9,256	\$ 1,507	\$ 2,912	\$ 15,123

Tabla 15. Desglose de los costos pronosticados por algoritmos de redes neuronales con siete nodos.

Metodología Redes Neuronales, 7 Nodos								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
14.5%	15.0%	13.0%	7.4%	NA	NA	NA	NA	14.5%
-11.1%	-13.0%	2.0%	-1.0%	NA	NA	NA	NA	-11.1%
20.0%	21.0%	16.0%	13.0%	7.8%	7.7%	3.3%	9.8%	9.8%
6.7%	7.0%	6.0%	5.0%	8.7%	9.4%	11.8%	6.9%	8.4%
-1.1%	1.0%	-9.0%	-11.0%	-12.6%	-13.4%	-10.8%	-11.4%	-11.0%
-1.0%	-4.0%	5.0%	15.0%	5.5%	6.0%	1.0%	6.3%	4.6%
7.7%	10.0%	8.0%	-2.0%	10.6%	11.9%	9.4%	9.8%	10.1%
-5.2%	-5.0%	-1.0%	-11.0%	-10.9%	-9.0%	-13.1%	-12.2%	-9.9%
NA	NA	NA	NA	6.8%	6.1%	2.7%	8.2%	6.8%
2.9%	3.0%	3.0%	2.0%	5.2%	7.5%	3.1%	4.6%	4.5%
15.3%	13.0%	21.0%	16.0%	13.5%	15.3%	15.1%	6.5%	13.7%
-7.3%	-10.0%	-1.0%	2.0%	-3.3%	-1.2%	-3.0%	-12.4%	-3.8%
-3.9%	-4.0%	-5.0%	-1.0%	9.4%	12.1%	6.8%	5.3%	6.6%
7.6%	8.0%	9.0%	-1.0%	11.9%	13.4%	7.5%	12.5%	10.3%
-11.6%	-12.0%	-13.0%	-7.0%	-13.1%	-14.0%	-10.3%	-11.5%	-12.9%
-10.8%	-12.0%	10.0%	-6.0%	-4.5%	-1.0%	-11.0%	-6.0%	-6.3%
1.5%	1.0%	7.0%	-2.0%	12.1%	15.0%	4.0%	12.0%	9.8%
-2.1%	-2.0%	-18.0%	18.0%	4.7%	9.0%	14.0%	-6.0%	3.8%
-7.1%	-10.0%	16.0%	10.0%	4.1%	5.0%	8.0%	1.0%	0.6%
13.5%	14.0%	13.0%	2.0%	5.0%	-3.0%	11.0%	7.0%	8.3%
-6.1%	-9.0%	22.0%	-8.0%	3.1%	6.0%	6.0%	-8.0%	0.9%
-10.6%	-12.0%	0.0%	7.0%	3.7%	-6.0%	11.0%	11.0%	-2.2%
-5.8%	-6.0%	-5.0%	-4.0%	-4.2%	-5.0%	-13.0%	-1.0%	-4.6%
-11.6%	-14.0%	16.0%	8.0%	6.3%	-10.0%	10.0%	12.0%	-1.3%
7.4%	16.0%	-11.0%	-14.0%	-4.0%	-8.0%	-7.0%	8.0%	-2.8%

Tabla 16. Desglose del porcentaje de error de la metodología de redes neuronales con siete nodos.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con una cantidad mediana de nodos, en este caso doce, se pueden observar en la tabla 17, además en la tabla 18 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología Redes Neuronales, 12 Nodos								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 5,052	\$ 4,406	\$ 466	\$ 180	NA	NA	NA	NA	\$ 5,052
\$ 3,727	\$ 3,263	\$ 324	\$ 140	NA	NA	NA	NA	\$ 3,727
\$ 2,450	\$ 2,031	\$ 270	\$ 149	\$ 11,999	\$ 7,232	\$ 1,343	\$ 3,424	\$ 14,449
\$ 1,373	\$ 1,055	\$ 179	\$ 139	\$ 7,467	\$ 3,401	\$ 1,093	\$ 2,973	\$ 8,840
\$ 2,352	\$ 1,927	\$ 238	\$ 187	\$ 13,941	\$ 9,403	\$ 1,397	\$ 3,140	\$ 16,293
\$ 1,655	\$ 1,290	\$ 194	\$ 171	\$ 11,864	\$ 7,841	\$ 1,154	\$ 2,870	\$ 13,519
\$ 870	\$ 581	\$ 148	\$ 141	\$ 4,771	\$ 1,992	\$ 995	\$ 1,784	\$ 5,641
\$ 1,417	\$ 1,067	\$ 184	\$ 166	\$ 7,192	\$ 3,415	\$ 1,302	\$ 2,475	\$ 8,609
NA	NA	NA	NA	\$ 4,539	\$ 1,021	\$ 762	\$ 2,755	\$ 4,539
\$ 3,376	\$ 2,845	\$ 365	\$ 166	\$ 7,565	\$ 2,135	\$ 1,650	\$ 3,780	\$ 10,940
\$ 1,429	\$ 931	\$ 335	\$ 163	\$ 11,502	\$ 7,704	\$ 1,417	\$ 2,381	\$ 12,931
\$ 1,711	\$ 1,249	\$ 321	\$ 142	\$ 12,528	\$ 9,383	\$ 988	\$ 2,157	\$ 14,239
\$ 2,606	\$ 2,277	\$ 176	\$ 153	\$ 9,791	\$ 5,376	\$ 1,496	\$ 2,919	\$ 12,396
\$ 3,312	\$ 3,003	\$ 153	\$ 156	\$ 6,011	\$ 2,672	\$ 1,288	\$ 2,050	\$ 9,323
\$ 1,384	\$ 971	\$ 275	\$ 139	\$ 11,577	\$ 7,626	\$ 1,453	\$ 2,498	\$ 12,961
\$ 3,407	\$ 3,096	\$ 156	\$ 155	\$ 9,278	\$ 4,507	\$ 1,326	\$ 3,446	\$ 12,686
\$ 2,428	\$ 2,040	\$ 251	\$ 137	\$ 9,238	\$ 4,497	\$ 1,475	\$ 3,266	\$ 11,666
\$ 971	\$ 644	\$ 172	\$ 155	\$ 6,280	\$ 2,938	\$ 1,327	\$ 2,015	\$ 7,250
\$ 3,905	\$ 3,385	\$ 370	\$ 151	\$ 9,417	\$ 5,644	\$ 871	\$ 2,902	\$ 13,322
\$ 4,053	\$ 3,650	\$ 259	\$ 144	\$ 6,213	\$ 1,777	\$ 916	\$ 3,521	\$ 10,266
\$ 3,516	\$ 3,051	\$ 286	\$ 179	\$ 9,663	\$ 6,748	\$ 931	\$ 1,983	\$ 13,179
\$ 4,193	\$ 3,792	\$ 224	\$ 177	\$ 5,762	\$ 2,631	\$ 736	\$ 2,395	\$ 9,955
\$ 2,656	\$ 2,231	\$ 267	\$ 157	\$ 9,190	\$ 4,689	\$ 902	\$ 3,600	\$ 11,846
\$ 2,977	\$ 2,700	\$ 141	\$ 136	\$ 4,227	\$ 1,071	\$ 913	\$ 2,243	\$ 7,204
\$ 1,464	\$ 973	\$ 353	\$ 139	\$ 13,004	\$ 8,227	\$ 1,422	\$ 3,355	\$ 14,469

Tabla 17. Desglose de los costos pronosticados por algoritmos de redes neuronales con doce nodos.

Metodología Redes Neuronales, 12 Nodos								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
-10.6%	-11.0%	-8.4%	-7.1%	NA	NA	NA	NA	-10.6%
-5.3%	-6.7%	4.3%	2.4%	NA	NA	NA	NA	-5.3%
3.1%	4.0%	-3.7%	2.2%	7.0%	6.6%	8.3%	7.4%	6.4%
6.6%	9.0%	-3.4%	-1.6%	0.5%	-5.1%	4.0%	5.0%	1.5%
-4.3%	-5.6%	6.4%	-6.8%	-1.5%	-4.7%	8.3%	2.9%	-1.9%
6.5%	6.6%	8.8%	2.6%	-5.3%	-6.1%	3.4%	-7.1%	-3.7%
4.6%	6.5%	-7.0%	7.5%	-5.0%	-7.3%	-4.7%	-2.8%	-3.4%
2.1%	3.2%	0.6%	-3.5%	-5.7%	-7.0%	-5.0%	-4.2%	-4.3%
NA	NA	NA	NA	-2.3%	-4.9%	-2.3%	-1.3%	-2.3%
-6.3%	-7.2%	-4.8%	5.2%	-4.4%	5.9%	-9.1%	-9.0%	-4.9%
-3.3%	-6.7%	1.0%	5.3%	1.2%	3.7%	-6.0%	-3.4%	0.7%
-1.6%	-2.2%	-4.2%	8.6%	-5.8%	-7.6%	5.1%	-3.5%	-5.2%
-0.2%	-0.2%	4.5%	-5.5%	-0.7%	4.2%	-8.1%	-6.9%	-0.6%
7.7%	8.3%	-4.6%	5.7%	-1.7%	-8.2%	-9.0%	9.3%	1.9%
2.7%	4.0%	-5.6%	8.4%	0.9%	3.6%	-4.7%	-5.0%	1.1%
7.0%	7.5%	-6.0%	9.0%	-4.3%	-9.0%	4.0%	-2.0%	-1.0%
5.6%	5.0%	8.0%	9.0%	1.1%	-4.0%	2.0%	7.0%	2.1%
5.2%	6.0%	10.0%	-5.0%	0.1%	-2.0%	-9.0%	8.0%	0.8%
7.7%	9.0%	-2.0%	-2.0%	-1.1%	-1.0%	1.0%	-2.0%	1.6%
-2.2%	-3.0%	6.0%	3.0%	0.1%	-9.0%	1.0%	4.0%	-0.7%
-3.9%	-5.0%	8.0%	-6.0%	6.6%	7.0%	5.0%	6.0%	4.0%
-2.1%	-2.0%	-1.0%	-6.0%	1.8%	-5.0%	3.0%	8.0%	0.2%
3.5%	3.0%	4.0%	10.0%	-6.2%	-8.5%	-4.0%	-4.0%	-3.9%
4.1%	4.0%	6.0%	3.0%	-1.8%	-7.0%	-6.0%	2.0%	0.7%
6.4%	10.0%	-6.0%	8.0%	1.1%	4.0%	-1.0%	-6.0%	1.6%

Tabla 18. Desglose del porcentaje de error de la metodología de redes neuronales con doce nodos.

Las predicciones que arrojó el algoritmo con una cantidad alta de nodos, en este caso veinticinco, se pueden observar en la tabla 19, además en la tabla 20 se muestran los resultados en formato de porcentaje de error.

Metodología Redes Neuronales, 25 Nodos								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 4,225	\$ 3,581	\$ 465	\$ 179	NA	NA	NA	NA	\$ 4,225
\$ 3,715	\$ 3,248	\$ 325	\$ 142	NA	NA	NA	NA	\$ 3,715
\$ 2,527	\$ 2,108	\$ 267	\$ 151	\$ 12,078	\$ 7,275	\$ 1,360	\$ 3,443	\$ 14,605
\$ 1,377	\$ 1,063	\$ 176	\$ 137	\$ 7,523	\$ 3,394	\$ 1,102	\$ 3,027	\$ 8,900
\$ 2,381	\$ 1,958	\$ 234	\$ 190	\$ 13,811	\$ 9,223	\$ 1,418	\$ 3,170	\$ 16,192
\$ 1,684	\$ 1,314	\$ 195	\$ 174	\$ 11,950	\$ 7,893	\$ 1,144	\$ 2,913	\$ 13,634
\$ 873	\$ 583	\$ 146	\$ 143	\$ 4,698	\$ 1,963	\$ 983	\$ 1,752	\$ 5,570
\$ 1,444	\$ 1,093	\$ 187	\$ 164	\$ 7,037	\$ 3,391	\$ 1,247	\$ 2,399	\$ 8,481
NA	NA	NA	NA	\$ 4,462	\$ 1,005	\$ 755	\$ 2,702	\$ 4,462
\$ 3,338	\$ 2,809	\$ 363	\$ 166	\$ 7,665	\$ 2,159	\$ 1,659	\$ 3,847	\$ 11,003
\$ 1,436	\$ 929	\$ 341	\$ 166	\$ 11,538	\$ 7,687	\$ 1,438	\$ 2,413	\$ 12,974
\$ 1,689	\$ 1,226	\$ 321	\$ 142	\$ 12,416	\$ 9,274	\$ 1,005	\$ 2,137	\$ 14,104
\$ 2,586	\$ 2,257	\$ 178	\$ 151	\$ 9,786	\$ 5,441	\$ 1,472	\$ 2,873	\$ 12,372
\$ 3,302	\$ 2,994	\$ 154	\$ 154	\$ 5,985	\$ 2,639	\$ 1,283	\$ 2,063	\$ 9,287
\$ 1,402	\$ 991	\$ 270	\$ 142	\$ 11,685	\$ 7,774	\$ 1,432	\$ 2,478	\$ 13,087
\$ 3,533	\$ 3,219	\$ 159	\$ 154	\$ 9,215	\$ 4,486	\$ 1,327	\$ 3,402	\$ 12,748
\$ 2,445	\$ 2,052	\$ 253	\$ 139	\$ 9,253	\$ 4,452	\$ 1,493	\$ 3,307	\$ 11,697
\$ 973	\$ 646	\$ 173	\$ 153	\$ 6,307	\$ 2,982	\$ 1,328	\$ 1,997	\$ 7,279
\$ 3,960	\$ 3,440	\$ 370	\$ 150	\$ 9,510	\$ 5,714	\$ 863	\$ 2,933	\$ 13,470
\$ 4,056	\$ 3,641	\$ 269	\$ 146	\$ 6,254	\$ 1,775	\$ 921	\$ 3,559	\$ 10,310
\$ 3,537	\$ 3,074	\$ 284	\$ 180	\$ 9,828	\$ 6,801	\$ 942	\$ 2,084	\$ 13,365
\$ 4,129	\$ 3,733	\$ 222	\$ 174	\$ 5,799	\$ 2,615	\$ 744	\$ 2,441	\$ 9,928
\$ 2,697	\$ 2,264	\$ 273	\$ 160	\$ 9,051	\$ 4,621	\$ 893	\$ 3,537	\$ 11,748
\$ 2,950	\$ 2,675	\$ 141	\$ 135	\$ 4,159	\$ 1,026	\$ 924	\$ 2,209	\$ 7,109
\$ 1,491	\$ 993	\$ 359	\$ 139	\$ 12,992	\$ 8,275	\$ 1,421	\$ 3,296	\$ 14,484

Tabla 19. Desglose de los costos pronosticados por algoritmos de redes neuronales con veinticinco nodos.

Metodología Redes Neuronales, 25 Nodos								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
7.5%	9.8%	-8.3%	-6.5%	NA	NA	NA	NA	7.5%
-4.9%	-6.2%	3.8%	1.0%	NA	NA	NA	NA	-4.9%
0.0%	0.3%	-2.8%	0.7%	6.4%	6.0%	7.2%	6.9%	5.4%
6.3%	8.3%	-1.9%	-0.2%	-0.3%	-4.9%	3.2%	3.3%	0.8%
-5.6%	-7.3%	8.1%	-8.0%	-0.5%	-2.7%	7.0%	2.0%	-1.2%
4.9%	4.8%	8.5%	0.6%	-6.1%	-6.8%	4.3%	-8.7%	-4.6%
4.3%	6.1%	-5.6%	6.0%	-3.4%	-5.8%	-3.4%	-0.9%	-2.1%
0.3%	0.9%	-0.8%	-2.4%	-3.4%	-6.2%	-0.6%	-1.0%	-2.7%
NA	NA	NA	NA	-0.5%	-3.2%	-1.4%	0.7%	-0.5%
-5.1%	-5.9%	-4.2%	4.9%	-5.7%	4.8%	-9.7%	-10.9%	-5.5%
-3.8%	-6.5%	-0.9%	3.7%	0.9%	3.9%	-7.6%	-4.8%	0.4%
-0.2%	-0.3%	-4.1%	8.1%	-4.8%	-6.4%	3.5%	-2.5%	-4.2%
0.6%	0.7%	3.6%	-4.3%	-0.6%	3.0%	-6.4%	-5.2%	-0.4%
7.9%	8.6%	-5.2%	6.8%	-1.2%	-6.9%	-8.6%	8.8%	2.2%
1.5%	2.0%	-3.8%	6.6%	-0.1%	1.7%	-3.2%	-4.2%	0.1%
3.6%	3.8%	-8.0%	9.5%	-3.6%	-8.5%	3.9%	-0.7%	-1.5%
4.9%	4.4%	7.3%	7.7%	0.9%	-3.0%	0.8%	5.8%	1.8%
5.0%	5.6%	9.5%	-4.0%	-0.3%	-3.5%	-9.1%	8.8%	0.4%
6.4%	7.5%	-1.9%	-1.8%	-2.1%	-2.3%	1.9%	-3.1%	0.5%
-2.2%	-2.8%	2.4%	1.5%	-0.5%	-8.9%	0.5%	2.9%	-1.2%
-4.5%	-5.8%	8.8%	-6.6%	5.0%	6.3%	3.8%	1.2%	2.7%
-0.5%	-0.4%	0.0%	-4.2%	1.2%	-4.3%	2.0%	6.2%	0.5%
2.0%	1.6%	2.0%	8.3%	-4.6%	-6.9%	-2.9%	-2.2%	-3.0%
4.9%	4.9%	6.3%	3.5%	-0.2%	-2.5%	-7.2%	3.5%	2.0%
4.7%	8.1%	-7.9%	8.1%	1.1%	3.4%	-0.9%	-4.1%	1.5%

Tabla 20. Desglose del porcentaje de error de la metodología de redes neuronales con veinticinco nodos.

Los resultados propuestos por el algoritmo utilizando doce nodos; respecto de las cinco cotizaciones de nuevos motores eléctricos fuera de la base de datos en cantidad y porcentaje de error fueron:

Prógnosis de Cotizaciones Redes Neuronales, 12 Nodos								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,573	\$ 2,083	\$ 290	\$ 201	\$ 15,740	\$ 10,329	\$ 1,682	\$ 3,730	\$ 18,314
\$ 1,114	\$ 761	\$ 168	\$ 185	\$ 4,885	\$ 2,154	\$ 872	\$ 1,859	\$ 5,999
\$ 1,949	\$ 1,577	\$ 209	\$ 163	\$ 10,769	\$ 7,229	\$ 1,275	\$ 2,265	\$ 12,718
\$ 1,338	\$ 1,001	\$ 171	\$ 166	\$ 5,433	\$ 2,853	\$ 1,303	\$ 1,277	\$ 6,770
\$ 1,617	\$ 1,256	\$ 202	\$ 158	\$ 6,885	\$ 3,300	\$ 1,289	\$ 2,295	\$ 8,502

Tabla 21. Pronósticos del algoritmo de redes neuronales con doce nodos respecto a los motores eléctricos enviados a cotizar.

Prógnostico de Cotizaciones Redes Neuronales, 12 Nodos								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
-8.7%	-8.7%	-8.4%	-9.2%	-8.1%	-8.5%	-4.1%	-8.8%	-8.2%
-6.6%	-6.5%	-7.1%	-6.7%	-4.7%	-5.5%	-1.9%	-5.0%	-5.0%
9.0%	9.0%	8.7%	9.7%	5.6%	5.3%	3.8%	7.5%	6.1%
8.4%	8.9%	6.4%	7.1%	6.7%	7.9%	3.5%	7.2%	7.0%
-4.7%	-3.9%	-9.1%	-5.2%	-5.8%	-4.7%	-5.0%	-7.8%	-5.6%

Tabla 22. Desglose del porcentaje de error entre cotizaciones y redes neuronales con doce nodos.

Los resultados propuestos por el algoritmo utilizando veinticinco nodos; respecto de las cinco cotizaciones de nuevos motores eléctricos fuera de la base de datos en cantidad y porcentaje de error fueron:

Prógnostico de Cotizaciones Redes Neuronales, 25 Nodos								
Proyeccion Rotor				Proyeccion Estator				Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
\$ 2,666	\$ 2,169	\$ 295	\$ 202	\$ 16,443	\$ 10,805	\$ 1,730	\$ 3,908	\$ 19,109
\$ 1,134	\$ 776	\$ 169	\$ 188	\$ 4,334	\$ 1,909	\$ 814	\$ 1,611	\$ 5,468
\$ 1,896	\$ 1,534	\$ 207	\$ 155	\$ 10,093	\$ 6,618	\$ 1,222	\$ 2,253	\$ 11,989
\$ 1,326	\$ 991	\$ 173	\$ 162	\$ 5,284	\$ 2,819	\$ 1,243	\$ 1,222	\$ 6,610
\$ 1,638	\$ 1,276	\$ 202	\$ 161	\$ 7,152	\$ 3,458	\$ 1,335	\$ 2,359	\$ 8,790

Tabla 23. Pronósticos del algoritmo de redes neuronales con veinticinco nodos respecto a los motores eléctricos enviados a cotizar.

Prógnostico de Cotizaciones Redes Neuronales, 25 Nodos								
Porcentaje de Error en el Rotor Respecto a:				Porcentaje de Error en el Estator Respecto a:				Porcentaje de Error Total
Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	Costo Total	Costo Material	Costo Variable	Costo fijo	
-12.6%	-13.2%	-10.5%	-9.7%	-12.9%	-13.5%	-7.1%	-14.0%	-12.9%
-8.5%	-8.7%	-7.7%	-8.6%	7.2%	6.5%	4.9%	9.0%	4.3%
11.5%	11.5%	9.8%	13.7%	11.5%	13.3%	7.8%	8.0%	11.5%
9.2%	9.8%	5.4%	9.2%	9.3%	9.0%	7.9%	11.2%	9.2%
-6.0%	-5.5%	-8.9%	-6.7%	-9.9%	-9.7%	-8.7%	-10.8%	-9.1%

Tabla 24. Desglose del porcentaje de error entre cotizaciones y redes neuronales con doce nodos.

9. Referencias

- [1] W. S. McCulloch and W. Pitts, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. The bulletin of mathematical biophysics, 5(4):115–133, 1943.
- [2] McCulloch, W., Pitts, W., & Hebb, D. Breve Historia de las Redes Neuronales Artificiales (Artículo 1) Created with Sketch, in: Steemit, 2019.
- [3] Abiodun, O. I., Jantan, A., Omolara, A. E., Dada, K. V., Mohamed, N. A., & Arshad, H. (2018). State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon*, 4(11).
- [4] Proto, A. R., Sperandio, G., Costa, C., Maesano, M., Antonucci, F., Macri, G. & Zimbalatti, G. (2020). A three-step neural network artificial intelligence modeling approach for time, productivity, and costs prediction: A case study in Italian forestry. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 41(1), 35-47.
- [5] Matich, D. J. (2001). Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones. Universidad Tecnológica Nacional, México, 41, 12-16.
- [6] Sharma, S., Sharma, S., & Athaiya, A. (2017). Activation functions in neural networks. *Towards Data Sci*, 6(12), 310-316.
- [7] S. Albawi, T.A. Mohammed, S. Al-Zawi, Understanding of a convolutional neural network, in: International Conference on Engineering and Technology (ICET), IEEE, 2017, pp. 1e6.
- [8] Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. *Madrid: Alienta Editorial*.
- [9] Páez, R. F. F., & Medina, A. D. R. D. (2020). Desarrollo, entrenamiento y evaluación de modelos de machine learning para clasificación de imágenes. *Revista Científica Estudios e Investigaciones*, 9, 175-176.
- [10] Ma, H., Wang, Y., & Wang, K. (2018). Automatic detection of false positive RFID readings using machine learning algorithms. *Expert Systems with Applications*, 91, 442-451.
- [11] Aguirre, J., García, F., Ramírez, C., Floreano, S., Guarda, T., Sanchez, I. & Sanchez, C. (2021). Aplicación de la Inteligencia Artificial en la Industria Automotriz. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E42), 149-158.
- [12] Hughes, A., & Drury, B. (2019). *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes.
- [13] Mera, J. L. R. (2017). Estudio de conversión para un automóvil con motor de combustión a automóvil con motor eléctrico. *Santiago de Cali*.

- [14] Suarez Montoya, M. C. (2017). Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos.
- [15] Valenzuela Cerón, J. E. (2013). *Manual de tipos de motores eléctricos, reconocimiento y sus aplicaciones en la industria* (Bachelor's thesis, Quito, 2013.).
- [16] Waliño Ullán, P. (2020). *Vehículos híbridos. Pasado, presente y futuro* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- [17] Jneid, M. S., Harth, P., & Ficzero, P. (2020). In-wheel-motor electric vehicles and their associated drivetrains. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 10(4), 415.
- [18] Lastra, J. A. S., Carmona, M. L., & Mendoza, S. L. (2008). Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 4(3), 625-634.
- [19] Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: El Pacto Verde Europeo, Bruselas, 11.12.2019 COM (2019) 640 final.
- [20] Onu-Habitat. (2018). Contaminación, automóviles y calidad del aire. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire#:~:text=Los%20autom%C3%B3viles%20particulares%20generan%20el,las%20medidas%20de%20prevenci%C3%B3n%20adecuadas., visto 01/04/2024>.
- [21] Ball, D., Meng, X., & Weiwei, G. (2020). Vehicle emission solutions for China 6b and Euro 7 (No. 2020-01-0654). SAE Technical Paper.
- [22] Mitchell, R. (2022, 26 agosto). California prohíbe la venta de autos de gasolina para 2035. Ahora empieza el verdadero trabajo - Los Angeles Times. Los Angeles Times en Español. <https://www.latimes.com/espanol/california/articulo/2022-08-26/los-coches-de-cero-emisiones-en-california visto 20/03/2024>.
- [23] Regan, Michael (2022). Clean vehicle tax credits. United States Environmental Protection Agency & IRS. <https://www.irs.gov/clean-vehicle-tax-credits, visto 05/04/2024>.
- [24] Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible [NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013], Reformada, Diario Oficial de la Federación [D.O.F.], 21 de junio de 2013, (México).

- [25] Celik, S. (2020). The effects of climate change on human behaviors. *Environment, climate, plant, and vegetation growth*, 577-589.
- [26] Climate Tracker (2022). Despite Glasgow Climate Pact 2030 climate target updates have stalled. <https://climateactiontracker.org/publications/despite-glasgow-climate-pact-2030-climate-target-updates>
- [27] Comisión Europea, DG Movilidad y Transportes, (2021). EU transport in figures: statistical pocketbook 2021, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2832/27610> visto 02/01/2024.
- [28] Carreño, A. (2018). *Cadena de suministro y logística*. Fondo Editorial de la PUCP.
- [29] Merchán, M. V. N., & Berrezueta, M. F. G. (2018). Análisis de una cadena de suministro de autopartes. *INNOVA Research Journal*, 3(10), 123-134.
- [30] Milovanović, G., Milovanović, S., & Radisavljević, G. (2017). Globalization: The key challenge of modern supply chains. *Ekonomika*, 63(1), 31-40.
- [31] Cuevas Villegas, C. F. (2002). Fijación de precios costo plus (costo más margen) y target costing (costeo objetivo). *Estudios gerenciales*, 18(83), 13-30.
- [32] Abbasimehr, H., Shabani, M., & Yousefi, M. (2020). An optimized model using LSTM network for demand forecasting. *Computers & industrial engineering*, 143, 106435.
- [33] Albornoz, M. C. (2014, October). Diseño de interfaz gráfica de usuario. In XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
- [34] Preiser, W.F.E. y Ostroff, E. (ed.) (2001). *Universal Design Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill.
- [35] Rauterberg, M. (1992). An empirical comparison of menu-selection ((CUI) and desktop (GUI) computer programs carried out by beginners and experts. *Behaviour & Information Technology*, 11(4), 227-236.
- [36] Zou, Q., Chan, W. K., Gui, K. C., Chen, Q., Scheibert, K., Heidt, L., & Seow, E. (2017). *The study of secure CAN communication for automotive applications* (No. 2017-01-1658). SAE Technical Paper].
- [37] Tech Talks | Lucid Motors. (s. f.). Drive Unit: Motor | Lucid Motors. <https://lucidmotors.com/tech-talks> visto 05/04/2024
- [38] Viego Felipe, P. R., Gómez Sarduy, J. R., & Padrón Padrón, E. A. (2020). Nuevos motores sincrónicos de alta eficiencia. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(2), 205-211.
- [39] Porsche Newsroom. (2021). alto voltaje: los motores eléctricos de Porsche. https://newsroom.porsche.com/es_ES/tecnologia/2021/es-porsche-motores-electricos-taycan-alto-voltaje-christophorus-398-23894.html visto 05/03/2024.

[40] Porsche Newsroom. (2021). Carcasa de motor eléctrico con una impresora 3D https://newsroom.porsche.com/es_ES/tecnologia/2021/es-porsche-prototipo-carcasa-sistema-propulsion-motor-electrico-impresion-3d23250.html visto 05/03/2024.

[41] Schaeffler (2023) Schaeffler electrifies municipal utility vehicles with in-wheel electric drives. <https://www.schaeffler.com/en/media/press-releases/press-releases-detail.jsp?id=87902208> visto 08/03/2024.

[42] Noya, C. (2023, 16 noviembre). Mercedes presenta su nuevo motor axial YASA con mayor densidad de potencia y más ligero. <https://forococheselectricos.com/2023/11/mercedes-presenta-nuevo-motor-electrico-axial-yasa.html> 15/03/2024.

[43] Jordan, M. (2023, 16 junio). YASA Axial-Flux-Motor ist der elektrischen Performance-Antrieb. Mercedes-Benz Passion Blog / Mercedes Benz, smart, Maybach, AMG & EQ MBpassion. <https://mbpassion.de/2023/06/yasa-axial-flux-motor-ist-vorreiter-des-elektrischen-performance-antriebs/> visto 27/03/2024.

[44] Tesla Team (2020) Model S long Range Plus: Building the First 400- Mile Electric Vehicle <https://www.tesla.com/blog/model-s-long-range-plus-building-first-400-mile-electric-vehicle> visto 06/03/2024.

[45] Porsche Newsroom. (2020). Porsche Engineering celdas ion litio https://newsroom.porsche.com/es_ES/tecnologia/2020/es-porsche-engineering-celdas-ion-litio-tecnologia-21957.html visto 05/03/2024.

[46] Hyundai ZonaEco (2021) Motor de hidrogeno, la revolución que viene <https://www.hyundai.com/es/es/zonaeco/eco-drive/tendencias/como-funciona-motor-hidrogeno#:~:text=El%20motor%20de%20hidr%C3%B3geno%20funciona,ox%C3%ADgeno%20que%20lega%20del%20exterior> 08/03/2024.

[47] Oikawa, M., Kojiya, Y., Sato, R., Goma, K., Takagi, Y., & Mihara, Y. (2022). Effect of supercharging on improving thermal efficiency and modifying combustion characteristics in lean-burn direct-injection near-zero-emission hydrogen engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(2), 1319-1327.

[48] Mogi, Y., Oikawa, M., Kichima, T., Horiguchi, M., Goma, K., Takagi, Y., & Mihara, Y. (2022). Effect of high compression ratio on improving thermal efficiency and NOx formation in jet plume controlled direct-injection near-zero emission hydrogen engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(73), 31459-31467.

[49] Kurani, A., Doshi, P., Vakharia, A., & Shah, M. (2023). A comprehensive comparative study of artificial neural network (ANN) and support vector machines (SVM) on stock forecasting. *Annals of Data Science*, 10(1), 183-208.

- [50] Xu, X., & Zhang, Y. (2021). House price forecasting with neural networks. *Intelligent Systems with Applications*, 12, 200052.
- [51] Xu, X., & Zhang, Y. (2022). Residential housing price index forecasting via neural networks. *Neural Computing and Applications*, 34(17), 14763-14776.
- [52] Bhatt, A. N., & Shrivastava, N. (2022). Application of artificial neural network for internal combustion engines: A state of the art review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(2), 897-919.
- [53] Han, C., & Zhang, Q. (2021). Optimization of supply chain efficiency management based on machine learning and neural network. *Neural Computing and Applications*, 33, 1419-1433.
- [54] Guillermo-Muñoz, E., Sablón-Cossío, N., del Monserrate Ruiz-Cedeño, S., Leyva-Ricardo, S. E., Cuétara-Hernández, Y., & Orozco-Crespo, E. (2020). Application of neural networks in predicting the level of integration in supply chains. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 13(1), 120-132.
- [55] Li, Q., & Liu, A. (2019). Big data driven supply chain management. *Procedia CIRP*, 81, 1089-1094.
- [56] Mercado de maquinaria eléctrica para equipos fuera de carretera Insights. (2022). <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/electric-off-highway-equipment-machinery-market> visto 06/03/2024.
- [57] Sinisterra Rengifo, F. (2021). Diseño y simulación de banco de pruebas para medir la eficiencia de un motor eléctrico.
- [58] Villalba, C. I. C., Liberio, R. V. N., Zambrano, C. M. N., & González, E. A. P. (2021). Gestión y costos de producción: Balances y perspectivas. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(1), 302-314.
- [59] Fujita, Hidemasa & Itoh, Atsushi & Urano, Tohru. (2019). Newly Developed Motor Cooling Method Using Refrigerant. *World Electric Vehicle Journal*. 10. 38. 10.3390/wevj10020038.
- [60] Odawara Automation Inc. (2023, 30 mayo). Soluciones de bobinado tipo Aguja | Odawara Automation. Odawara Automation Inc. <https://odawara.com/es/winding-solutions/needle-winding/>.
- [61] Richard. (2021, 21 mayo). AWG cable: 5 vital factors worth when selecting cable. *Leading Cable and Wire Manufacturer-ZW*. <https://zwcables.com/es/awg-cable/> visto 31/03/2024.
- [62] Dagnino, J. (2014). Regresión lineal. *Revista chilena de anestesia*, 43(2), 143-149.
- [63] Mateos García, D. (2013). Ponderación local evolutiva de la regla kNN.
- [64] García Fernández, Javier. (2017). Modelos híbridos de aprendizaje basados en instancias y reglas para Clasificación Monotónica.
- [65] Nistal, F. J. C. (2014). Motores Síncronos. *Revista Digital de ACTA*, 3-17.

[66] Volkswagen (2019). Motori elektrik i Volkswagen që mund të futet në një çantë - Telegrafi. Telegrafi. <https://telegrafi.com/motori-elektrik-volkswagen-qe-mund-te-futet-ne-nje-cante/>_visto 02/03/2024

[67] [Villada, F., Muñoz, N., & García, E. (2012). Aplicación de las Redes Neuronales al Pronóstico de Precios en el Mercado de Valores. *Información tecnológica*, 23(4), 11-20].

[68] Huaman, A (2023) The BIAS as critical aspect to Economic Value Creation through Big Data Analytics. *Economic Value Creation*.