

## Diseño de un tren de potencia de vehículo eléctrico para su aplicación a un taxi

Emmanuel Jesús Vázquez Peña<sup>1</sup>; René Alberto Valenzuela Nájera<sup>2</sup>  
Carlos Ponce Corral<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería en Sistemas Automotrices, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,

### Resumen

Los altos niveles de contaminación atmosférica en los últimos años han incrementado los casos de enfermedades y muertes asociadas con ésta, siendo el sector transporte uno de los mayores productores de contaminación atmosférica en las ciudades. Una de las alternativas más viables, es el uso de vehículos eléctricos, ya que no producen contaminantes durante su funcionamiento, en años recientes se ha optado por su introducción en el mercado para mejorar la calidad del aire en las ciudades. Este trabajo plantea la metodología utilizada para diseñar la propuesta del tren motriz de un taxi 100% eléctrico, la cual está basada en el proceso de diseño mecánico y puede ser aplicada para la realización del diseño de cualquier vehículo eléctrico. La primera parte consiste en definir las variables significativas del diseño, y seleccionar una arquitectura del vehículo, en el diseño mostrado se utilizó un motor en cada rueda trasera con su respectivo reductor de velocidad. La selección de los motores óptimos se realizó mediante la utilización del proceso de análisis jerárquico. El resultado que se obtiene es un tren de potencia compuesto por componentes encontrados en el mercado, el cual consigue desplazar al vehículo aun en condiciones de alta demanda.

**Palabras clave:** Vehículo eléctrico, tren de potencia, proceso de análisis jerárquico, contaminación atmosférica.

### Introducción

La contaminación atmosférica ha incrementado de forma significativa en los últimos años, aumentando los casos de enfermedades relacionadas con este. Según datos de la Organización Mundial de la Salud; en el 2012 murieron aproximadamente 7 millones de personas a consecuencia de la exposición atmosférica, donde cerca de la mitad de la población urbana monitoreada, estaba expuesta a

niveles de contaminación con al menos 2.5 veces más del recomendado por la OMS, manifestando así que: “La contaminación atmosférica constituye en la actualidad, por sí sola, el riesgo ambiental para la salud más importante del mundo” (Organización Mundial de la Salud, 2014).

Siendo el sector transporte el responsable del 20% de la producción de dióxido de carbono en todo México y de casi la mitad

de la contaminación por compuestos orgánicos volátiles en los Estados Unidos. Los vehículos eléctricos a baterías, son una de las soluciones para reducir los contaminantes emitidos por el sector transporte, ya que este no emite contaminantes durante su funcionamiento. Los taxis son casi ideales como vehículos eléctricos, ya que realizan viajes con

distancias cortas, paradas frecuentes y dan oportunidades para su recarga.

Debido a estas razones este trabajo presenta el diseño de un tren motriz que puede ser implementado para la creación de un taxi cero emisiones; el cual, puede contribuir a la disminución de altas concentraciones de contaminación atmosférica.

## Metodología

La metodología utilizada en este trabajo puede emplearse para el diseño de cualquier tipo de vehículo eléctrico.

### Definición de variables

Para poder definir las características deseadas del diseño, primero se realizó una encuesta representativa que permitiera delimitar las variables de autonomía, velocidad máxima y carga máxima del vehículo. La encuesta se aplicó tanto a pasajeros de taxis como a los conductores de estos, ya que ambos se detectaron como los posibles clientes del producto a diseñar.

La encuesta a los pasajeros se efectuó a personas aleatorias que fueran mayores de edad y que recordaran la última vez que utilizaron un taxi, mientras que la encuesta a los conductores solamente abarcó a taxis de sitio, por lo que no incluye a taxistas que no tuvieran una base asignada. Se debe mencionar que la encuesta se llevó a cabo en Ciudad Juárez, Chihuahua, por lo que los resultados de esta encuesta pueden variar según la ciudad.

Las variables del diseño fueron definidas de la siguiente forma:

a) La velocidad final, la carga máxima y la autonomía fueron delimitadas en base a los resultados de la encuesta.

b) El peso neto del vehículo y el coeficiente de resistencia aerodinámica se delimitaron mediante la comparación entre los vehículos eléctricos Nissan Leaf y Mitsubishi i-MiEV.

c) El coeficiente de resistencia al rodamiento y el radio dinámico se determinó mediante la selección de un neumático que se encontró en el mercado.

d) La capacidad de subida máxima se asignó según los requisitos de desempeño vehicular establecidos por el estándar nacional de China

e) Por último, se pasó a elegir una arquitectura para el tren motriz a diseñar. En la Figura 1 se muestran las arquitecturas más utilizadas.

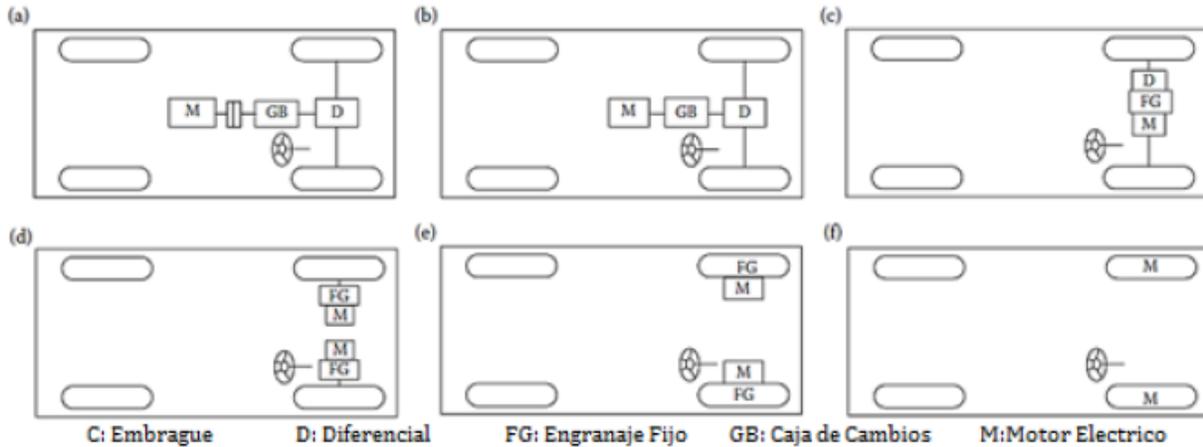


Figura 1.- Diferentes arquitecturas para vehículos eléctricos (Ehsani, Gao, & Emadi, 2009).

### Cálculo del tren de potencia

Antes de poder seleccionar un motor para el tren motriz, se debió calcular el torque necesario para poder impulsar el vehículo, y la potencia requerida para mantener al vehículo a velocidad máxima con carga máxima. La fuerza de tracción requerida ( $F_T$ ) se obtiene mediante la sumatoria de las fuerzas de resistencia del vehículo; la fuerza de resistencia al rodamiento, la fuerza de resistencia aerodinámica o y la fuerza de resistencia a la pendiente, las cuales pueden ser observadas en la Figura 2.

$$F_T = F_r + F_w + F_g \quad (1)$$

Fuerza de Resistencia al Rodamiento ( $F_r$ )

$$F_r = P * f_r * \cos \alpha \quad (2)$$

Donde P es la carga normal actuando en el centro de la rueda,  $f_r$  es el coeficiente de resistencia a la rodadura y  $\alpha$  es el ángulo del camino en grados.

Fuerza de Resistencia Aerodinámica ( $F_w$ )

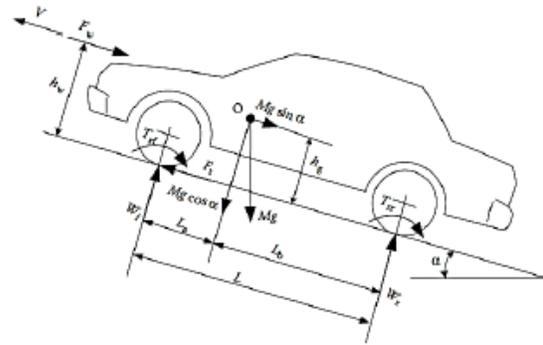


Figura 2.- Fuerzas que actúan sobre un vehículo al subir una pendiente (Ehsani, Gao, & Emadi, 2009).

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * C_d * A_F * (V + V_W)^2 \quad (3)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire,  $C_d$  es el coeficiente de arrastre aerodinámico,  $A_F$  es el área frontal del automóvil o el área proyectada en el sentido de la dirección en que el vehículo se mueve,  $V$  es la velocidad longitudinal del coche y  $V_W$  es la velocidad del viento (positiva para el viento en contra y negativa para el viento a favor).

Fuerza de Resistencia a la Pendiente

$$F_g = m * g * \sin \alpha \quad (4)$$

Donde  $m$  es la masa del vehículo,  $g$  es la constante de aceleración gravitacional y  $\alpha$  es el ángulo del camino en grados.

Una vez obtenido la fuerza de tracción, ésta se multiplica por el radio dinámico de la rueda para encontrar el torque de tracción, es decir, el torque necesario para impulsar el vehículo.

$$\tau_T = F_T * r_d \quad (5)$$

### Potencia

Ya que el torque puede ser modificado fácilmente con una transmisión, se buscó la potencia que requeriría el motor a la velocidad máxima del vehículo. Para obtener la potencia requerida se debe multiplicar la velocidad angular por el torque de tracción obtenido a dicha velocidad angular. Por lo que la potencia requerida se obtiene con la siguiente formula:

$$P = \tau_T * \omega \quad (6)$$

Para convertir la velocidad lineal a velocidad angular se puede utilizar la próxima formula:

$$\omega = \frac{v}{r_d} \quad (7)$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular del neumático dado en rad/seg,  $V$  es la velocidad lineal del vehículo en m/s y  $r_d$  es el radio dinámico del neumático en metros.

Existen diferentes tipos de motores eléctricos, cada uno con curvas características diferentes por lo que para obtener el motor óptimo se recomienda que las curvas características se asemejen lo más

posibles a la curva ideal para vehículos de tracción, la cual puede ser observada en la Figura 3.

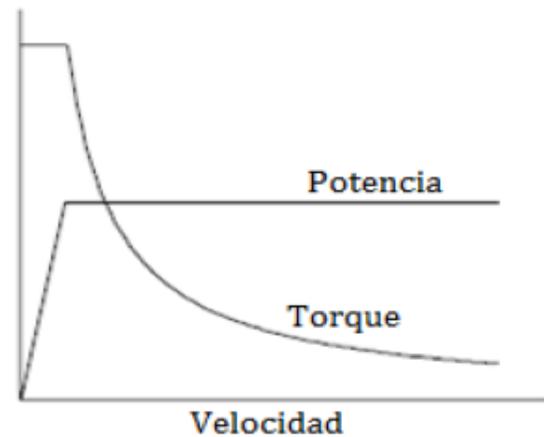


Figura 3.- Características ideales para la planta de potencia de un vehículo (Ehsani, Gao, & Emadi, 2009).

### Selección del motor mediante el Proceso de Análisis Jerárquico

Para la selección del motor que mejor satisficiera los requerimientos del vehículo, se utilizó el proceso de análisis jerárquico, el cual es una técnica empleada en la toma de decisiones complejas con múltiples criterios (Saaty & Vargas, 2012).

Una vez seleccionado el motor y basándose en sus curvas características, se pudo diseñar un reductor que pudiera satisfacer los requerimientos de torque para el vehículo. Primero se encontró la relación de transmisión ( $RT$ ) necesaria para poder desplazar el vehículo cuando se tiene la mayor exigencia, esto se obtiene mediante la fórmula:

$$RT = \frac{\tau_T}{\tau_m} \quad (8)$$

Donde  $\tau_m$  es el torque del motor en la velocidad de la exigencia máxima del vehículo, se busca un motor con la curva ideal de torque, por lo que la exigencia máxima se realiza en el instante cero. Hay que mencionar que la relación total ( $RT$ ) es la multiplicación de todas las etapas ( $rt$ ) por las que se transmite la potencia:

$$RT=rt_1 \times rt_2 \times \dots \times rt_n \quad (9)$$

La relación de transmisión en cada etapa es la diferencia de dientes, diámetro, radio, torque o velocidad entre el piñón y el engrane:

$$rt = \frac{T_E}{T_P} = -\frac{r_E}{r_P} = -\frac{N_E}{N_P} = -\frac{\omega_E}{\omega_P} \quad (10)$$

Una vez obtenido el diseño de la transmisión se procedió a la selección de la batería. Primero se buscó la capacidad que se requeriría a velocidad máxima. Para esto se dividió la autonomía entre la velocidad máxima y el resultado se multiplico por la corriente requerida por el motor a dicha velocidad:

$$Capacidad = \frac{Autonomia}{Vel.Max.} \times I \quad (11)$$

Donde la corriente ( $I$ ) está dada en amperes y la capacidad ( $C$ ) en Amperes hora, Después se definió un voltaje para la batería del vehículo. Debido a que las

baterías pierden su capacidad de carga después de cierta cantidad de ciclos, se recomienda agregar el 20% de carga extra para compensar las deficiencias generadas por el uso extensivo de la batería.

Una vez definida la carga y voltaje se procedió a encontrar la cantidad de celdas necesarias para la batería. Para encontrar la cantidad total de celdas, se multiplicaron las celdas en serie por las celdas en paralelo:

$$Total=Cel.Paralelo * Cel.Serie \quad (12)$$

De donde la cantidad de celdas en paralelo se obtuvo dividiendo la capacidad requerida entre la capacidad nominal de la celda y para encontrar el número de celdas en serie se dividió el voltaje requerido entre el voltaje nominal.

$$Cel.Paralelo = \frac{C_{Requerida}}{C_{Nominal}} \quad (13)$$

$$Cel.Serie = \frac{V_{Requerida}}{V_{Nominal}} \quad (14)$$

Por último se multiplicó el total de celdas por el peso y volumen de cada celda, esto con el fin de encontrar el tamaño y peso aproximado de la batería necesaria para impulsar el vehículo. Para la selección del tipo de celda se deben considerar las baterías más livianas.

## Resultados

En cuanto a la encuesta, se aplicó para tener una idea de que valores asignar a las variables de autonomía, velocidad máxima y carga máxima. El total de encuestas

aplicadas fue a 44 pasajeros y a 21 conductores de taxi, obteniendo los siguientes resultados:

*Carga Máxima:* Menos del 1% de los recorridos en taxi requiere de transportar la carga máxima, es decir 4 maletas y 5 personas (incluida el conductor). Por ello, a pesar de esa remota posibilidad el tren motriz del taxi debe ser capaz de suministrar la potencia necesaria para un eventual caso. Considerando 80 kg por cada persona abordo y 25 kg para cada maleta; se definió como carga máxima 500 kg que sumarían 5 personas y 4 maletas.

*Autonomía:* El 52.3 % de los conductores aseguró que en promedio recorre menos de 150 km diarios, por lo que la autonomía deseada del vehículo se fijó en 150 kilómetros por recarga. Ya que la mayoría de los taxistas no llevaban un registro de la distancia recorrida por día, los resultados solamente son representativos.

*Velocidad Máxima:* Todos los pasajeros entrevistados aseguraron que sus recorridos pasaron por una zona urbana donde la velocidad máxima no excede los 60 km/h y el 29.5% mencionó que su traslado recorrió una calle de alta velocidad donde el límite de velocidad era de 80 km/h. La encuesta reflejó que en muy pocas ocasiones los taxis circulaban por vías donde la velocidad máxima fuera mayor a los 80 km/h, por lo cual se consideró una velocidad máxima de 80 km/h.

Como se mencionó anteriormente la Carga Máxima, la Velocidad Máxima y la Autonomía se definieron basándose en los resultados de la encuesta, sin embargo estas tres no fueron las únicas variables a considerar. La Capacidad Máxima de Subida se definió en base al estándar nacional de China para automóviles eléctricos, el

Coefficiente de Resistencia a la Rodadura y el Radio Dinámico se definieron mediante la selección previa del neumático Bridgestone/Firestone B381, mientras que al Peso Neto del vehículo se le asignó un valor aproximado al del carro Mitsubishi i-MiEV. Ya que este trabajo solamente considera el tren motriz, era imposible establecer los valores del Área Frontal y el Coeficiente de Arrastre Aerodinámico del diseño, por lo que se utilizaron los mismos valores que los del Nissan Leaf, el cual ya es empleado en varias partes del mundo como taxi eléctrico. En la Tabla 1 se puede observar los diferentes valores asignados a cada variable.

Mientras que conforme a la arquitectura se decidió utilizar una que cuente con dos motores y un reductor de velocidad en cada motor, dicho conjunto transmite la potencia a cada una de las ruedas traseras como se muestra en el diagrama “d” de la Figura 1.

Con los valores del diseño previamente definidos, se procedió a encontrar el torque que el tren motriz debería ser capaz de suministrar en cada rueda y la potencia requerida para mantener la velocidad máxima. Considerando que el vehículo está subiendo por una pendiente de 20%, aproximadamente  $12^\circ$ , y que traslada los 1,300 kg de peso neto del vehículo más los 500 kg de carga máxima, entonces mediante las ecuaciones (1) a la (5) se obtuvo que el torque de tracción necesario por rueda para desplazar el vehículo desde el reposo es de:  $\tau T=1,61.1 Nm$

Si a la consideración anterior se le agrega que el carro se desplaza a 80km/h con un viento en contra de 30 km/h,

utilizando las ecuaciones (1) a la (5) obtenemos que el torque de tracción en dichas condiciones sería de:

$$\tau_{80}=541.9 \text{ Nm}$$

Por medio de la ecuación (6) obtuvimos que la velocidad angular del neumático cuando el automóvil se desplaza a 80 km/h es de:

$$\omega=36.15 \text{ rad/seg}$$

Por lo que con la ecuación (7) obtenemos que la potencia requerida en cada rueda para mantener el vehículo a 80 km/h con las condiciones mencionadas anteriormente sería igual a:

$$19,594 \text{ Watts}$$

La metodología del proceso de análisis jerárquico, se utilizó para la selección del motor más adecuado en base a las

especificaciones de diseño, teniendo que, para este análisis, se empleó el software “Super Decisions”, versión gratuita provista por internet.

Tabla 1.- Valores asignados a cada variable (Elaboración propia).

Variables	
Peso Neto	1300 kg
Carga Máxima	500 kg
Capacidad de subida máxima	20 %
Velocidad máxima	80 km/h
Autonomía	150 km
Radio dinámica del neumático	616.6 mm
Coef. De resistencia a la rodadura	0.0062
Coef. De arrastre aerodinámico	0.28
Área frontal	2.30 m <sup>2</sup>

En la Figura 4 se muestra el diagrama jerárquico empleado en la etapa final de la selección de motores, mientras que en el Anexo 1 se observan los valores asignados a la comparación entre criterios y a la comparación entre motores según cada criterio. (Ver Figura 4 y Anexo 1).

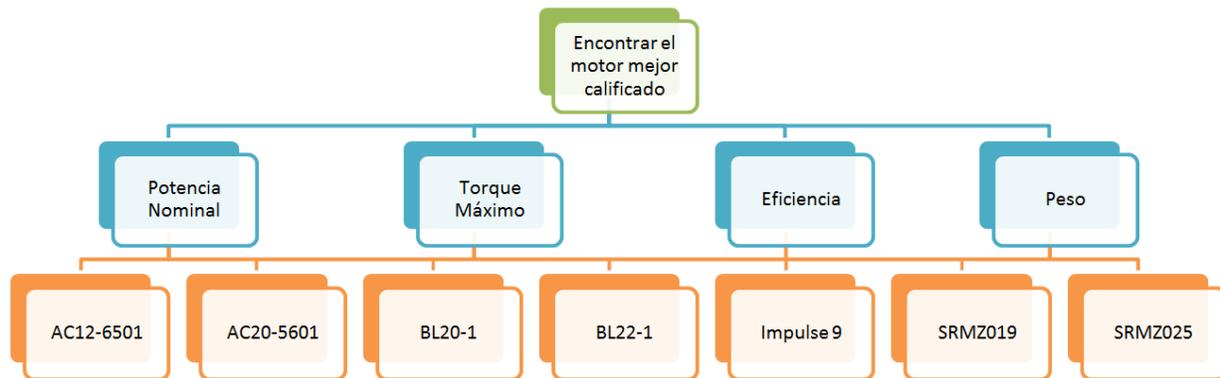


Figura 4.- Diagrama jerárquico utilizado para la selección del motor (Elaboración propia).

En la Figura 5 se pueden ver los resultados del proceso de análisis jerárquico. En base a dichos resultados se eligió el motor de inducción Curtis AC 12 6501 sobre los motores Brushless, esto debido a que no se

contaba con las curvas características de los motores Brushless, al contrario del motor de inducción del cual se tenía información más detallada. Otra ventaja era que el motor de inducción seleccionado ya incluía el

controlador 1238-6501 marca Curtis, el cual funciona por modulación de pulso del tipo IFO (Indirect Field Orientation). (Ver Anexo 2 para las curvas características del motor seleccionado).

Name	Graphic	Ideals	Normals
AC12-6501		0.414427	0.140462
AC20-5601		0.367725	0.124634
BL20-1		0.473280	0.160409
BL22-1		1.000000	0.338932
ImPulse9		0.137523	0.046611
SRMZ019		0.270590	0.091712
SRMZ025		0.286902	0.097240

Figura 5.- Resultados del Proceso de Análisis Jerárquico para la selección del motor (Elaborado por el software Super Decision).

Utilizando las ecuaciones (8), (9) y (10) se obtuvo las características del reductor que utilizará cada motor, dichas características se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.- Características del reductor diseñado (Elaboración propia).

Características Reductor	
Relacion Final	10.08:1
<b>Primera Etapa</b>	
Modulo	3
Dientes Piñon	15
Dientes Engrane	43
Relación	2.8:1
Diámetro Engrane	126 mm
Diámetro Piñon	45 mm
Distancia entre Ejes	85.5 mm
<b>Segunda Etapa</b>	
Modulo	
Dientes Piñon	15
Dientes Engrane	54
Relación	3.6:1
Diámetro Engrane	162 mm
Diámetro Piñon	45 mm
Distancia entre Ejes	103.5 mm

Utilizando la curva característica de corriente del motor y la relación de transmisión de 10.08:1 se buscó la batería requerida para conseguir una autonomía de

150 km a una velocidad de 80 km/h. Considerando esta relación de transmisión y la velocidad angular del neumático a 80 km/h, se sabe que la velocidad del motor girará a:

$$\omega_{80 \text{ km/h}} = 3,480 \text{ rpm}$$

Mediante la curva característica de la corriente del motor, mostrada en la Anexo 2, se designó que la corriente consumida por cada motor cuando el automóvil se desplaza con una velocidad de 80 km/h es de:

$$I_{3500 \text{ rpm}} \approx 350 \text{ A}$$

También se definió que el voltaje de la batería debe ser de 120 Volts, utilizando la ecuación (11) se encontró que para cumplir tales características de autonomía se requeriría una capacidad de:

$$\text{Capacidad Bateria} = 1570.8 \text{ Ah}$$

Utilizando la ecuación (12) se analizaron todas las baterías diferentes y se eligió la batería Ion-Litio Swing 5300 fabricada por la compañía Boston Power. La cual mostró ser una de las baterías más livianas, ya que tendría un peso total de 916.39 kg y estaría integrada por 9,801 celdas.

En la Tabla 3 se pueden observar las características del tren motriz diseñado, mientras que en los Anexos 3 y 4 se muestran las dimensiones de éste.

Tabla 3.- Características del tren motriz diseñado (Elaboración propia).

Características del Tren Motriz	
Características	Diseño
Tipo de Motor	2 Motores de Inducción
Potencia Max.	55 km/h
Torque Max.	235 Nm
Velocidad Max.	80 km/h
Relacion Final	10.8:1
Tipo de Bateria	Ion Litio
No. De Celdas	8,151
Capacidad	188.5 kWh
Voltaje	120 V
Autonomia	179.5 km
Peso Neto Vehiculo	1,300 kg
Peso Motor	45.4.kg
Peso Baterias	916.3 kg
Llantas	P185/70 R14

Un análisis en Matlab demostró que el diseño consigue superar una pendiente de 20% con plena carga de 1,800 kg y un viento en contra de 30 km/h, mientras que a la velocidad de 80 km/h consigue superar una pendiente de hasta 8%. (Ver Figura 6).

También en la Tabla 4 se muestra la autonomía del tren motriz a diferentes velocidades, dichas autonomías consideran que el tren de impulsión tiene una eficiencia del 100%.

Tabla 4.- Autonomía del vehículo según la velocidad a la que recorre (Elaboración propia).

Velocidad (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Consumo Total (A)	320	460	600	750	890	990	800	700	600	540
Tiempo (h)	4.9	3.4	2.6	2.1	1.8	1.6	2.0	2.2	2.6	2.9
Autonomia (km)	49.1	68.3	78.6	83.8	88.3	95.2	137.5	179.5	235.7	290.9

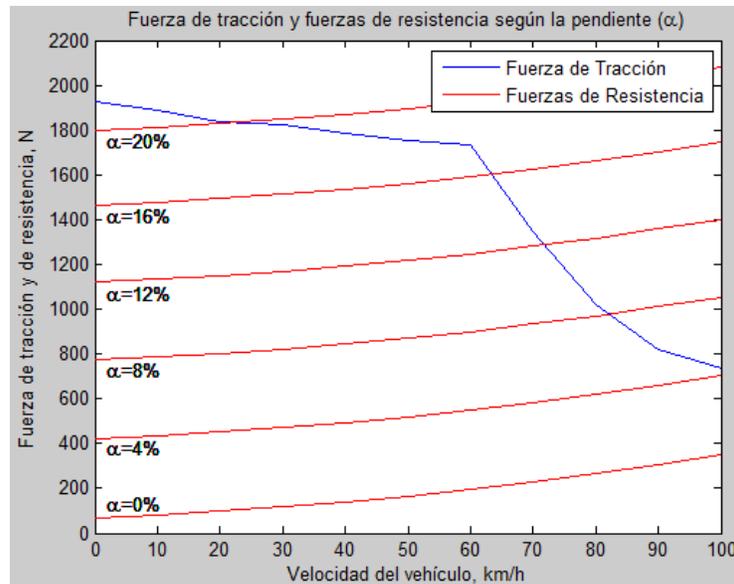


Figura 6.- Análisis en Matlab entre las fuerzas de resistencia y la fuerza de tracción (Elaboración propia).

## Conclusiones y Recomendaciones

La metodología desarrollada en este trabajo para el diseño de un tren de potencia para vehículo eléctrico, facilita la toma de decisiones para el diseño, selección y modificación de los elementos necesarios, aportando los datos suficientes para mejorarlo. Las encuestas aplicadas fueron de utilidad para definir la velocidad, carga máxima y autonomía del vehículo para el caso de Ciudad Juárez, esta información puede ser útil para otras investigaciones similares. En cuanto al uso del proceso de análisis jerárquico, apporto un método efectivo para la selección de componentes en el diseño del proyecto.

Algunas de las recomendaciones que se plantean son:

En la selección de motor y batería, mostraron que los elementos seleccionados, se escogieron debido a que se contaba con una mayor información sobre estos componentes y no necesariamente porque sean la mejor selección o los mejores. En este sentido, una recomendación es que antes de elegir los elementos se cuente primero con todas las características necesarias para tomar en cuenta en la selección, especialmente las curvas

características para tomar en cuenta la mejor selección.

En cuanto a la arquitectura seleccionada para el diseño, se observa que requiere de dos motores, y con ello el doble de corriente para impulsar el vehículo, lo que se traduce en la necesidad de una batería con una alta capacidad. En este sentido, se considera tomar en cuenta que diferentes tipos de arquitectura pueden ser viables para automóviles con diferentes necesidades.

Otro aspecto para futuros trabajos, es incluir frenos regenerativos al diseño, ya que esto permitiría incrementar la autonomía del taxi o disminuir el peso de las baterías. Teniendo en cuenta que la arquitectura seleccionada requiere de un diferencial electrónico que permita a las ruedas girar a diferentes velocidades, por lo que antes de la construcción de esta propuesta se debería realizar el diseño de dicho diferencial.

El desarrollo de esta investigación es una aportación inicial a la discusión de la pertinencia del diseño de vehículos eléctricos que cumplan una función dentro de las ciudades y que contribuyan a la mejora de la calidad ambiental de las mismas, siendo eficientes en su uso.

## Referencias

Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2009). Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design. CRC press.

Organizacion Mundial de la Salud, (2014, 25 Marzo). [Online]. Available: [www.who.int](http://www.who.int). [Accessed 26 Enero 2015].

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). Models, methods, concepts & applications of the

analytic hierarchy process (Vol. 175). Springer Science & Business Media.

Thunder Struck Motors. (2015). Thunder Struck Motors, Ecommerce Software, 2015. [Online].

Available: <http://www.thunderstruck-ev.com/ac-motor-kits.html>. [Accessed 22 Abril 2015].

Gillespie, T. D. (2006). Fundamentals of Vehicle Dynamics, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers.

## Anexos

### Anexo 1.- Valores de las matrices utilizadas en el Proceso de Análisis Jerárquico llevado a cabo para la selección del motor óptimo (Elaboración propia).

Criterios							
	Potencia Nominal	Torque Maximo	Eficiencia	Peso			
Potencia Nominal	1	1	1/6	1/3			
Torque Maximo	1	1	1/7	1/3			
Eficiencia	6	7	1	1			
PCO	3	3	1	1			
Potencia Nominal							
	AC12-6501	AC20-5601	BL20-1	BL22-1	ImPulse 9	SRM2019	SRM2025
AC12-6501	1	2	3	1	1	4	1/6
AC20-5601	1/2	1	1	1	1/2	2	1/8
BL20-1	1/3	1	1	1/2	1/3	1	1/9
BL22-1	1	1	2	1	1	3	1/7
ImPulse 9	1	2	3	1	1	4	1/7
SRM2019	1/4	1/2	1	1/3	1/4	1	1/9
SRM2025	6	8	9	1/6	7	9	1
Peso							
	AC12-6501	AC20-5601	BL20-1	BL22-1	ImPulse 9	SRM2019	SRM2025
AC12-6501	1	1	8	8	9	1	4
AC20-5601	1	1	7	1	8	1	3
BL20-1	1/8	1/7	1	1	1	1/7	1/5
BL22-1	1/8	1	1	1	2	1/7	1/4
ImPulse 9	1/9	1/8	1	1/2	1	1/8	1/5
SRM2019	1	1	7	7	8	1	3
SRM2025	1/4	1/3	5	4	5	1/3	1
Torque Maximo							
	AC12-6501	AC20-5601	BL20-1	BL22-1	ImPulse 9	SRM2019	SRM2025
AC12-6501	1	1	1/3	1/2	6	4	1
AC20-5601	1	1	1/4	1/3	5	3	1
BL20-1	3	4	1	2	9	7	3
BL22-1	2	3	1/2	1	8	6	2
ImPulse 9	1/6	1/5	1/9	1/8	1	1/2	1/6
SRM2019	1/4	1/3	1/7	1/6	2	1	1/4
SRM2025	1	1	1/3	1/2	6	4	1
Eficiencia							
	AC12-6501	AC20-5601	BL20-1	BL22-1	ImPulse 9		
AC12-6501	1	1	1/6	1/9	1		
AC20-5601	1	1	1/6	1/9	1		
BL20-1	6	6	1	1/5	5		
BL22-1	9	9	5	1	9		
ImPulse 9	1	1	1/5	1/9	1		

Anexo 2.- Curvas características del motor seleccionado (Thunder Struck Motors, 2015).

