



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FRENOS REGENERATIVOS  
APLICADO EN AUTOMÓVILES DE COMBUSTIÓN INTERNA  
PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. HENRY WILSON MONTALVO ZELA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

A mis padres Enrique Montalvo y Grimalda Zela, por todo el apoyo y cariño que me brindaron. Por siempre estar presentes en los momentos que más los necesite.

A mis hermanos Chanel, Noemi, Verónica y Elizabeth. Por sus consejos y siempre ser un modelo a seguir.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por todo lo brindado a lo largo de mi vida y siempre contar con su protección.

A la Universidad Nacional Del Altiplano por permitirme realizarme como profesional y ser parte de esta prestigiosa Universidad.

A los ingenieros que fueron mis docentes de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, por dotarme de valiosos conocimientos que serán necesarios para poder



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ANEXOS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 11**

**ABSTRACT ..... 12**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA ..... 14**

**1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA..... 16**

**1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18**

1.3.1. Objetivo general..... 18

1.3.2. Objetivos específicos..... 18

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 19**

**2.2 SUSTENTO TEÓRICO ..... 21**

2.2.1 Historia de los frenos regenerativos..... 21

2.2.2 Historia del turbo compresor ..... 22

2.2.3. Energía..... 23

2.2.4 Sistema de frenos regenerativos..... 27

2.2.5 Motor de combustión ..... 29

2.2.6 Turbo eléctrico o Compresor eléctrico..... 30

2.2.7 Motor eléctrico..... 31



2.2.8. Motor de corriente alterna (A.C).....	47
2.2.9 Generador eléctrico .....	53
2.2.9 Baterías .....	55
2.2.10 Inversor.....	66
2.2.11 Engranajes.....	66
<b>2.3 GLOSARIO .....</b>	<b>75</b>
<b>2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>77</b>
2.4.1 Hipótesis general.....	77
2.4.2 Hipótesis específicas .....	77

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. Tipo y diseño de la investigación.....</b>	<b>78</b>
<b>3.2. Población y muestra de investigación .....</b>	<b>78</b>
<b>3.3. Ubicación y descripción de la población .....</b>	<b>78</b>
<b>3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de información.....</b>	<b>79</b>
<b>3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....</b>	<b>79</b>
3.5.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados .....	79
<b>3.6 Tratamiento de datos.....</b>	<b>80</b>

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1 ELECCIÓN DE LAS MÚLTIPLES OPCIONES PARA LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>81</b>
4.1.1. Criterio ponderado de motor- generador eléctrico.....	82
4.1.2 Criterio ponderado de baterías.....	84
4.1.3. Criterio ponderado de engranajes .....	86
4.1.4 Resultado de los criterios ponderados.....	88
<b>4.2 CÁLCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS REGENERATIVOS.....</b>	<b>89</b>



4.2.1 Elección del tipo de vehículo.....	89
4.2.2 Motor/Generador eléctrico .....	97
4.2.3 Cálculo de la batería.....	105
4.2.4 Controlador E Inversor .....	106
4.2.5 Cálculo de engranajes helicoidales .....	108
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>121</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>122</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>127</b>

**ÁREA:** Ingeniería Mecánica

**TEMA:** Análisis de frenos regenerativos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 22 de octubre del 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.1:</b> Demanda de combustibles líquidos (mbpd) total en el país. ....	16
<b>Figura N° 2.1:</b> Amitron (Amc).....	22
<b>Figura N° 2.2:</b> Diagrama de cuerpo libre.....	25
<b>Figura N° 2.3:</b> Red metálica.....	27
<b>Figura N° 2.4:</b> Disco de freno. ....	28
<b>Figura N° 2.5:</b> Sistema de freno regenerativo.....	28
<b>Figura N° 2.6:</b> Motor de combustión interna. ....	29
<b>Figura N° 2.7:</b> Mezcla aire combustible. ....	30
<b>Figura N° 2.9:</b> Campo de fuerzas magnéticas.....	32
<b>Figura N° 2.10:</b> Motor eléctrico. ....	32
<b>Figura N° 2.11:</b> Armadura o inducido. ....	34
<b>Figura N° 2.12:</b> Conmutador.....	35
<b>Figura N° 2.13:</b> Generación de corriente eléctrica por medio de un campo magnético. .....	54
<b>Figura N° 2.14:</b> Piñón y corona.....	67
<b>Figura N° 2.15:</b> Piñón recto. ....	67
<b>Figura N° 2.16:</b> Engranaje helicoidal. ....	69
<b>Figura N° 2.17:</b> Mecanismo diferencial.....	70
<b>Figura N° 2.18:</b> Partes de un engranaje. ....	71
<b>Figura N° 2.19:</b> Líneas generadoras de un engranaje helicoidal.....	74
<b>Figura N° 4.1:</b> Nissan bluebird sylphy. ....	89
<b>Figura N° 4.2:</b> Turbocompresor Garrett Gt 2056. ....	96
<b>Figura N° 4.3:</b> Compresora Gt2056.....	96
<b>Figura N° 4.4:</b> Compresor centrífugo. ....	97
<b>Figura N° 4.5:</b> Cálculo de flujo de aire.....	103
<b>Figura N° 4.6:</b> Controlador Bamocar.....	107
<b>Figura N° 4.8:</b> Cálculo de engranaje en programa inventor. ....	114
<b>Figura N° 4.9:</b> Cálculo de engranaje en programa inventor. ....	114
<b>Figura N° 4.10:</b> Cálculo de engranaje cónico en programa inventor .....	120
<b>Figura N° 4.11:</b> Cálculo de engranaje cónico en programa inventor .....	120



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.1:</b> Estándares de calidad ambiental (ECAs) de aire.....	15
<b>Tabla N° 2.1:</b> Cuadro de comparación entre las baterías.....	65
<b>Tabla N° 3.1:</b> Ubicación y descripción de la población.....	78
<b>Tabla N° 4.1:</b> Comparación entre un motor de CA y CC.....	82
<b>Tabla N° 4.2:</b> Valoración de peso específico para un motor-generator.....	82
<b>Tabla N° 4.3:</b> Valoración para el criterio costo.....	82
<b>Tabla N° 4.4:</b> Valoración para el criterio eficiencia.....	83
<b>Tabla N° 4.5:</b> Valoración para el criterio peso.....	83
<b>Tabla N° 4.6:</b> Valoración para el mantenimiento.....	83
<b>Tabla N° 4.7:</b> Resultados de los criterios ponderados.....	83
<b>Tabla N° 4.8:</b> Comparación de baterías.....	84
<b>Tabla N° 4.9:</b> Valoración de peso específico para la batería.....	84
<b>Tabla N° 4.10:</b> Valoración para el criterio costo.....	85
<b>Tabla N° 4.11:</b> Valoración para el criterio eficiencia.....	85
<b>Tabla N° 4.12:</b> Valoración para el criterio peso.....	85
<b>Tabla N° 4.13:</b> Valoración para el mantenimiento.....	86
<b>Tabla N° 4.14:</b> Resultados de los criterios ponderados.....	86
<b>Tabla N° 4.15:</b> Comparación de tipos de engranajes.....	86
<b>Tabla N° 4.17:</b> Valoración para el criterio costo.....	87
<b>Tabla N° 4.18:</b> Valoración para el criterio eficiencia.....	87
<b>Tabla N° 4.19:</b> Valoración para el criterio peso.....	87
<b>Tabla N° 4.20:</b> Valoración para el criterio mantenimiento.....	88
<b>Tabla N° 4.21:</b> Resultados de los criterios ponderados.....	88
<b>Tabla N° 4.22:</b> Ficha técnica de Nissan bluebird sylphy.....	89
<b>Tabla N° 4.23:</b> Datos del motor eléctrico, del catálogo de ABB motor.....	97
<b>Tabla N° 4.24:</b> Energía recuperada.....	102
<b>Tabla N° 4.25:</b> Características de batería ion litio.....	105
<b>Tabla N° 4.27:</b> Datos técnicos de controlador.....	107
<b>Tabla N° 4.28:</b> Modulo normalizados.....	108
<b>Tabla N° 4.29:</b> Resultados obtenidos de engranajes helicoidales.....	113



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> Compresor centrífugo.....	127
<b>ANEXO 2:</b> Caracol de compresor centrífugo.....	127
<b>ANEXO 3:</b> Engranajes helicoidales .....	128
<b>ANEXO 4:</b> Compresor centrífugo y motor eléctrico .....	128
<b>ANEXO 5:</b> Componentes de sistema de freno regenerativo. ....	129



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

**I:** Densidad de corriente.

**S:** Deslizamiento.

**V:** Diferencia de potencial.

**$\eta$ :** Eficiencia.

**$X_c$ :** Reactancia.

**m:** Número de fases.

**CFM:** Pies cúbicos por minuto.

**$H_{poli}$ :** Altura politrópica.

**$\dot{m}$ :** Flujo másico.

**n:** Exponente politrópico.

**R:** Constante de los gases.

**RPM:** Revolución por minuto.

**°C:** Grados centígrados.

**°K:** Grados kelvin.

**°F:** Grados Fahrenheit.

**NI-Cd:** Níquel-Cadmio.

**NI-Mh:** Níquel-hidruro metálico.

**LI-ION:** Ion de litio.

**a:** Adendum o altura de la cabeza del diente.

**d:** Dedendum o altura del pie del diente.

**v:** Vano es la distancia entre los dientes.

**MEC:** Motor de encendido por compresión.

**MEP:** Motor de encendido provocado.



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analiza el sistema de frenos regenerativos con la finalidad de no desperdiciar la energía cinética del vehículo, que se pierde en forma de calor producto de la acción de frenado del automóvil, sino más bien convertirla en electricidad que se utilizará para accionar un compresor centrífugo encargado de inyectar mayor cantidad de aire para un buen proceso de combustión y optimizar el consumo de combustible. Debido a que tenemos una variedad de opciones en cuanto a baterías, motores y engranajes se opta por utilizar el método de criterios ponderados para la elección de los componentes del sistema de frenos regenerativos, los criterios a tomar en cuenta para el análisis de los componentes son costo, peso, eficiencia y mantenimiento. El vehículo de referencia será un Nissan Bluebird con un motor de 2 litros, posteriormente se procede a calcular la pérdida de potencia en el motor de combustión seguidamente del cálculo de flujo másico de aire y la relación de compresión, en base a estos cálculos se dimensionan la potencia que debiera tener el motor eléctrico del compresor centrífugo así como también se calcula el banco de baterías y los engranajes helicoidales, por último se utiliza el programa Autodesk inventor para la ilustración y simulación del funcionamiento. Se obtuvo una pérdida de potencia de 33 % en el motor de combustión, para lo cual se requiere suministrar de 18.73 lb/min de aire y así compensar la pérdida por altura de trabajo, a su vez se halló que el compresor centrífugo requiere de 6 KW para poder ser accionado, este resultado justifica la utilización de un sistema de frenos regenerativos como fuente de alimentación.

**Palabras clave:** Frenos regenerativos, compresor, pérdida de potencia.



## ABSTRACT

In this research work, the regenerative braking system is analyzed in order not to waste the kinetic energy of the vehicle, which is lost in the form of heat as a result of the car's braking action, but rather to convert it into electricity to be used to drive a centrifugal compressor in charge of injecting a greater quantity of air for a good combustion process and optimizing fuel consumption. Since we have a variety of options in terms of batteries, motors and gears, it is chosen to use the weighted criteria method for the choice of components of the regenerative brake system, the criteria to take into account for the analysis of the components are cost, weight, efficiency and maintenance. The reference vehicle will be a Nissan Bluebird with a 2-liter engine, then the power loss in the combustion engine is calculated, followed by the calculation of the mass air flow and the compression ratio, based on these calculations they are sized. The power that the electric motor of the centrifugal compressor should have as well as the battery bank and the helical gears are calculated. Finally, the Autodesk inventor program is used for illustration and simulation of the operation. A power loss of 33% was obtained in the combustion engine, for which it is necessary to supply 18.73 lb/min of air and thus compensate for the loss per working height, in turn it was found that the centrifugal compressor requires 6 KW to be activated, this result justifies the use of a regenerative braking system as a power source.

**Key words:** Regenerative brakes, compressor, power loss.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad dependemos en gran mayoría del combustible fósil para movilizarnos de un lugar a otro. La contaminación ambiental producto de la excesiva producción de CO<sub>2</sub>, así como también los derrames de aceite de motores de combustión son problemas que nos afectan a todos sin excepción alguna.

Con la incorporación de este sistema estaremos aprovechando la energía cinética del automóvil para generar energía eléctrica que posteriormente la utilizaremos para poder suministrar mayor flujo de aire para nuestros motores de combustión interna, debido a que estamos a una altura de 3827 msnm, el nivel de oxígeno disminuye a medida que subimos de altitud, la eficiencia de nuestros motores de combustión interna no es la misma que tendríamos a altura de nivel del mar.

Todos los conductores hacen uso del freno ya sea para la reducción de velocidad por qué se les presentó un obstáculo o simplemente desea hacer una parada. Perdiendo energía cinética en forma de calor, con este sistema la energía no se perderá del todo, más bien se almacenará en baterías para después ser utilizada. Así se aumentará la eficiencia del motor de combustión interna, debido a que en la actualidad el motor de mayor eficiencia esta solo con un 20 % de eficiencia, es decir son terriblemente ineficientes, y esto sin considerar la altura de nuestro departamento como ya se mencionó en el párrafo anterior.

A comparación de los turbocompresores que necesitan de una determinada cantidad de flujos de gases de escape para poder funcionar, los turbos eléctricos funcionarán desde un inicio sin necesidad de requerir y usar ese flujo de gases determinado.

- Ahorro en consumo de combustible porque estos combustionarán de mejor manera.



- Ahorro en la economía.
- Optimización del uso de pastillas de freno alargando su vida útil trayendo consigo resultados favorables para el mantenimiento del vehículo.

El ahorro en la economía es un tema de nuestro entero interés, donde cada centavo ahorrado es beneficioso para nosotros debido a que estamos en mundo donde el costo de vida está cada vez más alto, esta es otra de las razones para que se analice este sistema.

En este trabajo de investigación se hará una descripción básica de los componentes que conforman el sistema de frenos regenerativos, así como también realizar los cálculos necesarios para su implementación, evaluaremos que tipo de adaptación es más óptima para realizar.

## **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La necesidad de movilizarnos de un lugar a otro y el incremento de población hace que se requiera de más vehículos para poder transportarnos, utilizando así los vehículos convencionales. La mayoría de estos vehículos no están diseñados para poder funcionar en nuestras condiciones geográficas de nuestra región de Puno.

La producción de dióxido de carbono va de la mano con el tiempo de encendido de los motores de combustión, así los motores de combustión estén en ralentí o entregando su máxima potencia estos siempre estarán contaminando, debido a que no se produce una combustión eficiente por falta de más partículas de oxígeno para poder quemar por completo el combustible.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), mediante la Dirección de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente, realiza la evaluación de las condiciones sinópticas y meteorológicas locales que influyen en el

comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos particulados y gaseosos (Iuv, 2018).

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de aire es la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, que en su condición de cuerpo receptor no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente. En el cuadro siguiente se presenta el ECA Nacional establecido, correspondiente a las concentraciones de material particulado y contaminantes gaseosos que son medidos por SENAMHI (Iuv, 2018).

**Tabla N° 1.1:** Estándares de calidad ambiental (ECAs) de aire.

CONTAMINANTE	FRECUENCIA	ECA AIRE (8 Jun 2017 - a la fecha)	ECA AIRE (2001 - 7 Jun 2017)
Material Particulado menor de 10 micras - PM <sub>10</sub>	24 horas (día)	100 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>
Material Particulado menor de 2,5 micras - PM <sub>2,5</sub>	24 horas (día)	50 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre - SO <sub>2</sub>	24 horas (día)	250 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Nitrógeno - NO <sub>2</sub>	1 hora	200 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>
Ozono Superficial - O <sub>3</sub>	8 horas	100 µg/m <sup>3</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>
Monóxido de Carbono - CO	1 hora	30,000 µg/m <sup>3</sup>	30,000 µg/m <sup>3</sup>

**FUENTE:** (Iuv, 2018)

La contaminación por partículas proviene de muchas fuentes diferentes. Las partículas finas (2,5 micrómetros de diámetro como máximo) provienen de centrales eléctricas, procesos industriales, tubos de escape de vehículos, cocinas a leña e incendios forestales. Las partículas gruesas (entre 2,5 y 10 micrómetros) provienen de operaciones de molienda y trituración, del polvo de las carreteras y de algunas operaciones agrícolas. (Iuv, 2018). Este tamaño de partículas es de nuestro interés debido a que dentro de este rango están incluidas la producción de partículas por parte de los vehículos.

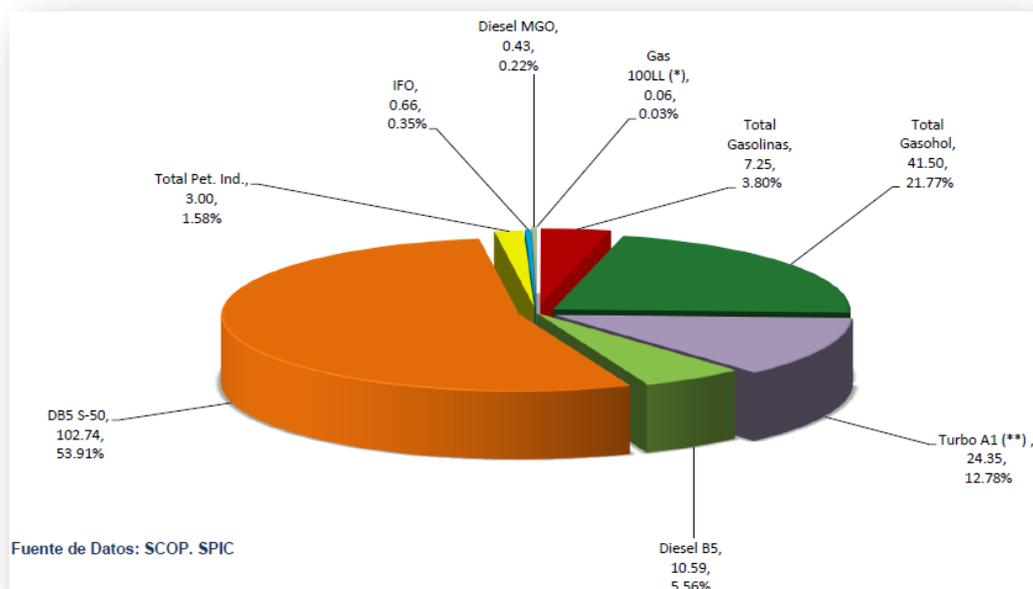
## 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Al requerir movilizarnos y utilizar nuestros vehículos ya somos parte directa del incremento de la contaminación ambiental, aparentemente no contaminamos si lo vemos de forma unitaria, pero si observamos los miles de vehículos que transitan diariamente resultan cifras significativas.

No podemos dejar de utilizar los vehículos, pero si hacer que estos disminuyan la contaminación que producen.

Según osinergmin el promedio de consumo de combustible diario en el departamento de Puno durante el año 2018 fue de 64,162 galones / día de Gasohol entre los octanajes de 84, 90, 95 y 97 octanos, en cuanto al consumo de petróleo fue de 211,500 galones / día de DB5 S-50, el total de consumo de combustible promedio por día en todo el Perú fue de 1,742,854 galones /día de Gasohol y en cuanto a petróleo DB5 S-50 fue de un total de 8,004,158 galones/día. (OSINERGMIN, 2018).

**Figura N° 1.1:** Demanda de combustibles líquidos (mbpd) total en el país.



**FUENTE:**(OSINERGMIN, 2018)



Además de que la cantidad de producción de CO<sub>2</sub> aproximada de combustible es el siguiente:

- Gasolina 95 o 98: 2.38 kg de CO<sub>2</sub>/litro
- Diésel: 2.61 kg de CO<sub>2</sub>/litro
- Bioetanol: 2.38 kg de CO<sub>2</sub>/ litro -% bioetanol

Si utilizamos bioetanol 5, el combustible tiene un 5% de bioetanol (y un 95% de gasolina 95) y las emisiones asociadas son de  $2.38 - (0.05 \times 2.38) = 2.26$  kg de CO<sub>2</sub>/ litro.

- Biodiesel: 2.61 kg de CO<sub>2</sub>/litro - % biodiesel

Si utilizamos biodiesel-30, significa que tiene un 30% de biodiesel (y un 70% de diésel) y las emisiones asociadas son  $= 2.61 - (0,3 \times 2.61) = 1.83$  kg de CO<sub>2</sub>/litro (Gases & Invernadero, 2011).

El sector transporte incluye como principal medio de movilización el terrestre ,que tiene una tendencia creciente de 4.5 % anual desde 2000, llego a 2.22 millones de automóviles para el año 2013 (MINAM, 2016).

El parque automotor peruano muestra un crecimiento sostenido, encontrándose en circulación 2.22 millones de vehículos al 2013 de los cuales el 65 % se concentra en la ciudad de lima .Dicho parque está conformado por automóviles con un 42% , seguido de camionetas rurales con un 15%,station wagon 12 % , camionetas pick-up 12%, camiones 8%, buses 3%.la edad promedio de la flota es de 14 años , el resultado son altos niveles de emisiones de gases contaminantes y gases de efecto invernadero , las cuales aumentaron casi un 50% durante la última década (MINAM, 2016).

En Puno se cuenta con una cantidad de 47.696 unidades vehiculares de los cuales 8711 son automóviles, 8867 son station wagon, 4740 son camionetas pick-up, 14.029 son



camionetas rurales, 3.246 son camionetas panel, 2562 son ómnibus, 4.887 son camiones, 297 son remolcador y 357 son remolque, semirremolque.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar el sistema de frenos regenerativos como fuente principal de energía eléctrica para accionar un compresor centrífugo encargado de entregar mayor flujo de oxígeno y así optimizar el consumo de combustible de un motor de combustión.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Analizar qué tipos de componentes son más óptimos para conformar el sistema de frenos regenerativos y generar la energía eléctrica necesaria.
2. Determinar la capacidad del flujo de aire suministrado por el compresor centrífugo accionado por un motor eléctrico para la optimización del consumo de combustible.



## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Este artículo sintetiza la construcción y desarrollo de un sistema electrónico que recupera parte de la energía cinética que se transforma en calor durante el proceso de frenado en una motocicleta eléctrica yongkank skooda de 500W. El proyecto consiste en la implementación del sistema a través de la obtención de datos del modelo funcional de la motocicleta y el desarrollo general del prototipo; el cual está compuesto por el módulo encargado de recuperar la energía generada por el motor Brushless de la motocicleta y el módulo de almacenamiento de la misma. El primero es controlado a través de un sistema embebido basado en tecnología PSoC (Programmable System On Chip) y el segundo compuesto por un banco de ultra condensadores. Finalmente se muestran los resultados obtenidos sobre el prototipo integrado a la motocicleta, bajo pruebas de funcionamiento reales; en donde la energía que se recupera puede ser utilizada en el sistema principal de luces de la motocicleta, aumentando en un 2% la autonomía y además la vida útil de las baterías (DAMIAN FARROW, JOSEPH BAKER, 2015).

La presente tesis tiene como objeto definir el tipo de vehículo eléctrico adecuado para los requerimientos de un usuario privado típico de lima metropolitana y determinar las principales características de los sistemas técnicos que deben utilizar el mismo. La presente tesis consta de tres partes. En la primera parte se realiza una descripción de los tipos de vehículos híbridos y vehículos eléctricos. Se da a conocer los componentes que caracterizan a estos vehículos y se define los componentes principales. En la segunda parte da a conocer los vehículos livianos más vendidos y en consecuencia los más utilizados en lima metropolitana, además se define las características del ciclo de conducción en base a datos levantados. Obteniendo velocidades promedio de  $15.1 \pm 4.8$



km/ h en horas de la mañana entre 9:00 am y 11:00 am realizando recorridos promedio de 3.7 km en periodos de 15 min. Se realiza encuestas a usuarios de vehículos dedicados a gasolina y diésel. En la tercera y última parte de la tesis se define las características técnicas de los componentes del vehículo eléctrico para uso en lima metropolitana. Dicho vehículo eléctrico debe contar con un mínimo de 56kw de potencia y la capacidad de almacenamiento de las baterías debe ser 20.5 kW-h. para cumplir con el requerimiento de los usuarios (De Ciencias et al., 2014).

La utilización de automóviles híbridos es una gran ventaja para el ahorro de combustible fósiles, ya que, al sustituir los automóviles convencionales, los recursos naturales serian menos explotados. En México, el petróleo es la principal fuente de insumos para generar combustible en los sectores de transporte e industria, en el transcurso del tiempo se ha ido agotando, necesitando cada vez más puntos donde explotar el crudo y en consecuencia los costos de los combustibles se han elevado cada día más. Los vehículos híbrido son de costo elevado, por lo que los autos de combustión interna al no serlo son los más utilizados en la actualidad; por lo tanto, es prioritario fabricar un automóvil híbrido que cuente con más ventajas sobre el automóvil convencional, teniendo en cuenta que se debe de trabajar en esta tecnología mejorando el diseño de los mismos, abaratando la producción y que este genere un ahorro de energía al utilizarlos para que este tipo de automóvil en un futuro sea utilizado con mayor frecuencia (Universitaria, 2014).

El trabajo presentado consiste en el diseño de frenado regenerativo presente en los coches híbridos y eléctricos. Se parte de los conceptos fundamentales que son la base para una comprensión global del proceso de regeneración de energía. Así mismo, se analiza los elementos del sistema y la forma que influyen directamente en la generación de energía. También se presenta una clasificación general de las diferentes configuraciones



de los autos híbridos, que modifican el proceso de frenado regenerativo. El requisito específico que da lugar al desarrollo del proyecto es dar a conocer el uso de las energías alternativas que son comúnmente desperdicio, pero con el avance de la tecnología se puede aprovechar para la reutilización y la aplicación en diferentes procesos (Andy et al., 2016).

## **2.2 SUSTENTO TEÓRICO**

### **2.2.1 Historia de los frenos regenerativos**

Si mencionamos al sistema de frenos regenerativos no podemos pasar por desapercibido al icónico vehículo prototipo creado en los años 60, me refiero al Amitron creado por American Motors Corporation (AMC) y Gulton Industries.

Era un vehículo simple en su diseño, también adelantado a su época que contaba con tecnología que poseemos en la actualidad, contaba con frenos regenerativos tecnología que ahora se presenta como revolucionario, pero este sistema ya estaba desarrollado en el Amitron.

Contaba con dos tipos de baterías: unas de litio-níquel y otras de níquel- cadmio. Las primeras funcionaban cuando el coche viajaba a velocidades constantes, mientras que el segundo tipo de baterías se utilizaba en las aceleraciones.

Su tiempo de aceleración de 0 a 80 km/h era de 20 segundos, para este caso como ya se mencionó se utilizaba las baterías de níquel-cadmio, el Amitron era un coche diseñado para la ciudad debido a eso su velocidad de 80 km/h era más que suficiente su autonomía de era de unos 240 km por carga y a diferencia de otros prototipos similares era su peso, el conjunto de batería pesaba 91 kg , un peso muy considerado debido a la fecha que se creó el Amitron.

Su sistema de frenos regenerativos cambiaba automáticamente cuando el vehículo desaceleraba, funcionaba de forma alterna los motores eléctricos por generadores.

**Figura N° 2.1:** Amitron (Amc).



**FUENTE:** (Universitaria, 2014)

### **2.2.2 Historia del turbo compresor**

La historia de la turbo alimentación es casi tan antigua como la del motor de combustión interna. Ya en 1885 y 1896, Gottlieb Daimler Y Rudolf Diesel investigaron incrementar la potencia y reducir el consumo de combustible de sus motores mediante la precompresión del aire de combustión. En 1925 el ingeniero suizo Alfred Buchi fue el primero en lograr la turbo alimentación por gases de escape, obteniendo un aumento de potencia superior al 40%. Esto marco el inicio de la introducción paulatina de la turbo alimentación en la industria automovilística.(BORK, 2012)



### 2.2.3. Energía

La energía se la puede definir como la capacidad que tiene un sistema físico para realizar trabajo, corresponde a la interrelación entre elementos, objetos o sustancias que manifiestan de acuerdo a las propiedades inherentes de su materia una transformación física o química (Mendez, 2014).

Existen varias formas de energía como pueden ser : mecánica, térmica, cinética ,interna ,potencial, eléctrica ,electromagnética, química y nuclear, la suma total de los tipos de energía en un sistemas comprende la energía total del mismo , sin embargo esta información obtenida no es un parámetro exacto a tomar en cuenta ,ya que termodinámicamente interesa el cambio de energía producido durante la interacción o proceso energético llevado a cabo , es decir a la anergia total de un sistema se le puede asignar un valor de cero ( $E=0$ ) en algún punto de referencia conveniente ya que el cambio de energía total de un sistema independiente de este ,por ejemplo un vehículo que se desplace a una determinada velocidad tendrá una energía cinética que depende de su velocidad y no del punto de referencia seleccionado (Mendez, 2014).

Durante el proceso de transformación de energía existe una degradación de la misma debido a las interacciones que la realiza con el medio circundante (entropía segundo principio de la termodinámica) provocando una disminución de la energía total, si se toma en cuenta un sistema de frenos estándar las ruedas del vehículo cuando se encuentren en movimiento tendrán una energía cinética definida que al momento de presionar el freno transformara dicha energía en calor al disco de frenos y este calor de rechazo al aire circundante disminuyendo globalmente su energía y transformándola en distintos tipos (Mendez, 2014).



### 2.2.3.1. Energía mecánica

La energía mecánica se define como la forma de energía que se puede convertir completamente en el trabajo mecánico de modo directo mediante un dispositivo mecánico, como por ejemplo un motor de combustión interna, se debe principalmente a la posición y movimiento de un cuerpo, sus variables geométricas y dinámicas del sistema son necesarias conocer de igual manera. (Mendez, 2014)

Resulta imposible observar la energía mecánica de un solo objeto ya que está asociada directamente a la posición y velocidad de un elemento, sin embargo, es posible estudiar la energía mecánica cuando se transforma de una forma a otra o cuando se transfiere de un lugar a otro, esta transformación de la energía se la denomina trabajo (Mendez, 2014).

En sistemas conservativos, donde no se tiene interacciones externas como la fuerza de rozamiento el valor de la energía mecánica es constante, sin embargo para los demás casos que son la mayoría, si intervienen las interacciones o fuerzas externas, donde provocan un cambio fundamental en los elementos del sistemas por ejemplo la misma fuerza de rozamiento es responsable de la reducción completa o parcialmente del vehículo durante el frenado, actuando directamente en todo el ciclo del sistema de frenos, realizando un trabajo en contra del desplazamiento, de acuerdo a la ecuación el trabajo de la fuerza de rozamiento se definió como: (Mendez, 2014).

$$w_{fr} = F_r d \quad (2.1)$$

Donde:

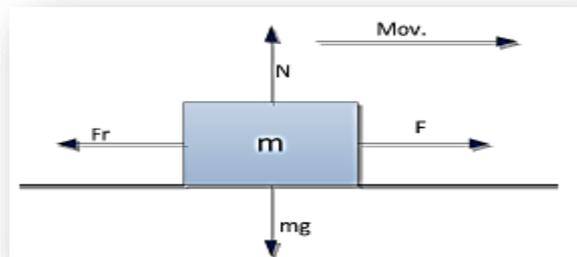
$w_{fr}$  = Trabajo de la fuerza de rozamiento (Nm=J)

$F_r$  = fuerza de rozamiento(N)

d = distancia (m)

Para conocer el valor de la fuerza de rozamiento ( $F_r$ ) es necesario realizar el diagrama de cuerpo libre (d.c.l) por ejemplo para un cuerpo de masa que desliza por efecto de una fuerza al realizar la sumatoria de fuerzas tanto en “x” como en “y” se igualan y despejan términos obteniendo la fuerza de rozamiento igual al coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) por el peso del objeto siempre y cuando este desplace en una trayectoria recta no inclinada.

**Figura N° 2.2:** Diagrama de cuerpo libre.



**FUENTE:**(Mendez, 2014)

El trabajo que realiza este tipo de fuerzas no conservativas provoca una disminución de la energía mecánica del sistema de tal forma que la variación de la energía mecánica de un sistema es igual al trabajo de la fuerza de rozamiento como se aprecia:

$$\Delta E_{mecanica} = W F_r \quad (2.2)$$

### 2.2.3.2 Energía Cinética

La energía cinética es la energía asociada a los cuerpos que se encuentran en movimiento, depende de la masa y de la velocidad del cuerpo:

$$E_c = \frac{1}{2}(mv^2) \quad (2.3)$$

Donde:

- M= masa (kg).
- V= velocidad (m/s)



La energía cinética se mide en julios (J), la masa se mide en kilogramos (kg) y la velocidad se mide en metros/segundo (m/s). (Energ, n.d.)

Esta expresión refleja el hecho de que un objeto en movimiento puede realizar un trabajo sobre cualquier otro elemento con el que colisione, transfiriendo parte de su energía en forma de trabajo y otra parte en forma de calor que de manera general se pierde en el ambiente debido a la dificultad de almacenarlo, a su vez cuantifica la cantidad de trabajo que el objeto podría realizar como resultado de su movimiento (Mendez, 2014).

En ausencia de otros tipos de energías como potencial y energía elástica, se tiene que la variación de la energía cinética es igual a la variación de la energía térmica, lo que se traduce que un objeto en movimiento para detenerse, necesariamente deberá existir una fuerza de rozamiento que genere calor como producto de su interacción (Mendez, 2014).

### **2.2.3.3 Energía eléctrica**

La energía eléctrica es una de las formas de energía más utilizadas actualmente, es posible ser utilizada en una gran variedad de aparatos tecnológicos que permiten un mayor desarrollo a diferentes niveles, por ejemplo la posibilidad de utilizar esta energía para movilizar un vehículo híbrido (Mendez, 2014).

El movimiento de las cargas eléctricas en el interior de los materiales conductores produce la energía eléctrica que se manifiesta fundamentalmente en forma luminosa, térmica o magnética (Mendez, 2014).

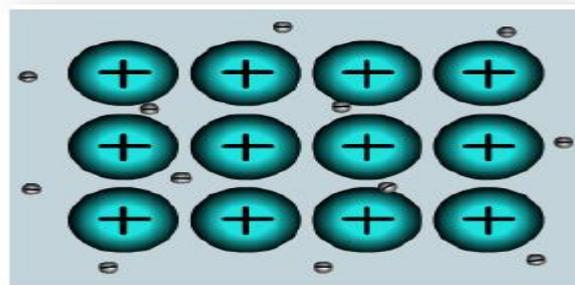
Para comprender el proceso de generación de la corriente eléctrica se deberá mencionar el nivel atómico de los materiales, los cuales tienen propiedades químico-físicas definidas, los átomos están formados por un núcleo central y una corteza externa, en la representación del átomo de litio con 3 protones y 3 electrones (Mendez, 2014).

En el núcleo hay 2 tipos de partículas: protones de carga positiva y neutrones (sin carga), mientras que en la capa externa hay electrones de carga negativa que giran alrededor del núcleo (Mendez, 2014).

El átomo es eléctricamente neutro al tener el mismo número de cargas positivas que negativas, para dos cuerpos que adquieran una misma carga de protones o electrones presentaran un desequilibrio de la fuerza intermolecular provocando la repulsión de los mismos mientras que si poseen carga de distinto tipo se atraen (Mendez, 2014).

En los metales los átomos pierden los electrones necesarios para tener una estructura externa de gas noble y permanecer cargados positivamente, los electrones a su vez se encuentran moviéndose entre los átomos positivos formando una nube de carga negativa que mantiene unidos a los átomos positivos, esto da lugar a una red metálica que se traduce en corriente eléctrica la cual se origina como consecuencia del transporte de los electrones libres que existen en los metales (Mendez, 2014).

**Figura N° 2.3:** Red metálica.



**FUENTE:** (Mendez, 2014)

#### **2.2.4 Sistema de frenos regenerativos**

Partiremos por mencionar la ley de la conservación de la energía, la cual indica que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma (James Prescott Joule), con esta base el sistema de frenos regenerativos cambia la manera tradicional de transformación de la

energía cinética a energía calorífica proveniente de la fricción ejercida por las pastillas sobre el disco de freno.

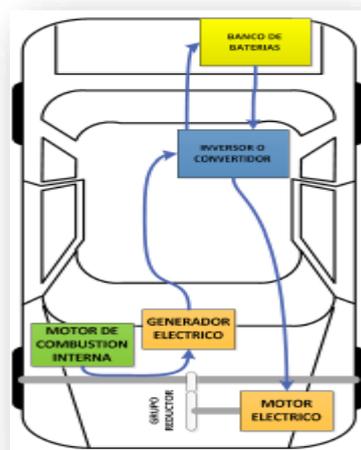
**Figura N° 2.4:** Disco de freno.



**FUENTE:**(Mendez, 2014)

Su transformación será en forma de energía eléctrica la cual será acumulada en un banco de baterías para su posterior reutilización, con esto se estaría incrementando el rendimiento del motor de combustión interna por qué no se desperdiciaría del todo la energía cinética ya obtenida.

**Figura N° 2.5:** Sistema de freno regenerativo.



**FUENTE:**(Mendez, 2014)

### 2.2.5 Motor de combustión

Un motor de combustión interna funciona en base al consumo y quemado de una mezcla comprimida en distintas relaciones de aire y combustible, el proceso se lleva a cabo dentro de un cilindro o cámara de combustión que permite incrementar la presión interna y generar con ello la suficiente potencia hacia el pistón, Los pistones a su vez empujaron al cigüeñal creando así un movimiento lo cual se utilizara para la propulsión del automóvil (Mendez, 2014).

**Figura N° 2.6:** Motor de combustión interna.



**FUENTE:** ([www.google.com/search?q=motor+de+combustion+interna](http://www.google.com/search?q=motor+de+combustion+interna))

La transmisión de movimiento se lleva a cabo por medio de la biela que está conectada directamente sobre el cigüeñal, el movimiento del pistón es de forma lineal (ascendente y descendente) desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior, se transmite hacia el cigüeñal, volviéndose un movimiento rotatorio que permite la transmisión de la potencia necesaria para que el movimiento de las ruedas del vehículo mediante un sistema previo de engranes, ejes, diferenciales(Mendez, 2014).

Dentro de la cámara del cilindro del motor, se desarrolla una transformación de la energía química contenida en el combustible, manifestado en forma de energía calorífica, luego en el movimiento de los elementos acoplados se manifiesta en forma de energía

cinética que se convierte en trabajo útil para las ruedas propulsoras, no toda la energía del combustible es aprovechable al 100% ya que en todo cambio o proceso o transformación se pierde una pequeña parte de esta debido a interacciones con fuerzas externas (Mendez, 2014).

La mezcla dosificada de aire-combustible debe tener un punto de ignición que se da por medio de una chispa de alta tensión generada por las bujías o un sistema de encendido (Mendez, 2014).

**Figura N° 2.7:** Mezcla aire combustible.



**FUENTE:**(Mendez, 2014)

### **2.2.6 Turbo eléctrico o Compresor eléctrico**

La diferencia es que este compresor es accionado por un motor eléctrico a diferencia de un turbo compresor que es accionado por una turbina aprovechando los gases de escape, como ya lo implanto la marca de vehículo Audi en su modelo SQ7.

La ventaja del turbo eléctrico es que no posee el retardo en la entrada de funcionamiento lo que se llama como Turbo Lag.

**Figura N° 2.8:** Turbo eléctrico.



**FUENTE:** (diariomotor.com)

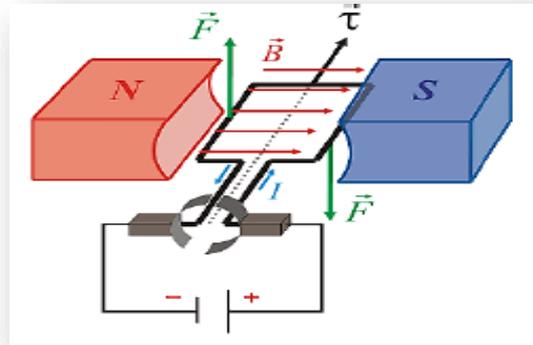
### 2.2.7 Motor eléctrico

Es una máquina que es capaz de producir movimiento rotacional, transformando energía eléctrica a energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Ofrece múltiples ventajas en relación al motor de combustión interna, como es la mayor eficiencia, limpieza en las partes, comodidad debido al tamaño, además de la seguridad de funcionamiento entre otras ventajas (Mendez, 2014).

El funcionamiento del motor se basa en las fuerzas de atracción y repulsión establecida entre un imán y un hilo de espiras denominado bobina, por donde circula una corriente eléctrica, es decir si un material conductor por el cual circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, el material tendera a desplazarse perpendicularmente de acuerdo a las líneas de acción del campo magnético presente. Al colocar una espira dentro de un campo magnético en el cual fluya una determinada intensidad de corriente, el campo ejercerá una fuerza tangencial a la espira dando lugar a un momento de fuerza, donde esta luego comienza a rotar y dicho movimiento será el producto de las interacciones electromagnéticas de donde la energía inicial eléctrica será

transformada a energía mecánica de rotación aprovechable para otra aplicación (Mendez, 2014).

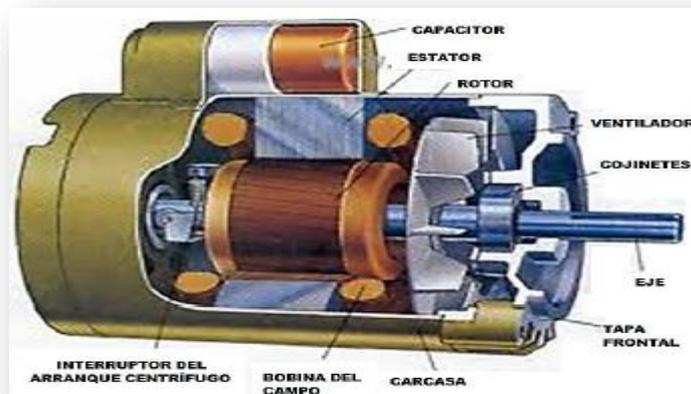
**Figura N° 2.9:** Campo de fuerzas magnéticas.



**FUENTE :**(Mendez, 2014).

La corriente eléctrica que circula por el motor provoca que el conductor funcione como un electroimán adquiriendo de esta forma propiedades magnéticas debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, en función del tipo de corriente suministra al motor pueden ser de corriente continua o de corriente alterna, existen distintos tipos de cada uno de ellos, sin embargo el principio que rige a todos ellos es el mismo y estos son los principales componentes de un motor eléctrico(Mendez, 2014).

**Figura N° 2.10:** Motor eléctrico.



**FUENTE:**(Mendez, 2014).



### **2.2.7.1 Motor de corriente continua (D.C)**

Son motores de costo más elevado y requieren de una fuente de corriente continua o un dispositivo que convierta corriente alterna en corriente continua, se utiliza en casos en que es importante poder regular continuamente la velocidad del motor debido a que pueden funcionar con una velocidad variable entre un gran margen de revoluciones y se presentan a controles de gran flexibilidad y precisión, por ello su uso es restringido a casos especiales en que estas exigencias compensan el costo más alto de la instalación y del mantenimiento (Mendez, 2014).

Los motores de corriente directa o continua pueden ser de tres tipos: serie, paralelo o mixto, pero es necesario tanto en el rotor como en el estator tener el mismo número de polos y carbones (Mendez, 2014).

Veremos sus componentes:

#### **2.2.7.1.1 Armadura (inducido)**

La armadura es la parte principal del motor que transporta corriente y que normalmente gira (los motores sin escobillas tienden a difuminar esta distinción) y produce torque a través de la acción del flujo de corriente en sus bobinas. También mantiene las bobinas en su lugar y proporciona un camino de baja resistencia. Al flujo (la resistencia se define como  $(Hx1) / 4$  y se mide en amperios por línea de flujo) la armadura generalmente consiste en un eje rodeado de piezas de chapa de acero laminado llamado núcleo de armadura. Las laminaciones reducen las pérdidas por corrientes de Foucault, El acero es reemplazado por metales más eficientes en diseños más nuevos. Hay ranuras o ranuras paralelas al eje alrededor del exterior del núcleo; los lados de las bobinas se colocan en estas ranuras. Las bobinas (cada una con muchas vueltas de alambre) se colocan de modo que un lado esté debajo del polo norte y el otro debajo del polo sur; las

bobinas adyacentes se colocan en ranuras adyacentes, el extremo de una bobina está conectado al comienzo de la siguiente bobina, de modo que la fuerza total se convierte en la suma de las fuerzas generadas en cada bobina. (Leitman et al., 2013).

**Figura N° 2.11:** Armadura o inducido.



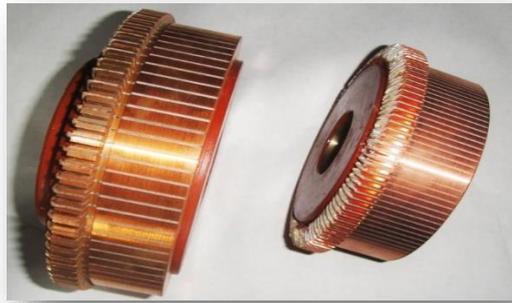
**FUENTE:** (Jorge et al., 2018)

#### **2.2.7.1.2 Conmutador**

El conmutador es la parte inteligente del motor que permite una rotación constante al invertir la dirección de la corriente en los devanados cada vez que alcanza el punto de flujo mínimo. Esta pieza es básicamente un interruptor. Conmuta el voltaje de una polaridad a la opuesta. Como el rotor del motor está girando y tiene impulso, el proceso de conmutación se repite de manera predeterminada. Los polos magnéticos alternos continúan proporcionando el impulso para superar las pérdidas (fricción, resistencia al viento y calentamiento) para alcanzar una velocidad terminal. Bajo carga, el motor se comporta de manera un poco diferente, pero la carga hace que se extraiga más corriente. (Leitman et al., 2013)

Físicamente, es una parte de la armadura (típicamente ubicada cerca de un extremo del eje) que aparece como un anillo dividido en segmentos que rodean el eje. Estos segmentos están inusitados uno del otro y el eje. (Leitman et al., 2013)

**Figura N° 2.12:** Conmutador.



**FUENTE:** (<https://spanish.alibaba.com/product-detail/commutators-for-dc-motors->)

#### **2.2.7.1.3 Polos de campo**

En un motor real, las líneas de flujo son producidas por un electroimán creado por vueltas de alambre enrolladas alrededor de sus postes o piezas polares. Normalmente, un poste está formado por piezas de chapa de acero laminado, que reducen las pérdidas por corrientes parásitas; al igual que con las armaduras, el acero ha sido reemplazado por metales más eficientes en los modelos más nuevos. Las piezas polares generalmente son curvas donde rodean la armadura para producir un campo magnético más uniforme. Las vueltas de alambre de cobre alrededor de los polos se llaman bobinados de campo. (Leitman et al., 2013).

Como se hacen y se conectan estos devanados determina el tipo de motor. Una bobina de pocas vueltas de alambre pesado conectada en serie con la armadura se llama motor en serie. Una bobina de muchas vueltas de alambre fino conectada en paralelo con la armadura se llama motor de derivación (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.7.1.4 Brushes (escobilla o cepillo)**

Que típicamente contienen piezas de grafito o carbón de forma rectangular, los cepillos se mantienen en lugares mediante resortes cuya tensión se puede ajustar. La porta escobillas es un material aislante que aísla eléctricamente el cepillo del marco del motor.



El pincel (llamado coleta) proporciona la corriente al pincel. Cepillos más pequeños se pueden conectar entre sí internamente para soportar mayores flujos de corriente (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.7.1.5 Caja, marco o yugo del motor**

Como quiera llamarlo, la función de estas partes no es solo proporcionar soporte para los elementos mecánicos, sino también proporcionar una ruta magnética para que las líneas de flujo completen su circuito, al igual que las líneas de flujo alrededor de un imán de barra. En el caso de los motores, el camino magnético va desde el polo norte a través del entrehierro, el material magnético de la armadura y el segundo entrehierro, hacia el polo sur y de regreso al polo norte nuevamente a través del estuche, marco o yugo.

Los motores que funcionan en el mundo real están sujetos a pérdidas de tres fuentes:

El par mecánico completo disponible dentro del motor no está disponible en el exterior porque el par se consume en la superación de la fricción de los cojinetes, el movimiento del aire dentro del motor (conocido como viento) y debido a la fricción del cepillo.

La energía eléctrica se consume a medida que la corriente fluye a través de la resistencia combinada de la armadura, los devanados de campo y los cepillos. (Leitman et al., 2013)

Las pérdidas magnéticas adicionales son causadas por la corriente de Foucault y las pérdidas por histéresis en el refuerzo y los núcleos de los polos de campo (Leitman et al., 2013).

En resumen:

- La eficiencia es simplemente el poder de un dispositivo en relación con la energía aplicada al dispositivo.
- cuando aplica 100 vatios y obtiene solo el equivalente de 90 vatios, tiene una pérdida de 10 vatios. Ese es un dispositivo 90 por ciento eficiente.



- esa regla de eficiencia se aplica a motores, controladores de velocidad del motor, cambiadores de batería, etc. (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.7.2 Estos son los tipos de motores de corriente continua**

- serie
- derivación
- compuesto
- imán permanente
- sin escobillas
- Universal

Los últimos tres tipos de motores son solo variaciones de los primeros tres, hechos usando diferentes técnicas de construcción. El motor compuesto es una combinación de motores en serie y de derivación. Para los primeros tres tipos de motores, veremos el circuito que muestra cómo están conectados los devanados de campo del circuito del motor, y luego veremos las características de par y velocidad en comparación con las curvas de potencia del eje y la corriente del inducido que describen, su operación (Leitman et al., 2013).

Cada uno de los tipos de motores será examinado por su par, velocidad, inversión y capacidad de frenado regenerativo, factores importantes para los usuarios de vehículos eléctricos. Todos los tipos de motores se compararán con la potencia del eje a plena carga, la única forma de comparar diferentes tipos de motores de igual capacidad. La eficiencia es un poco más difícil de determinar, ya que también depende de la resistencia externa del circuito al que está conectado el motor. Por lo tanto, la eficiencia debe calcularse para cada caso individual (Leitman et al., 2013)

### 2.2.7.2.1 Motor de DC serie

Es un tipo de motor eléctrico de corriente continua en el cual el devanado de campo (campo magnético principal) se conecta en serie con la armadura. Este devanado está hecho con un alambre grueso por que tendrá que soportar la corriente total de la armadura.

Debido a esto se produce un flujo magnético proporcional a la corriente de armadura (carga del motor). Cuando el motor tiene mucha carga, el campo de serie produce un campo magnético mucho mayor, lo cual permite un esfuerzo de torsión mucho mayor, sin embargo, la velocidad de giro varía dependiendo del tipo de carga que se tenga (sin carga o carga completa) estos motores desarrollan un par de arranque elevado y puede acelerar cargas pesadas rápidamente (Jorge et al., 2018)

- **Esfuerzo de torsión**

La ecuación de *torque* =  $K \times \Phi \times I_a$ , y la corriente en el campo de la serie es  $I_a$ ,  $I_a$  Puede ser sustituido por  $\Phi$  y la ecuación del torque del motor en serie puede escribirse como.

$$torque = K' \times I_a^2 \quad (2.4)$$

Esto muestra que, en un motor en serie, el par varía con el cuadrado de la corriente. En el arranque no hay un contador electromotor (EMF) que impida el flujo de corriente en la armadura de un motor en serie, y el torque de arranque puede ser enorme; sin limitación de corriente. En uso real, la reacción de la armadura y la saturación magnética del motor en serie a altas corrientes establece límites superiores tanto en par como en corriente, aunque es posible que prefiera limitar su circuito y componentes a valores mucho más bajos. El alto par de arranque hace que los motores en serie sean altamente deseables para aplicaciones de tracción (Leitman et al., 2013)

- **Velocidad**

Como muestra la siguiente ecuación,

$$velocidad = (V_t - I_a R_a) / K\phi \quad (2.5)$$

Una vez más,  $I_a$  puede ser sustituido por  $\phi$ , y la ecuación de velocidad del motor en serie se puede reescribir.

$$velocidad = (V_t - I_a (R_a + R_f)) / K\phi \quad (2.6)$$

Donde  $R_a$  Y  $R_f$ , son las resistencias de la armadura y el campo, respectivamente.

Esto muestra que la velocidad se vuelve muy grande a medida que la corriente se vuelve pequeña en un motor en serie. Las altas revoluciones sin carga son el talón de Aquiles del motor de serie. Debe asegurarse de estar siempre en marcha, tener el embrague puesto, tener una carga conectada, etc., porque la tendencia del motor en serie es salir corriendo sin carga. Solo tenga en cuenta esto y retroceda de inmediato si su motor en serie acelera demasiado (Leitman et al., 2013)

- **Debilitamiento de campo**

Esta técnica es una forma interesante de controlar la velocidad del motor en serie. Coloca una resistencia externa en paralelo con el devanado de campo del motor en serie, en efecto desviando parte de su corriente a través de la resistencia. Manténgalo al 50 por ciento o menos de la corriente total (valores de resistencia iguales o superiores a 1,5 veces la resistencia de campo del motor). El subproducto es un aumento de velocidad del 20 al 25 por ciento a pares moderados sin ninguna inestabilidad en la operación (Leitman et al., 2013).

- **Marcha atrás**

La misma corriente que fluye a través de la armadura fluye a través del campo en un motor en serie, por lo que invertir la polaridad del voltaje aplicado no invierte la dirección del motor. Para invertir la dirección del motor, debe invertir o

transponer la dirección del devanado de campo con respecto a la armadura. Esta característica también hace posible ejecutar motores de CC en serie desde CA (Leitman et al., 2013).

- **Serie DC frenado regenerativo**

La clasificación regenerativa le permite cambiar electrónicamente el motor y convertirlo en un generador. Si bien todos los motores se pueden usar como generadores, el motor en serie rara vez se ha utilizado como generador en la práctica, debido a sus propiedades de generador únicas y relativamente inestables (Leitman et al., 2013).

#### 2.2.7.2.2 Motores de CC de derivación

El segundo más conocido de los motores de CC es el motor de CC de derivación, llamado así porque su devanado de campo está conectado en paralelo con la armadura. Debido a que no tiene que manejar las altas corrientes de armadura del motor, una bobina de campo de motor de derivación generalmente se enrolla con muchas vueltas de alambre de calibre fino y tiene una resistencia mucho mayor que la armadura (Leitman et al., 2013).

- **Características del par**

Debido a que el campo de derivación está conectado directamente a través de la fuente de voltaje, el flujo en el motor de derivación permanece relativamente constante. Su par depende directamente de la corriente del inducido, como se describe en la ecuación de par: (Leitman et al., 2013).

$$\text{torque} = K \times \Phi \times I_a \quad (2.6)$$

Esto muestra que, en un motor de derivación, el par varía directamente con la corriente. Aunque inicialmente no hay contador de f.e.m para impedir el flujo de



corriente de arranque en la armadura de un motor de derivación, la relación lineal del motor de derivación se establece rápidamente. Como resultado, el motor de derivación no produce tanto par de arranque como el motor en serie. Esto se traduce en un rendimiento de aceleración reducido para los propietarios de vehículos eléctricos con motor de derivación (Leitman et al., 2013).

- **Velocidad**

Cuando se aplica una carga a cualquier motor (pero aquí específicamente a un motor de derivación), tenderá a disminuir la velocidad y, a su vez, reducirá la fem de contador producida (Leitman et al., 2013).

El aumento en la corriente de la armadura da como resultado un aumento en el par para cuidar la carga adicional. Básicamente, la constante. El par lineal del motor de derivación y las características de velocidad fija, versus corriente inducida tienen dos efectos secundarios indeseables para aplicaciones de tracción cuando se controlan manualmente (Leitman et al., 2013).

- Primero, cuando se aplica una carga pesada (escalada, aceleración extendida), un motor de derivación no se desacelera apreciablemente como lo hace un motor en serie, y la corriente excesiva que atraviesa su armadura por el requisito continuo de alto par lo hace más susceptible a Daño por sobrecalentamiento (Leitman et al., 2013).
- A continuación, en contraste con la curva de "rodilla" en las ecuaciones de velocidad de torque del motor en serie, las curvas de velocidad de torque del motor de derivación son casi rectas. Esto significa que es necesario un mayor control de la velocidad o cambios para lograr cualquier punto operativo dado. Por lo tanto, los motores de serie se usan donde hay una



amplia variación tanto en par como en velocidad y / o cargas de arranque pesadas (Leitman et al., 2013).

- Además de tener un par de arranque mucho más bajo, los motores de derivación pueden funcionar tan bien como los motores en serie en los EV cuando se controlan electrónicamente (Leitman et al., 2013).
- La desventaja es que un controlador de motor de derivación puede ser más complicado de diseñar que un controlador de motor en serie (Leitman et al., 2013).

- **Debilitamiento de campo**

También puede lograr una velocidad del motor de derivación superior a la nominal al reducir la corriente de la bobina de derivación; en este caso, coloca una resistencia de control externo en serie con el devanado de campo del motor de derivación. Pero aquí, a diferencia de la región de rpm fuera de control del motor en serie sin carga, está jugando con fuego, porque la armadura del motor de derivación cargada tiene una inercia que no le permite responder instantáneamente a los cambios de control de campo. Si hace esto mientras su motor de derivación está acelerando, puede cocinar su motor o tener partes del motor por toda la carretera cuando ajuste la resistencia de nuevo a donde comenzó. Tenga cuidado con el debilitamiento del campo en motores de derivación. Una vez más, estos motores pronto se perdieron debido a la simplicidad inherente de una disposición de motores de CC en serie. La calefacción fue un problema menor, y ciertamente no es algo de lo que los conductores quieran preocuparse; El motor de serie se adapta mejor a la aplicación (Leitman et al., 2013).

- **Marcha atrás**

La corriente fluye a través del campo en un motor de derivación en la misma dirección que fluye a través de la armadura, por lo que invertir la polaridad del voltaje aplicado invierte tanto la dirección de la corriente en la armadura como la dirección del flujo generado por el campo, y no se invierte La dirección de rotación del motor. Para invertir la dirección del motor, debe invertir o transponer la dirección del devanado del campo de derivación con respecto a la armadura (Leitman et al., 2013).

- **Frenado regenerativo**

Un motor de derivación es instantáneamente adaptable como generador de derivación. De hecho, la mayoría de los generadores son de derivación o variaciones sobre este tema. El par lineal o casi lineal y las características de velocidad versus corriente del motor de derivación se manifiestan como características de voltaje casi lineal versus corriente cuando se usa como generador. Esto también se traduce en un alto grado de estabilidad que hace que un motor de derivación sea útil y adaptable a las aplicaciones de frenado regenerativo, ya sea manual o electrónicamente (Leitman et al., 2013).

### 2.2.7.2.3 Motores DC compuestos

Un motor de CC compuesto es una combinación de la serie y motores de CC en derivación. La forma en que están conectados sus devanados, y si están conectados para aumentar (ayudar) o contrarrestar (oponerse) entre sí en acción. Su caracterización básica proviene de si la corriente que fluye hacia el motor encuentra primero un motor compuesto de bobina de cortocircuito de campo en serie o un motor compuesto de bobina de cortocircuito de campo paralelo de derivación paralela. Si, en cualquiera de estas configuraciones, los devanados de la bobina están conectados para oponerse entre sí en



acción, tiene un motor compuesto diferencial. Si los devanados de la bobina están conectados para ayudarse mutuamente en la acción, tiene un motor de acumulación acumulativo. La belleza del motor compuesto es su capacidad de brindar lo mejor de la serie y los motores de CC de derivación al usuario (Leitman et al., 2013).

- **Par motor**

El par en un motor compuesto tiene que reflejar las acciones tanto de la serie como de las bobinas de campo de derivación. Dependiendo de si está conectado en la posición diferencial o acumulativa, el par de derivación o y el par en serie restan a una figura de diferencia o suman. El efecto de estos arreglos de conexión en el par, donde el motor compuesto diferencial se construye más lentamente a un valor de par más bajo que la curva de derivación y el motor compuesto acumulativo se acumula a un valor de par ligeramente más alto que la curva de derivación en a una tasa ligeramente más alta (Leitman et al., 2013).

- **Velocidad**

Similar al par, la acción de velocidad en un motor compuesto también reflejará las variables duales de la acción de la bobina de campo en serie y en derivación. Uno de los beneficios iniciales de la configuración compuesta es que se pueden eliminar las condiciones fuera de control a bajos niveles de corriente de campo para el motor de derivación y a niveles ligeramente cargados para el motor en serie. Si bien la configuración del compuesto diferencial tiene un valor cuestionable (su curva muestra una tendencia a velocidades desbocadas a altos valores de corriente de armadura), el motor compuesto acumulativo parece ofrecer beneficios para la operación EV. Puede adaptar un motor compuesto acumulativo a sus necesidades de EV eligiendo uno cuyo devanado en serie ofrezca un buen par de arranque y cuyo devanado en derivación ofrezca un consumo de corriente



más bajo y capacidades de frenado regenerativo una vez que esté acelerado. Cuando observa, puede encontrar que estas características ya existen en un modelo estándar (Leitman et al., 2013).

- **Reversa**

Un motor compuesto de derivación corta se asemeja a un motor en serie, por lo que invertir su polaridad de voltaje aplicado normalmente no invierte la dirección del motor. Un motor compuesto de derivación larga se parece a un motor de derivación, por lo que invertir los cables de suministro de voltaje normalmente invierte el motor. Al igual que con la velocidad y el par, los motores compuestos se pueden adaptar para hacer lo que desee en el departamento de inversión.

- **Frenado regenerativo**

Un motor compuesto es tan fácilmente adaptable como un motor de derivación al frenado regenerativo. Su devanado en serie le proporciona un par de arranque adicional, pero puede evitarse durante el frenado regenerativo, y su devanado en derivación le permite darle la característica de generador de derivación más deseable. Los motores compuestos manuales controlados por electrónica de estado sólido se pueden usar y adaptar a aplicaciones de frenado regenerativo.

#### **2.2.7.2.4 Motores DC de imanes permanentes**

Cuando se le presentó por primera vez el tema del motor DC, se utilizaron imanes permanentes como ejemplo debido a su simplicidad. De hecho, los motores de imanes permanentes se utilizan cada vez más porque la nueva tecnología, varias aleaciones de material de imán Alnico, imanes de cerámica de ferrita, imanes de elementos de tierras raras, etc., permite que sean más pequeños y livianos. Los imanes de elementos de tierras raras superan significativamente la fuerza de los imanes de Alnico (de 10 a 20 veces) y se han utilizado con gran éxito en otras áreas. Si bien aún se requieren conmutador y



escobillas, ahorra la complejidad y el gasto de fabricar un devanado de campo (Leitman et al., 2013).

Los motores de imanes permanentes se parecen aproximadamente al motor de derivación en sus características de velocidad de par, inversión y frenado regenerativo. Los motores de imanes permanentes tienen pares de arranque varias veces mayores que los motores de derivación, y sus características de velocidad versus carga son más lineales y más fáciles de predecir (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.7.2.5 Motores de corriente continúa sin escobillas (brushless)**

Sin escobillas para reemplazar o piezas de conmutación para mantener, los motores sin escobillas prometen ser los motores más duraderos y sin mantenimiento. Ahora puede personalizar las características del motor con electrónica (porque la electrónica ahora representa la mitad del motor), y la distinción entre los tipos de motores de corriente continua difumina. De hecho, el motor sin escobillas se parece más a un motor de CA. Suponga que los motores de CC sin escobillas se parecen a sus primos de motor de CC de imán permanente en características: motor de derivación más alto par de arranque más velocidad / par lineal, con el golpeador adicional de eficiencia aún mayor debido a que no hay conmutador o escobillas (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.7.3 Motores de corriente continua universales**

Aunque cualquier motor de CC puede funcionar con CA, no todos los tipos de motores de CA funcionan tan bien con CC y algunos podrían no arrancar (pero funcionarían una vez que se inicien). Si desea ejecutar un motor de CC en CA, debe diseñarlo para ello. Por lo general, se elige un tipo de motor de CC en serie como punto de partida para motores universales que se deben ejecutar en CC o CA. Los motores de CC diseñados para funcionar con CA generalmente tienen un campo de laminación y núcleos de



armadura mejorados para minimizar la histéresis y las pérdidas de corriente. Se pueden agregar bobinados compensadores o interpolares adicionales a la armadura para reducir aún más los problemas de conmutación al reducir el flujo en las transiciones del segmento del conmutador. En general, los motores de CC serie que funcionan con CA funcionan casi igual (par de arranque alto, etc.), pero son menos eficientes en cualquier punto de voltaje dado (Leitman et al., 2013).

La aplicación de un motor en un vehículo no necesita lidiar con múltiples fuentes de energía. Los motores universales se usan típicamente en electrodomésticos y eso, dado lo que le sucedió al mundo durante las crisis del petróleo en 1973 y 1979. La eficiencia se convirtió en una consigna, y una patente de la NASA finalmente se puso en el dominio público. Esto dio como resultado el "Green Plug", que ahora es un equipo estándar en todos los electrodomésticos nuevos. Estos motores no deben colocarse en vehículos eléctricos de ningún tipo. Hay mejores soluciones (Leitman et al., 2013).

#### 2.2.8. Motor de corriente alterna (A.C)

Funcionan con corriente alterna y se clasifican en asíncronos (o de inducción), síncronos y colectores, pueden ser monofásicos o trifásicos y son los más utilizados debido a que la distribución de energía eléctrica es desarrollada normalmente en corriente alterna. (Escuela politécnica nacional, 2014)

- **Motor eléctrico síncrono:** funciona con velocidad fija donde no existe interferencia del deslizamiento, se utiliza principalmente por su alto costo y mantenimiento para el empleo de grandes potencias, el campo variable del estator gira al rotor a velocidades fijas y constantes de sincronismo que dependen de la frecuencia de la corriente aplicada (Escuela politécnica nacional, 2014).



- **Motor eléctrico asíncrono (inducción)** : Funciona normalmente con una velocidad constante que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje del rotor, la gran simplicidad robustez y bajo costo lo vuelve el motor más utilizado de todos siendo adecuado para la mayoría de máquinas encontradas en la industrias, actualmente es posible el control de la velocidad de los motores de inducción con la incorporación de convertidores de frecuencia, el funcionamiento es el mismo que un motor eléctrico normal, sin embargo en este equipo es necesaria una única conexión de alimentación hacia el estator eliminando de esta forma las escobillas necesarias en otros motores (Escuela politécnica nacional, 2014).
- **Motor colector (conmutador)**: En este tipo de motor se cuenta con un rotor bobinado o conductor colocado entre los polos de un imán, en el eje rotor se acoplan dos laminas conductoras denominadas delgas que son aisladas entre sí, forman un conmutador donde se encuentran conectados a los extremos de la bobina, siendo paralelamente los cables de entrada al motor (Escuela politécnica nacional, 2014).

### 2.2.8.1 Motores de inducción de CA

El motor de inducción de CA, patentado por Nikola Tesla en 1888, es básicamente un transformador rotativo. Piense en ello como un transformador cuya carga secundaria ha sido reemplazada por una parte giratoria. En la forma más simple, esta parte giratoria (rotor) solo requiere que sus conductores se mantengan rígidamente en su lugar mediante algunas placas terminales conductoras unidas al eje del rotor. Cuando se aplica una corriente cambiante a la bobina primaria (la parte estacionaria o el estator), el campo magnético cambiante da como resultado la transferencia de energía eléctrica al rotor mediante inducción. Como el rotor recibe energía por inducción sin ninguna conexión



directa, ya no es necesario ningún conmutador ni escobillas. Debido a que el rotor en sí mismo es fácil de fabricar, pero extremadamente resistente en su construcción (típicamente, una barra de cobre o un conductor incrustado en un marco de hierro), los motores de inducción son mucho más económicos que sus contrapartes de motores de CC de igual clasificación tanto en costo inicial como en mantenimiento continuo. Si bien los motores de CA vienen en todas las formas y variedades, el motor de inducción de CA, la variedad más utilizada, es la mayor promesa para los propietarios de vehículos eléctricos debido a sus importantes ventajas sobre los motores de CC. Estos componentes de estado sólido han resultado en motores de inducción de CA que aparecen en variadores de velocidad que cumplen o exceden el rendimiento del motor de CC, una tendencia que seguramente se acelerará en el futuro a medida que se introduzcan componentes de estado sólido más eficientes a costos cada vez más bajos. Esta sección examinará el motor de inducción de CA por su par, velocidad, inversión y capacidad de frenado regenerativo, los factores importantes para los usuarios de vehículos eléctricos. No se cubrirán otros tipos de motores de CA que no sean tan adecuados para la propulsión EV. (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.8.1.1 Motores de inducción de CA monofásicos**

Recuerde el motor de CC universal discutido anteriormente. Cuando lo conecta a una fuente de CA monofásica, tiene poca diferencia en la acción del motor porque al cambiar la polaridad del voltaje de línea se invierte tanto la corriente en la armadura como la dirección del flujo, y el motor arranca normalmente y continúa para rotar en la misma dirección. No es así en un motor de inducción accionado por una fuente de CA monofásica. Al inicio, no tiene un par neto (o más correctamente, pares opuestos equilibrados) que operan en sus conductores de rotor inmóviles. Sin embargo, una vez que gira o hace girar manualmente el eje, el flujo giratorio creado por las corrientes del



estator ahora atraviesa los conductores móviles del rotor, crea un voltaje en ellos por inducción y acumula corriente en el rotor que sigue el flujo giratorio del estator (Leitman et al., 2013)

Cómo superas el problema, se introduce un segundo devanado que está físicamente en ángulo recto con el devanado del estator principal, induce una corriente del rotor desfasada con la corriente del rotor principal que es suficiente para arrancar el motor. Este diseño de motor de inducción de fase dividida, o alguna variación del mismo, es el que es más probable que encuentre en los motores más pequeños típicos que alimentan ventiladores, motores de talleres de bombeo, etc. Para maximizar la diferencia de fase eléctrica entre los dos devanados, la resistencia del devanado de arranque es mucho más alto y su inducción es mucho más baja que el devanado de funcionamiento. Para minimizar la disipación de potencia excesiva y el posible aumento de temperatura después de que el motor esté en funcionamiento, se conecta un interruptor centrífugo montado en eje en serie con el devanado de arranque que se abre a aproximadamente tres cuartos de la velocidad síncrona. Las características de velocidad del motor de inducción de fase dividida más pequeñas se parecen a las de los motores de derivación de CC, pero su par de arranque es mucho mayor. (Leitman et al., 2013)

El motor de inducción de fase dividida más común es uno que utiliza un arranque por capacitor. El condensador proporciona automáticamente una mayor diferencia de fase eléctrica que los devanados inductivos. Esta mayor diferencia de fase, casi 90 grados eléctricos, también proporciona a los motores de inducción de fase dividida de arranque por condensador un par de arranque mucho más alto (es común un par nominal de tres a cinco veces). El principio fue descubierto bastante temprano por Charles Steinmetz y otros, pero la tecnología de los condensadores tuvo que ponerse al día antes de que se pudiera introducir ampliamente en los motores de producción. Las variaciones de diseño



de inicio de condensador incluyen dos tipos: condensadores de arranque y funcionamiento separados; y condensador permanente sin interruptor de corte centrífugo. El enfoque de dos condensadores le ofrece lo mejor tanto del mundo inicial como del mundo en ejecución; El tipo de condensador permanente le brinda un control de velocidad superior durante la operación a expensas de un par de arranque más bajo. El otro diseño común de motor de inducción de fase dividida, llamado polo sombreado, se aplica principalmente a motores más pequeños; es más probable que lo encuentre en su despertador eléctrico que en su EV (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.8.1.2 Motores de inducción de CA polifásicos**

Poli fase significa más de una fase. La CA es el modo predominante de distribución eléctrica. La corriente monofásica de 220 V a neutro desde un transformador trifásico en el poste es la forma más frecuente en su hogar y oficina. El voltaje de fase que proviene del polo es de 240V. Estos están ampliamente disponibles en casi todas las ciudades del mundo industrializado. Si una fase es buena, entonces tres fases son mejores, por lo general. Los motores de inducción eléctricos trifásicos estacionarios son inherentemente de arranque automático y altamente eficientes, y la electricidad está convenientemente disponible (Leitman et al., 2013).

La CA trifásica conectada a los devanados del estator de un motor de inducción de CA trifásica produce corrientes que están desfasadas 120 grados entre sí (Leitman et al., 2013).

Como en un motor de CC, la potencia y el par también son función de la corriente en un motor de inducción. Debido a que la corriente es igual al voltaje dividido por la reactancia del motor, a cualquier voltaje dado, la corriente es una función del estator, el



rotor y las reactancias de magnetización que cambian en función de la frecuencia (Leitman et al., 2013).

Si un motor de inducción se arranca sin carga, rápidamente alcanza una velocidad que podría ser solo una fracción del 1 por ciento menor que su velocidad síncrona. Cuando se aplica una carga, la velocidad disminuye, lo que aumenta el deslizamiento; Se genera un par aumentado para satisfacer la carga hasta el área de par de carga completa, y mucho más allá, hasta el punto de par máximo (es típico un par máximo de par nominal de 350 por ciento) (Leitman et al., 2013).

La velocidad y el par son relativamente fáciles de manejar y determinar en un motor de inducción. Así son los frenos reversibles y regenerativos. Si invierte la secuencia de fase de su suministro del estator (es decir, invierte uno de invertido, y el motor desarrolla un par negativo y entra en acción del generador, deteniendo rápidamente el motor e invirtiendo la dirección, la acción de frenado, la energía de bombeo de regreso a la fuente, se logra fácilmente con motores de inducción. La cantidad de frenado regenerativo que aplica crea el frenado (mueve el punto de funcionamiento del motor de inducción de estado estable hacia abajo en la curva de deslizamiento de par) y genera energía (se ejecuta instantáneamente con un deslizamiento negativo en la región del generador, suministrando energía a la fuente) (Leitman et al., 2013).

#### **2.2.8.1.3 Motores de inducción de rotor herido**

También puede encontrar el motor de inducción del rotor bobinado en su búsqueda de fuente de alimentación EV. Los devanados de un rotor bobinado se sacan a través de anillos deslizantes, anillos conductores en los cepillos de eje pasante del rotor (análogos a la construcción del motor DC) a una resistencia externa en serie con cada devanado. La diferencia es que los anillos colectores son continuos sin ranuras de conmutación. La



ventaja del motor de inducción del rotor enrollado sobre el motor de inducción de la jaula de ardilla es que el control de resistencia puede usarse para variar tanto la velocidad del motor como sus características de torque. El aumento de la resistencia hace que se desarrolle el par máximo a valores sucesivamente más altos. En el camino, el rotor enrollado tiene mejores características de arranque y un control de velocidad más flexible. Lo que renuncia es la eficiencia con una mayor complejidad y costo (Leitman et al., 2013).

### 2.2.9 Generador eléctrico

El generador eléctrico es una máquina rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica por medio de la interacción de campos magnéticos sobre los bobinados, esto sigue el principio de la ley de inducción electromagnética, donde al tomar en cuenta el giro de una espira dentro de un campo magnético se producirá una variación del flujo magnético de la espira a través del campo, generando una corriente eléctrica (Escuela politécnica nacional, 2014).

La fuerza electromotriz (f.e.m) inducida depende del ritmo de cambio del flujo, sin importar el número de líneas de campo atravesando el circuito, sino su variación por unidad de tiempo. La relación entre f.e.m inducida y variación de flujo constituye la ley de Faraday. El flujo magnético a través de una superficie estará dado como:

$$\Phi_B = \int_S B \cdot dS \quad (2.7)$$

Donde:

- $\Phi_B$  = flujo magnético
- B = Densidad del campo magnético ( $T = \text{kg } C^{-1} S^{-1}$ )
- $Ds$  = superficie del circuito.

La fuerza electromagnética inducida  $E$  estará dada como:

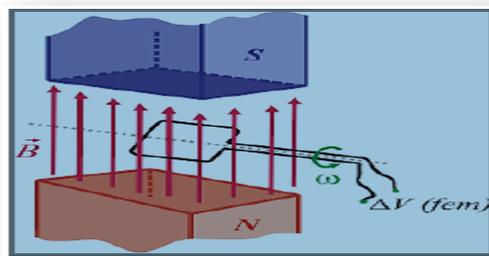
$$E = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (2.8)$$

Donde:

- $dt$  = diferencial de tiempo.
- $\phi_B$  = flujo magnético

La fuerza electromotriz (f.e.m) se produce debido al movimiento relativo de los conductores sobre el estator dentro de un campo electromagnético, se tiene una espira rectangular que rota a una determinada velocidad angular ( $\omega$ ) como producto de la interacción con el campo magnético que fluye a través de ella. (Escuela politécnica nacional, 2014)

**Figura N° 2.13:** Generación de corriente eléctrica por medio de un campo magnético.



**FUENTE:**(Escuela politécnica nacional, 2014)

El estator la parte estática del generador actúa como inducido, en el rotor o la parte móvil el eje actúa como inductor, está constituido por un electroimán o imán permanente obteniéndose mejores resultados de intensidades de campo magnético con el empleo de electroimanes además de que en esta opción el propio campo magnético es regulable. Será el medio de suministro de energía eléctrica para nuestro sistema.



### 2.2.9 Baterías

Es un acumulador eléctrico que está compuesto por celdas electroquímicas capaces de convertir la energía química en su interior en energía eléctrica, la batería posee una capacidad de carga dependiendo de su composición y esto se mide en amperios – hora (Ah).

El principio fundamental de una batería consiste en las reacciones de oxidación-reducción (redox) de ciertas sustancias químicas, una de las cuales pierde electrones (se oxida) mientras la otra gana (se reduce). Las baterías contienen celdas químicas que presentan un polo positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo), así como electrolitos que permiten el flujo eléctrico hacia el exterior. Una vez consumado agota su capacidad para recibir energía existen dos tipos de celdas.

- ✓ **Primarias.** su reacción electroquímica es irreversible, es decir, después de que la batería se ha descargado no puede volver a cargarse.
- ✓ **Secundarias.** su reacción electroquímica es reversible, es decir después de que la batería se ha descargado puede ser cargada inyectándole corriente continua desde una fuente externa. Su eficiencia en un ciclo de carga y descarga está entre el 70% y 80%.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

#### 2.2.9.1 Capacidad y clasificación de la batería

La capacidad y la clasificación son los dos factores principales que especifican la batería. La capacidad es la medida de cuánta energía puede contener la batería. La capacidad depende de muchos factores, los más importantes son:

- Área o tamaño físico de las placas en contacto con el electrolito.
- Peso y cantidad de material en placas.
- Número de placas y tipo de separadores entre placas.



- Cantidad y gravedad específica del electrolito.
- Edad de la batería
- Condición celular: sulfatación, sedimento en el fondo, etc.
- Temperatura
- Límite de baja tensión
- Velocidad de descarga

La calificación de una batería es el segundo factor de especificación. Se refiere a la tasa a la que se puede cargar o descargar. En forma de ecuación:

$$\text{Clasificación de la batería} = \text{Capacidad} / \text{Tiempo de ciclo} \quad (2.9)$$

En esta ecuación, la clasificación se da en amperios para una capacidad en amperios-hora y un tiempo de ciclo en horas. En términos prácticos, una batería con una capacidad de 100 amperios-hora que puede entregar 1 amperio por 100 horas (conocida como velocidad  $C / 100$ ) no necesariamente podría entregar los 100 amperios mucho más altos por 1 hora (conocida como  $C / 1$  taza). (Leitman et al., 2013)

Solicitar 10 amperios de una batería con capacidad de 100 AH totalmente cargada refleja una tasa de  $C / 10$ : esta misma solicitud refleja una tasa de  $C / 40$  mucho más baja de una batería de 400 AH. En pocas palabras, las baterías más pequeñas tienen que entregar energía más rápido en relación con su tamaño, o las baterías grandes tienen tasas de descarga más bajas en relación con su capacidad. (Leitman et al., 2013)

La capacidad de las baterías comerciales está estandarizada por el Battery Council International (BCI) en varias cifras utilizables. Por lo general, se proporcionan dos cifras, una capacidad de 20 horas y una capacidad de reserva para cada batería, según su aplicación. (Leitman et al., 2013)



- **Capacidad de 20 horas:** Esta es la tasa de descarga de 20 horas de una batería, su tasa  $C / 20$ . Cada batería está clasificada para entregar el 100 por ciento de su capacidad nominal a la velocidad  $C / 20$ , si se descarga en 20 horas o más. Si una batería se descarga a un ritmo más rápido, tendrá una capacidad de amperios-hora más baja. (Leitman et al., 2013)
- **Minutos a 25 amperios capacidad de reserva:** Este es el número de minutos que una batería completamente cargada puede producir a una corriente de 25 amperios. Esta es la clasificación de la batería de arranque automotriz que le indica cuánto tiempo la batería de arranque alimentará sus accesorios automotrices si la correa del ventilador se rompe y desconecta el alternador; en otras palabras, cuántos minutos tiene para llegar a la estación de servicio más cercana. (Leitman et al., 2013)
- **Minutos a 75 amperios capacidad de reserva:** Este es el número de minutos que puede producir una batería completamente cargada a una corriente de 75 amperios. Esta es la calificación de la batería del carrito de golf, porque 72 minutos se traduce en aproximadamente la cantidad de tiempo que lleva jugar dos rondas de golf. Entonces, esta cifra le dice cuánto tiempo sus baterías alimentarán su carrito de golf: dos rondas, tres rondas, etc. (Leitman et al., 2013)
- **Capacidad de reserva de tres horas:** este es el estándar BCI actualmente en boga que cubre a los usuarios de vehículos eléctricos. Se define como el 74 por ciento de la tarifa de 20 horas. Debido a que tres horas se traducen en la cantidad promedio de tiempo que un EV podría estar en uso diario, desplazamientos, compras, etc. (Leitman et al., 2013)

$$\text{Capacidad de reserva de 3 horas} = 0,74 \times 20 \text{ Hr capacidad de reserva (2.10)}$$



### 2.2.9.2 El suave arte de la recarga de baterías.

El objetivo con las baterías es mantener un equilibrio. La rapidez con que se llenan y se vacían las baterías son factores críticos que determinan tanto su eficiencia inmediata como su longevidad final. Donde las baterías se llenan y se vacían, en relación con su estado de carga, son factores igualmente críticos. (Leitman et al., 2013)

Debido a que los patrones de conducción urbana para los vehículos eléctricos son muy intermitentes, las tasas de descarga de la batería variarán en todo el mapa. Si bien la energía se extrae de su batería mucho más fuerte que  $C / 20$  en el arranque y la aceleración, solo lo está haciendo momentáneamente, y el ciclo de conducción urbana generalmente implica que la batería de un EV recibe una cierta cantidad de "descanso" entre solicitudes de alta. La conclusión es: (Leitman et al., 2013)

- Evite colocar cargas continuas, pesadas, tipo  $C / 1$  en sus baterías en cualquier parte de su ciclo de estado de carga. Una batería que puede entregar el 100 por ciento de su capacidad cuando se descarga en el tiempo  $X$  solo puede entregar el 50 por ciento de su capacidad cuando se descarga en el tiempo  $X / 3$ . (Leitman et al., 2013)
- Evite descargar en exceso sus baterías cuando estén por debajo del 20 por ciento del estado de carga. La descarga de alta velocidad por debajo del estado de carga del 20 por ciento puede reducir en gran medida la vida útil de la batería o incluso destruirla. (Leitman et al., 2013)
- A diferencia de la descarga, puede controlar el destino de sus baterías durante el proceso de carga. De hecho, es vital que lo haga, ya que tanto la sobrecarga como la baja carga acortan la vida útil de la batería. Las baterías sobrecargadas o cargadas demasiado rápido pueden destruirse; las baterías constantemente



descargadas se vuelven sulfatadas e ineficientes. (Leitman et al., 2013)

- Confine la carga pesada dentro del 20 por ciento al 90 por ciento del rango de estado de carga, porque la capacidad de una batería para almacenar energía se reduce cuando está casi llena o casi vacía. Por debajo del 20 por ciento y por encima del 90 por ciento,  $C / 20$  es la tasa más eficiente (divida la capacidad de su batería en amperios por 20) para cargar sus baterías. En el rango de 20-90 por ciento,  $C / 10$  ofrece la velocidad más rápida a la que es eficiente cargar una batería de plomo-ácido; desperdicia más calor que a la tasa  $C / 20$ , pero ahorra tiempo. Por debajo del 90 por ciento, controle la carga limitando la corriente para no cargar las baterías casi vacías demasiado rápido. Por encima del 90 por ciento, limite el voltaje para no sobrecargar las baterías (o posiblemente dañar otros dispositivos electrónicos conectados). (Leitman et al., 2013)

### **2.2.9.3 La temperatura determina el rendimiento de las baterías**

Tenga en cuenta que solo aproximadamente el 70 por ciento de la capacidad de una batería está disponible a 32 grados F, mientras que aproximadamente el 110 por ciento de la capacidad de la batería está disponible a 110 grados F. La conclusión obvia aquí es que los convertidores EV en climas más fríos deben optar por el modelo de batería de modelo más grande en línea, mientras que sus contrapartes de Sun Belt pueden disfrutar de su poder extra, o reducir una muesca si viven en el desierto. Observe también que las baterías no se congelan a 32 grados F debido a la concentración de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en el electrolito. Esta concentración aumenta (la gravedad específica es más alta) con el aumento de la temperatura y viceversa, por lo que es importante mantener las baterías de operación a baja temperatura casi completamente cargadas en todo momento; Dejar que el electrolito se congele en una batería de plomo-ácido puede provocar daños permanentes en la celda de la batería. (Leitman et al., 2013)



#### **2.2.9.4 La edad determina el rendimiento de las baterías de plomo-ácido**

La capacidad de la batería también depende en gran medida de la edad. La capacidad de la batería comienza en aproximadamente el 95 por ciento cuando es nueva, aumenta a aproximadamente el 105 por ciento después de haber sido utilizada durante aproximadamente el 20 por ciento de su vida útil, se mantiene bastante nivelada y luego se cae rápidamente después del 90 por ciento de su vida útil. Una observación es que un paquete de baterías EV completamente nuevo no le dará un resultado tan bueno como el que se ha usado por un tiempo. Otra observación es que una vez que comienza a ver que el rendimiento de la batería disminuye significativamente, es hora de pensar en comprar otro conjunto. (Leitman et al., 2013)

#### **2.2.9.5 Carga de la batería: úselo o piérdalo**

Debido a que cada batería tiene una resistencia interna, se descargará por sí sola si no hace nada. La temperatura y la antigüedad de la batería son los dos determinantes principales de la rapidez con que esto ocurre: aumentar la temperatura y la edad acelera el proceso. Esta es también la razón por la cual comprar las baterías es el último paso en su proceso de conversión EV. (Leitman et al., 2013)

Las baterías mantenidas a bajas temperaturas no se descargan en absoluto. Es cierto, ¡pero tampoco puede extraer la energía de la batería para su propio uso a bajas temperaturas! Si planea almacenar sus baterías durante unos meses, 40 grados F es la mejor temperatura. Cargue completamente las baterías antes de almacenarlas y caliéntelas antes de usarlas. (Leitman et al., 2013)

#### **2.2.9.6 Descarga no apresurada**

La máxima "prisa genera desperdicio" es absolutamente cierta cuando se descargan las baterías. Cuanto más rápido descargue sus baterías, menor será el voltaje (menor



capacidad). Si toma más y más de menos y menos, eventualmente terminará sin nada, una forma cortés de decir que la descarga excesiva mata la vida útil de la batería.

Un corolario de esta acción (profundidad de descarga) afecta la cantidad de ciclos de carga / descarga que pueden suministrar sus baterías. La cantidad de ciclos que puede esperar de sus baterías viene dada aproximadamente por la ecuación:

$$\text{Ciclos de vida de la batería} = K_d / \text{Profundidad de descarga} \quad (2.11)$$

Esta ecuación dice que el número de ciclos de vida útil de la batería es inversamente proporcional a la relación de profundidad de descarga. Si descarga constantemente sus baterías al 90 por ciento, obtendrá menos ciclos de ellas que reducirlas al área de profundidad de descarga del 50 por ciento. En números, K puede ser de aproximadamente 12,000 para baterías de arranque, 24,000 para baterías de ciclo profundo y 30,000 o más para baterías industriales. Estos valores reflejan el hecho de que las baterías de servicio pesado ofrecen más ciclos o soportan tasas de mayor profundidad de descarga mejor que las baterías de arranque. (Leitman et al., 2013)

Debido a la formación de gases y la pérdida de material de la placa a medida que avanza por encima del punto de carga del 90 por ciento (profundidad de descarga del 10 por ciento), la responsabilidad por daños en la batería a medida que avanza por debajo del punto de carga del 20 por ciento (profundidad de descarga del 80 por ciento), y el hecho de que cada batería de plomo-ácido tiene una vida útil limitada, la mejor guía de operación se traduce en operar sus baterías de ciclo profundo en el medio de este rango, aproximadamente el 40 a 60 por ciento de profundidad de descarga, para un equilibrio óptimo entre ciclo de vida, profundidad de descarga y la vida real de la batería física (calendario). Las baterías industriales de servicio pesado pueden apuntar al rango de



profundidad de descarga máxima del 60 al 80 por ciento para una operación más eficiente.

(Leitman et al., 2013)

### **2.2.9.7 Tipos de baterías**

Los tipos de baterías más comunes son:

- Plomo-ácido (Pb-ácido).
- Nickel-hidruro metálico (NiMH).
- Ion-Litio (Li-ion).
- Polímero-Litio (Li-poly).
- Aire-zinc.

De estos solo describiremos a los que se utilizan en la propulsión de automóviles.

#### **2.2.9.7.1 Baterías Plomo-Ácido**

Este tipo de baterías recargable más común por su buena relación de desempeño-costos, aunque es la de menor densidad de energía por peso y volumen. (Leitman et al., 2013)

Las aplicaciones de esta batería son en la automoción, pero también en muchas otras aplicaciones que exigen continuidad en el suministro de energía. (Leitman et al., 2013)

Esta batería cuenta con varias versiones.

- La versión shallow-cycle o de ciclo corto es usada en automóviles, en los cuales se necesita una corta explosión de energía que es forzada desde la batería para encender el motor. (Leitman et al., 2013)
- La versión Deep-cycle o de ciclo profundo, diseñada para repetidos ciclos de carga y descarga. La mayoría de las aplicaciones requiere este tipo de baterías.
- La versión sellada gel-cell con aditivos, los cuales vuelven el electrolito en un gel antiderrames, está pensada para ser montada de lado o de invertido pero su alto

costo la limita aplicaciones en aviones militares.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014). (Leitman et al., 2013)

#### **2.2.9.7.2 Baterías de Nickel-Hidruro metálica**

Es una extensión de la tecnología de NiCd, ofrece una mayor densidad de energía y el ánodo es hecho de metal hidruro evitando los problemas ambientales de la NiCd.

Además, su efecto memoria es casi despreciable. No es capaz de entregar alto picos de potencia, tiene un alto grado auto descarga y es muy peligrosa si es sobrecargada, aun es de precio elevado, aunque se estima que su costo disminuirá al producir vehículos eléctricos a gran escala.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

Las aplicaciones de esta batería son las siguientes.

- Las utilizan todos los vehículos de propulsión totalmente eléctrica como General Motors EV1, Honda EV plus, Ford Ranger EV, Scooter Vectrix.
- Varios modelos de robot la utilizan entre ellos el célebre prototipo humanoide ASIMO diseñado por Honda.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

#### **2.2.9.7.3 Baterías de Ion-Litio**

Es una nueva tecnología, la cual ofrece una densidad de energía de 3 veces la de una batería plomo-acido. Esta gran mejora dada por su bajo peso atómico 6,9 vs 2.9 para la del plomo.

Además, cuenta con el más alto voltaje por celda 3.5 (v), lo cual reduce el número de celdas en serie para alcanzar cierto voltaje, lo que reduce su costo de manufactura. Tiene muy baja tasa de auto descarga.

Si vemos sus contras tiene una rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión.



Requiere en su configuración como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultado en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones.

Las aplicaciones de esta batería son las siguientes:

- Su uso se ha popularizados en aparatos como teléfonos móviles, agendas electrónicas, ordenadores, portátiles y lectores de música.
- Las baterías de ion litio al ser baterías más compactas permiten manejar más carga, lo que hay que tener en cuenta para lograr automóviles eléctricos prácticos.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

#### **2.2.9.7.4 Baterías de Polímero-Litio**

Es una batería de litio con un polímero sólido como electrolito. Estas baterías tienen una densidad de energía de entre 5 y 12 veces las de NiCd o Ni-MH, a igualdad de peso, a igualdad de capacidad, las baterías de Li-Po son típicamente cuatro veces más ligeras que las de Ni-Cd de la misma capacidad.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014).

La gran desventaja de estas baterías es que requieren un trato mucho más delicado, bajo riesgo de deteriorarlas irreversiblemente o incluso llegar a producir su ignición o explosión.

Un elemento de Li-Po tiene un voltaje nominal, cargado de 3.7 V. Nunca se debe de descargar una batería por debajo de 3.0 V por celda; nunca se la debe cargar más allá de 4.3 V por celda.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

### 2.2.9.7.5 Baterías de Aire-Zinc

Con una fabricación más barata y capacidades que pueden superar en 3 veces a las populares Ion de Litio, las nuevas baterías de Zinc-Aire funcionan utilizando oxígeno almacenando en un cuarto como electrodo, mientras la batería contiene un electrolito y el electrodo de Zinc permite que el aire circule dentro de una caja porosa, logrando el milagro de la electricidad.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

La compañía Revolt se encuentra trabajando en llevar el Zinc-Aire a vehículos eléctricos, para esto será necesario incrementar el número de ciclos de carga en 10.000, algo un poco lejano todavía para los prototipos que solo alcanzan los 300 y 500 cargas y descargas.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014).

Las aplicaciones de esta batería son las siguientes:

- La tecnología zinc-aire respetuosa con el medio ambiente encuentra su mejor aplicación en aparatos portátiles y en el sector automotriz. Es probable que en el futuro del coche eléctrico pase por el desarrollo de baterías más potentes de zinc-aire, que sustituyan a las de ion-litio.(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)

**Tabla N° 2.1:** Cuadro de comparación entre las baterías.

Tipo	Energía/peso	Tensión por elemento	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5%
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1.25 V	500	10-14h	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1.25 V	1000	2-4h	20%
Li-Ion	110-160 Wh/kg	3.16 V	4000	2-4h	25%
Li-Po	100-130 Wh/kg	3.7 V	5000	1-1.5h	10%

**FUENTE:**(Universidad Técnica Federico Santa María, 2014)



### **2.2.10 Inversor**

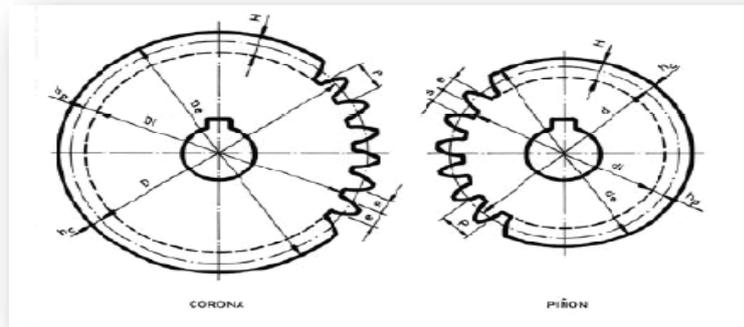
Un inversor transforma la electricidad de corriente continua (C.C) almacenada en las baterías en energía de corriente alterna (C.A) y de igual forma en sentido opuesto de corriente alterna en corriente continua.(Andy et al., 2016)

Los inversores eléctricos disponen de funciones para iniciar y detener generadores automáticamente donde radica su aplicación en el sistema a de frenos regenerativos, además la capacidad del inversor para procesar distintas formas de energía de entrada, lo convierte en una opción necesaria en aplicaciones de energía portátil, de respaldo y sin conexión directa a la red como en vehículos híbridos y eléctricos. (Escuela politécnica nacional, 2014).

### **2.2.11 Engranajes**

Se denomina engranaje al mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica entre las distintas partes de una máquina, los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales a la mayor se le denomina corona y a la menor piñón. Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo. De manera que una de las ruedas está conectada por la fuente de energía y es conocido como engranaje motor y la otra está conectada al eje que debe recibir el movimiento del eje motor y que se denomina engranaje conducido. Si el sistema está compuesto de más de uno para de ruedas dentadas, se denomina tren de engranajes.(Engineering, n.d.)

**Figura N° 2.14:** Piñón y corona.



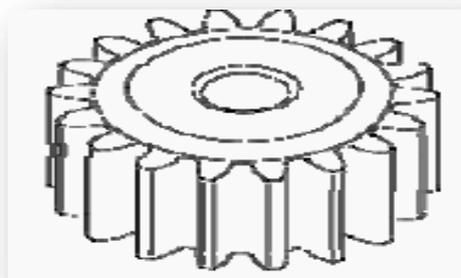
**FUENTE:** (Engineering, n.d.)

### 2.2.11.1 Engranajes de ejes paralelos

Se fabrican a partir de un disco cilindrico cortado de una plancha o de un trozo de barra maciza redonda este disco se lleva al proceso de fresado, en donde se retira material para formar los dientes. La fabricacion de estos engranajes es mas simple, por lo tanto se reduce los gastos. (Engineering, n.d.)

- **Cilindricos de dientes rectos** : los engranajes cilindricos rectos son el tipo de engranaje mas simple y corriente que existe. Se utilizan generalmente para velocidades pequeñas y medidas, a grandes velocidades, si no son rectificadas, o ha sido corregido su tallado, producen ruido cuyo nivel depende de la velocidad de giro que tengan. (Engineering, n.d.)

**Figura N° 2.15:** Piñón recto.



**FUENTE:** (Engineering, n.d.)



- **Cilindricos de dientes helicoidales** : los engranajes de dentado helicoidal estan caracterizados por su dentado oblicuo con relacion al eje de rotacion. En estos engranajes el movimiento se transmite de modo igual que los cilindricos de dentado recto, pero con mayores ventajas. Los ejes de los engranajes helicoidales pueden ser paralelos o cruzarse, generalmente a  $90^\circ$ . Para eliminar el empuje axial el dentado puede hacerse doble helicoidal. (Engineering, n.d.)

Los engranajes helicoidales tienen la ventaja que transmiten mas potencia que los rectos y tambien pueden transmitir mas velocidad, son mas silenciosos y mas duraderos; ademas pueden transmitir el movimiento de ejes que se corten. De sus inconvenientes se pueden decir que son mas caros de fabricar y necesitan mas engrase que los rectos. (Engineering, n.d.)

Lo más característico de un engranaje helicoidal es la hélice que forma siendo considerada la hélice como el avance de una vuelta completa del diámetro primitivo del engranaje. De esta hélice deriva el ángulo  $\beta$  que forma el dentado con el ángulo axial. Este ángulo tiene que ser igual para las dos ruedas que engranan, pero de orientación contraria, o sea: uno a derecha y el otro a izquierda. Su valor se establece a priori de acuerdo con la velocidad que tenga la transmisión, los datos orientados de este ángulo son los siguientes:

Velocidad lenta:  $\beta = 5^\circ - 10^\circ$

Velocidad normal:  $\beta = 15^\circ - 25^\circ$

Velocidad elevada:  $\beta = 30^\circ - 45^\circ$

Las relaciones de transmisión que se aconseja son más o menos parecidas a las de los engranajes rectos. (Engineering, n.d.)

**Figura N° 2.16:** Engranaje helicoidal.



**FUENTE:** (Engineering, n.d.)

### 2.2.11.2 Engranajes de ejes perpendiculares

- **Conicos de dientes rectos:** efectúan la transmisión de movimiento de ejes que se cortan en un mismo plano, generalmente en ángulo recto, por medio de superficies cónicas dentadas. Los dientes convergen en el punto de intersección de los ejes. Son utilizados para efectuar reducción de velocidad con ejes en  $90^\circ$ . Estos engranajes generan más ruido que los conicos helicoidales, se utilizan en transmisiones antiguas y lentas, en la actualidad se usan poco. (Engineering, n.d.)
- **Conicos de dientes helicoidales :** Se utilizan para reducir la velocidad en un eje de  $90^\circ$ . La diferencia con el conico recto es que posee una mayor superficie de contacto. Es de un funcionamiento relativamente silencioso. Además pueden transmitir el movimiento de ejes que se corten. (Engineering, n.d.)

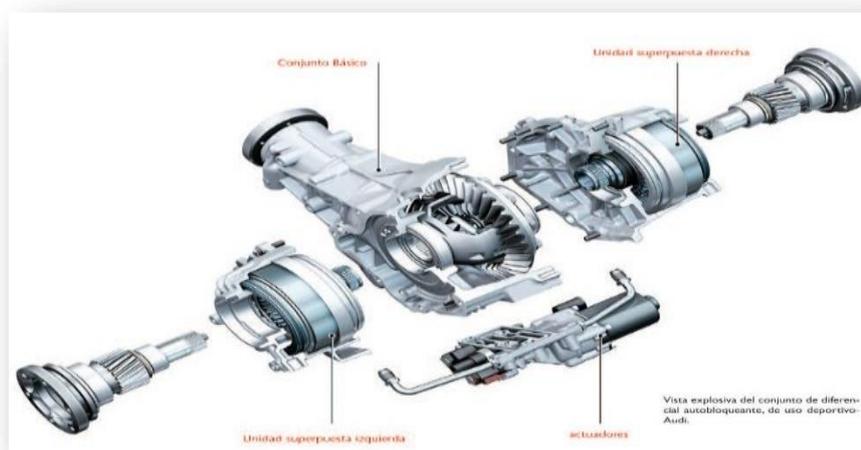
### 2.2.11.3 Mecanismo diferencial

El mecanismo diferencial tienen por objeto permitir que cuando el vehículo de una curva sus ruedas propulsoras puedan describir sus respectivas trayectorias sin patinamiento sobre el suelo. La necesidad de este dispositivo se explica por el hecho de que al dar una curva el coche, las ruedas interiores a la misma recorren un espacio menor

que las situadas en el lado exterior, puesto que las primeras describen una circunferencia de menor radio que las segundas. (Engineering, n.d.)

El mecanismo diferencial esta constituido por una serie de engranajes dispuestos de tal forma que permite a las dos ruedas motrices de los vehiculos girar a velocidad distinta cuando circulan por una curva. Asi el vehiculo toma una curva a la derecha, las ruedas interiores giran mas despacio que las exteriores, y los satelites encuentran mayor dificultad en mover los planetarios de los semiejes de la derecha porque empieza a rotar alrededor de su eje haciendo girar los planetarios de la izquierda a una velocidad ligeramente superior. De esta forma provocan una rotacion mas rapida del semieje y de la rueda motriz izquierda. El mecanismo diferencial esta constituido por dos piñones conicos llamados planetarios, unidos a extremos de los palieres de las ruedas y otros dos piñones conicos llamados satelites montados en los extremos de sus eje porta satelites y que se engranan con los planetarios. (Engineering, n.d.)

**Figura N° 2.17:** Mecanismo diferencial.

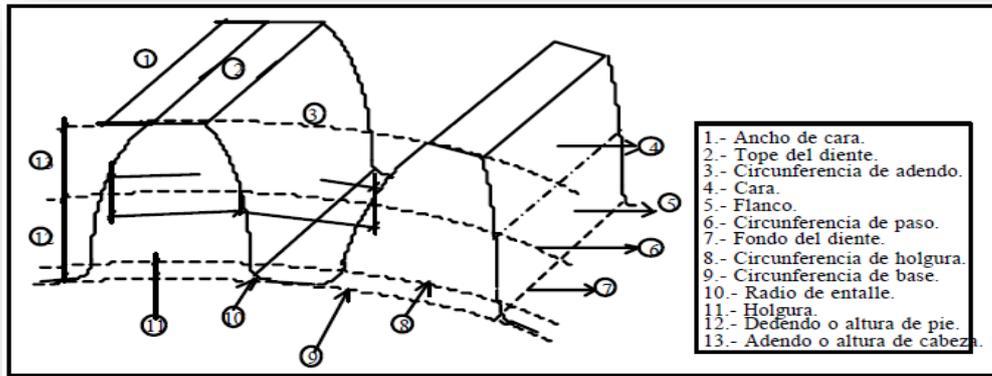


**FUENTE:** <https://talleractual.com/tecnica/suspension-y-direccion/1127-el-mecanismo-diferencial>

#### 2.2.11.4 Nomenclatura de engranajes (rectos)

Es importante conocer la terminología de estos elementos.

**Figura N° 2.18:** Partes de un engranaje.



**FUENTE:** (Porras, n.d.)

- **Circunferencia de paso o primitiva:** es la de contacto entre los dientes que determina la relación de transmisión. Las circunferencias primitivas de dos engranajes son tangentes entre sí. (Porras, n.d.)
- **Paso circular o circunferencial (p):** es la distancia medida sobre la circunferencia primitiva entre un determinado punto de un diente y el punto correspondiente de un diente inmediato. Según se aprecia en la figura anterior el paso circular o simplemente paso es igual a la suma del grueso del diente y el ancho entre los dientes consecutivos. (Porras, n.d.)
- **Modulo :** es el cociente del diámetro de la circunferencia primitiva y el número de dientes. (Porras, n.d.)
- **Paso diametral :** es el número de dientes que tiene un engranaje por cada pulgada de diámetro primitivo. Es la inversa del módulo en pulgadas. (Porras, n.d.)
- **Altura del diente (h) :** es la distancia entre la base o pie del diente y su cabeza. (Transmisión, n.d.)



- **Espesor del diente (e) y vano (v):** el paso circunferencial  $p = e + v = m \pi$ , abarca el arco de la circunferencia primitiva del engranaje correspondiente al espesor e del diente y el vano v entre dos dientes consecutivos. (Transmisión, n.d.)
- **Relacion de velocidades (i) :** para determinar la relacion de velocidades, se obtiene la longitud  $L_r$  y  $L_p$  de la circunferencia correspondiente al diametro primitivo de la rueda y del piñon y se obtiene el cociente, usualmente se hace  $L_p = 1$  para obtener la relacion de velocidades entre ambas. (Transmisión, n.d.)
- **Adendo (a):** es la distancia radial entre el tope del diente y la circunferencia primitiva. (Porras, n.d.)
- **Dedendo (d) :** es la distancia radial desde la circunferencia primitiva hasta la circunferencia de base. (Porras, n.d.)
- **Altura total :** es la suma del dedendo mas el adendo.
- **Circunferencia de holgura :** es la circunferencia tangente a la del adendo cuando los dientes estan conectados. (Porras, n.d.)
- **Holgura :** es la diferencia entre el dedendo y el adendo. (Porras, n.d.)
- **Juego :** es la diferencia entre el ancho del espacio y el grueso del diente. (Porras, n.d.)
- **Anchura de cara :** es la longitud de los dientes en la direccion axial. (Porras, n.d.)
- **Cara:** es la superficie lateral del diente limitada limitada por la circunferencia primitiva y la circunferencia de adendo. (Porras, n.d.)
- **Flanco :** es la superficie lateral del diente limitada por la circunferencia primitiva y la circunferencia de dedendo. (Porras, n.d.)
- **Superficie de fondo:** es la superficie de la parte inferior del espacio comprendido entre los dientes contiguos. (Porras, n.d.)



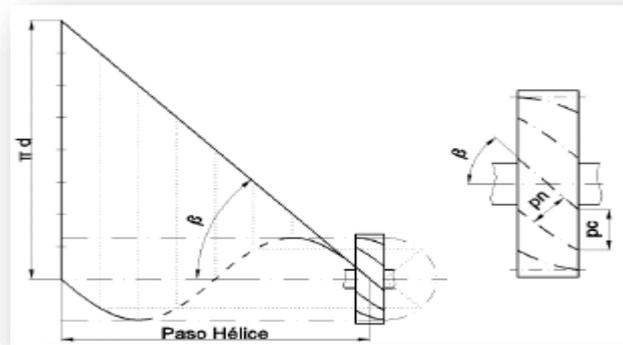
- **Radio de entalle:** es el radio de la curva de empotramiento del diente en el engranaje. (Porras, n.d.)
- **Angulo de accion :** es el angulo que gira el engranaje desde que entra en contacto un par de dientes hasta que termina su contacto. (Porras, n.d.)
- **Angulo de aproximacion :** es el angulo que gira un engranaje desde el instante en el que dos dientes entran en contacto, hasta que ambos dientes entran en contacto en el punto correspondiente al diametro primitivo. (Porras, n.d.)
- **Angulo de alejamiento :** es el angulo que gira un engranaje desde que los dientes estan en contacto en el punto correspondiente al diametro primitivo hasta que se separan. (Porras, n.d.)

$$\text{Angulo de accion} = \text{angulo de aproximacion} + \text{angulo de alejamiento}$$

#### 2.2.11.5 Nomenclatura de engranajes (helicoidales)

Se caracterizan por que los dientes se generan sobre una elice o helioide del cilindro base, en vez de estar sobre una generatriz y ser rectos. Esto permite que los ejes puedan ser paralelos o cruzarse en el espacio, formando entre si un angulo  $\gamma$ . Otra característica es que al entrar los dientes de los engranajes en contacto de forma paulatina y no repentinamente, como en los rectos, su funcionamiento es mas suave y silencioso. (Transmisión, n.d.)

**Figura N° 2.19:** Líneas generadoras de un engranaje helicoidal.



**FUENTE:** (Transmisión, n.d.)

Las magnitudes que definen estos engranajes son : el ángulo  $\beta$  que forman los dientes del engranaje con el eje, que suele ser de  $20^\circ$  a  $30^\circ$ , y que los ejes sean paralelos o formen un ángulo  $\gamma$ . (Transmisión, n.d.)

A partir de ahí, se considera que el paso normal es el medido en la dirección perpendicular al diente, que forma el ángulo  $\beta$  con el eje , siendo el paso circunferencial o aparente el medido en la circunferencia primitiva cuyo valor es :

$$p_c = \frac{p_n}{\cos \beta} \quad (2.12)$$

Donde:

- $P_c$  = paso circunferencial o aparente.
- $P_n$  = paso normal.

Como el modulo está relacionado con el paso por el factor  $\pi$ , se define dos modulos, el normal, que es el que toma como base de medidas y se extrae de la tabla de modulos normalizados, y el modulo circunferencial, que se aplica para obtener el número de dientes que ha de tener la circunferencia primitiva. (Transmisión, n.d.)

$$m_c = \frac{m_n}{\cos \beta} \quad (2.13)$$



Donde

- $m_c$  = modulo circunferencial.
- $m_n$  = modulo normal.

Las sumas de los angulos de las helices de las ruedas conductora y conducida ha de ser igual que forman sus ejes. (Transmisión, n.d.)

$$\beta_r + \beta_p = \gamma \quad (2.14)$$

Lo cual implica que si los ejes son paralelos, es decir ,  $\gamma=0^\circ$ , los dientes de los engranajes son de sentido contrario :  $\beta_r = -\beta_p$ . En el caso de que los ejes formen  $\gamma=0^\circ$ , si el angulo que forma la helice de la rueda es  $\beta_r = 50^\circ$ , el angulo del piñon debe de ser  $\beta_p = 40^\circ$  y debe de tener el mismo sentido. (Transmisión, n.d.)

### 2.3 GLOSARIO

- **Cátodo:** la polaridad del cátodo, positiva o negativa depende del tipo de dispositivo. a veces la condiciona el modo de operación, pues se establece según la dirección de la corriente eléctrica, atendiendo la definición universal de corriente eléctrica. En consecuencia, en un dispositivo que consume energía (como una celda electrolítica) el cátodo es negativo, y en un dispositivo que proporciona energía, como una pila voltaica (o pila de volta o una batería) el cátodo es positivo.(Universidad Nacional Del Altiplano, 2000)
- **Electroimanes:** un electroimán es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente. Es producido mediante el contacto de dos metales; uno en estado neutro y otro hecho por cables e inducido.(Araujo Asang & Araujo Asang, 2015)



- **Electromotriz:** Se define como el trabajo que el generador realiza para pasar por su interior la unidad de carga del polo negativo al positivo, dividido por el valor en culombios de dicha carga. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015).
- **Energía Cinética:** La energía cinética de un cuerpo es una energía que surge en el fenómeno del movimiento. Está definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015).
- **Generador:** Es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015).
- **Híbrido:** Un vehículo híbrido es un vehículo de propulsión alternativa que combina un motor movido por energía eléctrica proveniente de baterías y un motor de combustión interna. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015).
- **Inducido:** En el contexto de las maquinas eléctricas, inducido es la parte de la maquina rotativa donde se produce la transformación de energía mecánica en eléctrica mediante inducción electromagnética. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015)
- **Inductor:** Un inductor o bobina es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015)
- **Prototipo:** un modelo a tamaño real que guarda la apariencia, color, rotulación, legibilidad y/o aspectos estéticos de una señal para apreciarla antes de hacer una producción masiva. (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015)
- **Trifásica:** la tensión trifásica, es esencialmente un sistema de tres tensiones alternas, acopladas se produce simultáneamente las 3 en un generador y



desfasadas 120 grados entre sí (o sea un tercio de periodo). (Araujo Asang & Araujo Asang, 2015).

## **2.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Habrà una optimización en el consumo de combustible y una mejora de potencia del motor de combustión interna si se insertar el sistema de frenos regenerativos conjuntamente con un compresor centrífugo.

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

1. El sistema de frenos regenerativos suministrará la energía eléctrica necesaria para accionar el compresor centrífugo.
2. El compresor centrífugo será capaz de proporcionar el flujo de aire necesario para realizar un buen proceso de combustión y optimizar el consumo de combustible.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación que se realiza es de tipo cuantitativa y analítica porque describiremos el problema usando cálculos básicos y usaremos información ya disponible.(Popper, 1934)

El tipo de diseño es exploratorio porque aún no tenemos datos reales en nuestra región solo tenemos referencias y no sabemos cómo será el comportamiento del sistema en nuestro entorno. (Popper, 1934)

#### 3.2. Población y muestra de investigación

La población de esta investigación será los motores eléctricos y motor de combustión de 2 litros.

#### 3.3. Ubicación y descripción de la población

La ubicación de motores de combustión se encuentra dispersos por diferentes partes, pero se hará referencia de nuestra ubicación con fines de cálculo.

**Tabla N° 3.1:** Ubicación y descripción de la población

Departamento	Puno
Provincia	Puno
Distrito	Puno
Altitud	3827 msnm
Temperatura máxima media	15.5 °C
Temperatura media	8.4 °C
Temperatura mínima media	1.3 °C
Humedad relativa	54%
Presión atmosférica a 3827 msnm	65.48 Kpa,0.6548 bar

**FUENTE:** (senamhi)



### 3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de información

Para la recolección de datos de información, se realizará por diferentes medios como son artículos, libros e internet, para realizar un documento resumido con lo esencial

### 3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y obtención de datos, no se realizará pruebas en forma física ya que la presente investigación consta en ser analítica, basándose en cálculos teóricos.

El método de evaluación que se empleará para la toma de decisiones de que elementos se hará uso en este sistema será el Método Ordinal Corregido De Criterios Ponderados, descrita por el Dr. Carles riba en el libro Diseño Concurrente.

#### 3.5.1 Método ordinal corregido de criterios ponderados

Para la decisión entre diversas soluciones puede ser realizada mediante este método, ya que permite evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que añadir numéricamente la importancia de cada criterio.

Se emplean tablas donde se confrontan cada solución con las demás soluciones que este criterio pudiera tener y se le asigna valores los cuales son:

- **1.-** si el criterio o solución de las filas es superior o mejor ( $>$ ) que el de las columnas. (Riba, 2002)
- **0.5.-** si el criterio o solución de las filas es igual ( $=$ ) que el de las columnas. (Riba, 2002)
- **0.-** si el criterio o solución de las filas es inferior o peor ( $<$ ) que el de las columnas. (Riba, 2002)



Luego para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). (Riba, 2002).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio. (Riba, 2002)

### **3.6 Tratamiento de datos**

Se realizará de la siguiente manera:

- Búsqueda y análisis de todas las posibles configuraciones de los componentes del sistema de frenos regenerativos.
- Usar el método corregido de criterios ponderados para seleccionar los componentes que más se adapten a los requerimientos, en base al criterio de costo, eficiencia, peso y mantenimiento.
- Realizar los cálculos básicos para hallar las dimensiones de los componentes.
- Modelar y simular el funcionamiento del sistema de frenos regenerativos en el programa Autodesk Inventor Profesional 2018.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ELECCIÓN DE LAS MÚLTIPLES OPCIONES PARA LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

La selección se realizará mediante el método de criterios ponderados para optar por la mejor solución en base a sus ventajas y desventajas confrontándolos unos a otros.

Los criterios a tomar en cuenta serán los siguientes:

- **Costo:** el costo que demandara cada componente del sistema de frenos regenerativos es un aspecto primordial ya que de acuerdo al costo total que sumen todos sus componentes y así formar el sistema, influirá en la decisión de optar o no por este sistema.
- **Eficiencia:** la eficiencia es importante porque con este criterio veremos cuanto podemos recuperar de energía.
- **Peso:** el peso es determinante para el dimensionamiento de los componentes del sistema ya que al tener mayor peso se deberá de utilizar componentes de mayores dimensiones.
- **Mantenimiento:** el mantenimiento siempre debe ser considerado para alargar la vida del sistema, pero también añade un costo adicional, por eso es necesario optar por equipo o componentes de necesite de un menor mantenimiento.

#### 4.1.1. Criterio ponderado de motor- generador eléctrico

Se agruparán en base al tipo de corriente que utilizan, esto es porque se tiene muchas opciones de tipos de motores, las opciones que tenemos serán descritas en la tabla siguiente indicando sus ventajas y desventajas:

**Tabla N° 4.1:** Comparación entre un motor de CA y CC.

	"OPCION A"	"OPCION B"
	MOTOR-GENERADOR CA	MOTOR-GENERADOR CC
VENTAJAS	Tiene un menor costo al tener una alta demanda	No necesita de inversor de corriente para su funcionamiento.
	También puede funcionar como generador eléctrico	El control de velocidad es más sencillo.
DESVENTAJAS	Necesita de un controlador de velocidad para variar su velocidad	No es muy comercial y su costo es más elevado.

#### Elaboración propia

**Tabla N° 4.2:** Valoración de peso específico para un motor-generador.

Costo > Eficiencia = Peso > Mantenimiento						
CRITERIO	Costo	Eficiencia	Peso	mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0.4
Eficiencia	0		0.5	1	2.5	0.25
Peso	0	0.5		1	2.5	0.25
Mantenimiento	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

#### Elaboración propia

**Tabla N° 4.3:** Valoración para el criterio costo.

Solución A > Solución B				
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		Suma	3	1

#### Elaboración propia

**Tabla N° 4.4:** Valoración para el criterio eficiencia.

Solución A > Solución B				
EFICIENCIA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		Suma	3	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.5:** Valoración para el criterio peso.

Solución A > Solución B				
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		Suma	3	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.6:** Valoración para el mantenimiento.

Solución A > Solución B				
MANTENIMIENTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0.667
Solución B	0		1	0.333
		Suma	3	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.7:** Resultados de los criterios ponderados.

Evaluación	Costo	Eficiencia	Peso	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.2668	0.16675	0.16675	0.667	1.2673	1
Solución B	0.1332	0.08325	0.08325	0.667	0.9667	2

Elaboración propia

Con el resultado de esta tabla tenemos que la opción A (motor de CA) es la opción a tomar, pero si deseamos utilizar un motor de CC también es una buena opción porque su instalación es más sencilla y no requiere de un inversor.

#### 4.1.2 Criterio ponderado de baterías

Se agruparán en base al tipo de composición del cual están hechas y las opciones que tenemos serán descritas en la tabla siguiente indicando sus ventajas y desventajas:

**Tabla N° 4.8:** Comparación de baterías.

Baterías	VENTAJAS	DESVENTAJAS
OPCION A Plomo-Acido (Pb-acido)	Buena relación desempeño-costo	Es la que posee menor densidad de energía por peso y volumen
OPCION B Nickel-Hidruro metálico (NiMH)	Tiene mayor densidad de energía Su efecto memoria es casi despreciable	Tiene alto grado de auto descarga Es peligrosa si se sobrecarga y es costosa
OPCION C Ion-Litio (Li-ion)	tiene el triple de densidad de energía de la batería plomo-acido es la de más alto voltaje por celda, baja tasa de auto descarga	Es degradable y sensible a las altas temperaturas
OPCION D Aire-Zinc	Son más baratas que las de ion-litio. Su capacidad es más alta que las de ion-litio.	su número de ciclo de carga es menor

#### Elaboración propia

**Tabla N° 4.9:** Valoración de peso específico para la batería.

Costo = peso > Eficiencia > Mantenimiento						
CRITERIO	Costo	Eficiencia	Peso	mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Costo</b>		1	0.5	1	3.5	0.35
<b>Eficiencia</b>	0		0	1	2	0.2
<b>Peso</b>	0.5	1		1	3.5	0.35
<b>mantenimiento</b>	0	0	0		1	0.1
				<b>Suma</b>	10	1

#### Elaboración propia

**Tabla N° 4.10:** Valoración para el criterio costo.

Solución A > Solución D > Solución C > Solución B

COSTO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	1	1	4	0.4
Solución B	0		0	0	1	0.1
Solución C	0	1		0	2	0.2
Solución D	0	1	1		3	0.3
				SUMA	10	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.11:** Valoración para el criterio eficiencia.

Solución D > Solución C > Solución B > Solución A

EFICIENCIA	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	0	1	0.1
Solución B	1		0	0	2	0.2
Solución C	1	1		0	3	0.3
Solución D	1	1	1		4	0.4
				SUMA	10	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.12:** Valoración para el criterio peso.

Solución C > Solución A > Solución B > Solución D

PESO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	0	1	3	0.3
Solución B	0		0	1	2	0.2
Solución C	1	1		1	4	0.4
Solución D	0	0	0		1	0.1
				SUMA	10	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.13:** Valoración para el mantenimiento.

Solución B > Solución C > Solución A > Solución D						
MANTENIMIENTO	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	2	0.2
Solución B	1		1	1	4	0.4
Solución C	1	0		1	3	0.3
Solución D	0	0	0		1	0.1
				SUMA	10	1

**Elaboración propia**

**Tabla N° 4.14:** Resultados de los criterios ponderados.

Evaluación	Costo	Eficiencia	Peso	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.14	0.02	0.105	0.02	0.285	<b>2</b>
Solución B	0.035	0.04	0.07	0.04	0.185	4
Solución C	0.07	0.06	0.14	0.03	0.3	<b>1</b>
Solución D	0.105	0.08	0.035	0.01	0.23	3

**Elaboración propia**

Como las mejores opciones tenemos a la solución C, por lo cual nos decidiremos por la solución C (batería tipo Ion - litio).

**4.1.3. Criterio ponderado de engranajes**

La decisión se hará entre un engranaje recto y un engranaje helicoidal las ventajas y desventajas que estos ofrecen serán descritas en el cuadro siguiente.

**Tabla N° 4.15:** Comparación de tipos de engranajes.

Baterías	VENTAJAS	DESVENTAJAS
OPCION A Engranaje Recto	Son de menor costo de fabricación. Diseño simple	Se utiliza para velocidades pequeñas Son muy ruidosas.
OPCION B Engranaje Helicoidal	Trasmiten mayor potencia y velocidades Son más silenciosas	Son de un costo elevado de fabricación.

**Elaboración propia**

**Tabla N° 4.16:** Valoración de peso específico de engranajes.

Eficiencia > costo = Peso > Mantenimiento						
CRITERIO	Costo	Eficiencia	Peso	mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0	0.5	1	2.5	0.25
Eficiencia	1		1	1	4	0.4
Peso	0.5	0		1	2.5	0.25
mantenimiento	0	0	0		1	0.1
				Suma	10	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.17:** Valoración para el criterio costo.

Solución A > Solución B				
COSTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		1	2	0.7
Solución B	0		1	0.3
		SUMA	3	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.18:** Valoración para el criterio eficiencia.

Solución B > Solución A				
EFICIENCIA	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	0.3
Solución B	1		2	0.7
		SUMA	3	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.19:** Valoración para el criterio peso.

Solución B = Solución A				
PESO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0.5	1.5	0.5
Solución B	0.5		1.5	0.5
		SUMA	3	1

Elaboración propia

**Tabla N° 4.20:** Valoración para el criterio mantenimiento.

Solución B > Solución A				
MANTENIMIENTO	Solución A	Solución B	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	0.3
Solución B	1		2	0.7
		SUMA	3	1

**Elaboración propia****Tabla N° 4.21:** Resultados de los criterios ponderados.

Evaluación	Costo	Eficiencia	Peso	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0.175	0.12	0.125	0.03	0.45	2
Solución B	0.075	0.28	0.125	0.07	0.55	1

**Elaboración propia**

De los resultados obtenidos se tiene que la mejor opción es la solución B (engranajes helicoidales)

**4.1.4 Resultado de los criterios ponderados**

Los resultados hallados son en base a los criterios planteados y la importancia que se les dio, estos resultados pueden variar dependiendo de quién los evalúe y que importancia le dé a cada criterio:

- Motor de Corriente Alterna (CA).
- Batería tipo Ion – litio.
- Engranajes helicoidales.

Para el caso de los inversores se hará la elección dependiendo de la marca y su costo.

## 4.2 CÁLCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS REGENERATIVOS

### 4.2.1 Elección del tipo de vehículo

El tipo de vehículo puede ser cualquiera, pero debemos de tener en cuenta de que tipo de motor es si es un motor Diesel se le puede inyectar presiones mucho más altas y si se trata de motores Otto debemos de tener cuidado porque podríamos romper motor o producir detonaciones, para este caso será el Nissan Bluebird Sylphy que tiene un motor otto.

**Figura N° 4.1:** Nissan bluebird sylphy.



**FUENTE:**

<file:///C:/Users/ACER/Desktop/CATALKOGO%20DE%20BATERIAS/descarga.htm>

**Tabla N° 4.22:** Ficha técnica de Nissan bluebird sylphy.

FICHA TÉCNICA DE NISSAN			
INFORMACIÓN GENERAL		RENDIMIENTO	
Marca/modelo	Nissan /bluebird sylphy	Consumo (urbano)	10.8-14.3 L/100 km
Motor	2.0/ 133 hp	Consumo (extra urbano)	6.8-9 L/ 100km
Año de fabricación	2006-2012	Promedio de consumo de combustible	425.012 $cm^3/h$
MOTOR		VOLUMEN Y PESO	
Potencia máxima	133 CV a 5200 rpm	Peso en orden de marcha	1230 kg
Par máximo	191 Nm a 4400 rpm	Peso máximo admisible	1505 kg
		Capacidad de deposito	52 L / 13.74 GAL

**FUENTE:** (<https://www.auto-data.net/es/nissan-bluebird-sylphy-ii-2.0i-133hp-cvt-25134>)

#### 4.2.1.1 Cálculo de pérdida de potencia según nuestra altura

Según la norma SAE J1349 (1995) se asume  $a=1$ ,  $b= -0.5$ ,  $P_o = 0.99$  bar,  $T_o = 302.4$  k para motores MEP, estas variables serán reemplazadas en la siguiente ecuación para hallar la pérdida de potencia.

$$\frac{N_i}{N_{io}} = \left(\frac{P}{P_o}\right)^a * \left(\frac{T}{T_o}\right)^b \quad (4.1)$$

Donde:

- $N_i$ = potencia indicada
- $P$  = presión
- $T$  = temperatura
- $o$ = sub índice indica condiciones de referencia (0 m.s.n.m)
- $a, b$ = estas variables dependen del tipo de motor y condiciones atmosféricas.

Datos

- $N_{io} = 99$  KW
- $P_{3827msnm} = 0.6548$  bar
- $T_{promedio} = 8.55^\circ c = 281.7^\circ k$

Reemplazando en la ecuación (4.1).

$$\frac{N_i}{99 \text{ kw}} = \left(\frac{0.6548 \text{ bar}}{0.99 \text{ bar}}\right)^1 * \left(\frac{281.7^\circ k}{302.4^\circ k}\right)^{-0.5}$$

$$N_i = 99 \text{ kw} * 0.685$$

$$N_i = \mathbf{67.8 \text{ kw}}$$

Obtenemos como resultado la potencia que entrega el motor de combustión interna a la altura que nosotros nos ubicamos.  $N_i = \mathbf{67.8 \text{ kw}}$ .



Entonces el motor estaría funcionando solo con un **68.5 %** de su potencia nominal y con el compresor eléctrico se compensaría un **31.5 %**.

#### 4.2.2 Calculo y elección de compresor eléctrico

Partiremos por cuanto presión atmosférica poseemos en nuestro departamento de Puno comparándola con la presión atmosférica a nivel de mar datos recopilados según senamhi.

Datos:

- Presión atmosférica en lima a 0 msnm = 1.015 bar
- Presión atmosférica en Puno a 3827 msnm= 0.6548 bar

Haciendo una diferencia tendremos una pérdida de presión por altura de 0.3602 bar, entonces nuestro compresor eléctrico deberá de suministrar esta pérdida para llegar a su condición normal de operación.

No debemos de exceder esta presión por que podemos dañar nuestro motor, cabe recalcar que se está calculando para motores otto (gasolina) si fuese el caso de motores Diesel podemos inyectar mayor presión.

La relación de presión será calculada con la siguiente formula.

$$r_p = \frac{P_s}{P_{atm}} \quad (4.2)$$

Donde:

- $P_s$  = presión de sobre alimentación.
- $P_{atm}$  = presión atmosférica.

Reemplazando en la ecuación (4.2)

$$r_p = \frac{1.015 \text{ bar}}{0.6548 \text{ bar}}$$



$$r_p = 1.55$$

Entonces tendremos como resultado una relación de compresión de  $R_p = 1.55$ .

Para hallar el consumo específico del combustible debemos de utilizar dos fórmulas, la primera es consumo específico por hora. (Kindler & Kynast, 2001)

$$B = \frac{K * \rho * 3600}{t} \quad (4.3)$$

Donde:

- B= Consumo Por Hora En Kg/H.
- K= consumo de combustible de acuerdo a la potencia en  $cm^3/h$ .
- $\rho$ = densidad del combustible en  $g/cm^3$ .
- T=tiempo

Datos:

- Motor = 133 hp, 99 kW
- K= 425.012  $cm^3/h$
- Relación estequiométrica en vehículos a gasolina = 14.7:1.
- $\rho = 0.68 g/cm^3$
- $T = 30 seg$

Reemplazando en la ecuación (4.3).

$$B = \frac{425.012 cm^3/h * 0.68 \frac{g}{cm^3} * 3600 s}{30 s}$$

$$B = 34680.9 \frac{g}{h}$$

Obteniendo así un consumo por hora de 34680.9 g/h.



Para calcular el consumo específico de combustible utilizaremos la siguiente formula.

$$b = \frac{B}{P_e} \quad (4.4)$$

Donde

- b= consumo específico.
- B= consumo por hora
- Pe= potencia efectiva

Reemplazando en la ecuación (4.4)

$$b = \frac{34680.9 \frac{g}{h}}{99 \text{ kw}}$$
$$b = 350 \frac{g}{Kw * h} \frac{1kg}{1000g} \frac{1h}{3600s}$$
$$b = 9.733 * 10^{-5} \frac{kg}{Kw * s}$$

Obteniendo 350.4 g/Kwh lo que es igual a  $9.733 \times 10^{-5}$  kg/kw\*s

Hallamos el flujo másico al motor CFM:

$$CFM = P_e * \text{relacion estequimetrica} * b \quad (4.5)$$

Donde:

- CFM= flujo de aire al motor
- Pe= potencia del motor
- Re=relación estequiométrica aire - combustible
- b=consumo específico de combustible

Reemplazando en la ecuación (4.5)

$$CFM = 99KW * 14.7 * 9.733 * \frac{10^{-5}kg}{kw} * s$$
$$CFM = 0.1416 \frac{kg}{s} = 18.73 \text{ lb/min}$$



Ahora calcularemos la presión de admisión en el múltiple de admisión con la siguiente ecuación.

$$P_{adm} = \frac{CFM * R * (460 + T_{m.ad} \text{ } ^\circ f)}{n_v * \left(\frac{n}{2}\right) * V_h} \quad (4.6)$$

Donde:

- CFM=flujo de aire necesario en lb/min
- R=constante de gases.
- $T_{m.ad} \text{ } ^\circ f$ =temperatura teórica en el múltiple de admisión, luego de superar el compresor  $46^\circ c$ .(Cazorla & Chimborazo, 2015)
- $n_v$ =rendimiento volumétrico.
- $V_h$ =cilindrada del motor en plg<sup>3</sup>
- $n$ =rpm Max.

Convertimos las unidades de la constante de gases

$$R = 0.082057 \frac{atm * L}{mol * ^\circ k} * \frac{61.0237 \text{ plg}^3}{1L} * \frac{273.15^\circ k}{32^\circ f}$$

$$R = 42.7 \frac{atm * \text{plg}^3}{mol * ^\circ f} * \frac{14.6959 \frac{lb}{\text{plg}^2}}{1 atm}$$

$$R = 628.2 \frac{lb * \text{plg}}{mol * ^\circ f}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (4.6)

$$P_{adm} = \frac{18.73 \frac{lb}{min} * (628.2) * (460 + 115^\circ f)}{0.99 * \left(\frac{5200}{2}\right) * 121.86 \text{ plg}^3}$$

$$P_{adm} = 21.56 \text{ psi}$$

Obtenemos una presión de admisión  $P_{adm} = 21.56 \text{ psi} = 1.487 \text{ bar}$ .



Habrá una pérdida por accesorios, en sistemas sobrealimentados el valor promedio es 2 psi ,0.138 bar. (Cazorla & Chimborazo, 2015).

$$P_{st} = P_{adm} - \Delta p \quad (4.7)$$

$$P_{st} = 21.56 - 2$$

$$P_{st} = 19.56 \text{ psi}$$

Tendremos como resultado la presión de sobrealimentación  $P_{st} = 1.349 \text{ bar}$ , 19.56 psi.

Ahora calcularemos la relación de presión.

$$R_{pt} = \frac{P_{st}}{P_{atm}} \quad (4.8)$$

$$R_{pt} = \frac{1.349 \text{ bar}}{0.6548 \text{ bar}}$$

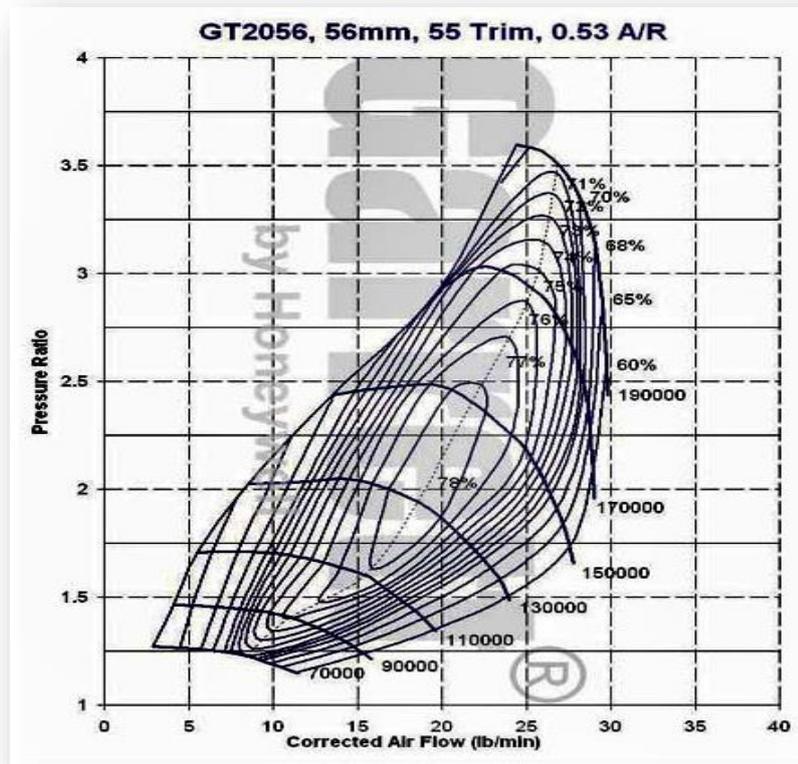
$$R_{pt} = 2.06$$

Y el resultado de relación de presión de sobrealimentación es  $R_{pt} = 2.06$

Con los resultados obtenidos de caudal necesario o requerido por el motor (CFM) y de la relación de presión  $R_{pt}$ , analizaremos la figura del turbo compresor Garret.

Para tener noción de las dimensiones del compresor que se puede implementar en nuestros vehículos de combustión interna y con esto no exceder la capacidad de incremento de presión en nuestros motores.

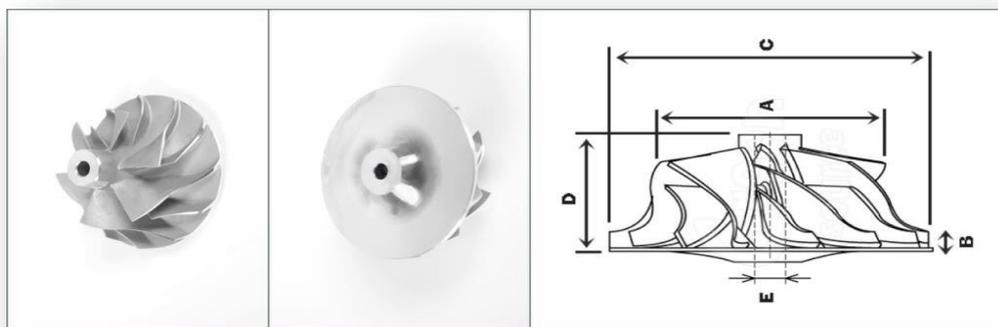
**Figura N° 4.2:** Turbocompresor Garrett Gt 2056.



**FUENTE:** (Garret, n.d.)

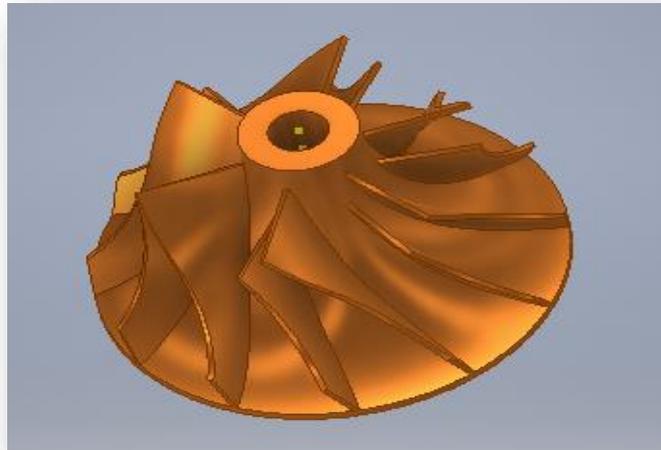
Recomendado para motores en el rango de 1400cc - 2000cc y nuestros cálculos de relación de compresión y flujo de aire están dentro de la gráfica de este modelo de turbocompresor.

**Figura N° 4.3:** Compresora Gt2056.



**FUENTE:** (Garret, n.d.)

**Figura N° 4.4:** Compresor centrífugo.



**FUENTE:** (Elaborado por el equipo de trabajo)

#### 4.2.2 Motor/Generador eléctrico

Según el método de criterios ponderados la mejor opción fue un motor de corriente alterna, para lo cual utilizaremos un motor asíncrono de inducción de jaula de ardilla.

Según Seth Leitman para poder movilizar un vehículo se necesita por cada 1000 lb o´ 453.59 kg una potencia en el motor eléctrico de 6-8 hp, entonces para nuestro vehículo que pesa 1500 kg necesitaremos un motor eléctrico de 26 hp.

**Tabla N° 4.23:** Datos del motor eléctrico, del catálogo de ABB motor.

MOTOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA		
Potencia	Velocidad de rotación	Eficiencia %
22 kW	3520 rpm	88.0 %
30 hp	3600 rpm	0.88
Factor de potencia	Corriente In, Is, Ivc	Torque tn,
0.9	74.2 A / 482.3 A / 20.4 A	69 nm
25.84°		

**FUENTE:** (catálogo de motores eléctricos ABB)

#### 4.2.2.1 Calculo del deslizamiento

Para poder realizar un frenado regenerativo se debe de sobrepasar la velocidad de flujo magnético del estator, así se producirá un deslizamiento negativo y el motor empezará a funcionar como generador.

$$S = \frac{ni-n}{ni} \quad (4.9)$$

Donde:

- S = deslizamiento.
- n = velocidad de rotación nominal.
- ni = velocidad de giro.

Para fines de análisis la velocidad de giro será de 3650 rpm y la velocidad de giro nominal será obtenido del catálogo 3600 (ABB, 2003), reemplazando estos datos en la ecuación (4.9) obtendremos el deslizamiento.

$$S = \frac{3650 - 3600}{3650}$$

$$S = -0.0138$$

#### 4.2.2.2 Corriente de generación

La corriente absorbida será igual a la corriente generada, pero en sentido contrario.(Mora, 2003).

$$I_{ab} = 74.2\angle -25.84^\circ \rightarrow I_g = 74.2\angle 25.84^\circ$$

#### 4.2.2.3 Potencia mecánica

Esta es la potencia que recibe el motor eléctrico por parte del automóvil.

$$P_u = P_m = m * R'_2 * \left(\frac{1}{S} - 1\right) * I^2 \quad (4.10)$$



Donde:

- $P_u$ : potencia útil
- $P_m$ =potencia mecánica
- $m$ = número de fases
- $R'_2$ = resistencia del rotor
- $s$  = deslizamiento
- $I$ = corriente nominal

Datos:

- $m= 3$
- $R'_2= 0.017$  ohm
- $S=- 0.0138$
- $I=74.2$  A

Reemplazando en la ecuación (4.10)

$$P_m = 3 * 0.017 * \left( \frac{1}{-0.0138} - 1 \right) * 74.2^2$$

$$P_m = -20627 \text{ watts}$$

#### 4.2.2.4 Potencia de generación

Se calcula la potencia aparente del motor eléctrico para luego hallar la potencia activa, que vendría ser la potencia generada del motor eléctrico y la potencia reactiva, que es la potencia que necesita el rotor para poder inducirse. (Mora, 2003).

$$S = \eta(\sqrt{3} * V * I_g) \quad (4.11)$$

Donde

- $S$ = potencia aparente
- $\eta$ =eficiencia del motor
- $V$ = voltaje
- $I_g$ =corriente de generación

Datos

- $V=220\angle 0^\circ$
- $I_g=74.2\angle 25.84^\circ$
- $\eta=0.88$



Reemplazando en la ecuación (4.11)

$$S = 0.88(\sqrt{3} * 220 \angle 0^\circ * 74.2 \angle 25.84^\circ)$$

$$S = 0.88(28273.9 \angle 25.84^\circ)$$

$$\mathbf{S = 22393 + j10844.6}$$

Entonces la potencia que entrega el motor será de 22393 w y necesitará una potencia reactiva de 10844.6 VAR.

#### 4.2.2.5 Torque

El motor al estar funcionando como generador, producirá un torque negativo para poder volver a tener su deslizamiento positivo, esto producirá la disminución de la velocidad del vehículo.

Las ecuaciones que se deben de utilizar son las siguientes: (Mora, 2003).

$$I'_2 = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1+x)^2 + X_{cc}^2}} \quad (4.12)$$

Donde:

- $I'_2$ = corriente en el rotor
- $V_1$ = voltaje nominal
- $R_1$ = resistencia en el estator
- $x$  =variable auxiliar
- $X_{cc}^2$ = reactancia de corto circuito

Si el deslizamiento es de dimensión considerable o grande  $S \Rightarrow$  entonces  $I = I'_2$

Para calcular la variable auxiliar

$$x = \frac{R'_2}{s} \quad (4.13)$$

Donde:

- $x$ = variable auxiliar
- $R'_2$  =resistencia en el estator
- $S$ =deslizamiento



Datos:

- $R'_2 = 0.017 \Omega$
- $S = -0.0138$

Reemplazando en la ecuación (4.13)

$$x = \frac{0.017 \Omega}{-0.0138}$$

$$x = -1.23 \Omega$$

La ecuación del torque es la siguiente

$$M = \frac{m_i}{\Omega} * \frac{V_l^2}{(R_l + x)^2 + X_{cc}^2} = \frac{m_i * x}{\Omega} * I_2'^2 \quad (4.14)$$

Donde:

- $m_i$  = número de fases
- $\Omega$  = velocidad asignada,  $\Omega = \frac{2\pi}{60} n \left( \frac{rad}{s} \right)$
- $V$  = voltaje de línea
- $R_l$  = resistencia de estator
- $x$  = variable auxiliar
- $X_{cc}$  = reactancia de corto circuito
- $I_2'$  = corriente en rotor

Reemplazando en la ecuación (4.14)

$$M = \frac{3 * (-1.29) \text{ ohm}}{382.28 \left( \frac{rad}{s} \right)} * 74.2^2 A$$

$$M = - 55.7 \text{ Nm}$$

Reemplazando obtenemos un torque negativo este es el par que se opone al desplazamiento del vehículo  $M = - 55.7 \text{ Nm}$

#### 4.2.2.5 Energía generada

Haremos un cálculo aproximado.

**Tabla N° 4.24:** Energía recuperada.

CALCULO APROXIMADO DE ENERGÍA RECUPERADA EN BASE DEL TIEMPO DE FRENADO				
Potencia	22393 w	Energía	22393	w/h
Tiempo de frenado			Energía recuperada	
Segundos	Minutos	Watts		
60	1	373.22		
120	2	746.43		
180	3	1119.65		
240	4	1492.87		
300	5	1866.08		
360	6	2239.3		
420	7	2612.52		
480	8	2985.73		
540	9	3358.95		
600	10	3732.17		
660	11	4105.38		
720	12	4478.6		
780	13	4851.82		
840	14	5225.03		
900	15	5598.25		
960	16	5971.47		
1020	17	6344.68		
1080	18	6717.9		
1140	19	7091.12		
1200	20	7464.33		

**Elaboración propia**

#### 4.2.2.6 Motor para el impulso del compresor

La propuesta es de elegir un motor que propulsan los ventiladores, debido a su peso, potencia y velocidad.

El flujo de aire que requerimos lo calcularemos en base a la cilindrada del motor, los RPM y la eficiencia volumétrica del motor.

**Figura N° 4.5:** Cálculo de flujo de aire.

Cálculo del Flujo de Aire para el Motor de Combustión Interna			
Cilindrada	Centímetros Cúbicos	1997	
Revoluciones por Minuto (rpm)	Digitar la Máxima Anticipada	5200	
Eficiencia Volumétrica	Motor a Gasolina sin Turbo	0.8	0.8
Resultados	CFM (Pies Cúbicos por Minuto)		147
	Litros por Minuto de aire requerido a la máxima velocidad		4,154
Nota: El cálculo está basado en el consumo máximo de un motor a gasolina turbo. Ciertos controles electrónicos pueden subir este valor de aire hasta 2			

**FUENTE:** (<https://www.widman.biz/Seleccion/cfm.html>)

Obtendremos un consumo de litros por minuto =  $4154 \frac{L}{min} = 249.24 \frac{m^3}{h} = 0.069 \frac{m^3}{s}$

#### 4.2.2.6.1 Cálculo de la potencia del motor eléctrico de compresor

Par este cálculo utilizaremos la siguiente formula.(Gil Tolmo, 2013)

$$P = H_{poli} * \dot{m} \quad (4.15)$$

Donde:

- P= Potencia KW
- $H_{poli}$ = altura politrópica KJ/kg
- $\dot{m}$ = flujo másico Kg/s

Ecuación de altura politrópica

$$H_{poli} = \frac{z * R * T_1}{n} * \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] KJ/kg \quad (4.16)$$

Donde

- Z = factor de compresibilidad medio
- R= constante de los gases
- $T_1$ = temperatura a la entrada
- $p_2$  =presión de salida de compresor
- $p_1$  = presión de entrada de compresor
- n= exponente politrópico



Ecuación de exponente politrópico

$$n = \frac{\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)}{\ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)} \quad (4.17)$$

Donde

- $p_2$  = presión de salida de compresor
- $p_1$  = presión de entrada de compresor
- $\rho_1$  = densidad del aire a la entrada del compresor
- $\rho_2$  = densidad del aire a la salida del compresor

Datos

- $p_2 = 1.0015 \text{ bar} = 101500 \text{ pascales}$
- $p_1 = 0.6548 \text{ bar} = 65480 \text{ pascales}$
- $\rho_1 = 1.241 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_2 = 1.257 \text{ kg/m}^3$

Reemplazando en la ecuación (4.17)

$$n = \frac{\ln\left(\frac{65480 \text{ Pascales}}{101500 \text{ pascales}}\right)}{\ln\left(\frac{1.241 \text{ kg/m}^3}{1.257 \text{ kg/m}^3}\right)}$$
$$n = 33.52$$

Ahora Reemplazando en la ecuación (4.16)

Datos

- $Z = 0.975$
- $R = 0.28700 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{°K}}$
- $T_1 = 10^\circ\text{C} = 283.15^\circ\text{K}$
- $p_2 = 1.0015 \text{ bar} = 101500 \text{ pascales}$
- $p_1 = 0.6548 \text{ bar} = 65480 \text{ pascales}$
- $n = 33.52$

$$H_{\text{Pol}} = \frac{0.975 * 0.287 * 283.15}{33.52 - 1} * \left[ \left( \frac{101500}{65480} \right)^{\frac{33.52-1}{33.52}} - 1 \right]$$

$$H_{Poli} = 81.68 * [(1.55)^{0.97} - 1]$$

$$H_{Poli} = 42.5 \frac{kJ}{kg}$$

Reemplazando en la ecuación (4.15)

$$P = 42.5 \frac{kJ}{kg} * 0.1416 \frac{kg}{s}$$

$$P = 6 KW$$

Obtenemos una potencia eléctrica de 6 kW para accionar el compresor centrífugo.

#### 4.2.3 Cálculo de la batería

El cálculo lo realizaremos en base a la potencia requerida por el motor eléctrico, los datos que tenemos de la batería de ion litio serán sacado del catálogo de Fullwat.

**Tabla N° 4.25:** Características de batería ion litio.

REFERENCIA	TAMAÑO	CAPACIDAD NOMINAL	CORRIENTE MAX. DE DESCARGA	VOLTAGE NOMINAL	DIAMETRO	ALTO	PESO
PART NUMBER	SIZE	RATED CAPACITY	MAX. DISCHARGE CURRENT	RATED VOLTAGE	DIAMETER	HEIGHT	WEIGHT
LIR14500-8	AA	800 mAh	1600 mA	3,7 V	14,2 mm	49,0 mm	20,5 gr
LIR18650-20	1865	2000 mAh	2000 mA	3,7 V	18,5 mm	65,0 mm	44,0 gr
LIR18650-26	1865	2600 mAh	5000 mA	3,7 V	18,5 mm	65,0 mm	48,0 gr
LIR18650-26-CIT	1865	2600 mAh	3000 mA	3,7 V	18,5 mm	70,0 mm	48,0 gr
LIR18650-34	1865	3400 mAh	4875 mA	3,7 V	18,5 mm	65,0 mm	49,0 gr
LIR18650-34-CIT	1865	3400 mAh	3000 mA	3,7 V	18,5 mm	70,0 mm	49,0 gr
LIR22650-30	3/2SC	3000 mAh	3000 mA	3,7 V	22,3 mm	65,5 mm	60,0 gr
LIR26650-5	4/3C	5000 mAh	5000 mA	3,7 V	26,3 mm	65,5 mm	95,0 gr

**FUENTE:** (FULLWAT, 2017)

Para este caso elegiremos el modelo LIR26650-5 por tener la mayor capacidad nominal

Datos:

- $V = 220 v$
- Voltaje nominal de una celda = 3.7 v
- $E = 22,4 KWh$
- $C = 5000 mAh$

Ecuación para hallar número de celda en serie (Isabel & Molina, n.d.)

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{serie}} = \frac{V}{V_{\text{celda}}} \quad (4.18)$$

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{serie}} = \frac{220 \text{ v}}{3.7 \text{ v}}$$

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{serie}} = 59.4 \approx 59$$

Ecuación para hallar número de celdas en paralelo

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{paralelo}} = \frac{\frac{E}{V}}{I_{\text{celda}}} \quad (4.19)$$

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{paralelo}} = \frac{\frac{22.4 \text{ kw/h}}{220 \text{ v}}}{5 \text{ Ah}} = 20.3 \approx 20$$

Hallamos número total de celdas

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{TOTAL}} = N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{serie}} * N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{paralelo}} \quad (4.20)$$

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{TOTAL}} = 59 * 20$$

$$N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{TOTAL}} = 1180 \text{ celdas}$$

Hallamos el peso total del banco de baterías

$$\text{Peso} = N^{\circ} \text{ celdas}_{\text{TOTAL}} * \text{peso}_{\text{unitario de celda}} \quad (4.21)$$

$$\text{Peso} = 1180 * 95g$$

$$\text{Peso} = 112 \text{ Kg}$$

#### 4.2.4 Controlador E Inversor

Si hubiese sido el caso de que nuestro motor de recuperación de energía cinética fuese de corriente continua no sería necesario de un inversor solo de un controlador.

Existen muchísimas marcas y precios de controladores, para este caso para ver sus características se elegirá el modelo BAMOCAR D3, porque además de controlar el motor eléctrico también es un inversor.

**Figura N° 4.6:** Controlador Bamocar



**Fuente:** (Unitek Industrie Elektronik GMBH, n.d.)

**Tabla N° 4.27:** Datos técnicos de controlador.

DATOS TÉCNICOS PARA MOTORES DE EC/AC					
<b>VOLTAJE DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN</b>	12 v a 700 v				
<b>SUMINISTRO AUXILIAR</b>	12 v o 24 v				
DATOS BAMOCAR-D3-400-700	UNIDAD	125/250	200/400	125/250	200/400
<b>Tensión nominal de alimentación</b>	v =	24 a hasta máximo 400		24 hasta máximo 700	
<b>Tensión nominal de salida</b>	v eff	3 x 260		3 x 450	
<b>Corriente nominal rms</b>	A	125	200	125	200
<b>Corriente pico</b>	A	250	400	250	400
<b>Disipación máxima</b>	KW	2	3	2.6	4
<b>Frecuencia</b>	KHZ	"8-24"		"8-16"	
<b>Nivel sobretensión</b>	V	440		800	
<b>Fusión externa</b>	A	160	250	160	250
<b>Peso</b>	KG	5.8	6.8	5.8	6.8
<b>Dimensión h x w x d</b>	mm	403 x 250 x 145			

**FUENTE:** (Unitek Industrie Elektronik GMBH, n.d.)

#### 4.2.5 Cálculo de engranajes helicoidales

Se realizó un cálculo en base a las revoluciones del motor eléctrico de inducción jaula de ardilla el cual es de 3600 rpm, si fuese el caso de que pusiéramos un motor de imanes permanentes tendríamos que hacer otro diseño porque este tipo de motores tiene una alta revolución está en el orden 10,000 rpm(EMRAX motors, 2020).

##### 4.2.5.1 Cálculo de engranajes helicoidales rectos

Se hizo el cálculo de forma manual para posteriormente comparar estos resultados con el programa inventor y también se realizó el diseño de los engranajes.

**Tabla N° 4.28:** Modulo normalizados

serie		
I	II	III
1	1.125	3.25
1.25	1.375	3.75
1.5	1.75	6.5
2	2.25	
2.5	2.75	
3	3.5	
4	4.5	
5	5.5	
6	7	
8	9	
10	11	
12	14	
16	18	
20	22	
25	28	
32	26	
40	45	
50		

**FUENTE:** (Del et al., n.d.)



### Datos iniciales

- $m_n=4$
- $\beta= 25^\circ$  (velocidades lentas de  $5^\circ - 10^\circ$ , velocidades normales de  $15^\circ-25^\circ$ , velocidades altas  $30^\circ-45^\circ$ .)
- $Z= 50$
- $z= 25$

### Ecuación de paso normal

$$P_n = m_n * \pi \quad (4.22)$$

### Donde

- $P_n$ = paso normal
- $m_n$ =modulo normal

### Reemplazando en la ecuación (4.22)

$$P_n = 4 * 3.1416$$

$$P_n = 12.56mm$$

### Ecuación de paso circunferencial

$$P_c = \frac{P_n}{\cos \beta} \quad (4.23)$$

### Donde

- $P_c$ =paso circunferencial
- $P_n$ =paso normal
- $\beta$ =Angulo de hélice

### Reemplazando en la ecuación (4.23)

$$P_c = \frac{12.56}{\cos (25^\circ)}$$

$$P_c = 13.85 mm$$



Ecuación de modulo circunferencial

$$mc = m_n / \cos \beta \quad (4.24)$$

Donde

- $mc$  = modulo circunferencial
- $m_n$  = modulo normal
- $\beta$  = Angulo de hélice

Reemplazando en la ecuación (4.24)

$$mc = \frac{4}{\cos(25)}$$

$$\mathbf{mc = 4.41 mm}$$

Ecuación para hallar el diámetro primitivo

$$Dp = mc * Z \quad (4.25)$$

$$dp = mc * z \quad (4.26)$$

Donde

- $Dp$  = diámetro de primitivo de la rueda
- $dp$  = diámetro primitivo del piñón
- $mc$  = modulo circunferencial
- $Z$  = numero de dientes de la rueda
- $z$  = numero de dientes del piñón

Reemplazando en las ecuaciones (4.25) (4.26)

$$Dp = 4.41 * 55$$

$$\mathbf{Dp = 242.7 mm}$$

$$dp = 4.41 * 25$$

$$\mathbf{dp = 110.3 mm}$$

Ecuación de diámetro exterior

$$\mathbf{De = Dp + 2 * m_n} \quad (4.27)$$

$$\mathbf{de = dp + 2 * m_n} \quad (4.28)$$



Donde

- $De$ = diámetro exterior de la rueda
- $de$ = diámetro exterior del piñón
- $m_n$ =modulo normal

Reemplazando en las ecuaciones (4.27) (4.28)

$$De = 242.7 + (2 * 4)$$

$$\mathbf{De = 250.7 mm}$$

$$de = 110.3 + (2 * 4)$$

$$\mathbf{de = 118.3mm}$$

Ecuación de diámetro interior

$$\mathbf{Di = Dp - 2 * m_n} \quad (4.29)$$

$$\mathbf{di = dp - 2 * m_n} \quad (4.30)$$

Donde

- $Di$ = diámetro interior de la rueda
- $di$ = diámetro interior del piñón
- $m_n$ =modulo normal

Reemplazando en las ecuaciones (4.29) (4.30)

$$Di = 242.7 - (2 * 4)$$

$$\mathbf{Di = 234.7 mm}$$

$$di = 110.3 - (2 * 4)$$

$$\mathbf{di = 102.3 mm}$$

Ecuación para hallar distancia entre ejes

$$L = \frac{D_p + d_p}{2} \quad (4.31)$$

Donde

- $L$ = distancia entre ejes
- $D_p$ = diámetro primitivo de la rueda



- $d_p$ =diámetro primitivo del piñón

Reemplazando

$$L = \frac{242.7 + 110.3}{2}$$

$$L = 176.15 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar la altura de diente

$$h = \frac{9}{4} m_n \quad (4.32)$$

Donde

- $h$ = altura del diente
- $m_n$ =modulo normal

Reemplazando en la ecuación (4.32)

$$h = \frac{9}{4} * 4$$

$$h = 9 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar adendum

$$Adendum = m_n \quad (4.33)$$

$$Adendum = 4 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar dedendum

$$Dendum = 1.25 * m_n \quad (4.34)$$

$$Dendum = 1.25 * 4$$

$$Dendum = 5 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar el espesor y vano.

$$e = \frac{19}{40} * Pn \quad (4.35)$$

$$v = \frac{21}{40} * Pn \quad (4.36)$$

Donde

- $e$  = espesor de diente
- $P_n$  = paso normal
- $V$  = vano

Reemplazando en la ecuación (4.35)

$$e = \frac{19}{40} * 12.56$$

$$e = 5.966 \text{ mm}$$

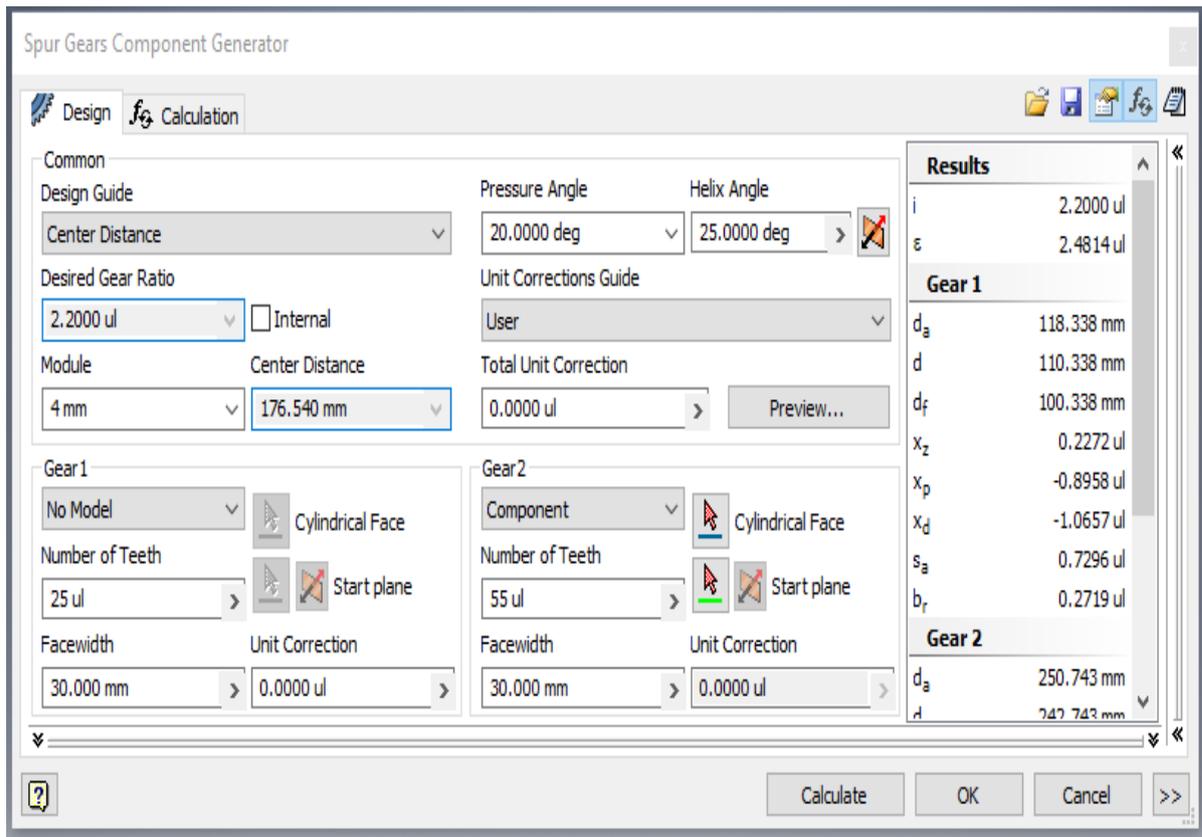
**Tabla N° 4.29:** Resultados obtenidos de engranajes helicoidales.

Modulo (mn)		4	
Modulo circunferencial (mc)		4.41	
Relación de transmisión (i)		2.2	
Paso normal (pn)		12.5	
Paso circunferencial (pc)		12.67	
Angulo		25	
<b>CALCULO PARA EL PIÑÓN</b>		<b>CALCULO PARA LA RUEDA</b>	
Numero de dientes (z)	25	Numero de dientes (z)	55
Diámetro primitivo (dp)	110.3	Diámetro primitivo (Dp)	242.7
Diámetro exterior (de)	118.3	Diámetro exterior (De)	250.7
Diámetro interior (di)	100.3	Diámetro interior (Di)	232.7
Distancia entre ejes (L)	176.5		
Altura del diente (h)	9		
Adendum (a)	4		
Dedendum (d)	5		
Espesor	5.9		
Vano	6.59		

#### Elaboración propia

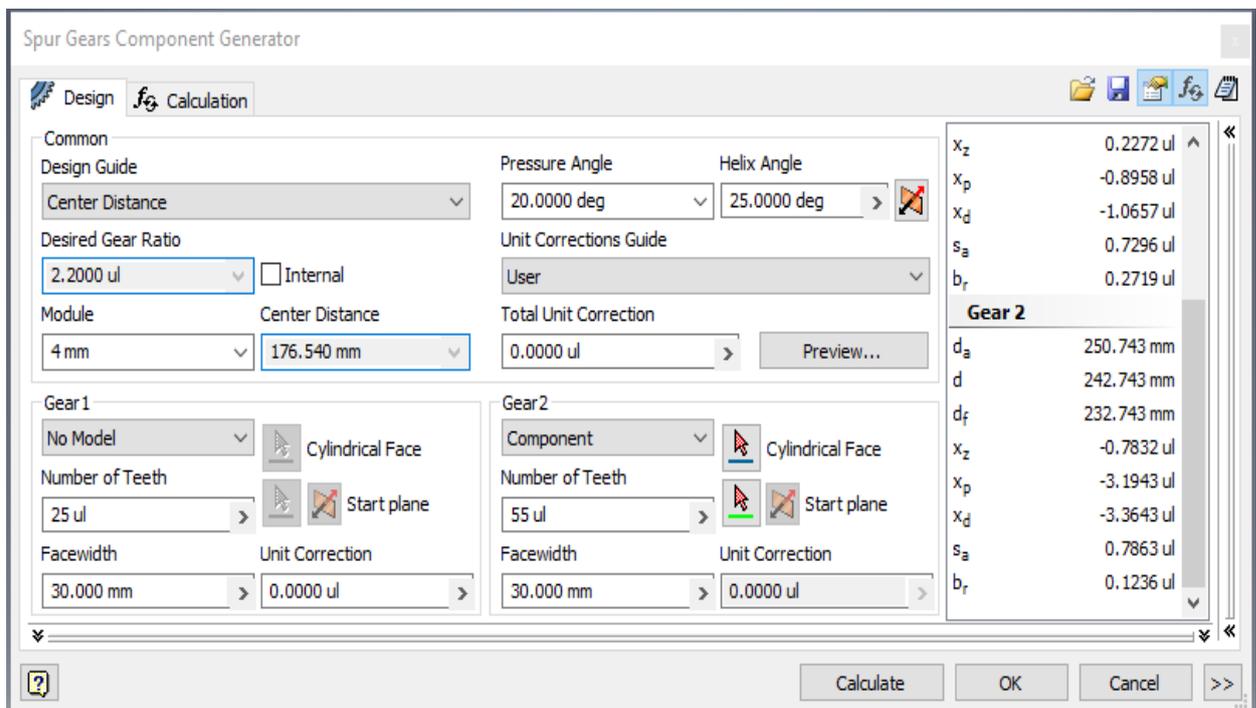
En el programa inventor también se hizo el cálculo dio resultados similares al cálculo realizado manualmente.

**Figura N° 4.8:** Cálculo de engranaje en programa inventor.



FUENTE: (Autodesk inventor,2018)

**Figura N° 4.9:** Cálculo de engranaje en programa inventor.



FUENTE: (Autodesk inventor,2018)



#### 4.2.5.2 cálculo de engranajes helicoidales cónicos

Este tipo de engranajes serán utilizados para los engranajes planetarios y satelitales del diferencial, el cálculo es similar al de un engranaje helicoidal recto.

Datos

- $m=5$
- Angulo de presión  $=20^\circ$
- $Z=34$
- $z=20$

Ecuación para hallar el paso

$$P = m * \pi \quad (4.37)$$

Donde

- $P$  =paso
- $m$  =modulo

Reemplazando en la ecuación (4.37)

$$P = 5 * 3.1416$$

$$P = 15.708 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar diámetro primitivo

$$D_p = m * Z \quad (4.38)$$

$$dp = m * z \quad (4.39)$$

Donde

- $Dp$ = diámetro de primitivo de la rueda
- $dp$ = diámetro primitivo del piñón
- $m$ = modulo circunferencial
- $Z$ =numero de dientes de la rueda
- $z$ =numero de dientes del piñón



Reemplazando en las ecuaciones (4.38) (4.39)

$$D_p = 5 * 34$$

$$\mathbf{D_p = 170 mm}$$

$$d_p = 5 * 20$$

$$\mathbf{d_p = 100 mm}$$

Ecuación para hallar el ángulo del cono primitivo

$$tg \gamma_r = \frac{D_p}{d_p} \quad (4.40)$$

$$tg \gamma_p = \frac{d_p}{D_p} \quad (4.41)$$

$$\gamma = \gamma_r + \gamma_p \quad (4.42)$$

Donde

- $\gamma_r$ = ángulo de cono primitivo de la rueda
- $\gamma_p$ = ángulo de cono primitivo del piñón
- $D_p$ = diámetro primitivo de la rueda
- $d_p$ = diámetro primitivo del piñón
- $\gamma$ = ángulo entre ejes

Reemplazando en las ecuaciones (4.40) (4.41) (4.42)

$$\gamma_r = tg^{-1} \left( \frac{170}{100} \right)$$

$$\gamma_r = 60^\circ$$

$$\gamma_p = tg^{-1} \left( \frac{100}{170} \right)$$

$$\gamma_p = 30^\circ$$

$$\gamma = 60^\circ + 30^\circ = 90^\circ$$

Ecuación para hallar diámetro exterior o de cabeza

$$D_e = D_p + 2 m * \cos \gamma_r \quad (4.43)$$

$$d_e = d_p + 2 m * \cos \gamma_p \quad (4.44)$$



Donde

- $D_e$  = diámetro exterior de la rueda
- $D_p$  = diámetro primitivo de la rueda
- $m$  = modulo
- $\gamma_r$  = ángulo primitivo de la rueda
- $d_e$  = diámetro exterior del piñón
- $d_p$  = diámetro primitivo del piñón
- $\gamma_p$  = ángulo primitivo del piñón

Reemplazando en las ecuaciones (4.43) (4.44)

$$D_e = 170 + 2 * 5 * \cos 60^\circ$$

$$D_e = 175 \text{ mm}$$

$$d_e = 100 + 2 * 5 * \cos 30^\circ$$

$$d_e = 108.6 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar diámetro interior o de pie

$$D_i = D_p - 2.5 m * \cos \gamma_r \quad (4.45)$$

$$d_i = d_p - 2.5 * m * \cos \gamma_p \quad (4.46)$$

Donde

- $D_i$  = diámetro interior de la rueda
- $D_p$  = diámetro primitivo de la rueda
- $m$  = modulo
- $\gamma_r$  = ángulo primitivo de la rueda
- $d_i$  = diámetro interior de piñón
- $d_p$  = diámetro primitivo del piñón
- $\gamma_p$  = ángulo primitivo del piñón

Reemplazando en las ecuaciones (4.45) (4.46)

$$D_i = 170 - 2 * 5 * \cos 60^\circ$$

$$D_i = 165 \text{ mm}$$



$$d_i = 100 - 2 * 5 * \cos 30^\circ$$

$$d_i = 91.33 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar relación de velocidades

$$i = \frac{D_p}{d_p} \quad (4.47)$$

Donde

- $i$  = relación de velocidades
- $D_p$  = diámetro primitivo de la rueda
- $d_p$  = diámetro primitivo del piñón

Reemplazando en la ecuación (4.47)

$$i = \frac{170}{100}$$

$$i = 1.7$$

Ecuación para hallar altura del diente

$$h = \frac{9}{4} * m = a + d \quad (4.48)$$

Donde:

- $h$  = altura del diente
- $m$  = modulo
- $a$  = adendum
- $d$  = dedendum

Reemplazando en la ecuación (4.48).

$$h = \frac{9}{4} * 5$$

$$h = 11.25 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar el adendum y dedendum.

$$a = m \quad (4.49)$$

$$d = 1.25 * m \quad (4.50)$$



Donde

- $a$  = adendum
- $d$  = dedendum
- $m$ =modulo

Reemplazando en las ecuaciones (4.49) (4.50)

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$d = 1.25 * 5$$

$$d = 6.25 \text{ mm}$$

Ecuación para hallar la generatriz

$$G = \frac{D_p}{2 \operatorname{sen} \delta_r} \quad (4.51)$$

$$g = \frac{d_p}{2 \operatorname{sen} \delta_p} \quad (4.52)$$

Donde:

- $G$ =generatriz de la rueda
- $D_p$ = diámetro primitivo de la rueda
- $\delta_r$ = ángulo primitivo de la rueda
- $g$ = generatriz del piñón
- $d_p$ = diámetro primitivo del piñón
- $\delta_p$ = ángulo primitivo del piñón

Reemplazando en las ecuaciones (4.51) (4.52)

$$G = \frac{170}{2 * \operatorname{sen} 60^\circ}$$

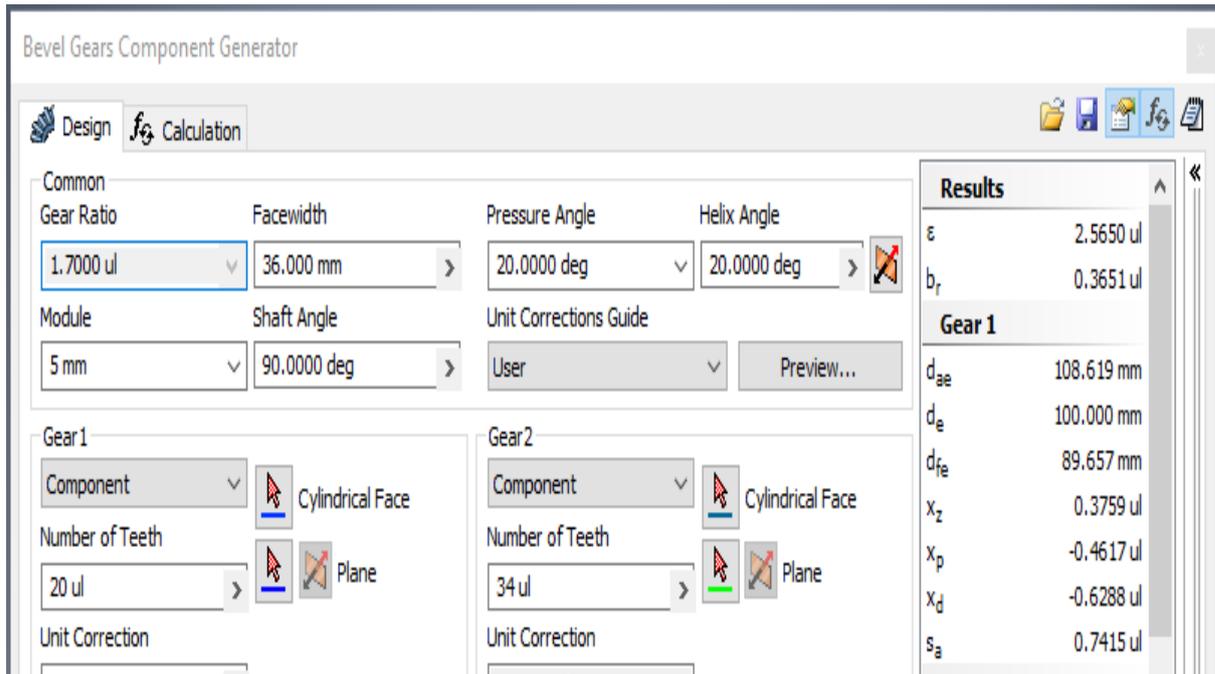
$$G = 98.15 \text{ mm}$$

$$g = \frac{100}{2 * \operatorname{sen} 30^\circ}$$

$$g = 100 \text{ mm}$$

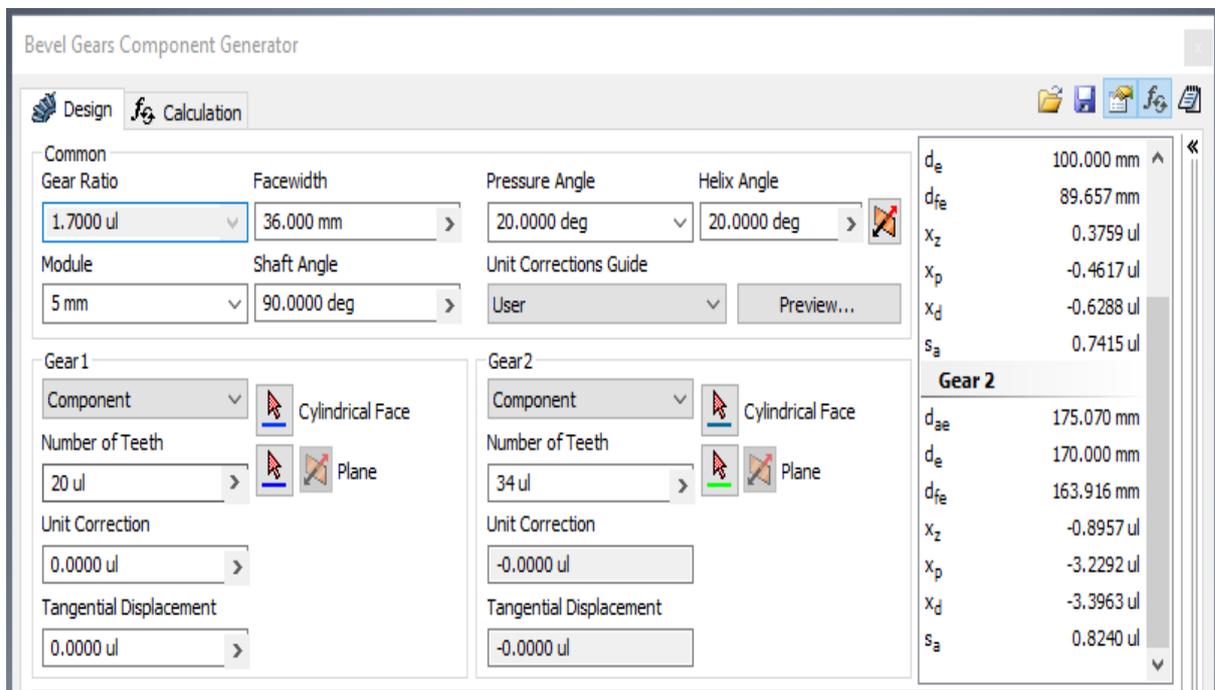
Utilizamos el programa de inventor para hallar los resultados y así comprobar nuestros resultados hallados en forma teórica para mayor fiabilidad.

**Figura N° 4.10:** Cálculo de engranaje cónico en programa inventor.



FUENTE: (Autodesk inventor,2018)

**Figura N° 4.11:** Cálculo de engranaje cónico en programa inventor



FUENTE: (Autodesk inventor,2018)

Posteriormente se diseñó los engranajes helicoidales en el programa inventor, así como también se diseñó la carcasa y los engranajes planetarios. Para finalizar se realizó una simulación de funcionamiento.



## V. CONCLUSIONES

1. Se halló que el compresor centrífugo necesita de una energía de 6 kW/h para poder funcionar, lo cual indica que necesita de una gran cantidad de energía para su funcionamiento, este resultado justifica la utilización de un sistema de frenos regenerativos como fuente de alimentación y no depender de la red eléctrica para su recarga, el trabajo en conjunto logrará un óptimo consumo del combustible y a su vez iniciará el cambio de propulsión que se acerca.
2. El flujo de aire necesario para la optimización de combustible es de 18.73 lb/min, con este suministro de aire el motor de combustión tendrá un funcionamiento similar al de una altura de 0 msnm, mejorando sus prestaciones en cuanto a potencia y consumo de combustible, cabe mencionar que este resultado servirá solo para un motor de 2 litros, para motores de menor o mayor capacidad se debe de realizar un nuevo cálculo.



## VI. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere utilizar un banco de capacitores conectados en paralelo a las fases del motor para que estos sean los encargados de suministrar la potencia reactiva que necesita el rotor para poder inducirse.
2. Estos componentes fueron seleccionados dando prioridad a su costo, si fuese posible adquirir un motor de mayor eficiencia y mejor relación de peso potencia se sugiere que opten por un motor brushless, ya que este motor entrega mucha más potencia y funciona con un alto rpm y en cuanto a su mantenimiento es mejor porque no llevan escobillas.



## VII. REFERENCIAS

- ABB. (2003). *Motores Eléctricos Trifásicos - 50 y 60 Hz Motores de aplicación general en hierro fundido Portafolio de productos - motores ABB*. 15.
- Andy, M. C., Mauricio, C. V., & Willan, M. M. (2016). *Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos Design of the Regenerative Braking System for Hybrid Cars*. 37(2).
- Araujo Asang, E., & Araujo Asang, E. (2015). *Estudio y análisis del sistema de freno regenerativo del vehículo híbrido toyota prius*.  
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/843>
- BORK, W. (2012). *R2S / BorgWarner Turbo Systems*.  
<http://www.turbos.bwauto.com/products/r2s.aspx>
- Cazorla, F., & Chimborazo, S. (2015). “*DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA DE LOS GASES DE ESCAPE MEDIANTE UN TURBO GENERADOR EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 CILINDROS A GASOLINA*” [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA].  
<https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>
- DAMIAN FARROW, JOSEPH BAKER, A. C. M. (2015). *SISTEMA DE RECUPERACION DE ENERGIA CINETICA PARA UNA MOTO ELECTRICA BASADA EN MOTOR BRUSHLESS* (Vol. 151). <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- De Ciencias, F., Ingeniería, E., Ríos, J., Asesor, V., Moisés, :, & Aguilar, V. (2014).  
*Pontificia Universidad Católica Del Perú*. 1–69.  
[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5555/RIOS\\_JOSE\\_FINA\\_SISTEMA\\_GESTION\\_SEGURIDAD\\_INFORMACION\\_CENTRAL\\_RIE](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5555/RIOS_JOSE_FINA_SISTEMA_GESTION_SEGURIDAD_INFORMACION_CENTRAL_RIE)



SGOS.pdf;sequence=1

Del, C., En, M., Generales, A. S., El, S., & Engranajes, D. D. E. (n.d.). *Modulo en engranajes cilindricos.*

EMRAX motors. (2020). Manual for EMRAX motors. *Electric Motor Manufacturer, March, 9.* [https://emrax.com/wp-content/uploads/2020/03/manual\\_for\\_emrax\\_motors\\_version\\_5.4.pdf](https://emrax.com/wp-content/uploads/2020/03/manual_for_emrax_motors_version_5.4.pdf)

Energ, L. A. (n.d.). *La energía.*

Engineering, K. B. (n.d.). *Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia v5.*

FULLWAT, B. (2017). Catalogo de baterias. *Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9), 1689–1699.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Garret. (n.d.). *Performance catalog vol 8. 8.*

Gases, E. D. E., & Invernadero, D. E. E. (2011). *Índice.* 0–66.

Gil Tolmo, C. (2013). *Selección y Diseño de Compresores Centrífugos* [UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID]. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17046/PFC\\_Cesar\\_Gil\\_Tolmo.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17046/PFC_Cesar_Gil_Tolmo.pdf?sequence=1)

Isabel, A., & Molina, A. (n.d.). *Proyecto Fín de Máster: Regulación Eólica con Baterías en Vehículos Eléctricos.* Ana Isabel Almendros Molina. UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

Iuv, U. (2018). *Estadísticas Ambientales.*



- Jorge, P., Patiño, V., & En, L. (2018). *Instituto Profesional y Técnico de Veraguas*  
*Curso : Máquinas Eléctricas ( Taller V ) Tema : N ° 1 Motores de Corriente*  
*Continua Grado : XII-A y C Electricidad Motores de corriente directa ( C . D .).*  
*Taller V, 1–18.*
- Kindler, H., & Kynast, H. (2001). *Matematica aplicada para la tecnica del automovil.*
- Leitman, S., Bob, B., & Edition, S. (2013). Build Your Own Electric Vehicle. In  
*McGraw-Hill/TAB Electronics.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mendez, A. (2014). *DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO DE*  
*AUTOMÓVILES HÍBRIDOS.*
- MINAM. (2016). El Perú y el Cambio Climático Cambio Climático El Perú y el  
Cambio Climático Tercera Comunicación. *Ministerio Del Ambiente, 329.*
- Mora, J. (2003). *Maquinas electricas* (C. F. Madrid (ed.); Quinta).
- OSINERGMIN. (2018). *Demanda nacional de combustible liquidos. 2018.*
- Popper, K. R. (1934). *LA LOGICA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA* (S. A.  
EDITORIAL TECNOS (ed.); PRIMERA).
- Porras, S. (n.d.). *E n g r a n a j e s.*
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente.*
- Transmisión. (n.d.). *5.1 Transmisión de movimiento.*
- Unitek Industrie Elektronik GMBH. (n.d.). *Digital Battery-Motor-Controller*  
*BAMOCAR-D3 for EC Servo Motors AC Inductionn Motors DC-Servo Motors.*  
<http://www.mankeit.com/pdfs/E-BAMOCAR-D3.pdf>



Universidad Nacional Del Altiplano. (2000). *Universidad Nacional Del Altiplano*.  
2006–2011.

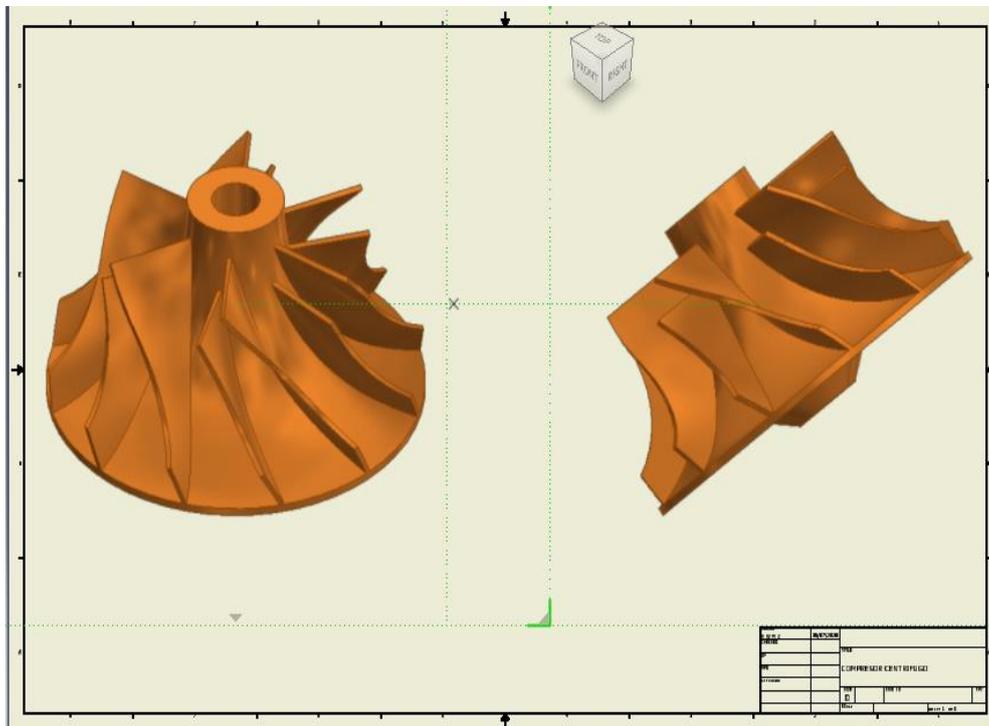
Universidad Técnica Federico Santa María. (2014). *Tecnología de las baterías*  
*Definición y Clasificación*.

[www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf%5Cn](http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf%5Cn)

Universitaria, C. (2014). *Tesis Freno Regenerativo Raul*.

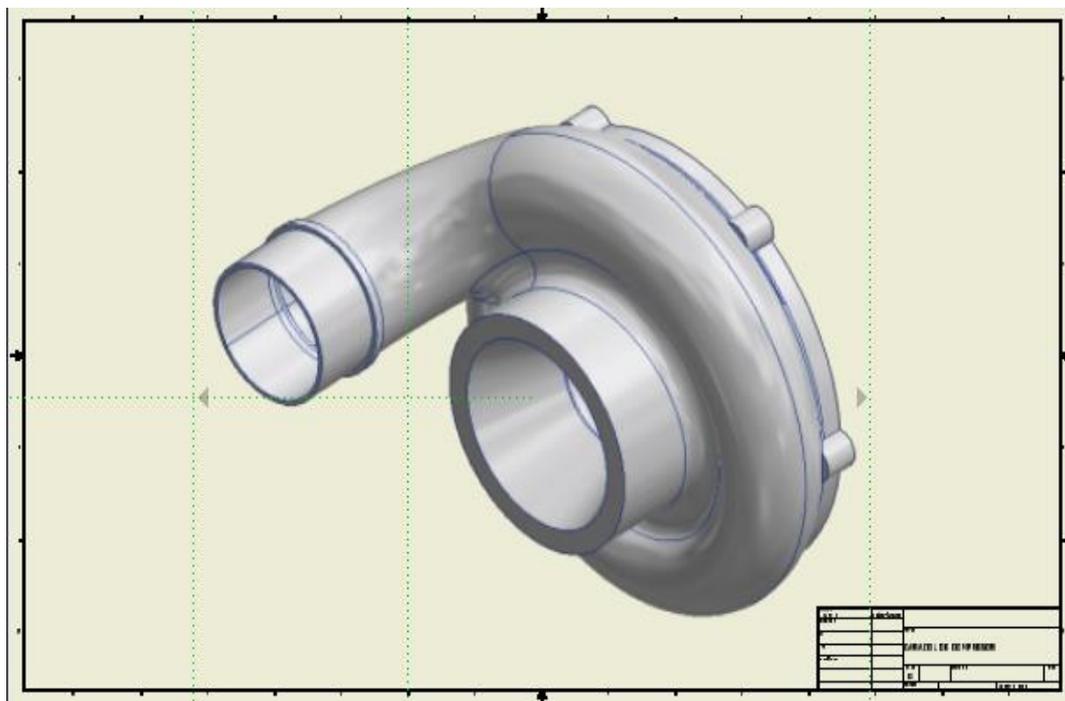
## ANEXOS

### ANEXO 1: Compresor centrífugo



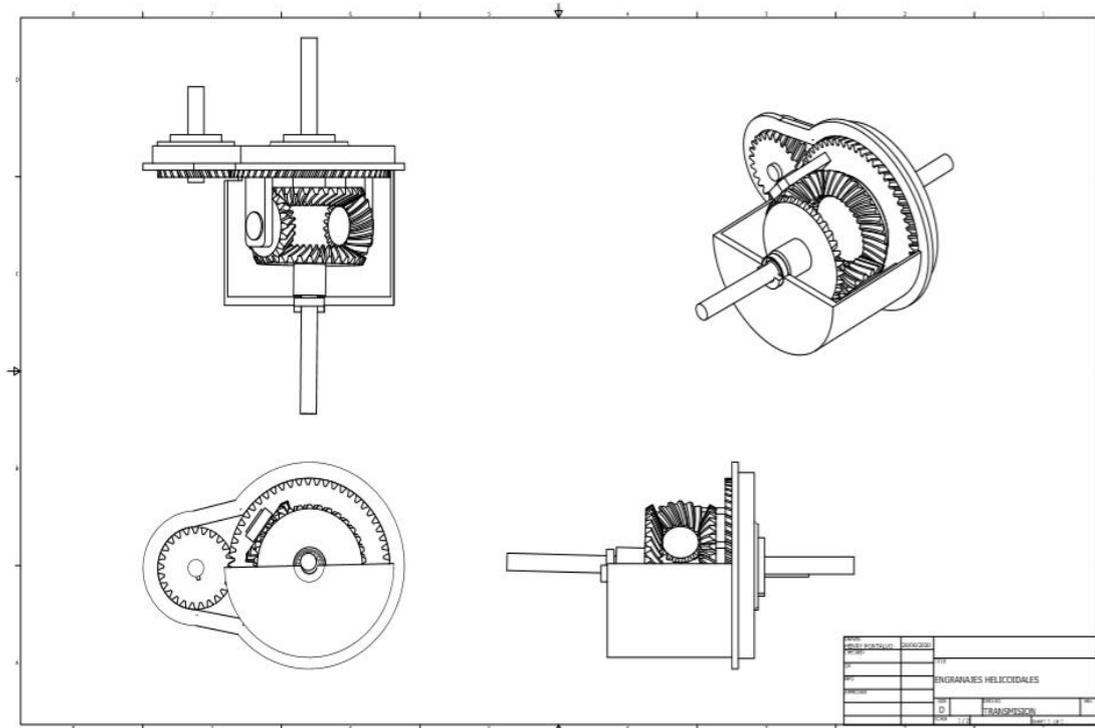
Elaboración propia

### ANEXO 2: Caracol de compresor centrífugo



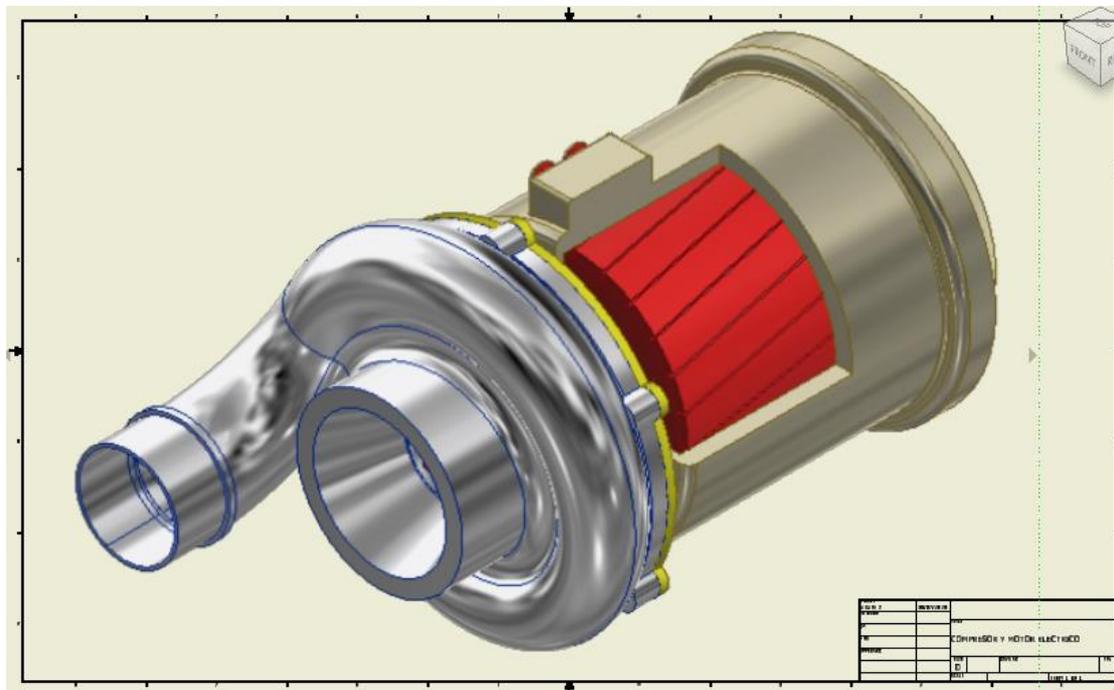
Elaboración propia

### ANEXO 3: Engranajes helicoidales



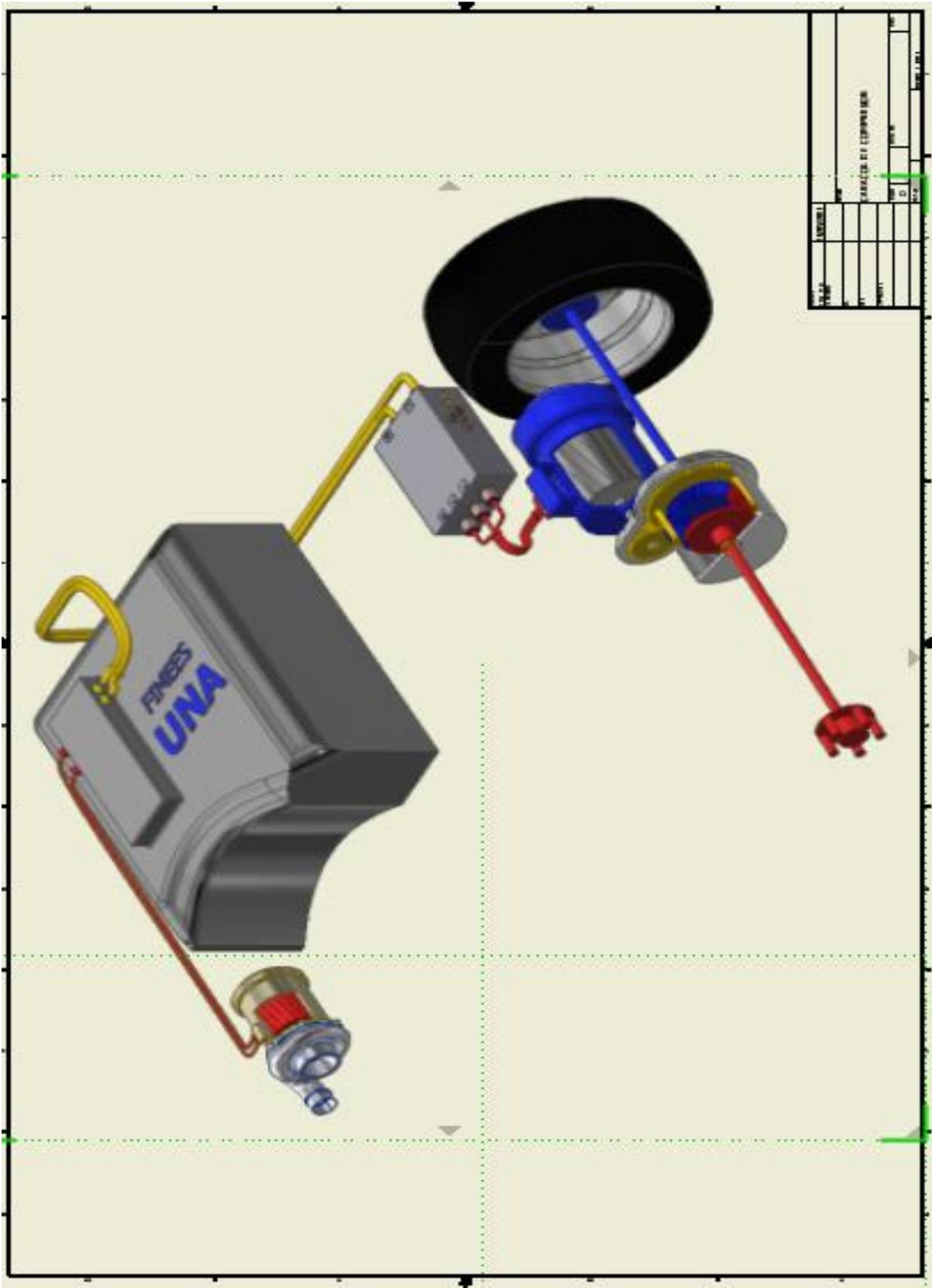
Elaboración propia

### ANEXO 4: Compresor centrífugo y motor eléctrico



Elaboración propia

### ANEXO 5: Componentes de sistema de freno regenerativo.



Elaboración propia