



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**INVESTIGACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DEL GRUPO  
MOTO-GENERADOR DEL VEHÍCULO HÍBRIDO AL IMPLEMENTAR UN  
PROTOTIPO CON CONTROL DE INVERSIÓN**

**AUTORES: MORALES TOLEDO JOHN STEVEN  
PILATAXI CAUJA OSCAR ABEL  
DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO  
LATACUNGA 2018**



# **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información teórica y técnica inherente motores generadores de vehículos híbridos, de los inversores y de los módulos de control.
- Realizar el desarmado y armado del grupo motor-generator de un vehículo Toyota Highlander 2010.
- Identificar los elementos de los motores generadores MG1 y MG2; además se analizó los componentes de transmisión de potencia del grupo motor-generator del vehículo Toyota Highlander híbrido 2010.



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar el prototipo de módulo de control, tomando en cuenta los parámetros eléctricos para la instalación y adecuada ubicación del moto-generador en un banco de pruebas donde se pueda apreciar los parámetros de velocidad, revoluciones, corriente y voltaje.
- Tabular los datos obtenidos, usando gráficas para generar un registro de los valores estándar de funcionamiento tanto de la placa de control, de los inversores y del motor generador.
- Ejecutar pruebas constatando la funcionalidad completa del banco de pruebas.
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación para la documentación del funcionamiento del control del motor generador, inversor y módulo de control.



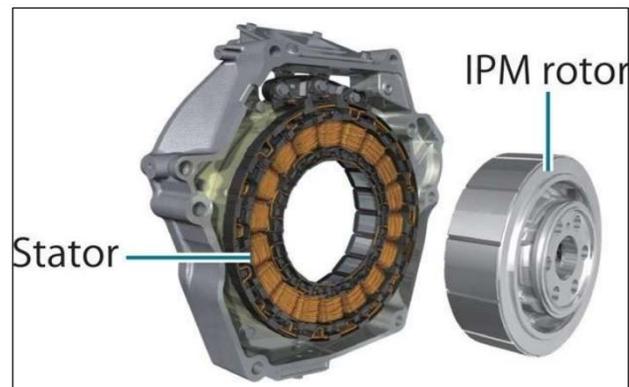
# ***Funcionamiento de los moto generadores de imanes permanentes.***

- Cuando la corriente alterna trifásica fluye a través de los devanados trifásicos de la bobina del estator, una rotación campo magnético se genera en el generador de motor. El sistema controla la rotación del campo magnético de acuerdo con la posición de rotación y la velocidad del rotor. Como resultado, los imanes permanentes provistos en el rotor son tirados en la dirección de rotación, generando torque. El par generado es casi proporcional a la cantidad de corriente. (Toyota Motor Corporation, 2010)



# Rotor

- Es la parte giratoria del motor generador, la misma está localizada dentro del estator. El estator, está construido a base de placas apiladas y está montado sobre el eje principal del motor, posee ranuras donde van insertados los conductores, que forman la bobina de inducido, los mismos que constituyen un circuito cerrado, ya que se encuentran cerrados sobre sí mismos.
- Al ser sometidos a un campo magnético provoca que en ellos se genere corrientes eléctricas, dando paso a que se generen fuerzas que obligan al rotor a moverse siguiendo al campo magnético. (Toyota Motor Corporation, 2010)

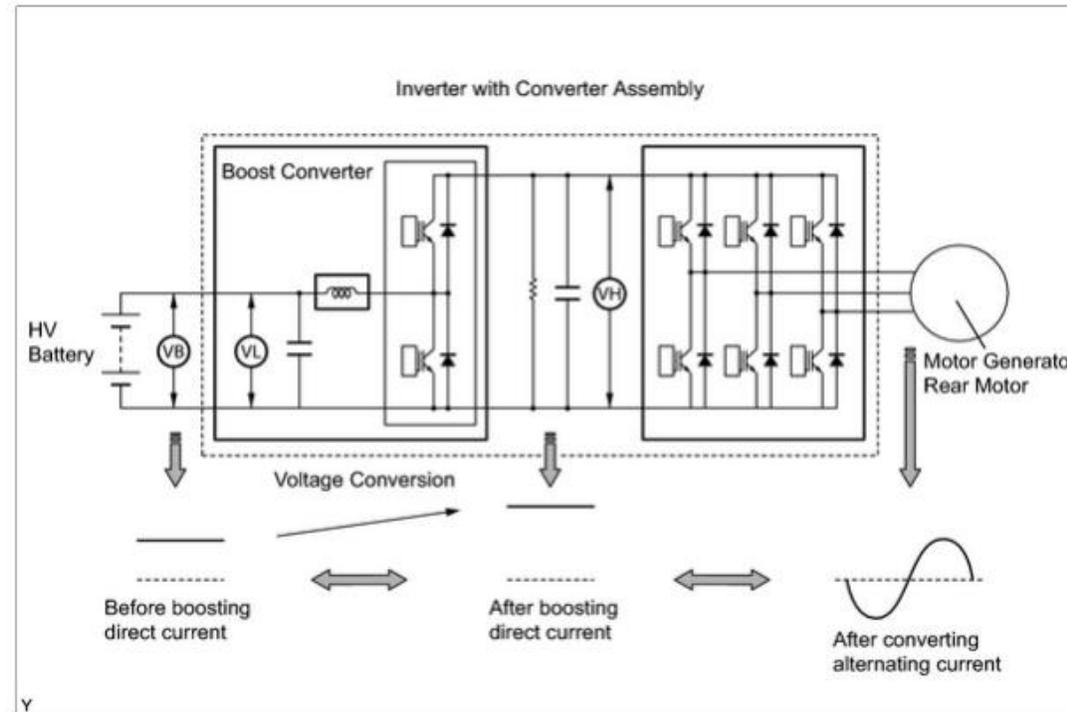


- En el estator del moto generador se encuentra 24 zapatas polares y ranuras formadas por un conjunto de chapas perforadas y soldadas en un paquete. En las que se aloja un bobinado de alambres de cobre. Dicho bobinado se trata de los tres devanados necesarios para la conexión del sistema de corriente trifásica. (Toyota Motor Corporation, 2010)



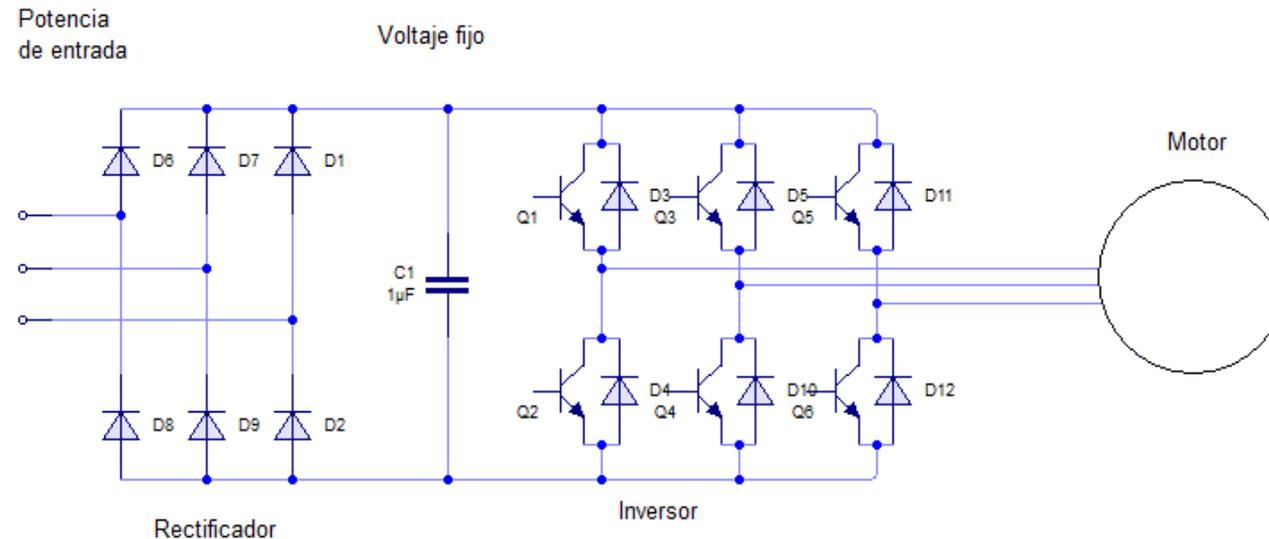
# Inversor/Convertidor.

- La función del inversor es de la conversión de la corriente continua en alterna, y el procedimiento opuesto, es decir la conversión de corriente alterna en continua, para alimentar a los moto generadores MG1, MG2, en la transmisión delantera, y para el diferencial trasero, MG3.



# Variador de frecuencia

- Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

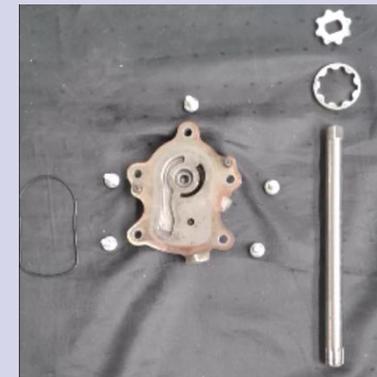


# DESARMADO DEL MOTO-GENERADOR 1

## PROCEDIMIENTO

## ILUSTRACIÓN

Retirar la bomba de aceite que conforman la tapa, empaque, los lóbulos y el eje.



Ubicar el sensor de posición y proceder a retirar la protección del sensor para después retirar el sensor.



---

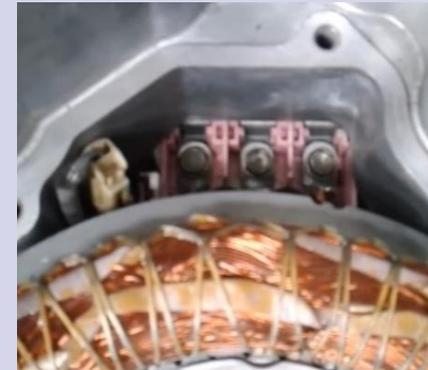
Quitar los pernos de las tapas de las cámaras de agua usadas para la refrigeración del moto generador 1 y moto generador 2.



Separar la tapa de protección del moto generador 1 para observar la bobina del mismo.



Sacar los pernos que sujetan las fases U, V y W del moto generador 1.



A continuación, proceder a desmontar el rotor, el imán permanente y el sensor resolver del moto generador 1.



Despiece total de los moto generadores de un vehículo híbrido Toyota Highlander 2010



# DESARMADO DEL MOTO-GENERADOR 2

## PROCEDIMIENTO

## ILUSTRACIÓN

Al separar los dos moto generadores se aprecia la transmisión con cada uno de sus engranajes, se procede a desmontarlos.



Al separar los dos moto generadores se procede a sacar la tapa externa del moto generador 2, a la vez también sacar los pernos del sensor resolver del moto generador 2.



Desconectar los pernos que sujetan a las fases U, V y W; desconectar el socket del sensor resolver del moto generador 2.



Se proceder a sacar los pernos que sujetan a la bobina y al imán permanente a la carcasa de aluminio.



---

Con precaución se procede a separar el imán permanente de la bobina para así finalizar con el desarmado del moto generador 2.



# ARMADO DEL MOTO-GENERADOR 1

## PROCEDIMIENTO

## ILUSTRACIÓN

Colocar la bobina en la carcasa de aluminio, a la vez también conectar el sensor resolver y los pernos de las fases U, V y W del moto generador 1.



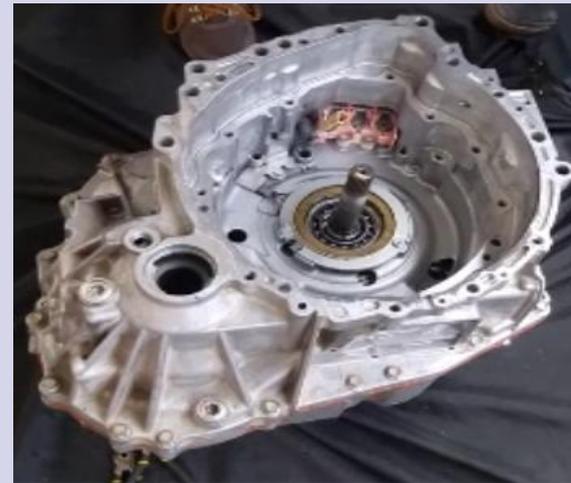
Con precaución se procede a poner el imán permanente y el rotor en medio de la bobina.



A continuación se procede a ensamblar los engranes de la transmisión, colocar el engrane solar y los planetarios asegurando que coincida con las marcas.



Ensamblar el sensor resolver del moto generador 1 en su carcasa para unir la carcasa del moto generador 1 con la del moto generador 2.



# ARMADO DEL MOTO-GENERADOR 2

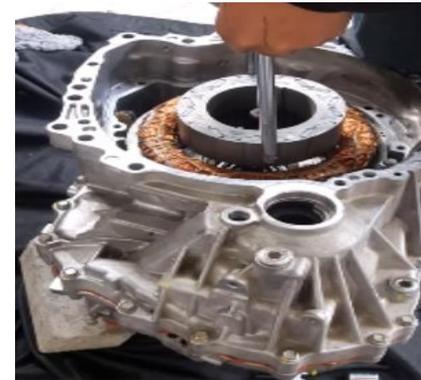
## PROCEDIMIENTO

## ILUSTRACIÓN

Después de ensamblar el sensor resolver en la carcasa y unir las carcasas de los dos moto generadores se procede a colocar el separador y la bobina



Colocar el imán permanente y apretar los pernos de las fases U, V y W del moto generador 2.



Ensamblar el rotor del moto generador  
2 teniendo en cuenta las guías del  
mismo en el imán permanente.



Colocar la tapa de protección con la  
ayuda de sellante resistente a altas  
temperaturas.



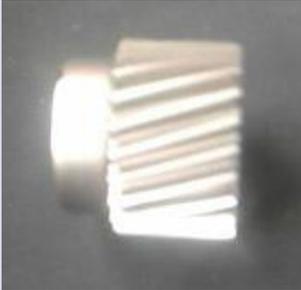
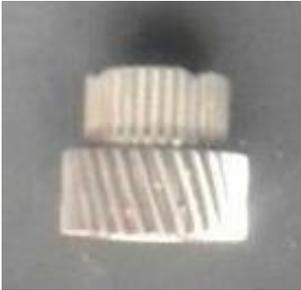
Ensamblar las tapas de las cámaras de agua de los moto generadores



Instalar la bomba de aceite y el sensor de posición ubicados a los lados del motor ensamblado completo



# SISTEMA DE TRANSMISIÓN

DENOMINACIÓN	IMAGEN	NÚMERO DE DIENTES
ENGRANE SOLAR 1		El engrane 1 tiene 24 dientes en el agujero interior, el cual sirve para la sujeción con el eje, mientras que en la cara exterior tiene 23 dientes de tipo helicoidal, con los cuales engrana en el tren motriz.
ENGRANE SOLAR 2		El engrane 2 tiene en la parte superior 30 muescas las cuales sirven como sujeción al eje y cuenta con 34 dientes helicoidales en la parte inferior, los cuales sirve como conexión al tren motriz.



## PLANETARIOS Y PORTAPLANETARIOS



Este conjunto tiene ya sujeto el eje, el cual es el que sobresale en el moto generador 2, en los que cada planeta cuenta con 23 dientes, con un total de 4 planetas.

## CORONA Lado Derecho



El lado derecho de la corona cuenta con 78 dientes, el cual va engranado con los 4 planetas que tienen 23 dientes



CORONA  
Lado Izquierdo



El lado derecho de la corona cuenta con 57 dientes, el cual va engranado con los 5 planetas que tienen 18 dientes

CORONA  
Cara Exterior



El engrane de la cara exterior de la corona tiene 54 dientes, el cual se conecta con el engrane 1 de 55 dientes.



ENGRANE 1 Y 2



El engrane con diámetro mayor posee 55 dientes, mientras que el engrane de menor diámetro posee 25 dientes.

ENGRANE 3



El engrane 3 posee 77 dientes y está conectado al diferencial.



## DIFERENCIAL



Los engranes de la parte superior e inferior del diferencial tienen 16 dientes, mientras que los de la derecha y la izquierda constan de 10 dientes.

## PLANETARIOS Y PORTAPLANETARIOS 2



Este conjunto de planetario y portaplanetario consta de 5 planetas, los cuales constan de 18 dientes cada uno.



# MÓDULO DE CONTROL

CANT	DESCRIPCIÓN
1	Disyuntor de 10A
1	Variador de frecuencia marca WEG 220V
2	Contactador 220V con bobina de 220V AC, 50 / 60 Hz, 3 polos, bornes de tornillo
1	Selector de 3 posiciones para operación de MG1 y MG2
1	Potenciómetro de 10K de 10 vueltas
12	Borneras
2	Pulsadores de marcha
2	Pulsadores de paro
2	Luces verdes
2	Luces rojas
1	Tablero modular de 60X40
1	Ventilador de 220V
10	metros de cable flexible # 18 AWG azul
10	metros de cable flexible # 18 AWG rojo
3	juegos de canaletas ranuradas 40x40
25	metros de cable concéntrico 3 x 10AWG 600V
6	Borneras para bananas
100	Amarras plásticas 10cm



# EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Equipo	Ilustración	Descripción
Osciloscopio OTC 3840F		Con este equipo se aprecia la curva de funcionamiento en las diversas frecuencias marcadas por el variador de frecuencia
Multímetro Automotriz Fluke		Con este equipo se mide el voltaje de funcionamiento a las diversas frecuencias marcadas por el variador de frecuencia
Pinza Amperimétrica		Con este equipo se mide el amperaje de funcionamiento a las diversas frecuencias marcadas por el variador de frecuencia
Tacómetro digital		Con este equipo se mide las RPM de funcionamiento a las diversas frecuencias marcadas por el variador de frecuencia



# PROGRAMACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA MG1

## Programación para MG1

Parámetro.	Programación.
P0142	El parámetro P0142 es el valor de Tensión de Salida Máxima, el cual se programa con un valor de 52 %.
P0143	El parámetro P0143 es el valor de Tensión de Salida Intermedia, el cual se programa con un valor de 28 %.



# PROGRAMACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA MG2

## Programación para MG2

Parámetro.	Programación.
P0142	El parámetro P0142 es el valor de Tensión de Salida Máxima, el cual se programa con un valor de 68 %.
P0143	El parámetro P0143 es el valor de Tensión de Salida Intermedia, el cual se programa con un valor de 37 %.



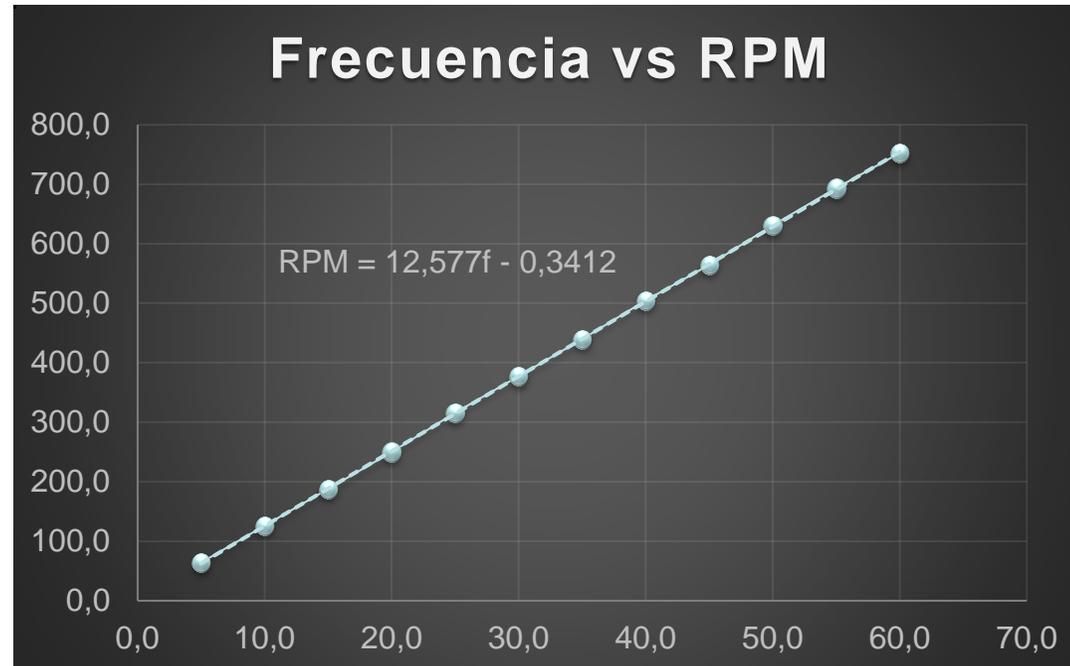
# PROGRAMACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA MG1 Y MG2 ARMADOS

## Programación para motores Generadores Armados

Parámetro.	Programación.
P0142	El parámetro P0142 es el valor de Tensión de Salida Máxima, el cual se programa con un valor de 68,5 %.
P0143	El parámetro P0143 es el valor de Tensión de Salida Intermedia, el cual se programa con un valor de 36,5 %.



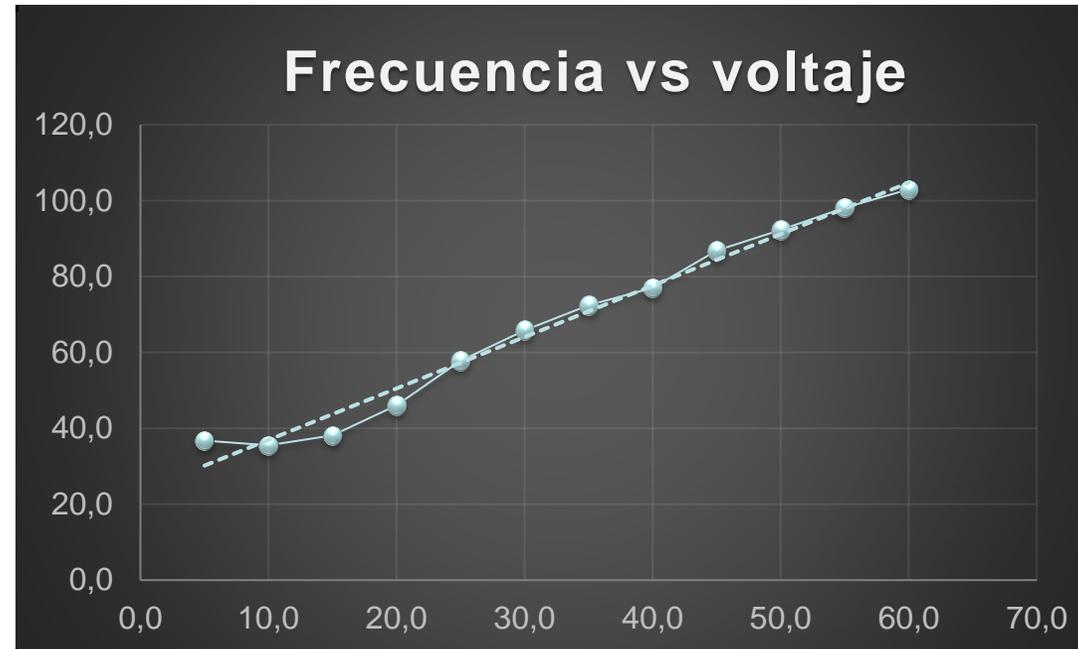
# CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO MG1 Y MG2



En la curva de frecuencia-RPM se observa que la frecuencia es directamente proporcional a las RPM, la cual tiene una ecuación de  $RPM=12,577f-0,3412$  y se podría reducir a  $RPM=12,577f$  ya que el valor de 0,3412 es despreciable.

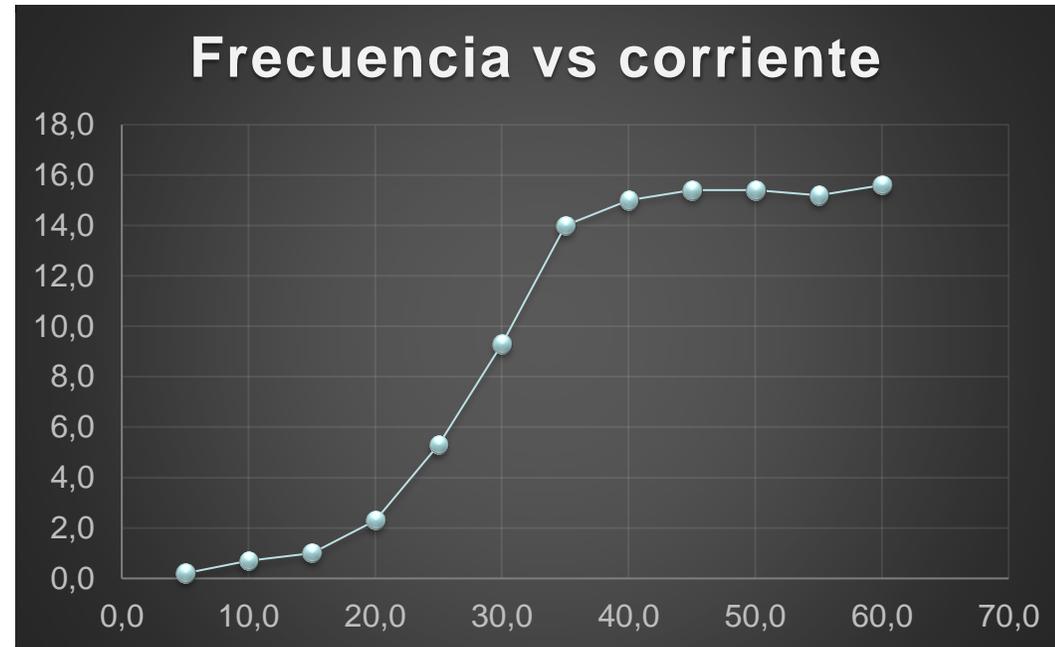


# CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO MG1



La curva de frecuencia-voltaje del moto generador 1 indica que el valor mínimo de voltaje que debe proporcionar el variador de frecuencia es de 36,7 V para su funcionamiento hasta los 15 Hz, sin embargo al aumentar la frecuencia, se produce un aumento de voltaje que tiende a ser directamente proporcional, desde los 25 Hz hasta los 60 Hz en donde se puede observar que el voltaje llega a 102V.

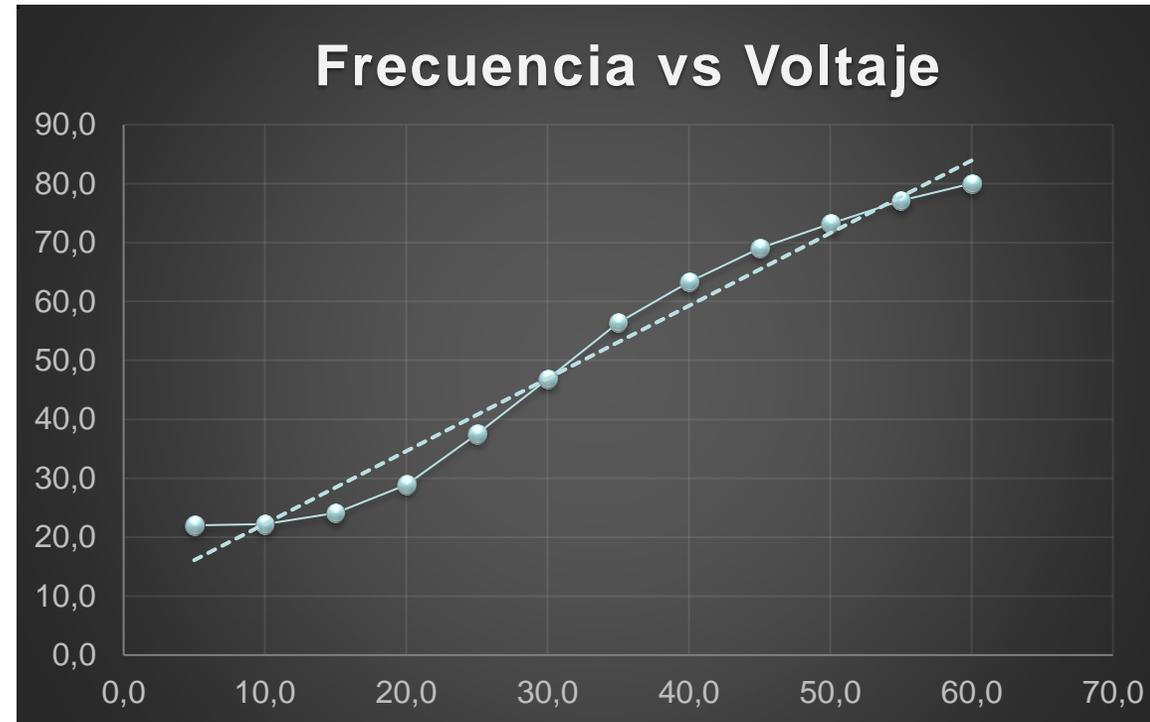




En la figura de corriente frecuencia del moto generador 1 se observa que la corriente aumenta paulatinamente en el intervalo de 5 a 20 Hz, llegando a 2 A cuando obtiene 20 Hz. Mientras que en el intervalo de 20 a 45 Hz se obtiene un incremento proporcional llegando a su máximo valor de 15,4 A y estableciéndose en este valor a alcanzar los 60 Hz.

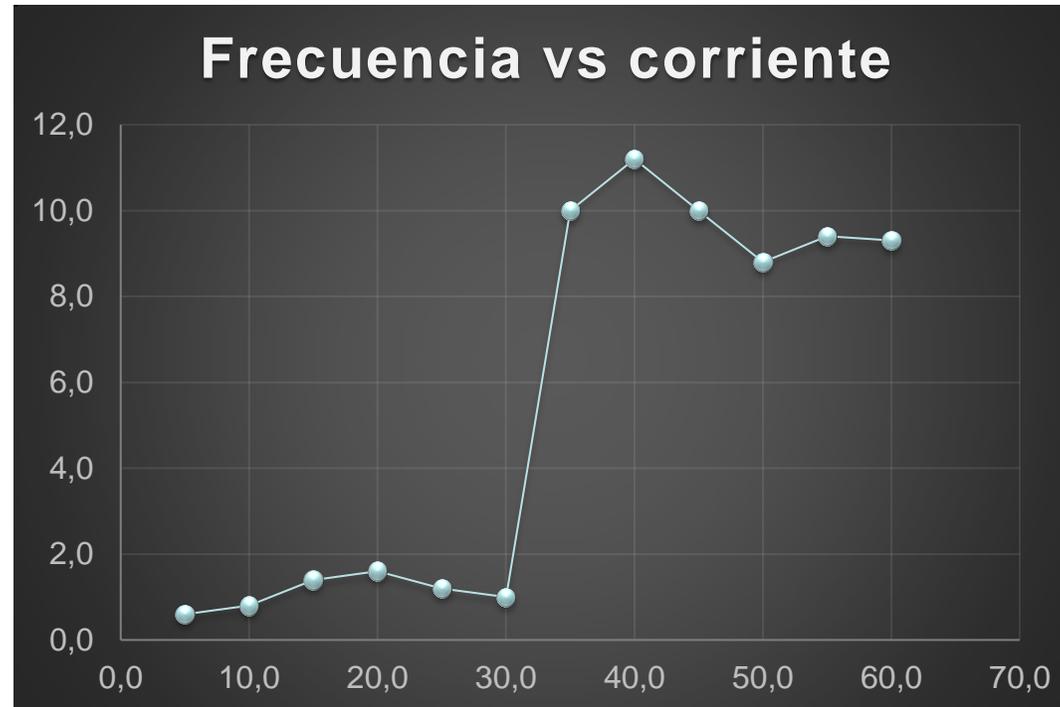


# CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO MG2



La curva de frecuencia-voltaje del moto generador 2 indica que el valor mínimo de voltaje que debe proporcionar el variador de frecuencia es de 20V para su funcionamiento hasta los 15 Hz, sin embargo al aumentar la frecuencia, se produce un aumento de voltaje que tiende a ser directamente proporcional, desde los 15 Hz hasta los 50 Hz en donde se puede observar que el voltaje empieza a incrementar con una menor pendiente hasta llegar a los 80V en los 60 Hz.

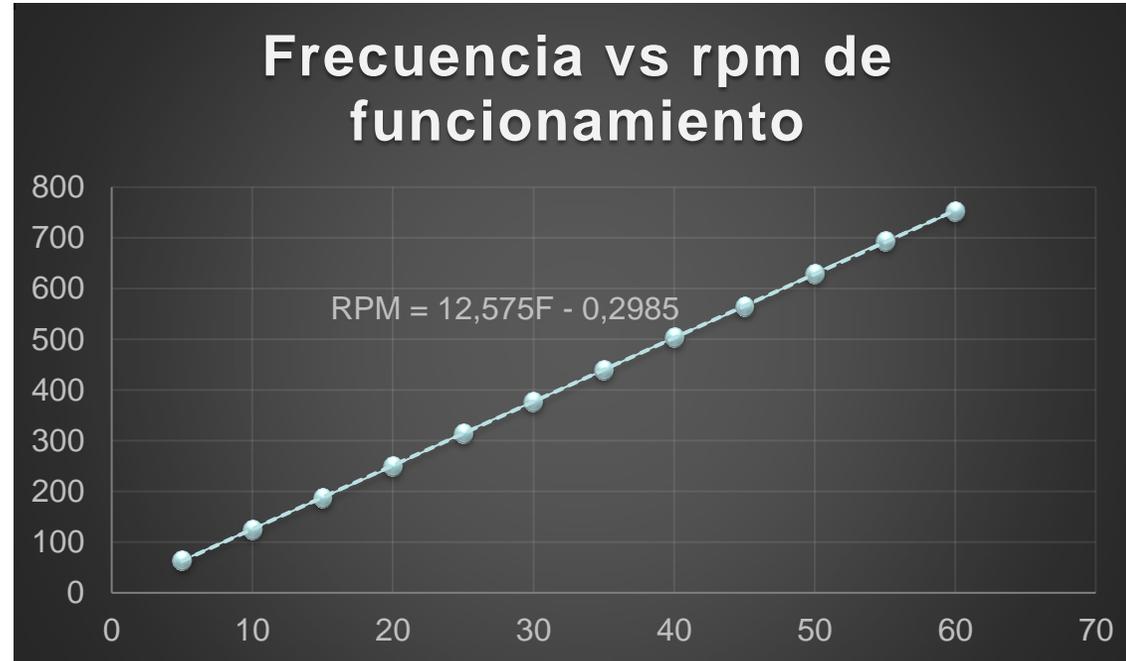




En la figura de corriente frecuencia del moto generador 2 se observa que las corrientes de arranque no son muy altas puesto que, hasta 30 Hz, la máxima corriente obtenida es de 1,6 A. Sin embargo, desde 35 Hz la corriente tiende a incrementarse en un 600% aproximadamente, llegando al valor más alto que es de 11,2 A en 45 Hz. Para luego, en 50 Hz disminuir a 8,8 A y terminar estabilizándose en 9,3 A en los dos últimos valores de frecuencia.



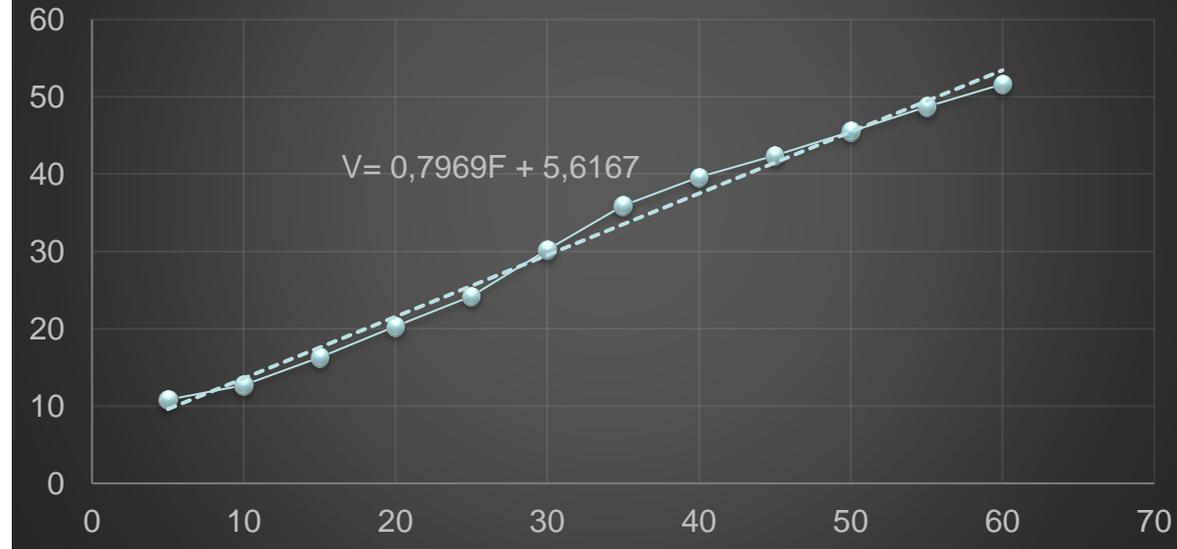
# CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO MOTOGENERADOR ARMADO



En la curva de RPM-Frecuencia, se obtiene una curva que denota una relación directamente proporcional, y similar a la curva que se obtuvo cuando el MG1 no se encontraba acoplado al MG2, la ecuación resultante de esta curva es  $RPM = 12,575F - 0,2985$  en la que la pendiente es igual a la obtenida en la curva ya mencionada. En esta ecuación también se descarta la constante, puesto que es mínima comparada con los valores que se analizan.



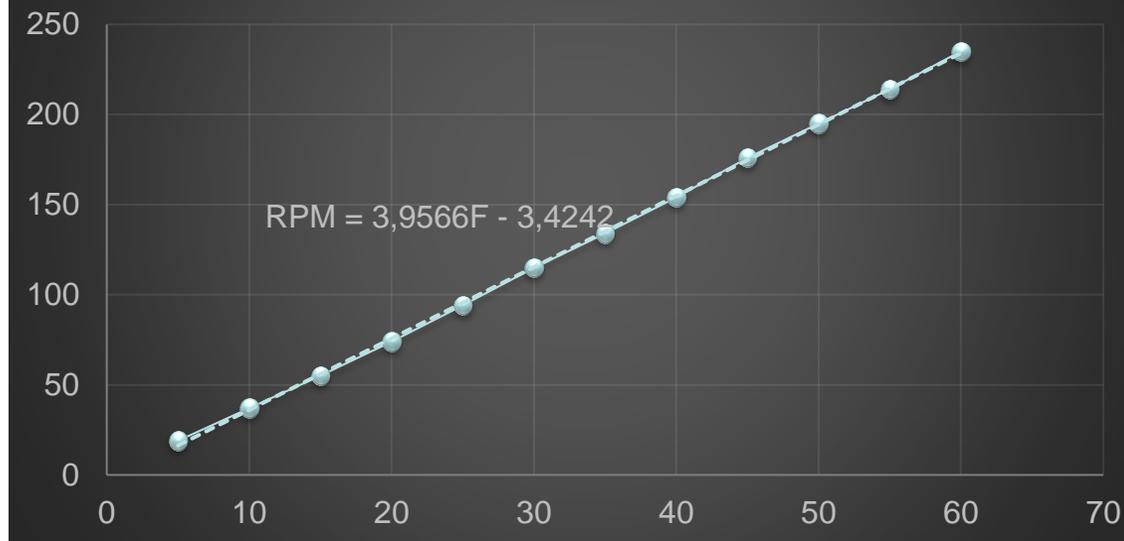
## Frecuencia vs voltaje de funcionamiento fase-fase



La curva muestra que el voltaje es directamente proporcional a la frecuencia con la cual se trabaja. Teniendo un valor mínimo de 10,8V y un valor máximo de 51,6V. Dando una ecuación de tendencia de  $V=0,7969F+5,6167$



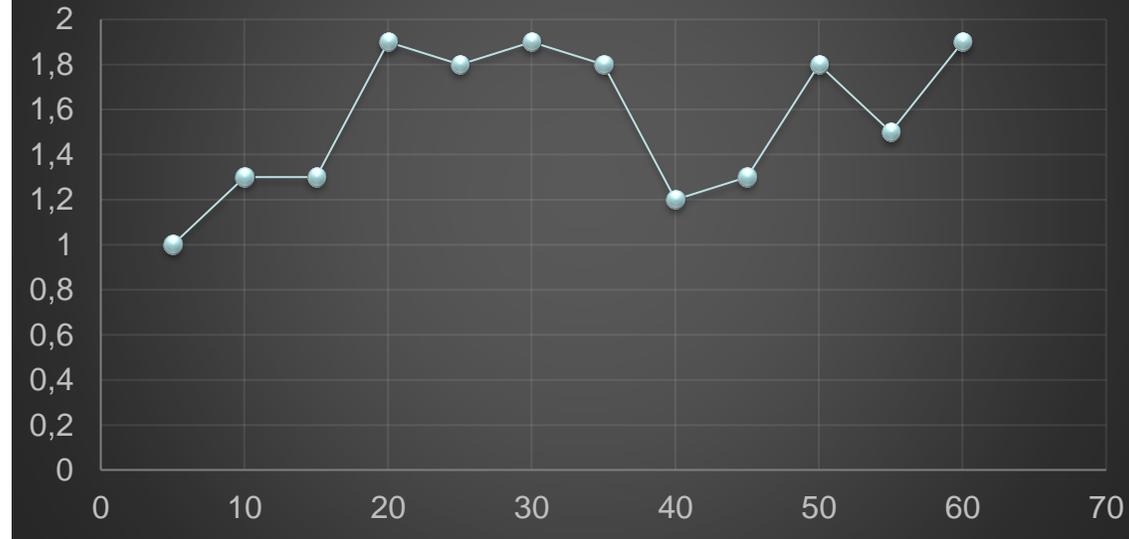
## Frecuencia vs RPM de regeneración



En la curva de RPM-Frecuencia del motor generador 1, se obtiene una curva que denota una relación directamente proporcional, la ecuación resultante de esta curva es  $RPM = 3,9566F - 3,4242$  la que muestra una desmultiplicación considerable con respecto a las RPM del MG1.



## Frecuencia vs corriente de regeneración



La corriente generada por el movimiento del motor se encuentra en un valor variable de entre 1 y 2 A. Sin embargo no se denota una curva de la cual se puedan extrapolar datos o tener una clara visión del proceso de regeneración.



# CURVAS CARACTERÍSTICAS CON OSCILOSCOPIO 3840F PARA MG1

## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG1.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
5 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 0.1s		En el oscilograma se obtiene un periodo $T = 0.2$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 5 Hz.
10 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 0.1s		En el oscilograma se obtiene un periodo $T = 0.1$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 10 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG1.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
15 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 50 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.065$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 15.4 Hz.
20 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 50 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.051$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 19.6 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG1.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
25 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.04$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 25 Hz.
30 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.033$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 30.3 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG1.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
35 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.028$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 35.7 Hz.
40 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.024$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 41.6 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG1.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
45 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.022$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 45.5 Hz.
50 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.02$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 50 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG1.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
55 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.018$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 55.5 Hz.
60 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.017$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 58.8 Hz.



# CURVAS CARACTERÍSTICAS CON OSCILOSCOPIO 3840F PARA MG2

## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG2.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
5 Hz	Voltaje = 100Vac Tiempo= 0.1 s		En el oscilograma se obtiene un periodo $T= 0.2$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 5 Hz.
10 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 0.1 s		En el oscilograma se obtiene un periodo $T= 0.11$ ms, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 9.1 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG2.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
15 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 50 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.065$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 15.3 Hz.
20 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 50 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.05$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 20 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG2.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
25 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 50 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.04$ s, y un voltaje máximo de 290 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 25 Hz.
30 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 50 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.033$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 30.3 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG2.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
35 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.028$ s, y un voltaje máximo de 300 V ac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 35.7 Hz.
40 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.025$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 40 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG2.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
45 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.022$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 45.5 Hz.
50 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.02$ s, y un voltaje máximo de 300 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 50 Hz.



## CURVAS CARACTERÍSTICAS A DIFERENTES VALORES DE FRECUENCIA MG2.

Valor de frecuencia [Hz]	Escala	Gráfica en el osciloscopio.	Análisis
55 Hz	Voltaje = 100 Vac Tiempo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.018$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 55.5 Hz.
60 Hz	Voltaje = 100 Vac Timepo = 20 ms		En el oscilograma se obtiene un periodo $T=0.017$ s, y un voltaje máximo de 280 Vac, al aplicar la fórmula para frecuencia $F = \frac{1}{T}$ se obtiene que la frecuencia es de 58.8 Hz.



# CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN DE LOS TRENES EPICICLOIDALES

Para el cálculo de la relación de transmisión se utiliza la fórmula de Willis, que está determinada de la siguiente manera:

$$n_2 = \frac{1}{z_3 + z_1} \times (z_3 \times n_3 + z_1 \times n_1)$$

Donde

$n_1 = \text{RPM engranaje solar}$

$n_2 = \text{RPM portaplanetarios}$

$n_3 = \text{RPM corona}$

$z_1 = \text{Número de dientes engranaje solar}$

$z_3 = \text{Número de dientes corona}$



*Número de dientes del tren epicicloidal 1*

ENTRADA MG2	TREN EPICICLOIDAL 1	SOLAR	34
		PLANETARIO	23
		CORONA	78



## *Número de dientes del tren epicicloidal 2*

SALIDA MG1	TREN EPICICLOIDAL 2	SOLAR	23
		PLANETARIO	18
		CORONA	57



Para el tren epicicloidal de entrada se calcula la relación de transmisión usando la fórmula

$$n_2 = \frac{1}{z_3 + z_1} \times (z_3 \times n_3 + z_1 \times n_1)$$

Puesto que el engrane de entrada es el solar y la salida es la corona se asume que el portaplanetarios se encuentra bloqueado, por tanto  $n_2$  es cero, reduciendo la fórmula a:

$$0 = \frac{1}{z_3 + z_1} \times (z_3 \times n_3 + z_1 \times n_1)$$

$$0 = (z_3 \times n_3 + z_1 \times n_1)$$

$$i_1 = -\frac{z_1}{z_3} = \frac{n_3}{n_1} = \frac{34}{78} = -0,436$$



Para el tren epicicloidal de salida se calcula la relación de transmisión usando la fórmula

$$n_2 = \frac{1}{z_3 + z_1} \times (z_3 \times n_3 + z_1 \times n_1)$$

Puesto que el engrane de entrada es la corona y la salida es el portaplanetarios asume que el solar se encuentra bloqueado, por tanto  $n_1$  es cero, reduciendo la fórmula a:

$$n_2 = \frac{1}{z_3 + z_1} \times (z_3 \times n_3 + z_1 \times 0)$$

$$i_2 = \frac{z_3}{z_3 + z_1} = \frac{n_2}{n_3} = \frac{57}{57 + 23} = 0,7125$$



Al obtener las dos relaciones de transmisión se puede relacionar las RPM de entrada con las de salida de la siguiente manera.

$$RPM_{out} = RPM_{in} \times i_1 \times i_2$$

$$RPM_{out} = RPM_{in} \times -0,436 \times 0,7125$$

$$RPM_{out} = -0,311 \times RPM_{in}$$



### Comparación de RPM medidas y RPM calculadas

RPM IN	RPM OUT	RPM OUT MEDIDA
63,5	19,8374	19
125,6	39,23744	37
187,4	58,54376	55
249,4	77,91256	74
315,3	98,49972	94
377,1	117,80604	115
439	137,1436	134
504	157,4496	154
564	176,1936	176
630	196,812	195
693,3	216,58692	214
752	234,9248	235



# CONCLUSIONES

- Se recopiló información de corriente, voltaje, resistencia, potencia entre otros de un vehículo Toyota Highlander 2010 para captar todos los parámetros necesarios para el funcionamiento del moto generador; con la ayuda de elementos eléctricos, electrónicos y de un variador de frecuencia que a su vez tiene la función de actuar como inversor de corriente se implementó el prototipo de módulo de control, tomando en cuenta los parámetros eléctricos para la instalación y adecuada ubicación del moto-generador en un banco de pruebas donde se pueda apreciar los parámetros de frecuencia, revoluciones, corriente y voltaje.
- Se tabuló los datos obtenidos de corriente, voltaje y rpm de los moto generadores MG1 y MG2 mediante el programa Excel para su posterior análisis; además, se tabuló datos del grupo moto generador unido de corriente, voltaje y rpm de la función de regeneración que se obtiene al estar en constante funcionamiento.



- El moto generador de un vehículo híbrido consume altas cantidades de corriente, y depende del módulo de control, limitar los valores de corrientes para que el motor pueda funcionar de una manera eficiente.
- El moto generador de un Toyota Higlander tiende a tener un mayor consumo de corriente en el rango de 30 a 35 Hz, que representa la mitad del rango de velocidades a la cual se sometió la prueba.
- El grupo moto generador del Toyota Higlander esta unido mediante un tren epicicloidal, el cual transmite el movimiento rotacional del MG1 al MG2 y al conjunto diferencial que se encuentra en la misma carcasa, unido mediante un conjunto de engranes.



- Las curvas del osciloscopio no muestran una curva característica de una onda AC, puesto que es una onda generada mediante el proceso de conversión de AC-DC-AC, el osciloscopio nos muestra los disparos de los IGBTs para la formación de la onda, lo que explica que el área bajo la curva se encuentre sombreada, en cada una de las pruebas.
- Los valores máximos de voltaje del variador de frecuencia, muestra 300V AC en el osciloscopio, sin embargo el multímetro muestra un valor diferente, puesto que es un voltaje RMS de la onda generada.
- Las RPM de los dos moto generadores son directamente proporcionales a la frecuencia de funcionamiento. Al tener las ecuaciones, se puede proyectar cual sería las RPM a diferentes valores de frecuencia.
- La frecuencia de salida que marca el variador de frecuencia, no es similar a la frecuencia que se aprecia en el osciloscopio. Varía en un rango de 0.5 a 3 Hz en cada uno de las pruebas.



# RECOMENDACIONES

- Ingresar a la página oficial de Toyota para descargar toda la información necesaria para la operación, mantenimiento y características del grupo motor generador.
- Se recomienda el uso de equipo de protección personal, como guantes aislantes para la manipulación del motor, puesto que la corriente generada en el variador aterriza en la carcasa y puede generar descargas eléctricas.
- No manipular los cables que se conectan a los moto generadores, puesto que el movimiento de uno de ellos resetea automáticamente al variador de frecuencia.
- Usar un variador de frecuencia con mayor capacidad de manejo de corriente, ya que el usado en esta investigación tiene un límite de 12 A.

