



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO
CON MOTOR DE JAULA DE ARDILLA, MOTOR DE
CORRIENTE CONTINUA, MOTOR DE REPULSIÓN, MOTOR
DE ROTOR DEVANADO, Y ELECTRODINAMÓMETRO,
MEDIANTE EL USO DEL OSCILOSCOPIO**

Br. César Manuel Ortiz

Mérida, Enero, 2019



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MERIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO
CON MOTOR DE JAULA DE ARDILLA, MOTOR DE
CORRIENTE CONTINUA, MOTOR DE REPULSIÓN, MOTOR
DE ROTOR DEVANADO, Y ELECTRODINAMÓMETRO,
MEDIANTE EL USO DEL OSCILOSCOPIO**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista

Br. César Manuel Ortiz

Tutor(es): Pedro Omar Mora

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON MOTOR DE
JAULA DE ARDILLA, MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA, MOTOR DE
REPULSIÓN, MOTOR DE ROTOR DEVANADO, Y ELECTRODINAMÓMETRO,
MEDIANTE EL USO DEL OSCILOSCOPIO**

www.bdigital.ula.ve

Br. Cesar Manuel Ortiz

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

Prof. Pedro Omar Mora

Prof. Juan Carlos Muñoz

Prof. Carlos Nava

DEDICATORIA

A Dios por guiarme y darme fuerzas durante la carrera para luchar.

A mi madre Rosaura Ortiz por ser ejemplo de lucha, perseverancia y sobre todo mucha Fe y ser el pilar fundamental de mi familia y acompañarme siempre en cada meta y logro.

A toda mi familia por su cariño y apoyo incondicional.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ayudarme siempre y llevarme a la victoria y levantarme en cada caída y darme la fuerza para afrontar los retos académicos y profesionales que se presentan.

A mi madre Rosaura Ortiz, por inculcarme los valores e integridad, así como también darme los mejores consejos y guiarme a través de la carrera.

A mis hermanos, por su apoyo y cariño que siempre me brindaron y alentaron para seguir adelante.

A mi familia, por darme ejemplo de perseverancia y lucha, y familiares que también pasaron por la misma casa de estudios y me orientaron a través de la carrera.

A mi tutor y profesor Ing. Pedro Mora, por confiar en mí y encomendarme esta tarea y por su apoyo y presencia, así como también brindarme sus conocimientos.

Al técnico René, quien me acompañó en este último trabajo y me brindó su apoyo, paciencia y conocimiento en la elaboración de esta tarea.

A la ilustre Universidad de Los Andes, por ser mi casa de estudio y fuente de conocimiento, y a cada uno de los profesores que formaron parte de mi desarrollo académico por su enorme vocación como educadores.

César Manuel Ortiz. Implementación de Prácticas de Laboratorio con Motor de Jaula de Ardilla, Motor de Corriente Continua, Motor de Repulsión, Motor de Rotor Devanado y Electrodinamómetro, Mediante el uso del Osciloscopio. Universidad de Los Andes. Tutor: Pedro Omar Mora Mogollón. Enero, 2019.

Resumen

La necesidad del crecimiento académico y la versatilidad que debe tener cada ingeniero de la rama de la electricidad, lleva a la necesidad de buscar la evolución y el ver de manera diferente el procedimiento que suele realizarse en los laboratorios para el estudio de ciertas máquinas eléctricas. Las máquinas a estudiar en el presente proyecto son didácticas para ser usadas en el laboratorio de máquinas eléctricas, pero carecen de ciertos accesorios para extraer el mejor rendimiento de las mismas y se desconoce la manera de conectarlas para hacer uso de ellas y a su vez implementar prácticas de laboratorio mediante el uso del osciloscopio, que darán como resultado, un avance para la universidad, así como también el obtener de manera experimental las magnitudes eléctricas y mecánicas que ofrece cada máquina. Se habla de obtener de manera experimental las magnitudes eléctricas, porque es la metodología más idónea para palpar más de cerca aquellos fenómenos eléctricos que, en la teoría, suelen simularse con softwares matemáticos y así acercarnos a lo que realmente la máquina realiza durante su trabajo. A pesar de que realizar pruebas a los motores con conocimientos previos de la rama de máquinas eléctricas, es el conocimiento empírico el que ayuda al crecimiento experimental del estudiante y del operario de las máquinas eléctricas, recordando que este tipo de conocimiento es el que se obtiene mediante la observación atenta de un objeto o fenómeno. El logro de generar una serie de pasos para la obtención experimental de magnitudes eléctricas y así como también dibujar explícitamente un esquema de conexión y así lograr el objetivo de conocer el comportamiento de las máquinas eléctricas mediante equipos poco usados en la rama, es uno de las metas alcanzadas en el proyecto, sin olvidar la seguridad que debe siempre acompañar a cada procedimiento experimental, bien sea para el operario quien realiza las prácticas o para las máquinas y equipos propiamente dichos.

Descriptor: Practicas de Laboratorio, Maquinas de inducción o Asincrónicas, Maquinas de Corriente Continua

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1

Capitulo	pp.
1. ASPECTOS GENERALES.....	3
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Metodología.....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Limitaciones.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Motor de Inducción.....	7
2.1.1 Tipos de Rotores.....	7
2.2 Régimen Transitorio.....	9
2.3 Corriente de Arranque en Motores Eléctricos.....	9
2.4 Máquina de Corriente Continua.....	11
2.4.1 Generador de Corriente Continua.....	13
2.4.2 Motores de Corriente Continua.....	14
2.5 Motor de Repulsión.....	17
2.5.1 Posiciones de Parada.....	18
2.5.2 Posiciones de Ejecución.....	19
2.6 Electrodinamómetro de Corriente Continua o Dinamo freno.....	20
2.6.1 Rotor.....	20
2.6.2 Estator.....	20
2.7 Osciloscopio Digital.....	21
2.7.1 Área de Presentación.....	22
3. ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS MÁQUINAS.....	25
3.1 Electrodinamómetro.....	26
3.2 Motor Jaula de Ardilla.....	26

3.2.1 Como Motor.....	27
3.2.2 Como Generador.....	47
3.3 Motor de Rotor Devanado.....	50
3.3.1 Como Motor.....	50
3.4 Máquina de Corriente Continua.....	59
3.4.1 Máquina de Motor Corriente Continua Conexión Devanado Paralelo.....	60
3.4.2 Máquina de Motor Corriente Continua Conexión Devanado Serie.....	63
3.4.3 Máquina de Motor de Corriente Continua Conexión Independiente.....	65
3.4.4 Máquina de Generador de Corriente Continua Excitación Independiente....	68
3.5 Motor de Repulsión.....	70
4. PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE MÁQUINAS.....	76
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS.....	83
ANEXOS.....	84
Practica I: Motor trifásico de inducción.....	85
Practica II: Generador asíncrono.....	93
Practica III: Máquina de corriente continua como generador de excitación independiente.....	96
Practica IV: Motor de corriente continua.....	99
Practica V: Motor de repulsión.....	105

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

pp.

2.1	Esquema de un Rotor de Jaula de Ardilla.....	8
2.2	Esquema de un Rotor Bobinado	9
2.3	Corriente del régimen completo.....	10
2.4	Esquema Circuital de una Máquina de Corriente Continua operando como Generador	12
2.5	Esquemas de Montaje de la Excitación en Generadores de Corriente Continua.....	13
2.6	Esquemas de Montaje de la Excitación en Motores de Corriente Continua.....	15
2.7	Electrodinamómetro Venetta	20
2.8	Osciloscopio Digital Modelo de Dos Canales.....	21
2.9	Pantalla General del Osciloscopio.....	22
3.1	Electrodinamómetro de CC- Dinamo Freno.....	25
3.2	Motor Asíncrono Jaula de Ardilla.....	26
3.3	Motor Asíncrono Trifásico de Rotor Devanado	50
3.4	Máquina de Corriente Continua	59
3.5	Motor de Repulsión.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	pp.
3.1 Parámetros del Motor Jaula de Ardilla.....	44
3.2 Parámetros del Motor Rotor Devanado.....	56
3.3 Datos obtenidos del Motor Corriente Continua Conexión en Paralelo.....	61
3.4 Datos obtenidos del Motor Corriente Continua Conexión en Serie.....	64
3.5 Datos obtenidos del Motor Corriente Continua de Excitación Independiente.....	66
3.6 Generador de Corriente Continua Ciclo de Histéresis.....	69
3.7 Datos obtenidos para 120V y Perilla Sentido Horario.....	71
3.8 Datos obtenidos para 130V y Perilla Sentido Horario.....	71
3.9 Datos obtenidos para 140V y Perilla Sentido Horario.....	71
3.10 Datos obtenidos para 120V y Perilla Sentido Anti horario.....	72
3.11 Datos obtenidos para 130V y Perilla Sentido Anti horario.....	72
3.12 Datos obtenidos para 140V y Perilla Sentido Anti horario.....	72
4.1 Datos obtenidos del Motor Trifásico de Inducción.....	88
4.2 Datos obtenidos del Generador Asíncrono.....	94
4.3 Datos obtenidos de la Máquina de CC como Generador de Excitación Independiente.....	97
4.4 Datos obtenidos de la Máquina de Corriente Continua Conexión Paralelo.....	101
4.5 Datos obtenidos de Máquina de Corriente Continua Conexión Serie.....	101
4.6 Datos de Máquina de Corriente Continua Conexión Independiente.....	101
4.7 Datos obtenidos para 140 V y Perilla Sentido Horario.....	106
4.8 Datos obtenidos para 140 V y Perilla Sentido Antihorario.....	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico

pp.

2.1	Características de Velocidad en función de la Corriente de Armadura Motor un Motor de CC (Excitación Independiente o Shunt)	16
2.2	Características de Par en función de la Corriente de Armadura para un Motor de CC (Excitación Independiente o Shunt)	16
3.1	Señal completa del Motor Jaula de Ardilla	30
3.2	Señal Transitoria Modificada	31
3.3	Voltaje y Corriente con mejor Apreciación	32
3.4	Fluctuación de Corriente al desconectar la Fuente	33
3.5	Voltaje remanente en una de las Fases	33
3.6	Voltaje y Corriente en Vacío del Motor Jaula de Ardilla	35
3.7	Velocidad en Vacío	35
3.8	Voltaje y Corriente a 2cm	36
3.9	Velocidad a 2cm	36
3.10	Voltaje y corriente a 4 cm	37
3.11	Velocidad a 4cm	37
3.12	Voltaje y Corriente a 6cm	38
3.13	Velocidad a 6cm	38
3.14	Voltaje y Corriente a 8cm	39
3.15	Velocidad a 8cm	39
3.16	Voltaje y Corriente a 10cm	40
3.17	Velocidad a 10cm	40
3.18	Voltaje y Corriente a 12cm	41
3.19	Velocidad a 12cm	41
3.20	Voltaje y Corriente a 14cm	42
3.21	Velocidad a 14cm	42
3.22	Voltaje y Corriente a 16 cm	43
3.23	Velocidad a 16cm	43
3.24	Evolución de la Señal de Corriente en función al Aumento de Carga	44
3.25	Rendimiento vs Par (MJA)	45
3.26	Factor de Potencia vs Par (MJA)	45
3.27	Corriente vs par (MJA)	45
3.28	Velocidad vs Par (MJA)	46
3.29	Rendimiento vs Velocidad (MJA)	46
3.30	Señales de Voltaje y Corriente a Rotor Bloqueado Jaula de Ardilla	47
3.31	Voltaje y Corriente como Motor $n < n_s$	48
3.32	Disminución de la Corriente por Aumento de Velocidad $n \cong n_s$	48

3.33	Valor de Voltaje y Corriente cuando $n=ns$	48
3.34	Señales de salida cuando se supera la velocidad de sincronismo.....	48
3.35	Señal de pico máximo cuando actua como Generador $n>ns$	48
3.36	Señal Completa del Motor Rotor Devanado.....	52
3.37	Señal de corriente filtrado sin voltaje.....	53
3.38	Señal de corriente con elevacion de magnitud al apagar el motor.....	53
3.39	Instante del arranque del motor rotor devanado.....	53
3.40	Régimen completo Voltaje Remanente.....	54
3.41	Vista a detalle del voltaje remanente.....	54
3.42	Señales de voltaje y corriente en vacio.....	55
3.43	Señales de voltaje y corriente nominal.....	55
3.44	Rendimiento vs Par (MRD).....	56
3.45	Factor de potencia vs par (MRD).....	56
3.46	Corriente vs Par (MRD).....	57
3.47	Velocidad vs Par (MRD).....	57
3.48	Rendimiento vs Velocidad (MRD).....	57
3.49	Señales de voltaje y corriente a rotor bloqueado Rotor devanado.....	58
3.50	Voltaje y corriente condicion en vacio (MCCP).....	61
3.51	Voltaje y Corriente Nominal (MCCP).....	61
3.52	Par vs Velocidad (MCCP).....	62
3.53	Par vs Corriente de Armadura (MCCP).....	62
3.54	Corriente de Armadura vs Velocidad (MCCP).....	63
3.55	Voltaje y Corriente Condición en Vacío (MCCS).....	63
3.56	Voltaje y Corriente Nominal (MCCS).....	63
3.57	Par vs Velocidad (MCCS).....	64
3.58	Par vs Corriente de Armadura (MCCS).....	64
3.59	Corriente de Armadura vs Velocidad (MCCS).....	65
3.60	Voltaje y Corriente Condición en Vacío (MCCI).....	65
3.61	Voltaje y Corriente Nominal (MCCI).....	65
3.62	Par vs Velocidad (MCCI).....	67
3.63	Par vs Corriente de Armadura (MCCI).....	67
3.64	Corriente de Armadura vs Velocidad (MCCI).....	67
3.65	Voltaje Inicial de Generación (ascendente).....	68
3.66	Voltaje Máximo de Generación.....	68
3.67	Voltaje Final de Generación (descendente).....	68
3.68	Ciclo de Histéresis del Generador de CC Generación Independiente.....	69
3.69	Corriente vs Par (PSH).....	73
3.70	Velocidad vs Par (PSH).....	74
3.71	Corriente vs Velocidad (PSH).....	74
3.72	Corriente vs Par (PSAH).....	74
3.73	Velocidad vs Par (PSAH).....	75

3.74	Corriente vs Velocidad (PSAH).....	75
4.1	Frecuencia y Amplitud de Oscilación.....	89
4.2	Amplitud de la Señal.....	89
4.3	Señal Cuadrada con Ruido.....	107
4.4	Señal Promediada sin Ruido.....	108

www.bdigital.ula.ve

INTRODUCCIÓN

El proyecto a continuación tiene por objeto realizar un estudio y análisis diferente de las máquinas eléctricas rotativas que fueron adquiridas por la universidad y debido a la falta de un manual para su uso, nace la necesidad de estudiar de manera experimental cada uno de los motores, pero desde el punto de vista gráfico, cuyas imágenes son obtenidas mediante el aparato Osciloscopio.

Capitulo a capitulo se presentan conocimientos y métodos para obtener gráficos y magnitudes eléctricas que permitan el análisis y el conocimiento más a fondo de los motores eléctricos que tienen una forma de construcción didáctica para tener acceso a sus devanados y conexiones, para así poder llevar a cabo configuraciones de estos motores y observar su funcionamiento.

Se obtienen excelentes resultados a lo largo del proyecto, comenzando con conocimientos básicos de cada una de las máquinas usadas, para preparar al lector para el análisis de cada gráfico y magnitudes obtenidas, así como también obtener conocimiento de cada uno de los motores y sus configuraciones y a grandes rasgos de cómo se comporta, para poder analizar los resultados obtenidos.

Al final de todo el procedimiento de estudio y análisis de cada máquina rotativa en estudio, se tiene la capacidad de implantar y diseñar prácticas de laboratorio debido a que el estudio realizado a través del proyecto, aporta ideas para el diseño de una serie de pasos que permita lograr el análisis de máquinas rotativas que convencionalmente se encuentran en procedimientos industriales y de manufactura.

Se encuentra la versatilidad de dominar seis (6) equipos durante el proyecto, como son la Máquina Asíncrona con sus dos tipos de rotores, la Máquina de Corriente Continua, el Motor de Repulsión, el Electroindicador y el Osciloscopio como aparato de medida de las magnitudes eléctricas. La ventaja del osciloscopio digital a manejar es la calidad y las avanzadas funciones que posee el equipo, pues en él se pueden realizar una cantidad de funciones que ofrecen un abanico de posibilidades de estudio de señales eléctricas y sus características, agregando que el osciloscopio es de gama alta y facilita el análisis de las máquinas eléctricas.

Al realizar cálculos basados en la teoría de los motores eléctricos y llevar a cabo los ensayos a los motores en estudio, estos arrojan resultados incorrectos proporcionados por sus datos de placa, resultados que obligan a un estudio más detallado de las magnitudes eléctricas finales que estos motores en estudio deben arrojar.

Para resolver este problema, se usa un método analítico, en este método se distinguen los elementos de un fenómeno y se procede a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado, en nuestro caso, realizando ensayos y tomando muestras de señales eléctricas y analizando cada una de ellas de manera individual.

El resultado que se encuentra en este análisis en particular, en ocasiones tiende a ser diferente al esperado, es decir, algunas de las máquinas en estudio poseen datos de placa que facilitan los valores nominales de la máquina, pero al realizar el estudio experimental, las magnitudes son diferentes, condición que genera peligro para un usuario que no tenga conocimiento previo de los valores reales de las máquinas en cuestión.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

El presente capítulo trata de los Aspectos Generales del Proyecto, tales como el planteamiento del problema, la justificación del mismo, y los objetivos tanto generales como específicos que se esperan lograr. Así como también, se detalla la metodología empleada en el proceso de ejecución de este proyecto.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La dificultad de manejar equipos eléctricos sin manuales de usuario, es lo que impulsa al presente proyecto, pues en la adquisición de máquinas eléctricas sin una guía que permita al usuario tener más facilidad para explotar y extraer lo mejor de cada instrumento y equipo eléctrico, son razones suficientes para expandir el estudio a fondo de ciertos fenómenos eléctricos que presentan algunos equipos que se hallan en el Laboratorio de Maquinas Eléctricas de la Universidad, así como también, la ausencia de una experiencia visual de algunas señales eléctricas que suelen estudiarse en libros y simulaciones, lleva también a la necesidad de ingresar al estudio un aparato digital que permita resolver incógnitas que traen los motores en estudio durante su funcionamiento.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El Laboratorio de Máquinas Eléctricas, posee actualmente equipos que fueron adquiridos hace un tiempo considerable y que comúnmente presentan problemas a la hora de realizar las prácticas. Sin embargo, el Laboratorio cuenta con un conjunto de equipos de fabricación veneta [www.eletronicaveneta.com] formados por motores de Jaula de Ardilla, Motor CC, Motor de Repulsión, Motor de Rotor Devanado y Electrodinamómetro, los cuales, requieren ser estudiados y analizados para ser utilizados en la realización de las nuevas prácticas.

Debido a esto, este proyecto pretende generar los manuales de usuario de dichos equipos así como también crear las prácticas de laboratorio, para las materias Máquinas Eléctricas I y II, adaptadas a medidas y observaciones de características de operación mediante el Osciloscopio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Implementar prácticas de laboratorio con motor de jaula de ardilla, motor cc, motor de repulsión, motor de rotor devanado y electrodinamómetro, mediante el uso del osciloscopio.

1.3.2 Objetivos específicos

- Implementar prácticas de laboratorio con motor de jaula de ardilla, motor cc, motor de repulsión, motor de rotor devanado y electrodinamómetro, mediante el uso del osciloscopio.
- Implementar el manual de usuario
- Implementar prácticas de laboratorio

1.4 METODOLOGÍA

El método experimental es la mejor opción como investigación científica para la elaboración de prácticas de laboratorio, se escoge tal método para lograr extraer de las máquinas rotativas a estudiar, los parámetros que se deben obtener de los motores para conocer el comportamiento de dichas máquinas. El experimento es el método empírico de estudio de un objeto, en el cual el investigador crea las condiciones necesarias o adecua las existentes, para el esclarecimiento de las propiedades y relaciones de objeto que son de utilidad en la investigación, y debido a ello, es la que mejor ofrece resultados para el presente proyecto

1.5 ALCANCE

- Este proyecto pretende reunir todos los elementos necesarios para el diseño de prácticas del laboratorio con el uso del osciloscopio, y de esta manera implantar un método diferente y más exacto para el estudio y análisis de las máquinas rotativas.
- Al lograr extraer de las máquinas rotativas las magnitudes eléctricas que estos ofrecen a su salida, se logra una ventaja considerable en cuanto a lo práctico se refiere, solo

usando un aparato de medida que permita captar fenómenos eléctricos y dar una mejor versatilidad al momento de realizar las prácticas y lograr resultados que economizan tiempo y magnifican la observación exacta de magnitudes eléctricas.

- Con la versatilidad que ofrece el aparato osciloscopio, se pueden observar algunos fenómenos que solo podían intuirse con la ecuación matemática de las máquinas, ahora en este proyecto se observa cómo pueden obtenerse señales eléctricas de manera instantánea en tan poco tiempo, sin la necesidad de usar un software para observar las señales.

1.6 LIMITACIONES

- El no contar con un banco de trabajo idóneo para la ubicación de las máquinas eléctricas, es una limitante importante a la hora de realizar ciertas conexiones, debido a que la mesa metálica usada para los montajes y pruebas experimentales que provocaba el riesgo de alguna descarga eléctrica si un conductor energizado rozaba su extremo con la misma.
- El suministro de energía confiable, seguro y de calidad, es una limitante que está presente en las redes eléctricas hoy día, provocando atraso y errores en medidas tomadas de los motores eléctricos.
- Para el estudio exacto de los motores eléctricos es necesario una serie de accesorios, como lo son resistencias y condensadores que se deben conectar a los motores para algunas aplicaciones en específico, hoy día no se cuenta con los accesorios que permitan realizar dichos experimentos, limitando el estudio completo de cada una de las máquinas.
- Las máquinas de corriente continua tienen especificaciones técnicas de funcionar a 220 VDC, lo que obliga al usuario a contar con más de una fuente de corriente continua de esa magnitud, siendo su construcción una limitante que trae consigo cargos de dinero y tiempo.
- Se realizan mediciones de velocidad rotórica de uno de los motores con un fototacómetro y un disco ranurado, estos son aplicados al motor jaula de ardilla, debido a la falta de este mismo material y equipo para ser aplicado a las demás máquinas

rotativas, es limitante medir las rpm de la misma manera para cada motor y por ende, se realizan con un tacómetro digital convencional.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

Los motores eléctricos son las máquinas más comúnmente utilizadas en la industria, en gran parte, gracias a su robustez, facilidad de mantenimiento y su reducido coste de fabricación. Esta clase representa aproximadamente 80% de los motores eléctricos industriales, estando en cabeza en cuanto a consumidores de energía eléctrica cuando nos referimos a industria.

2.1 MOTOR DE INDUCCIÓN

El motor Asíncrono o de Inducción como generalmente es designado, recibe una sola alimentación de energía en el estator de la máquina, esto lo diferencia de los demás tipos de motores AC y CC. Desde este punto de vista, podría ser considerado como un motor de excitación única, no obstante, debe indicarse que en su rotor se induce una tensión de AC de frecuencia variable, en forma similar al efecto de inducción magnética que presenta el secundario del transformador, esta acción transformadora presenta al motor de inducción como una máquina de excitación doble, una en el estator producto de la fuente de alimentación, otra en el rotor a través de tensiones inducidas en el mismo. Los motores de inducción pueden ser monofásicos o polifásicos, su diseño depende de la tensión de alimentación y de la potencia a desarrollar. [1]

2.1.1 Tipos de rotores

Existen dos tipos de motores de inducción: jaula de ardilla y rotor devanado.

La diferencia entre una Jaula de Ardilla y un Rotor Devanado se encuentra en el rotor. En el rotor de jaula de ardilla los conductores son barras encajadas en un núcleo magnético, igualmente separadas, ubicadas hacia la periferia del rotor y cortocircuitadas por dos anillos terminales (Figura 2.1 “Esquema de un Rotor de Jaula de Ardilla”), el número de polos del rotor de jaula es siempre igual al número de polos con que funciona el estator.

Las barras se disponen formando cierto ángulo con la longitud axial del estator, con el fin de producir un par más uniforme y reducir las vibraciones durante el funcionamiento del motor.[2]

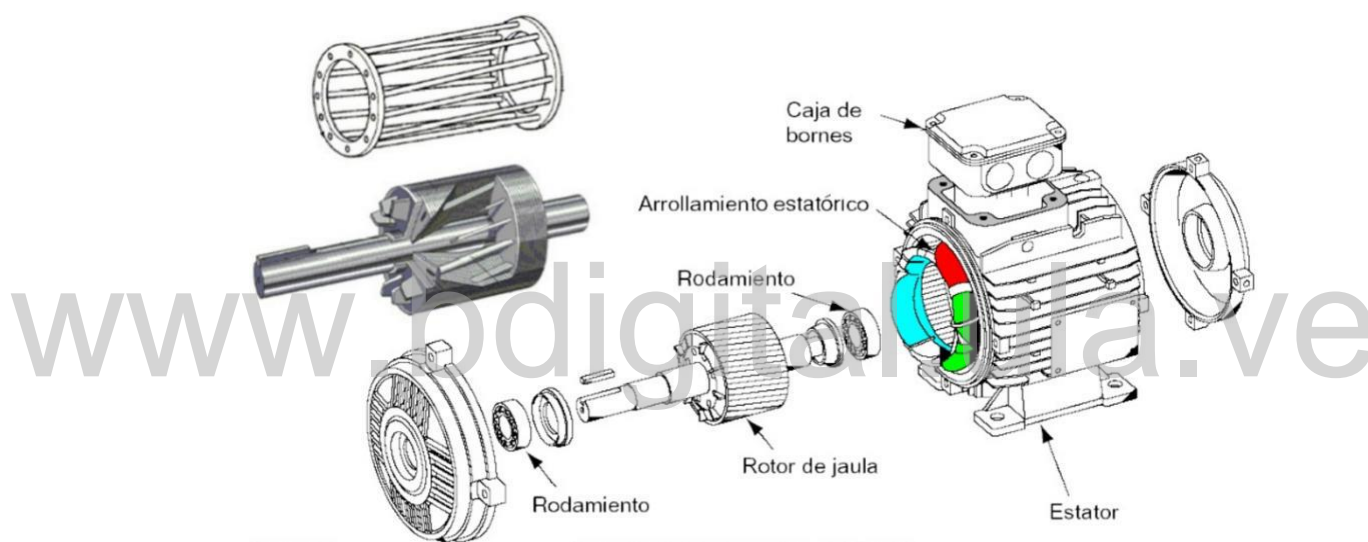


Figura 2.1 Esquema de un rotor jaula de ardilla [Granados, R., 2017]

El rotor devanado o bobinado, también denominado de anillos, está provisto de un devanado similar al del estator y deberá estar diseñado para un número de polos igual al número de polos del estator. Además, puede estar diseñado para tensiones diferentes, sin que cambien con ello, las características propias del motor. De igual manera puede variar el número de fases en el rotor.

2.2 RÉGIMEN TRANSITORIO

El motor eléctrico posee dos comportamientos diferentes. Primero sucede en el arranque (durante el régimen transitorio) y el otro en el estado estable (durante el régimen permanente). Como es lógico, las características de ambos estados no son iguales. En el régimen transitorio,

no se puede pasar de una forma de energía a otra de manera instantánea y la energía total del sistema formado por la máquina y el motor, no puede variar de forma brusca. Debido a esto, un “Transitorio Eléctrico” se define como un convertidor electromecánico cuando la energía cambia temporal y rápidamente y solo se almacena en sus campos eléctricos y magnéticos, observando la energía cinética constante. En cambio, si la variación de energía posee una alteración permanente o temporal de la energía cinética, se define el fenómeno como un “Transitorio Dinámico”.

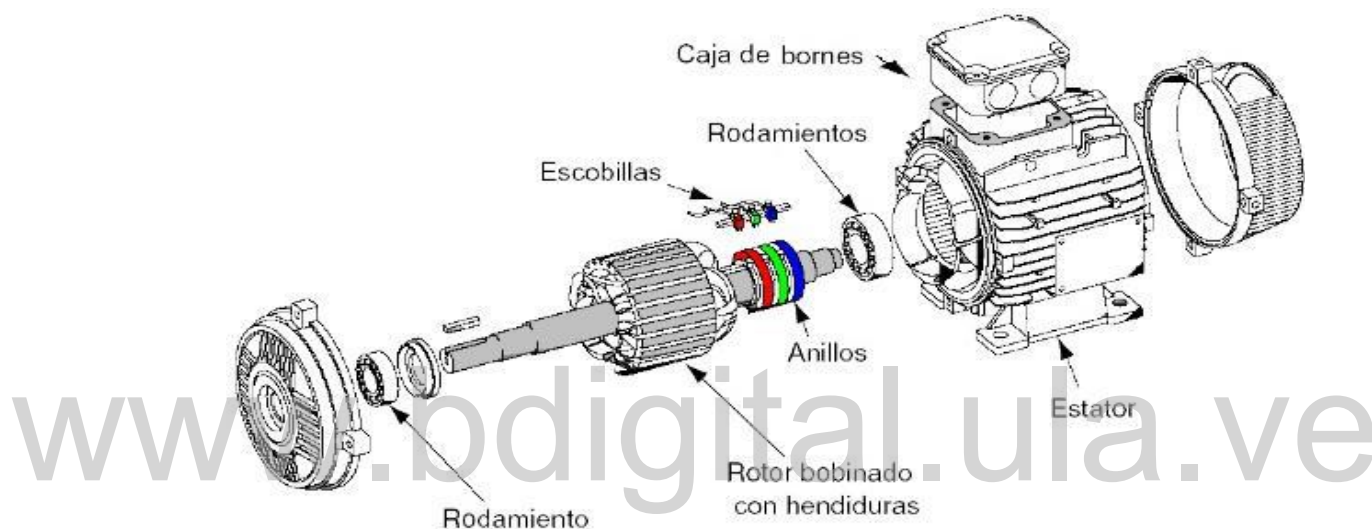


Figura 2.2 Esquema de rotor bobinado [Granados, R., 2017]

2.3 CORRIENTE DE ARRANQUE EN MOTORES ELÉCTRICOS

El proceso de poner en marcha el motor se conoce como el Arranque. Para que esto sea posible, es necesario que el par (torque) de arranque sea superior al par resistente de la carga, de esta forma el motor acelera hasta la condición permanente. El tiempo que demora este proceso varía desde los milisegundos, hasta los minutos, esto depende de la dinámica de la carga.

Por ejemplo, hay máquinas centrifugas que tardan hasta 10-15 minutos en alcanzar la velocidad nominal.

El proceso de arranque se acompaña de un consumo de corriente muy elevado, que es el motor durante la operación del motor. Lo anterior, se debe a que en el momento del arranque, el campo magnético rotatorio empieza a girar a la velocidad sincrónica, y el rotor aún está detenido, y es el momento de mayor tensión inducida en las barras del rotor. Además, la resistencia de carga es el valor más bajo, prácticamente es un corto circuito, ya que el deslizamiento tiene un valor de 1. Con estas dos condiciones se produce la corriente elevada de arranque. La Figura 2.3 “Corrientes del régimen completo” muestra el comportamiento típico de la corriente en un motor de Inducción.[3]

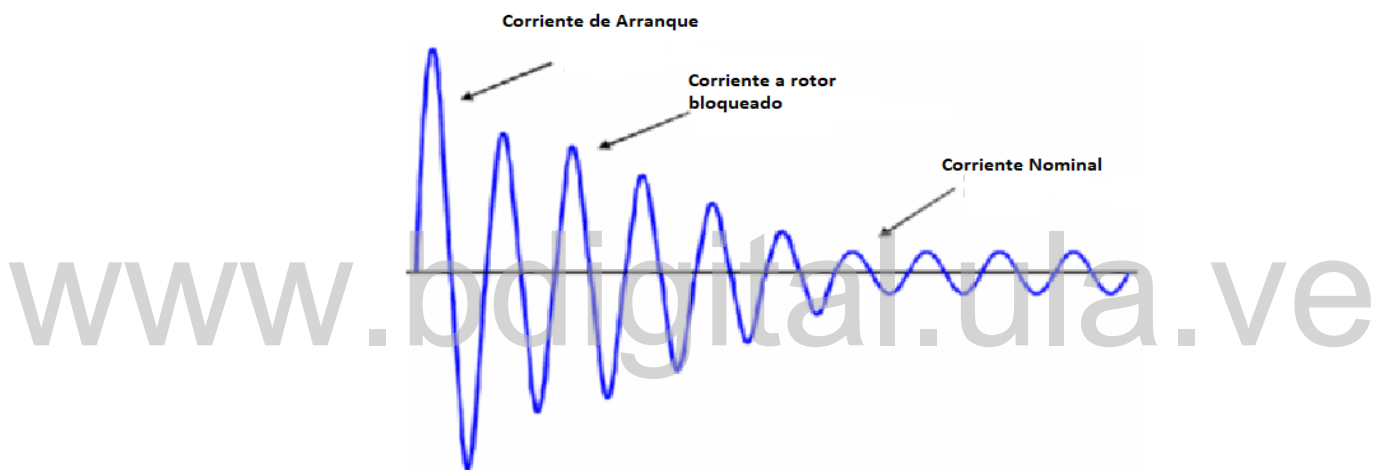


Figura 2.3 Corrientes del régimen completo[motortico.2013]

El par interno o par electromagnético desarrollado por el motor de inducción vendrá dado por la relación entre la potencia desarrollada en watts y la velocidad angular de su eje (ω) en rad/s

$$T_{em} = \frac{PD}{\omega} \quad [\text{newton} - \text{m}] \quad (2.1)$$

Donde:

PD = Potencia desarrollada (watt) (potencia eléctrica transformada en mecánica)

ω = velocidad angular rotórica (rad/s)

Velocidad angular rotórico en función de la velocidad angular sincrónico y el deslizamiento:

$$\omega = \omega_s(1 - S) \text{ rad/s} \quad (2.2)$$

Expresión del par electromagnético en función de la potencia desarrollada:

$$T_{em} = \frac{PT}{\omega_s} \quad (2.3)$$

Si se desea expresar el par en función de la velocidad sincrónica en rpm será necesario reemplazar ω_s por $2\pi * n_s / 60$ R.P.M.

$$T_{em} = \frac{PT}{\frac{2\pi * n_s}{60}} \quad (2.4)$$

Es común expresar la potencia de salida de un motor en horse power (1 hp= 746 watts) y el par en Kg-m (1Kg-m = 9.81 N-m), en este caso:[1]

$$TC = \frac{746 * HP}{9.81 * \frac{2\pi * n}{60}} = \frac{746 * HP}{1.027 * n} \text{ Kg-m} \quad (2.5)$$

2.4 MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA

Una máquina de corriente continua es una máquina reversible, es decir funciona como generador y como motor dependiendo de qué configuración se necesite. Está constituida:

Principio de funcionamiento. En el momento en que se hace girar una espira dentro de un campo magnético, aparecerá una corriente inducida en esa espira. Esta corriente será siempre positiva. Cuando gira la espira bajo la acción del campo magnético creado por el estator habrá unas posiciones donde la FEM inducida recojan los escombrillos, será máxima y otras donde será mínima.[4]

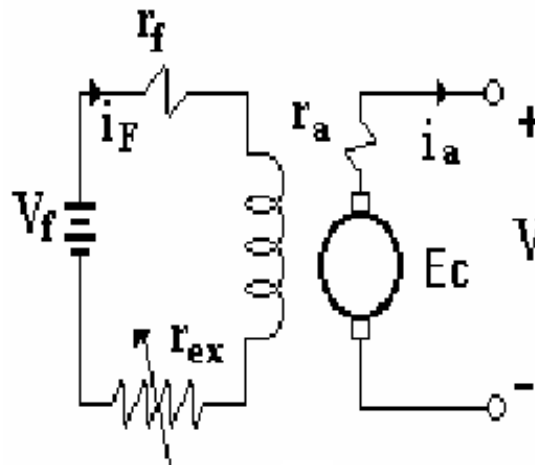


Figura 2.4 Esquema circuital de una máquina de corriente continua operando como generador [Mora, P.]

r_f = Resistencia del devanado de excitación en paralelo

r_{ex} = Reóstato de control de campo

r_a = Resistencia de armadura

V_f = Voltaje suministrado al campo

i_F = Corriente de excitación

i_a = Corriente de armadura

V = Voltaje producido como generador o voltaje suministrado como motor

Regulación de tensión. En los generadores se utiliza reóstatos intercalados en serie con los bobinados inductores. Al disminuir la resistencia del mismo, la intensidad que circula por el bobinado inductor aumenta, incrementando también el flujo magnético. El reóstato debe permanecer al máximo al parar o iniciar la puesta en marcha del dinamo.[4]

2.4.1 Generador de corriente continua

Existen diferentes configuraciones para aplicar a la máquina de corriente continua cuando funciona como generador, arrojando resultados diferentes de acuerdo a cada conexión, así

como también estas mismas conexiones se usan para la máquina como motor, a continuación, se nombran algunas.[4]

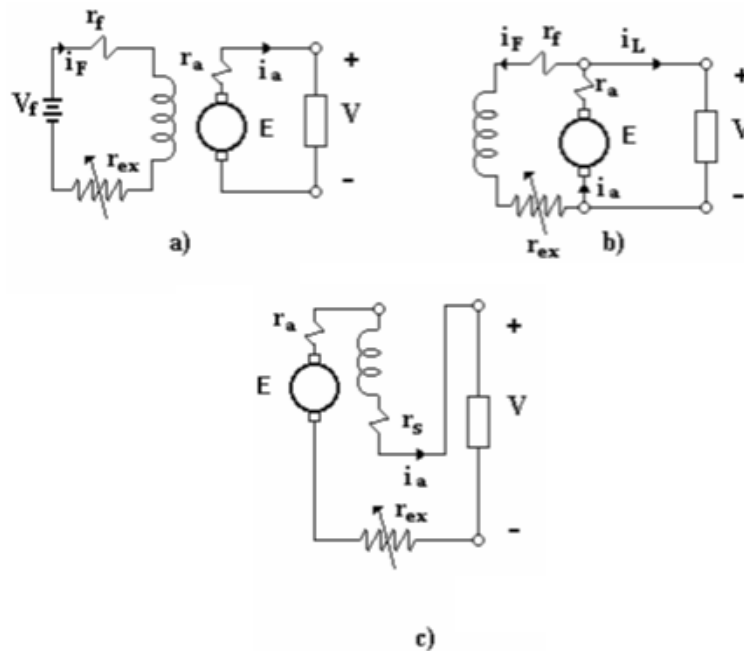


Figura 2.5 Esquemas de montaje de la excitación en generadores de corriente continua

[Mora, P.]

donde:

- a) Generador de excitación independiente
- b) Generador de excitación shunt
- c) Generador de excitación serie

2.4.2 Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua son máquinas eléctricas idénticas a un generador de corriente continua, la diferencia estriba en el uso al cual está destinada, en este caso transforman energía eléctrica en mecánica. Es conveniente señalar que en algunas aplicaciones estas máquinas funcionan alternativamente como motores CC ó como generadores CC. Los motores de CC, se clasifican de acuerdo a la conexión de su excitación.

En forma similar a los Generadores CC. los Motores CC. se clasifican en 4 tipos de acuerdo al montaje de su excitación a saber:

- a) Motores de excitación independiente
- b) Motores shunt o paralelo
- c) Motores serie

En cuanto a su aplicación los devanados de campo cumplen la misma función específica, la cual consiste en elaborar la fuerza magneto motriz necesaria para producir el par requerido por la máquina, sin embargo, difieren en el diseño según sea su montaje serie o paralelo.

Los devanados de campo de máquinas con excitación en paralelo se construyen de hilo fino compuesto por un gran número de espiras arrolladas sobre cada polo y conectadas en serie de forma tal que se formen polos consecutivos de polaridad opuesta.

Los devanados de campo de máquinas con excitación serie se construyen con pocas espiras y gran sección por las que circula la corriente de armadura, la cual es de magnitud significativa, van colocadas sobre cada polo y unidas entre sí de manera similar al caso anterior [1]

a) Motor de excitación independiente. Este motor es utilizado en montajes donde se desea tener control separado del campo inductor y de la armadura. La principal ventaja de este tipo de motor es que presenta una excelente regulación de velocidad.

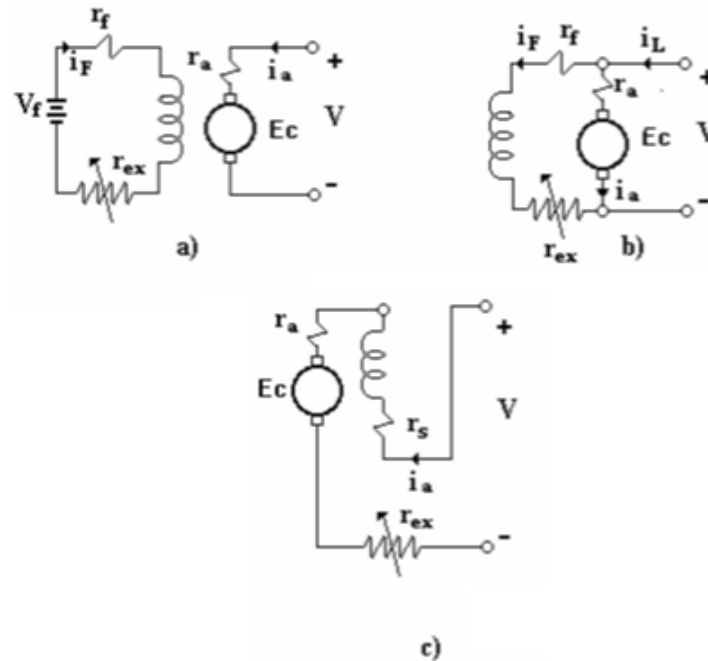


Figura 2.6 Esquemas de montaje de la excitación de motores de corriente continua [Mora, P.1995]

Obsérvese que, si el motor se encuentra en funcionamiento y se abre su circuito de campo, el motor adquiere velocidades excesivas, precaución que debe tomarse en la desconexión del motor de la red. (No debe abrirse en ningún momento el circuito de excitación mientras se encuentre en funcionamiento).

Adicionalmente puede observarse que la variación de velocidad puede lograrse modificando la tensión de entrada al motor o modificando la excitación de la máquina, obteniéndose así velocidades superiores o inferiores a su velocidad de régimen. No obstante, debe mencionarse que los motores CC que no están diseñados específicamente para operar sobre su velocidad nominal no deberían operar con control de campo para esta condición,

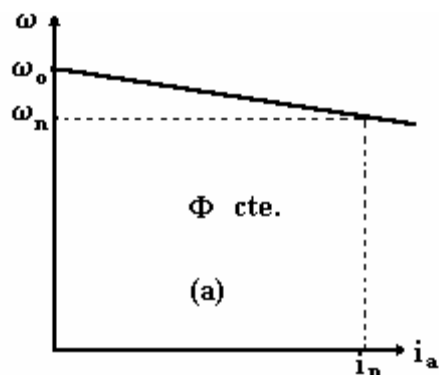


Gráfico 2.1 Características de velocidad en función de la corriente de armadura para motor CC (excitación independiente o shunt) [Mora, P.1995]

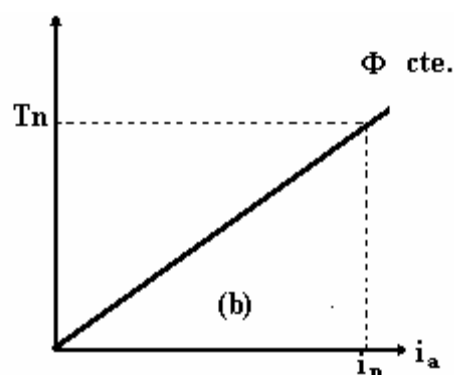


Gráfico 2.2 Características de par en función de la corriente de armadura para un motor CC (excitación independiente o shunt) [Mora, P.1995]

b) Motor de Excitación Shunt o Paralelo. El motor Shunt o motor de Excitación en Paralelo es un motor eléctrico de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar.[4]

Al igual que en las dinamos shunt, las bobinas principales están constituidas por muchas espiras y con hilo de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande. [4]

En el instante del arranque, el par motor que se desarrolla es menor que en el motor serie (también uno de los componentes del motor de corriente continua). Al disminuir la intensidad absorbida, el régimen de giro apenas sufre variación.

Es el tipo de motor de corriente continua cuya velocidad no disminuye más que ligeramente cuando el par aumenta. Los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades (por medio del control del campo).

El motor en derivación se utiliza en aplicaciones de velocidad constante, como en los accionamientos para los generadores de corriente continua en los grupos moto generadores de corriente continua.

c) Motor de excitación serie. El motor serie o motores de excitación en serie, es un tipo de motor eléctrico de corriente continua en el cual el inducido y el devanado inductor o de excitación van conectados en serie, El voltaje aplicado es constante, mientras que el campo de excitación aumenta con la carga, puesto que la corriente es la misma corriente de excitación. El flujo aumenta en proporción a la corriente en la armadura, como el flujo crece con la carga, la velocidad cae a medida que aumenta esa carga.[4]

Las principales características de este motor son:

- Se embala cuando funciona en vacío, debido a que la velocidad de un motor de corriente continua aumenta al disminuir el flujo inductor y, en el motor serie, este disminuye al aumentar la velocidad, puesto que la intensidad en el inductor es la misma que en el inducido.
- La potencia es casi constante a cualquier velocidad.
- Le afectan poco las variaciones bruscas de la tensión de alimentación, ya que un aumento de esta provoca un aumento de la intensidad y, por lo tanto, del flujo y de la fuerza contra electromotriz, estabilizándose la intensidad absorbida.[4]

2.5 MOTOR DE REPULSIÓN

Un motor de repulsión es un tipo de motor eléctrico para usar en corriente alterna. Anteriormente se usaba como motor de tracción para en trenes pero ha sido reemplazado por otros tipos de motores. El motor de repulsión pertenece a los tipos de motores de inducción monofásicos [2]. En los motores de repulsión, los devanados del estator están conectados directamente a la fuente de alimentación de CA y el rotor está conectado a un conjunto de conmutador y cepillo, similar al de un motor de corriente continua.[5]

El motor tiene un estator y un rotor, pero no hay conexión eléctrica entre los dos y la corriente del rotor se genera por inducción . El devanado del rotor está conectado a un conmutador que

está en contacto con un par de cepillos cortocircuitados que se pueden mover para cambiar su posición angular con respecto a una línea imaginaria trazada a través del eje del estator. El motor puede arrancarse, pararse y revertirse, y la velocidad puede variarse simplemente cambiando la posición angular de los cepillos.

Los motores de repulsión se basan en el principio de repulsión entre dos campos magnéticos. Considere un motor polo saliente de 2 polos con un eje magnético vertical. La armadura está conectada a un conmutador y cepillos. Los cepillos se cortocircuitan utilizando un puente de baja resistencia. Cuando se suministra corriente alterna al devanado de campo (estator), se induce una fuerza electromotriz (fem) en la armadura. La dirección de la corriente alterna es tal que crea un polo norte en la parte superior y un polo sur en la parte inferior. La dirección de la fem inducida está dada por la ley de Lenz. Según la cual la dirección de la fem inducida se opone a la causa que la produce. La fem inducida induce corriente en los conductores de la armadura y la dirección de la corriente inducida depende de la posición de los cepillos.[5]

2.5.1 Posiciones de parada.

a) Pincel eje paralelo al campo. Si el eje del cepillo está a lo largo de la dirección del campo magnético, la armadura se comporta como un electroimán y se forma un polo N directamente debajo del polo N del estator y un polo S se forma directamente sobre el polo S del estator. El par neto en esta condición es cero. Ambos polos N se repelen entre sí y ambos polos S se repelen entre sí. Las dos fuerzas de repulsión están en oposición directa entre sí y, por lo tanto, no se desarrollará ningún par. Este es un proceso muy rápido en este motor de repulsión.

b) Cepillo del eje en ángulo recto al campo. Si los cepillos se desplazan 90 grados, de modo que el eje magnético es perpendicular al eje del cepillo, las bobinas que experimentan un cortocircuito cambian. Aparte de las bobinas que experimentan cortocircuito, la tensión inducida en las otras bobinas entre los terminales del cepillo se neutraliza y la tensión neta es cero. Como no hay una fuerza electromotriz inducida, no hay corriente en el circuito y el par neto desarrollado es, nuevamente, cero.[5]

2.5.2 Posiciones de ejecución

Si el eje del cepillo se desplaza en ángulo con respecto al eje magnético, se induce una tensión neta en los terminales del cepillo que producirá corriente en la armadura. La corriente en el circuito de la armadura producirá su propio campo magnético, con los polos Norte y Sur, pero en esta condición, el Polo Norte no está directamente debajo del Polo Norte del eje magnético y el Polo Sur no está directamente sobre el Polo Sur de El eje magnético. Los polos de la armadura están ligeramente desplazados de los del estator. En esta condición, el polo N del campo del estator repelerá el polo N del campo del rotor y el polo S del campo del estator repelerá el polo S del campo del rotor, por lo que el rotor comienza a girar.

a) Dirección de rotación. La dirección de rotación está determinada por la posición de los cepillos con respecto al campo magnético del estator. Si los cepillos se desplazan en el sentido de las agujas del reloj desde el eje magnético principal, el motor girará en el sentido de las agujas del reloj. Si los cepillos se desplazan en sentido contrario a las agujas del reloj desde el eje magnético principal, el motor girará en sentido contrario a las agujas del reloj.

b) Control de par y velocidad. El par de arranque de un motor de repulsión está determinado por el ángulo de desplazamiento del cepillo desde el eje magnético principal. El par máximo se obtiene a partir de un cambio de cepillo de 45 grados. El cambio de cepillo también se puede usar para controlar la velocidad de un motor de repulsión.[5]

2.6 ELECTRODINAMÓMETRO DE CORRIENTE CONTINUA O DINAMOFRENO

Esta máquina no difiere mucho del generador de corriente continua, excepto en que toda la estructura del estator no está fija y puede oscilar hacia la derecha o hacia la izquierda un cierto ángulo mediante dos soportes con cojinete. Se puede observar que el lado de generador está equipado de un cárter de protección del sistema conmutador/porta-carbones, al quitarlo se puede examinar la construcción mecánica y eléctrica interna de la máquina.

La estructura interna se puede dividir básicamente en dos partes:

2.6.1 Rotor

- Bobinado de armadura
- Colector de delgas o conmutador
- Delgas del colector

2.6.2 Estator

- Polos
 - Bobinado de excitación
 - Carbones y sistema de porta-carbones
- a) *El bobinado de armadura.* Está constituido por espiras que están conectadas a las delgas del colector.
- b) *El circuito de excitación.* Está constituido por un bobinado diferente que se inicia en “C” y termina en “B”, el número de espiras es superior al de la armadura pero posee una sección inferior.
- c) *El circuito porta-carbones.* Está fijo en una posición denominada neutra marcada con una referencia colorada.
- d) *Los carbones.* Pueden ser colocados en el colector aflojando un tornillo que permite la rotación de éste en ambos sentidos.

La máquina se muestra a continuación, en la siguiente figura:

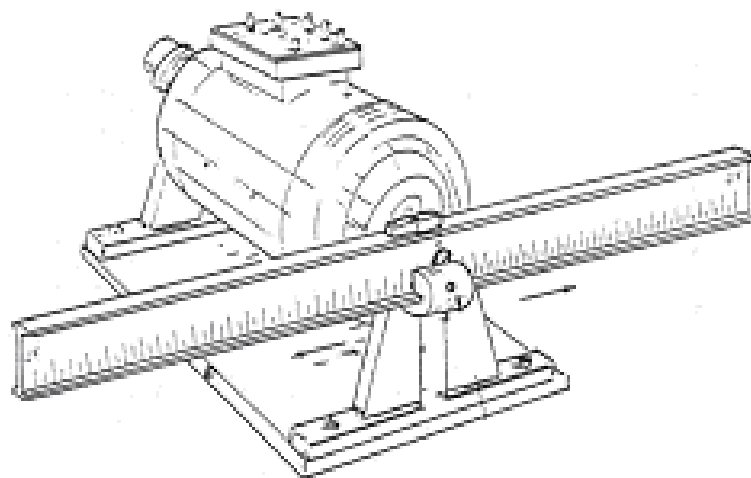


Figura 2.7 Electrodinamómetro Venetta

2.7 OSCILOSCOPIO DIGITAL

En la actualidad los osciloscopios analógicos están siendo desplazados en gran medida por los osciloscopios digitales, entre otras razones por la facilidad de poder transferir las medidas a una computadora personal o pantalla LCD. En el osciloscopio digital la señal es previamente digitalizada por un conversor analógico digital. Al depender la fiabilidad de la visualización de la calidad de este componente, esta debe ser cuidada al máximo. [6]



Figura 2.8 Osciloscopio digital modelo de dos canales [Tektronix, 2003]

Las características y procedimientos señalados para los osciloscopios analógicos son aplicables a los digitales. Sin embargo, en estos se tienen posibilidades adicionales, tales como el disparo anticipado (*pre-triggering*) para la visualización de eventos de corta duración, o la memorización del oscilograma transfiriendo los datos a un PC. Esto permite comparar medidas realizadas en el mismo punto de un circuito o elemento. Existen asimismo equipos que combinan etapas analógicas y digitales. La principal característica de un osciloscopio digital es la frecuencia de muestreo, la misma determinará el ancho de banda máximo que puede medir el instrumento, viene expresada generalmente en MS/s (millones de muestra por segundo).

La mayoría de los osciloscopios digitales en la actualidad están basados en control por FPGA (del inglés Field Programmable Gate Array), el cual es el elemento controlador del conversor analógico a digital de alta velocidad del aparato y demás circuitería interna, como memoria, buffers, entre otros. Estos osciloscopios añaden prestaciones y facilidades al usuario imposibles de obtener con circuitería analógica, como los siguientes: [6]

FPGA, el cual es el elemento controlador del convertor analógico al digital de alta velocidad del aparato y demás circuitería interna, como memoria, buffers, entre otros.

Estos osciloscopios añaden prestaciones y facilidades al usuario imposibles de obtener con circuitería analógica, como los siguientes:

- Medida automática de valores de pico, máximos y mínimos de señal. Verdadero valor eficaz.
- Medida de flancos de la señal y otros intervalos.
- Captura de transitorios.
- Cálculos avanzados, como la FFT para calcular el espectro de la señal. También sirve para medir señales de tensión.

El panel frontal se divide en áreas de funciones de fácil manejo. A continuación, se ofrece una rápida introducción a los controles y a la información que se muestra en pantalla.[6]

2.7.1 Área de presentación

Además de mostrar formas de onda, en la pantalla abundan detalles sobre los valores de control de la forma de onda y el osciloscopio.

Además de mostrar formas de onda, en la pantalla abundan detalles sobre los valores de control de la forma de onda y el osciloscopio.

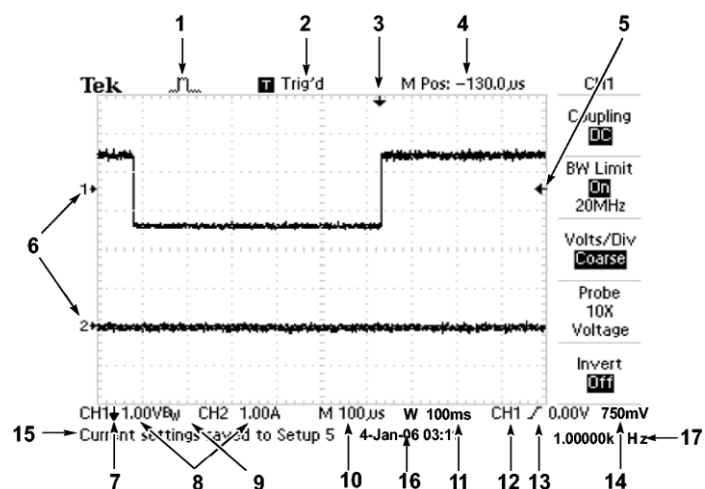


Figura 2.9 Pantalla general del osciloscopio [Tektronix, 2003]

1. Icono que muestra el modo de adquisición



Muestra, modo



Modo de detección de picos



Modo promediado

2. Estado de Disparo que indica lo siguiente:

 Armed.

El osciloscopio adquiere datos de pre disparo. En este estado se hace caso omiso de todos los disparos

 Ready.

Se han adquirido todos los datos de pre disparo y el osciloscopio está preparado para aceptar un disparo

 Trig'd.

El osciloscopio ha enviado un disparo y está adquiriendo los datos pos disparo

 Stop.

El osciloscopio ha interrumpido la adquisición de datos de forma de onda

 Acq. Complete

El osciloscopio ha completado una adquisición de secuencia única

 Auto.

El osciloscopio se encuentra en modo de disparo automático y adquiere formas de onda en ausencia de disparos

 Scan.

El osciloscopio adquiere y presenta datos de forma de onda continuamente en modo de exploración

1. Marcador que muestra la posición de disparo horizontal. Gire el mando


Horizontal - Posición para ajustar la posición del marcador


2. La lectura muestra el tiempo en la retícula central. El tiempo de disparo es cero


5. Marcador que muestra el nivel de disparo por flanco o por ancho de pulso.

6. Marcadores de pantalla que muestran los puntos de referencia a tierra de las formas de onda mostradas. Si no hay ningún marcador, no se muestra el canal.


7. Un icono de flecha indica que la forma de onda está invertida.
8. Lecturas que muestran los factores de escala vertical de los canales.
9. Un icono BW indica que el canal tiene un ancho de banda limitado.
10. Lectura que muestra el ajuste de la base de tiempos principal.
11. Lectura que muestra el ajuste de la base de tiempos de ventana si se utiliza.
12. Lectura que muestra la fuente utilizada para el disparo.
13. Icono que muestra el tipo de disparo seleccionado de la manera siguiente:


 Disparo por flanco para el flanco ascendente.

 Disparo por flanco para el flanco de bajada.

 Disparo por vídeo para sincronismo de línea.

 Disparo por vídeo para sincronismo de campo.

 Disparo por ancho de pulso, polaridad positiva.

 Disparo por ancho de pulso, polaridad negativa.

14. Lectura que muestra el nivel de disparo por flanco o por ancho de pulso.
15. El área de presentación muestra mensajes útiles; algunos se muestran en pantalla durante sólo tres segundos.
Si recupera una forma de onda guardada, la lectura muestra información sobre la forma de onda de referencia, como RefA 1,00 V 500 μ s.
16. Lectura que muestra la fecha y la hora.
17. Lectura que muestra la frecuencia de disparo.[6]

CAPITULO 3

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS MÁQUINAS

En el presente capítulo se describen los datos adquiridos de los motores, electrodinamómetro y el estudio realizado a los mismos mediante el uso del osciloscopio y equipos de medida analógicos.

3.1 ELECTRODINAMÓMETRO

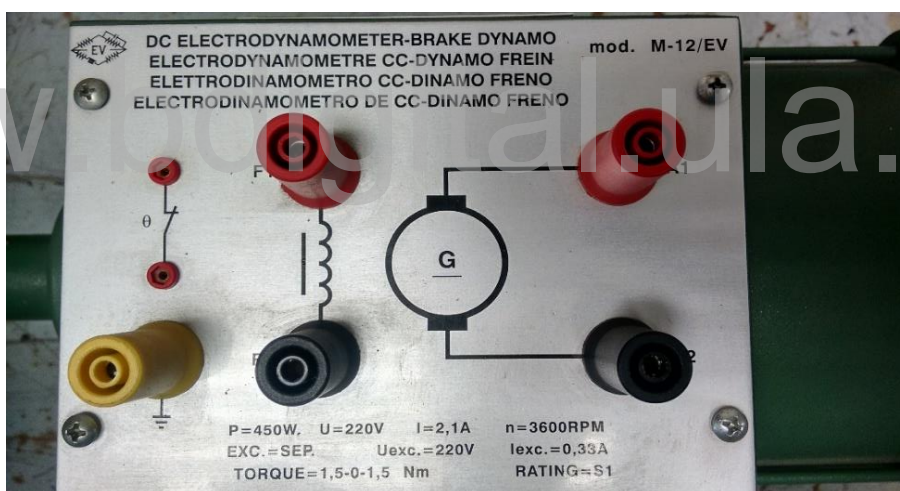


Figura 3.1 Electrodinamómetro CC dinamo-freno [Ortiz.C 2018]

La máquina dinamo freno de corriente continua, usada para colocar carga a los motores, tiene la particularidad de poder conectarse como motor de corriente continua de excitación independiente, mostrando en su placa, los valores nominales para extraer tal provecho de la máquina.

Datos de placa

$P = 450 \text{ W}$
 $U = 220 \text{ VDC}$
 $U_{exc} = 220 \text{ VDC}$
 $I = 2,1 \text{ A}$
 $I_{exc} = 0,33 \text{ A}$
 $n = 3600 \text{ RPM}$
 $\text{RATING} = \text{S1}$

3.2 MOTOR JAULA DE ARDILLA (MJA)



Figura 3.2 Motor asíncrono jaula de ardilla [Ortiz, C., 2018]

Datos de placa

$P = 500 \text{ W}$
 $U = 220 \text{ Y} / 127 \Delta$
 $I = 2,7 / 4,7 \text{ A}$
 $n = 3500 \text{ RPM}$
 $f = 60 \text{ Hz}$
 $p = 2$
 $\text{RATING} = \text{S1}$

3.2.1 Como motor

Generalmente los motores de inducción suelen traer en su placa los datos de su potencia en caballos de fuerza (hp), representando la potencia mecánica de salida del motor. Este en específico, tiene consigo la potencia en vatios (watt), valor que será transformado en hp para facilitar la familiarización con el mismo y también para mejorar el cálculo de sus valores nominales, necesarios para intuir los resultados que arrojarán los aparatos de medida en el momento de ensayos experimentales.

El motor Jaula de Ardilla en estudio, posee dos opciones de conexión, Delta o Estrella dependiendo del sistema de distribución con el cual se cuente; en nuestro caso, se dispone de un sistema de distribución 208 Y / 120 Δ y por ende, solo puede conectarse en estrella para un arranque a plena tensión, pues de conectarlo en delta, los devanados recibirían el voltaje de línea de la red y no soportarían tal tensión ocasionando la destrucción del devanado del motor.

La corriente presente en la placa es la respectiva entre conexión estrella y delta, recordando que en un sistema en delta, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces la corriente de fase, dato importante para tomar como patrón y valor nominal al momento de realizar ensayos y pruebas a la máquina asíncrona y no exceder la misma.

La velocidad nominal rotórica de 3500 RPM (revoluciones por minuto) se presenta en el motor en el momento en que se conecta a su eje una carga nominal, dato importante para calcular el deslizamiento, recordando que es la relación entre la velocidad del c.m.g (campo magnético giratorio) y la velocidad rotórica del motor.

A 60 hz es la Frecuencia a la que esta jaula de ardilla trabaja con sus valores nominales y a las cuales presenta en su estator el campo magnético giratorio máximo.

El siguiente valor es el número de polos, cuyo dato es inversamente proporcional a la velocidad de giro del c.m.g., entre más polos tenga el motor, más lento girará el rotor debido una velocidad estatórica menor.

Rating S1 servicio del tipo permanente o carga constante (potencia nominal), cuya duración es suficiente para alcanzar el estado de equilibrio térmico del motor.

Cálculos.

Potencia en hp:

Recordando que el caballo de fuerza tiene su equivalente en vatios, es posible conocer la potencia de salida del motor en hp:

$$1\text{HP} \dots\dots\dots 746 \text{ watt}$$

$$\text{HP} = \frac{500 \text{ w} * 1\text{HP}}{746 \text{ w}} \cong \frac{2}{3} \text{ HP}$$

Velocidad del campo magnético giratorio presente en el estator:

$$n_s = \frac{120 * f}{p}$$

$$n_s = \frac{120 * 60}{2} = 3600 \text{ rpm}$$

Velocidad dedeslizamiento:

$$n_d = n_s - n$$

$$n_d = 3600 - 3500 = 100 \text{ rpm}$$

Deslizamiento:

$$S (\%) = \frac{n_s - n}{n_s} * 100$$

$$S (\%) = \frac{3600 - 3500}{3600} * 100 = 2.77\%$$

Una vez conocida la velocidad rotórica del motor y también la potencia en hp a su salida, es posible conocer el par útil que la máquina ofrece.

$$TC = \frac{746w * HP}{1.027 * n}$$

$$TC = \frac{746 * 2/3}{1.027 * 3500} = 0.1383 \text{ kg} - \text{m}$$

$$TC = 13,83 \text{ kg} - \text{cm}$$

Este par electromagnético es el que ofrece el motor a su salida, tomando en cuenta que no están incluidas las pérdidas mecánicas o por roce que la máquina pueda presentar durante su funcionamiento. Nótese que se ha transformado la magnitud del par útil, de Kg-m a Kg-cm, pues es necesario para el cálculo y el desplazamiento del peso que origina el torque, a través del brazo que posee el electrodinamómetro.

Análisis experimental del motor jaula de ardilla. Etapa transitoria en vacío. Es evidente que el osciloscopio explícitamente, puede mostrar señales de voltaje solamente, así como también desfase entre dos señales y otros parámetros que (dependiendo de la capacidad de cada osciloscopio) éste puede calcular, pero para el estudio de los motores eléctricos, es necesario extraer una señal de corriente que ofrezca una perspectiva más amplia del motor y así poder estudiar dicha señal conforme transcurre el tiempo. Es necesario el uso de una resistencia cuya caída de tensión idealmente debería ser muy baja, para acercarse lo más posible a la señal de corriente que por el circuito circula. El valor eficaz del voltaje presente en la resistencia debe ser dividido por el valor de la misma, arrojando como resultado el valor de la corriente y por ende la señal de corriente aproximada por fase del circuito. Por esta razón, a partir de este momento, este proyecto se referirá a la señal de voltaje presente en la resistencia como la corriente que fluye a través de la misma, sobrentendiéndose que se ha realizado la operación matemática respectiva para obtener el valor de la corriente eficaz de la señal.

La resistencia próxima a la ideal usada para conectarla en serie en una de las bobinas del motor, tiene un valor aproximado de 0.08 Ω , ofreciendo una caída de tensión muy baja con una resistencia lo suficiente como para soportar la corriente de arranque y la nominal del motor jaula de ardilla.

El estudio realizado a la máquina asíncrona en cuestión, se lleva a cabo desde condiciones de vacío hasta el rotor bloqueado pasando por una serie de valores de carga que varían de manera ascendente hasta obtener los valores en condiciones nominales y de rotor bloqueado, y de esa manera estudiar el comportamiento de la máquina trazando las curvas básicas y así observar el funcionamiento del motor jaula de ardilla.

Gracias a la capacidad y versatilidad que posee el osciloscopio para capturar en su pantalla señales eléctricas que ocurren en márgenes de tiempo muy pequeños, es posible realizar un estudio más detallado de las condiciones de arranque y apagado del motor, siguiendo una serie de pasos de configuración de controles del osciloscopio.

El régimen subtransitorio, transitorio y permanente son instantes que suelen ser simulados mediante softwares, usando la ecuación matemática del motor de inducción, para intuir el comportamiento del mismo hasta que este llega a su etapa de trabajo normal. El motor jaula de ardilla en estudio presenta el siguiente comportamiento desde que se alimentan sus devanados hasta el momento en que es desconectado de la red de alimentación, las señales son por fase, tal como se puede observar en la Fig. 3.1 “Señal completa del motor Jaula de Ardilla”

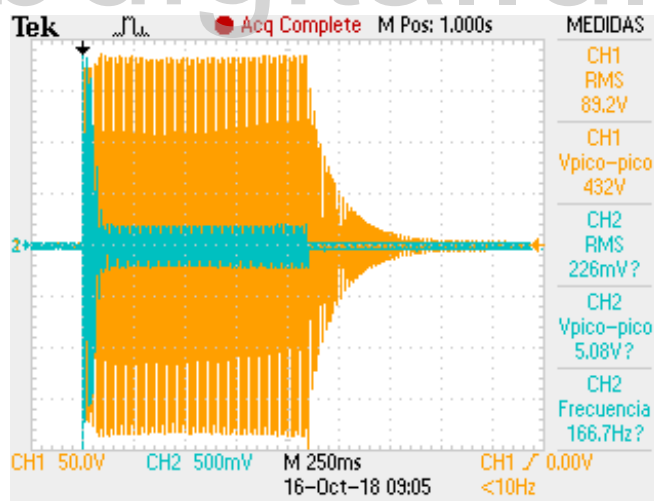


Gráfico 3.1 Señal completa del motor jaula de ardilla

Este gráfico 3.1 “Señal completa del Motor Jaula de Ardilla”, muestra claramente las señales de voltaje (color naranja) y corriente (color turquesa), presentes en una de las fases del motor desde el momento en que se enciende la máquina, hasta que se desconecta de su alimentación.

Debido a que muestra el comportamiento completo de las señales en un margen de tiempo tan pequeño, nace la necesidad de desglosar este gráfico para estudiarlo a detalle de inicio a fin y observar el comportamiento del motor de manera más minuciosa.

Al configurar el osciloscopio con un tiempo de captura menor y realizando el ensayo de nuevo, se pueden observar las señales de voltaje y corriente con un nivel de separación entre ellas un poco mayor, que ofrece una mejor visibilidad y comenzar a captar el desfase presente entre ellas en cada instante de tiempo, así como se puede apreciar los niveles de voltaje y corriente en cuanto a amplitud en instantes específicos, en el siguiente gráfico 3.2 “señal transitoria modificada”.

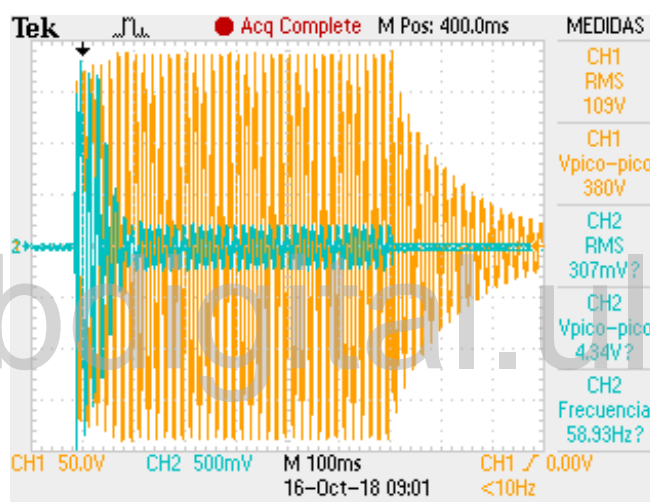


Gráfico 3.2 Señal transitoria modificada

El gráfico 3.3 “voltaje y corriente con mejor apreciación”, permite apreciar mejor la evolución de ambas señales conforme transcurre el tiempo, resaltando la virtud de que a este nivel de la gráfica, es posible el cálculo de la corriente de arranque del motor jaula de ardilla, pues es un parámetro fundamental en cuanto a cálculos de protección y fluctuaciones en el sistema de potencia se refiere. De acuerdo a la configuración del osciloscopio, este puede arrojar en su pantalla de manera instantánea medidas específicas de voltaje en un tiempo específico.

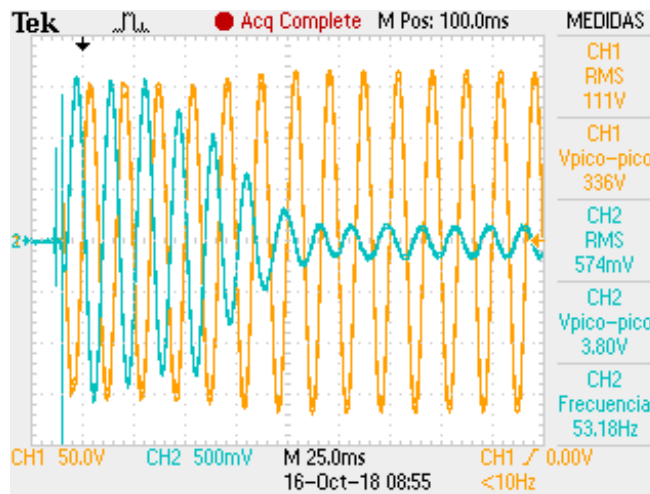


Gráfico 3.3 Voltaje y corriente con mejor apreciación

La medida instantánea y eficaz de voltaje en la resistencia que ofrece el osciloscopio en este ensayo, se ubica estratégicamente en el instante del disparo de la señal y de esta manera capturar ese instante en el cual la corriente es máxima.

La corriente de arranque del motor puede ser calculada a partir de la señal de voltaje presente en la resistencia, cuyo valor puede notarse claramente que es del orden de los milivolt y al dividir su valor eficaz por la resistencia se obtiene:

$$I_{arr} = \frac{574\text{mV}}{0.08\Omega} = 7.175 \text{ A}$$

Existe un fenómeno que fortuitamente es captado por el osciloscopio en el momento de la desconexión del motor de su red de alimentación (gráfico 3.4 “Fluctuación de Corriente al desconectar la Fuente”), y se trata de una fluctuación de la corriente en la fase del motor, tal fenómeno puede verse claramente como una elevación de corriente en la fase y se debe a que teóricamente un inductor se opone a cambios bruscos de corriente, y en el momento de la desconexión, este trata de mantener la corriente en su campo magnético y la elevación se debe a esta fuerza de oposición.

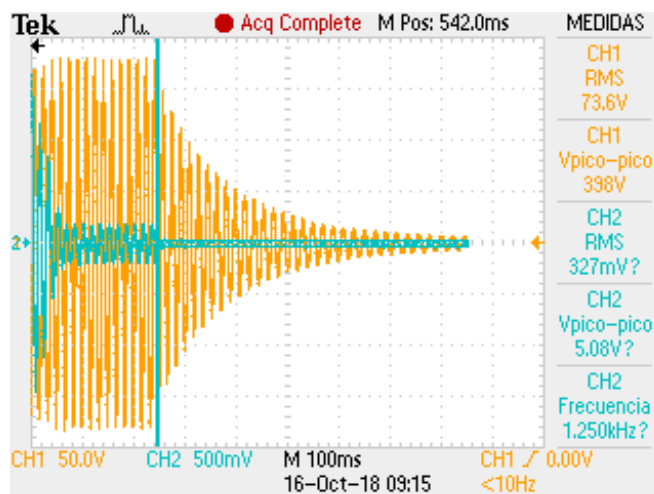


Gráfico 3.4 Fluctuación de corriente al desconectar la fuente

Esta corriente puede ser tan elevada en un momento tan corto, que incluso llega a salir del margen de la pantalla y señala claramente el instante en que comienza a descargarse la bobina de la fase en cuestión, mostrando el voltaje remanente que se disipa a través de la resistencia y del circuito periférico que rodea a tal bobina.

Como ilustración de la última etapa del voltaje remanente que se disipa en el circuito (gráfico 3.5 “Voltaje remanente en una de las Fases”, se toma como punto inicial el momento de desconexión que es determinado por esta corriente de fluctuación en la fase. Con una vista más de cerca de este lapso, se puede observar y calcular el tiempo que dura la bobina en descargar el voltaje remanente que almacena en su campo magnético. El valor calculado de este tiempo de descarga de voltaje, oscila entre 400 y 500 milisegundos.

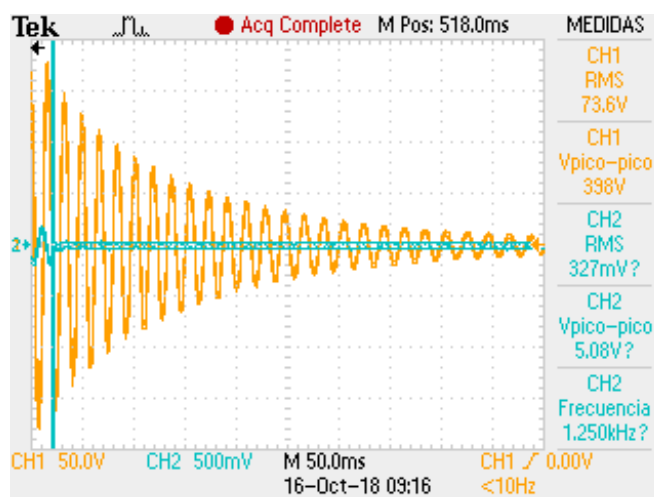


Gráfico 3.5 Voltaje remanente en una de las fases

Análisis experimental del motor jaula de ardilla. Régimen permanente en vacío y con carga.

A pesar de haber realizado un estudio transitorio en vacío, es necesario conocer el comportamiento de la máquina asíncrona jaula de ardilla en su régimen permanente variando la carga de manera ascendente, captando en cada una de las cargas colocadas, voltaje y corriente.

Para la obtención de los parámetros necesarios para el estudio y trazo de curvas de este motor es necesario extraer del osciloscopio la mayor cantidad de datos posibles como son: voltaje, corriente, potencia, factor de potencia y con la ayuda de un foto-tacómetro, las revoluciones por minuto que presenta el motor en un instante.

Estratégicamente se escoge un foto-tacómetro con un disco de 60 ranuras para obtener las revoluciones por minuto del motor de la siguiente manera:

$$V_{rpm} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de pulsos en 1 seg} * 60}{\text{resolución}} \quad (2.6)$$

Como la resolución del disco ranurado efectivamente es de 60, entonces el osciloscopio expresa directamente las revoluciones por minuto del motor, expresándolo en la frecuencia de los pulsos que arroja la señal de salida del foto-tacómetro.

El par nominal que presenta la máquina a su salida es de 13,83 kg-cm, y se cuenta con un peso total de 0,9 Kg lo que significa que para variar el par, debe hacerse modificando la distancia a la cual se coloca el peso a través del brazo mecánico del electrodinamómetro. Para conocer la distancia a la cual debe colocarse el peso de 0.9 Kg y obtener el par máximo y así, la corriente nominal de la máquina para tal torque:

$$13.83 \text{ Kg} - \text{cm} = 0.9\text{Kg} * X \text{ cm}$$

$$X \text{ cm} = 15,36 \text{ cm}$$

A 15.36 cm es la distancia a la que se debe colocar el peso para obtener experimentalmente los valores nominales del motor jaula de ardilla.

Vacío. Las señales resultantes del régimen permanente en vacío del motor jaula de ardilla se miran en el siguiente gráfico 3.6 “Voltaje y Corriente en Vacío del Motor Jaula de Ardilla”

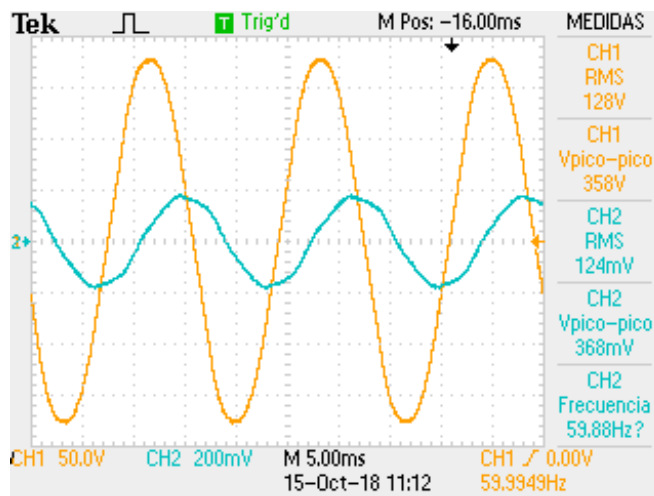


Gráfico 3.6 Voltaje y corriente en vacío del motor jaula de ardilla

Del gráfico 3.6 “voltaje y corriente en vacío motor jaula de ardilla” se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 128 \text{ V} \quad I = \frac{0.124 \text{ V}}{0.08 \Omega} = 1,55 \text{ A} \quad \text{fp} = \cos\left(\frac{0.003 \text{ seg} * 360}{0.01660}\right) = 0,42 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 128 \text{ V} * 1,55 \text{ A} * 0,42 = 83,65 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 83,65 \text{ W} * 3 = 250,97 \text{ W}$$

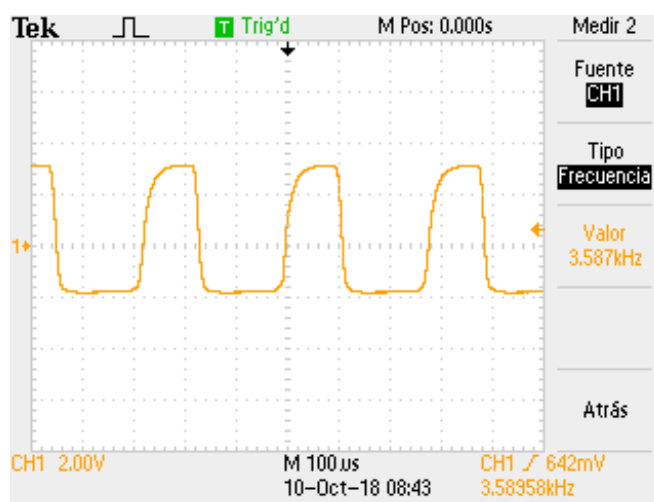


Gráfico 3.7 Velocidad en vacío

$$\text{Velocidad RPM} = 3587 \text{ RPM}$$

2 Centímetros. Las señales resultantes, se ven en el gráfico 3.8 “Voltaje y Corriente a 2 cm”:

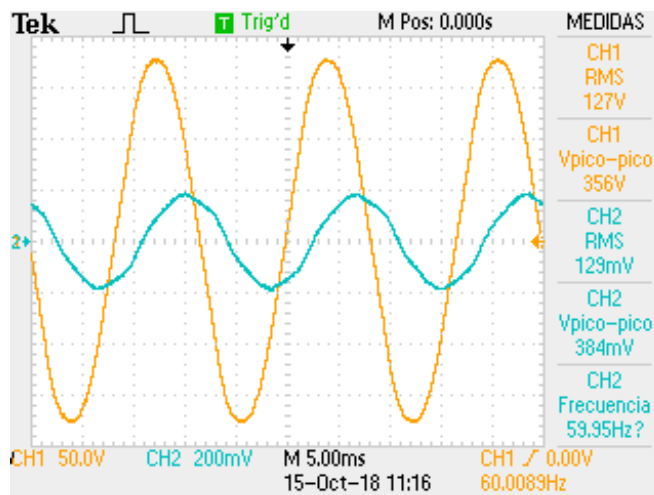


Gráfico 3.8 Voltaje y corriente a 2 cm

De este gráfico 3.8 “Voltaje y Corriente a 2 cm.”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 129 \text{ V} \quad I = \frac{0,129 \text{ V}}{0,08 \Omega} = 1,61 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,0028 \text{ seg} * 360}{0,01660}\right) = 0,48 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 129 \text{ V} * 1,61 \text{ A} * 0,48 = 100 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 100 \text{ W} * 3 = 300 \text{ W}$$

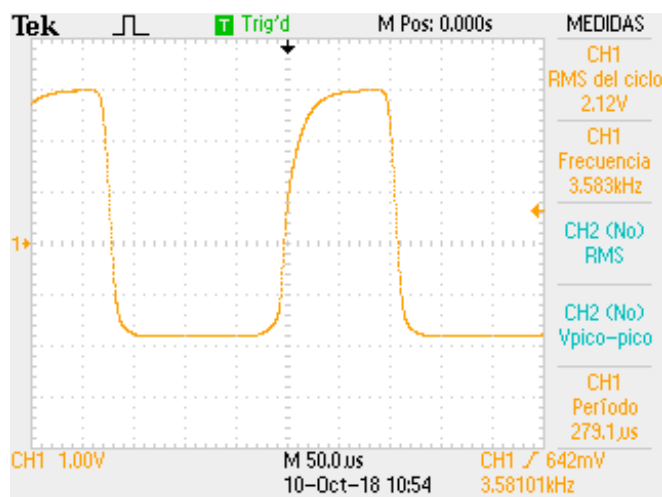


Gráfico 3.9 Velocidad a 2cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3583 \text{ RPM}$$

4 Centímetros. Las señales resultantes, se pueden apreciar en el gráfico 3.10 “Voltaje y Corriente a 4 cm.”:

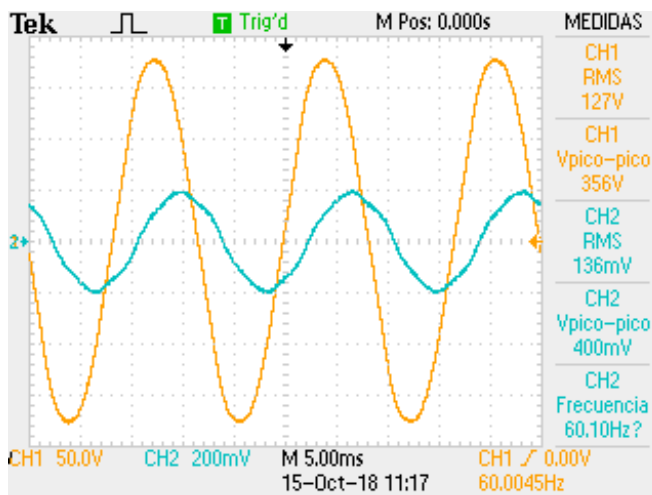


Gráfico 3.10 Voltaje y corriente a 4cm

Del gráfico 3.10 “Voltaje y Corriente a 4 cm.”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 127 \text{ V}$$

$$I = \frac{0,127 \text{ V}}{0,08 \Omega} = 1,70 \text{ A}$$

$$fp = \cos\left(\frac{0,0028 \text{ seg} * 360}{0,01660}\right) = 0,58 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 127 \text{ V} * 1,7 \text{ A} * 0,58 = 126,24 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 126,24 \text{ W} * 3 = 378,72 \text{ W}$$

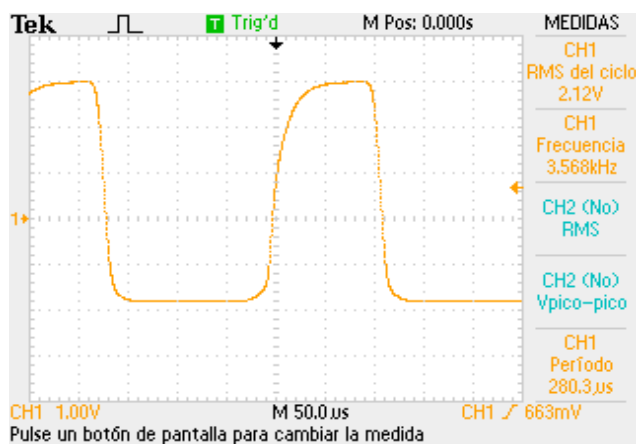


Gráfico 3.11 Velocidad a 4cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3568 \text{ RPM}$$

6 Centímetros. Las señales resultantes, se observan en el gráfico 3.12 “Voltaje y Corriente a 6 cm.”:

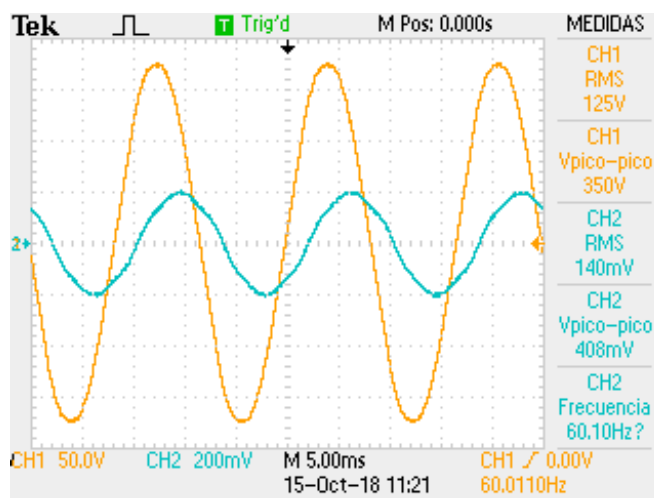


Gráfico 3.12 Voltaje y corriente a 6cm

De este gráfico 3.12 “Voltaje y Corriente a 6 cm.”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 125 \text{ V} \quad I = \frac{0,140 \text{ V}}{0,08\Omega} = 1,75 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,0023\text{seg} \cdot 360}{0,01660}\right) = 0,64 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 125\text{V} * 1,75 \text{ A} * 0,64 = 140 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 140\text{W} * 3 = 420 \text{ W}$$

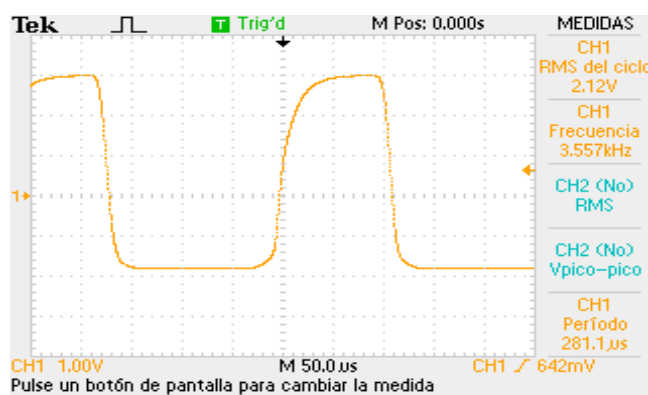


Gráfico 3.13 Velocidad a 6cm

Velocidad RPM = 3557 RPM

8 Centímetros. Las señales resultantes se pueden observar en el gráfico 3.14 “Voltaje y Corriente a 8 cm”:

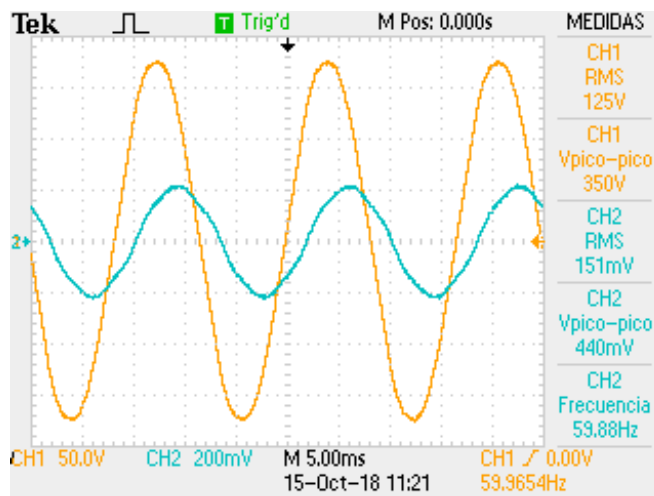


Gráfico 3.14 Voltaje y corriente a 8cm

De este gráfico 3.14 “Voltaje y Corriente a 8 cm.”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 125 \text{ V} \quad I = \frac{0,151 \text{ V}}{0,08\Omega} = 1,88 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,002\text{seg} \cdot 360}{0,01660}\right) = 0,72 \text{ ind}$$

$$P_{1\emptyset} = 125 \text{ V} \cdot 1,88 \text{ A} \cdot 0,72 = 169,2 \text{ W}$$

$$P_{3\emptyset} = 169,2 \text{ W} \cdot 3 = 507 \text{ W}$$

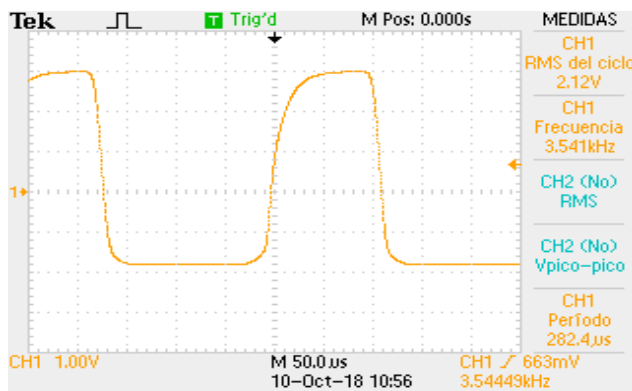


Gráfico 3.15 Velocidad a 8cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3541 \text{ RPM}$$

10 Centímetros. Las señales resultantes, se pueden apreciar en el gráfico 3.16 “Voltaje y Corriente a 10 cm.”:

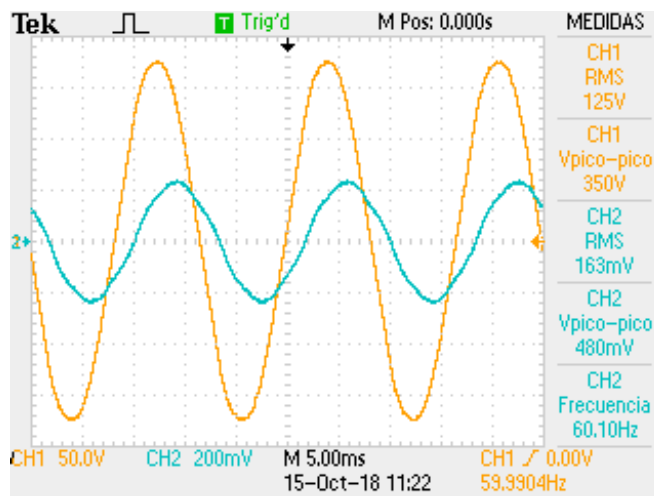


Gráfico 3.16 Voltaje y corriente a 10cm

Del gráfico 3.16 “Voltaje y Corriente a 10 cm.”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 125 \text{ V} \quad I = \frac{0,163 \text{ V}}{0,08, \Omega} = 2,03 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,0019 \text{ seg} * 360}{0,01660}\right) = 0,75 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 125 \text{ V} * 2,03 \text{ A} * 0,75 = 190,31 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 190,31 \text{ W} * 3 = 570,93 \text{ W}$$

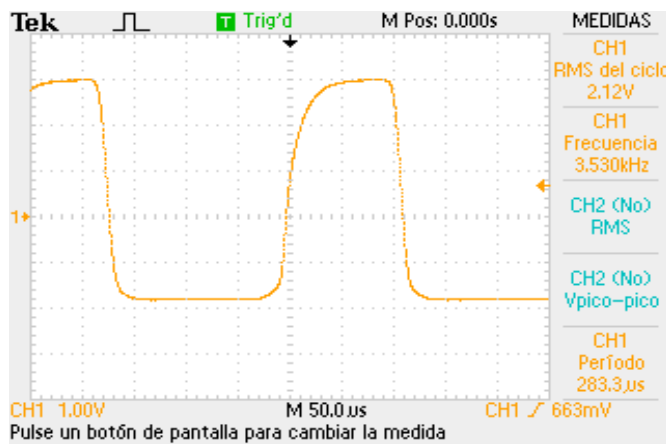


Gráfico 3.17 Velocidad a 10cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3530 \text{ RPM}$$

12 Centímetros. Las señales resultantes, se pueden observar en el gráfico 3.18 “Voltaje y Corriente a 12 cm.”:

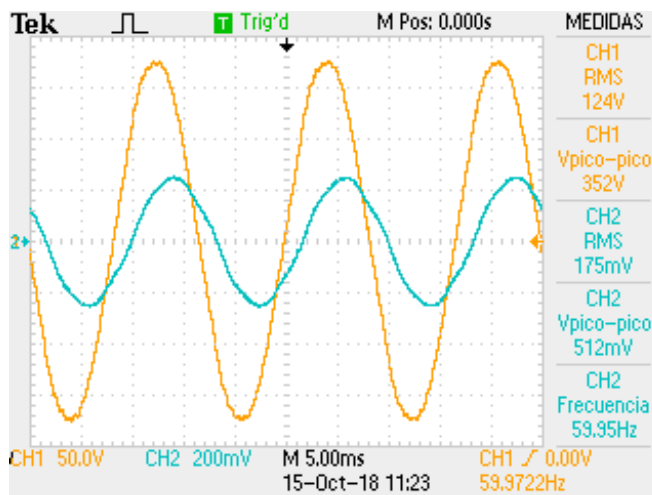


Gráfico 3.18 Voltaje y corriente a 12cm

De este gráfico 3.18 “Voltaje y Corriente a 12 cm.”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 124 \text{ V}$$

$$I = \frac{0,175 \text{ V}}{0,08\Omega} = 2,18 \text{ A}$$

$$fp = \cos\left(\frac{0,0018\text{seg} \cdot 360}{0,01660}\right) = 0,77 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 124\text{V} \cdot 2,18 \text{ A} \cdot 0,77 = 208,86 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 208,86 \text{ W} \cdot 3 = 626,58 \text{ W}$$

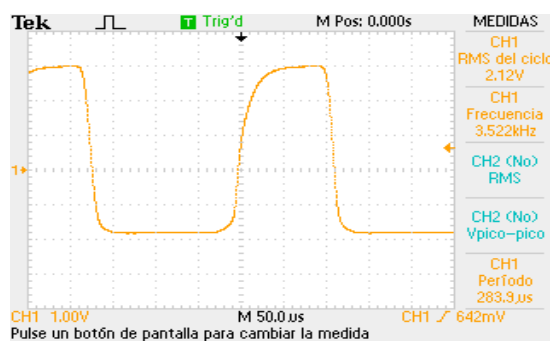


Gráfico 3.19 Velocidad a 12cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3522 \text{ RPM}$$

14 Centímetros. Las señales resultantes, se pueden observar en el gráfico “Voltaje y Corriente a 14 cm.”:

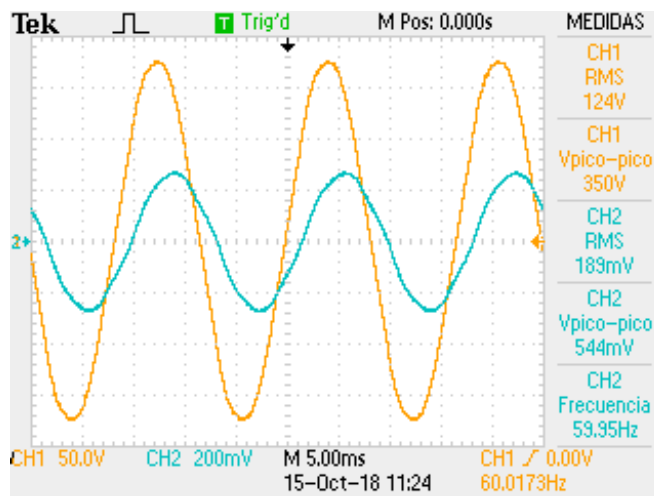


Gráfico 3.20 Voltaje y corriente a 14cm

Del gráfico 3.20 “Voltaje y Corriente a 14 cm”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 124 \text{ V} \quad I = \frac{0,189 \text{ V}}{0,08\Omega} = 2,36 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,0015\text{seg} \cdot 360}{0,01660}\right) = 0,84 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 124\text{V} * 2,36 \text{ A} * 0,84 = 245,81 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 245,81 \text{ W} * 3 = 737,45 \text{ W}$$

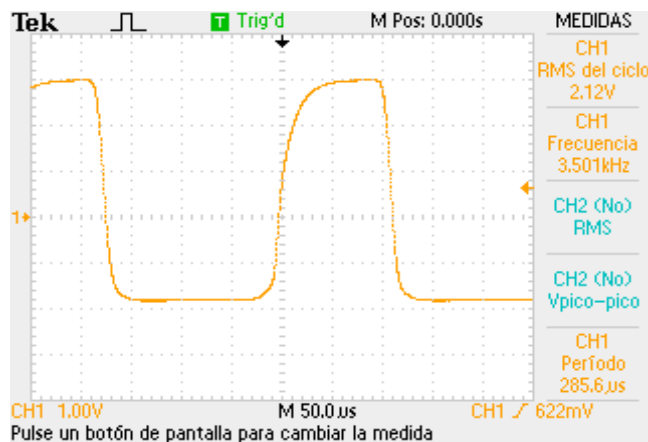


Gráfico 3.21 Velocidad a 14cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3501 \text{ RPM}$$

16 Centímetros (Carga Nominal). Las señales resultantes, se aprecian en el gráfico 3.22 “Voltaje y Corriente a 16 cm.”:

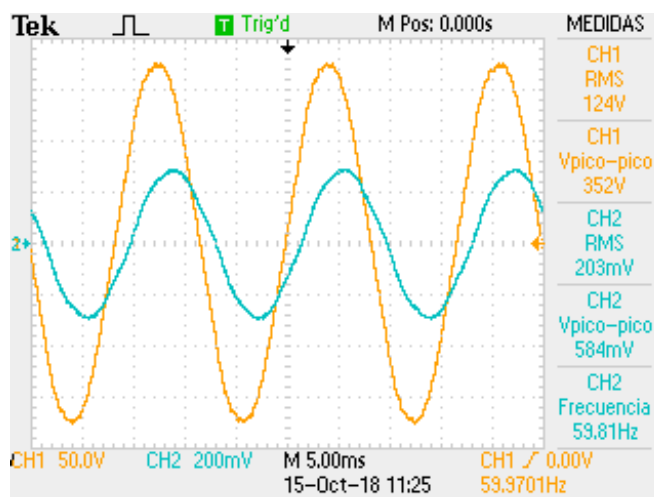


Gráfico 3.22 Voltaje y corriente a 16cm

Del gráfico 3.22 “Voltaje y Corriente a 16 cm”, se pueden tomar los siguientes valores:

$$V = 124 \text{ V} \quad I = \frac{0.203 \text{ V}}{0.08 \Omega} = 2,53 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,0012 \text{ seg} * 360}{0,01660}\right) = 0,88 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 124 \text{ V} * 2,53 \text{ A} * 0,88 = 276,07 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 276,07 \text{ W} * 3 = 828,22 \text{ W}$$

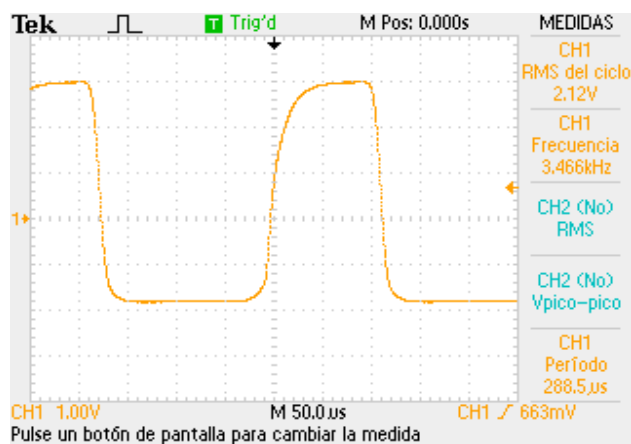


Gráfico 3.23 Velocidad a 16cm

$$\text{Velocidad RPM} = 3466 \text{ RPM}$$

Se puede notar la evolución de la señal de corriente, conforme aumenta la carga colocada al motor, claramente se manifiesta el desplazamiento hacia la izquierda de tal señal, así como también el aumento de su amplitud, mostrando en el primer efecto, el aumento de factor de potencia inductivo y en el segundo, el incremento de la corriente debido a su proporcionalidad con la carga (gráfico 3.24 “Evolución de la señal de corriente con respecto a la carga”).

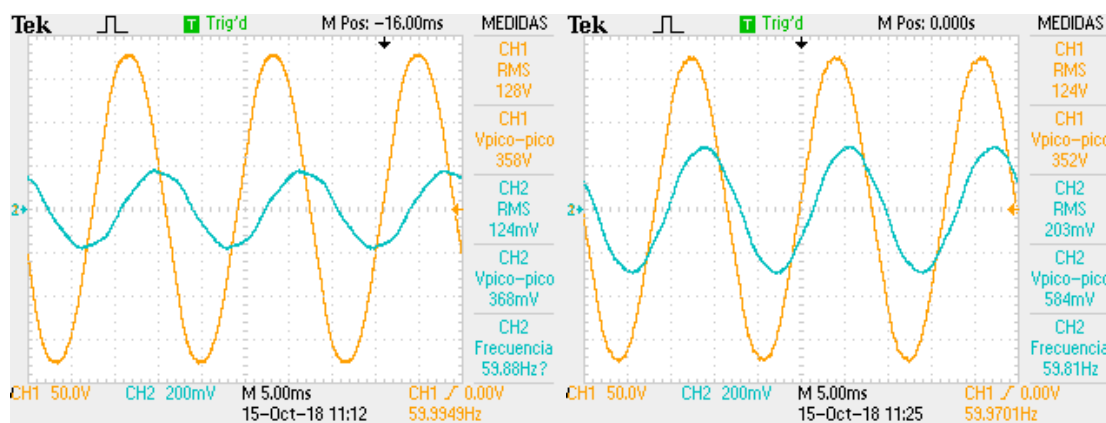


Gráfico 3.24 Evolución de la señal de corriente en función al aumento de carga

De los datos obtenidos de cada una de las señales de acuerdo a la carga conectada al motor, se construye la siguiente tabla que nos permite realizar los gráficos que demuestra el comportamiento del motor eléctrico en estudio.

Tabla 3.1 Parámetros del motor jaula de ardilla

T(0.9 Kg)	VACÍO	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm	14cm	16cm (Nom)
$V_{3\phi}(V)$	215	215	215	215	215	215	215	215	215
$I(A)$	1,53	1,61	1,70	1,75	1,88	2,03	2,18	2,36	2,65
$W_{3\phi}(w)$	250	287	378	420	514	572	629	738	865
fp	-0,42	0,48	-0,58	-0,64	-0,72	-0,75	-0,77	-0,84	-0,89
rpm	3587	3583	3568	3557	3541	3530	3522	3501	3466
$W_{sal}(w)$	0	88,8	176,83	264,42	350,98	437,36	523,65	607,28	687,10
$\eta(\%)$	0	30,6	46,78	62,95	68,28	76,46	83,25	82,28	79,43

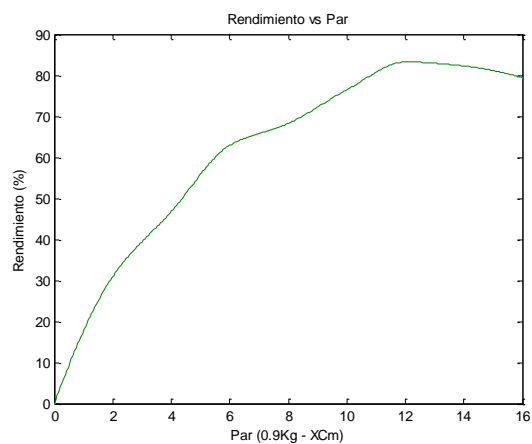


Gráfico 3.25 Rendimiento vs par (MJA)

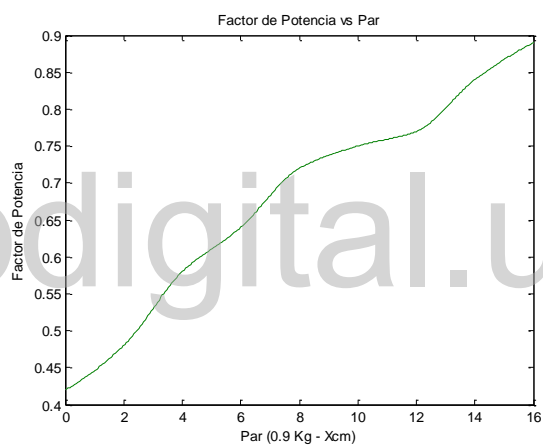


Gráfico 3.26 Factor de potencia vs par (MJA)

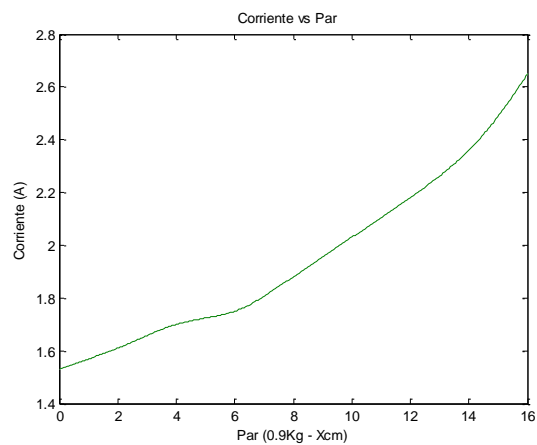


Gráfico 3.27 Corriente vs par (MJA)

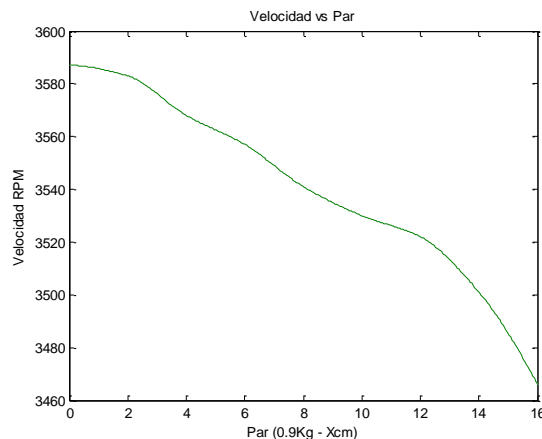


Gráfico 3.28 Velocidad vs par (MJA)

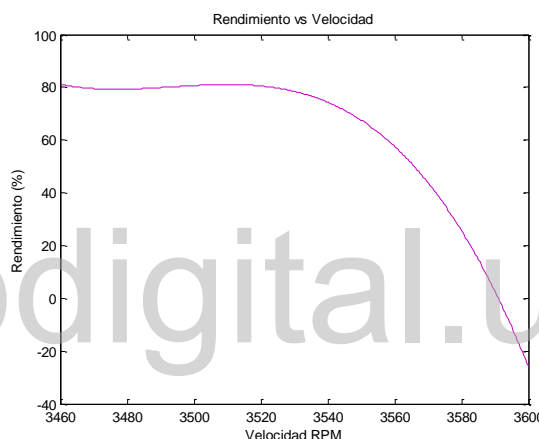


Gráfico 3.29 Rendimiento vs velocidad (MJA)

Ensayo a rotor bloqueado del motor jaula de ardilla. Al no permitir el giro del motor y alimentar sus devanados con voltaje reducido hasta que por cada fase circule la corriente nominal, se realiza el ensayo a rotor bloqueado del motor, dando lugar a obtener los datos necesarios para aproximarse al circuito equivalente del mismo, aprovechando la versatilidad del osciloscopio de ofrecernos datos de voltaje, corriente, factor de potencia y de estos últimos obtener la potencia por fase. A continuación el gráfico resultante.

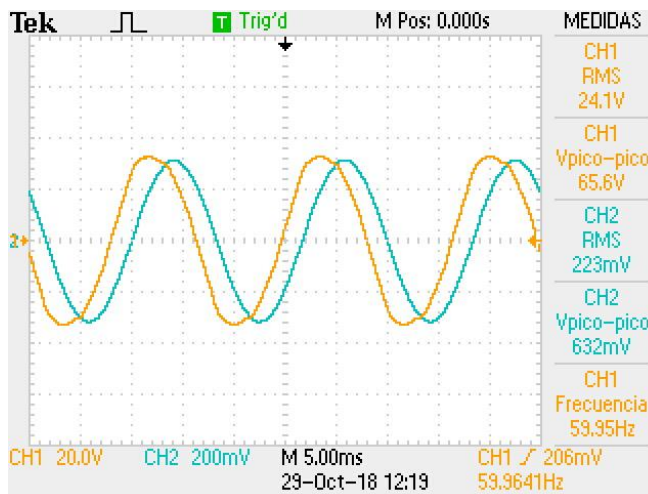


Gráfico 3.30 Señales de voltaje y corriente a rotor bloqueado motor jaula de ardilla

De ambas señales se puede obtener:

$$V = 24,1 \text{ V} \quad I = \frac{0,223\text{V}}{0,08\Omega} = 2,78 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,002\text{seg} \cdot 360}{0,01660}\right) = 0,72 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 24,1\text{V} \cdot 2,7 \text{ A} \cdot 0,72 = 47,29 \text{ W}$$

$$P_{3\phi} = 47,29 \text{ W} \cdot 3 = 141,89 \text{ W}$$

3.2.2 Como generador

Existe una aplicación muy pocas veces usada para el motor asíncrono y se trata de hacer funcionar al motor de inducción como generador. Esta forma de operación de la máquina de inducción puede ser aprovechada para cubrir cargas pico en algunas plantas de generación, o bien, conectada en paralelo con una red e impulsada por turbinas eólicas para suplir la potencia activa requerida por la carga en granjas ó pequeñas áreas de consumo.

Realizando esta forma de uso a la máquina, la misma arroja los siguientes resultados en el osciloscopio, tal como se observa en los gráficos 3.31 “Voltaje y Corriente como Motor $n < n_s$ ”, 3.32 “Disminución de la Corriente por aumento de Velocidad $n \cong n_s$ ”, 3.33 “Valor de Voltaje y Corriente cuando $n = n_s$ ”, 3.34 “Señales de Salida cuando se supera la velocidad de Sincronismo” y 3.35 “Señal de Pico Máximo cuando actúa como Generador $n > n_s$ ”:

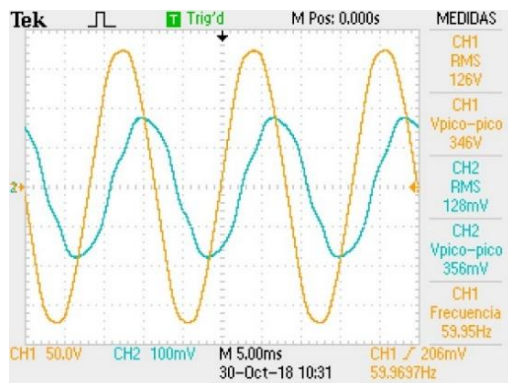


Gráfico 3.31 Voltaje y corriente como motor $n < n_s$

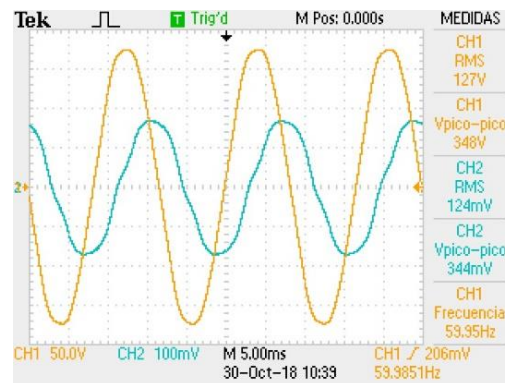


Gráfico 3.32 Disminución de la corriente por aumento de velocidad $n \approx n_s$

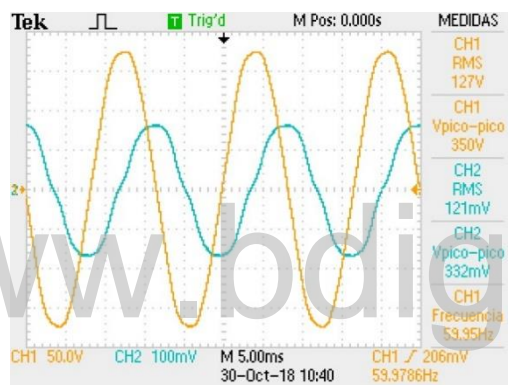


Gráfico 3.33 Valor de voltaje y corriente cuando $n = n_s$

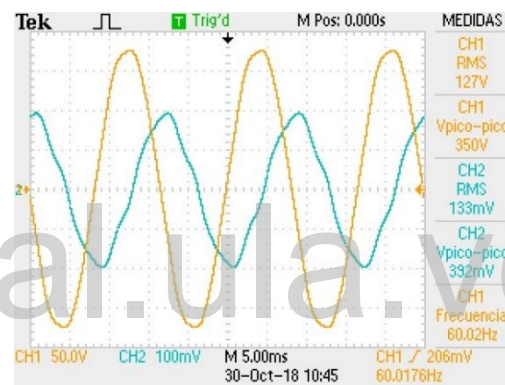


Gráfico 3.34 Señales de salida cuando se supera la velocidad de sincronismo

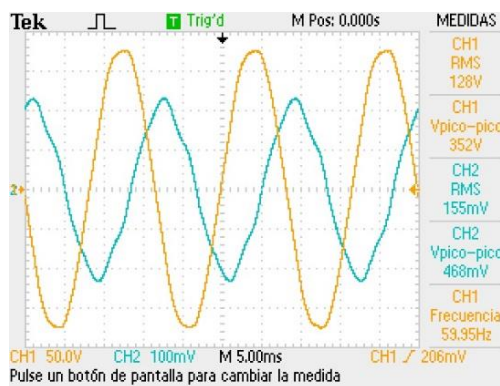


Gráfico 3.35 Señal de pico máximo cuando actúa como generador $n > n_s$

En este caso, se ha conectado el motor jaula de ardilla en paralelo con la red, de tal forma de que ésta pueda proporcionarle los reactivos necesarios para poder generar su campo magnético giratorio. El objetivo principal es poder apreciar el comportamiento de la máquina asíncrona cuando pasa de motor a generador, usando un motor de corriente continua como máquina motriz. Una vez conectado el motor de corriente continua a la máquina asíncrona, se controla su velocidad en principio que gire a revoluciones menor a la de sincronismo del jaula de ardilla $n < n_s$, comportándose este último como motor arrastrando el eje de la máquina DC (Gráfico 3.31 “Voltaje y Corriente como Motor $n < n_s$ ”), al momento de aumentar la velocidad de la máquina DC, esta comienza a aproximarse a la velocidad sincrónica disminuyendo la corriente del jaula de ardilla debido a que el par de este último cada vez es menor (Gráfico 3.32 “Disminución de la Corriente por aumento de Velocidad $n \cong n_s$ ”), y a su vez, desplazando la señal de corriente debido a que disminuye su factor potencia por ejercer menos esfuerzo. Al aumentar la velocidad de la máquina de corriente continua hasta la velocidad sincrónica $n = n_s$, se observa en el osciloscopio la disminución de corriente máxima, debido a que la máquina motriz absorbe las pérdidas mecánicas del motor jaula de ardilla, librándola de cualquier esfuerzo mecánico o par (Gráfico 3.33 “Valor de Voltaje y Corriente cuando $n = n_s$ ”). Al continuar el aumento de la velocidad de la máquina motriz $n > n_s$, estaríamos en presencia de una máquina asíncrona generando potencia activa a la red (Gráfico 3.34 “Señales de Salida cuando se supera la velocidad de Sincronismo”), partiendo de ese momento, el motor jaula de ardilla aumenta su corriente para generar su campo y disminuye su factor de potencia, generando potencia activa a la red (Gráfico 3.35 “Señal de Pico Máximo cuando actúa como Generador $n > n_s$ ”). Cabe destacar que al continuar aumentando la velocidad de la máquina motriz, el generador asíncrono absorbe la suficiente corriente como para accionar las protecciones del tablero en uso, siendo el gráfico 3.35 “Señal de Pico Máximo cuando actúa como Generador $n > n_s$ ”, el que presenta las señales máximas que se pueden apreciar con el motor jaula de ardilla en esta configuración.

3.3 MOTOR DE ROTOR DEVANADO (MRD)

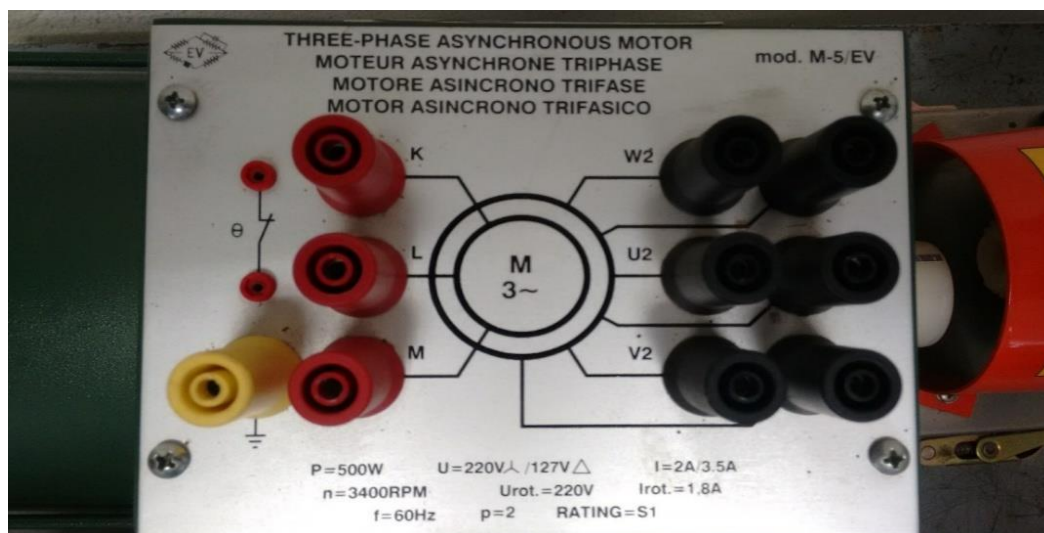


Figura 3.3 Motor asíncrono trifásico de rotor devanado [Ortiz, C. 2018]

Datos de Placa

$P = 500 \text{ W}$

$U = 220 \text{ Y} / 127 \Delta$

$I = 2 \text{ A} / 3,5 \text{ A}$

$U_{rot} = 220 \text{ V}$

$I_{rot} = 1,8 \text{ A}$

$n = 3400 \text{ RPM}$

$f = 60 \text{ Hz}$

$p = 2$

RATING = S1

3.3.1 Como motor

El motor de Rotor Devanado presenta datos de placa muy parecidos al motor Jaula de Ardilla, con diferencias de corriente nominal, revoluciones por minuto y evidentemente que tiene un rotor diferente y por ende, posee datos adicionales de voltaje y corriente rotórica.

Debido a la similitud del presente motor con el anterior, en cuanto a datos de placa se refiere, se resumen los cálculos con el objetivo de alcanzar rápidamente los valores requeridos para su estudio.

Cálculos

Potencia en hp:

$$Potencia \cong \frac{2}{3} HP$$

Velocidad de Deslizamiento:

$$nd = ns - n$$

$$nd = 3600 - 3400 = 200 RPM$$

Deslizamiento:

$$S (\%) = \frac{3600 - 3400}{3600} * 100 = 5,55\%$$

Es necesario conocer el par útil a la salida del motor ya que posee una velocidad rotórica nominal menor a la que tiene el motor jaula de ardilla, presentando así un valor de par diferente.

$$TC = \frac{746w * 2/3}{1.027 * 3400} = 0,1424 kg - m$$

$$TC = 14,24 kg - cm$$

Análisis experimental del motor de rotor devanado. Etapa transitoria en vacío

Al realizar la misma configuración del aparato osciloscopio se obtiene en él, las señales subtransitorias, transitorias, régimen permanente y también el voltaje remanente que el motor manifiesta (Gráfico 3.36 “Señal completa del Motor Jaula de Ardilla”).

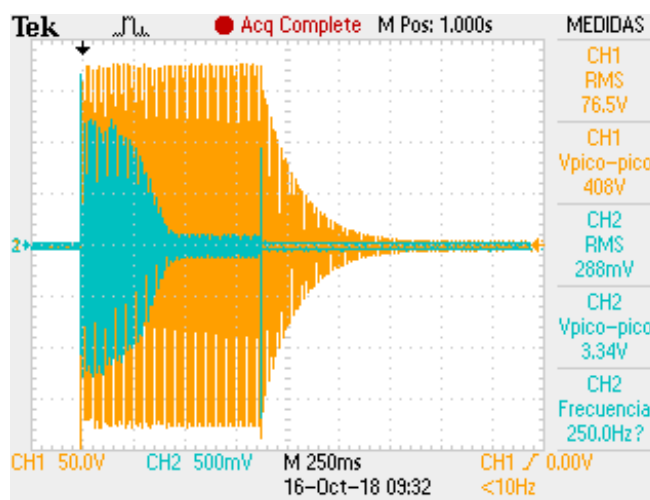


Gráfico 3.36 Señal completa del motor de rotor devanado

El motor de rotor devanado en estudio presenta la característica de un tiempo un poco más prolongado para alcanzar su régimen permanente en comparación con el motor jaula de ardilla. Fortuitamente el osciloscopio pudo captar la elevación de la corriente entre los extremos de la bobina en el instante en que fue desconectado de la red, dato que como al principio, se tomara como punto inicial para observar el voltaje remanente que se disipa a través de la resistencia.

El comportamiento de la corriente desde que se alimenta, hasta su régimen permanente se puede ver a continuación en el gráfico 3.37 “Señal de Corriente filtrado sin Voltaje”, en ella se aprecia el pico más alto aproximadamente desde el momento del arranque y partiendo de allí, poder calcular su corriente de arranque. El gráfico 3.38 “Señal de Corriente con elevación de Magnitud al apagar el Motor”, muestra de manera aislada de la tensión, el comportamiento de la corriente durante hasta su régimen permanente pero captando una vez más la elevación de la corriente en el momento de apagar el motor.

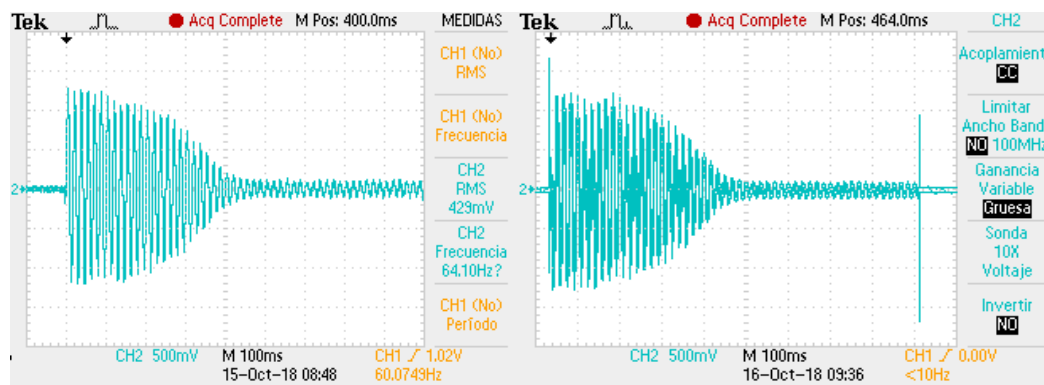


Gráfico 3.37 Señal de corriente filtrado sin Voltaje

Gráfico 3.38 Señal de corriente con elevación de magnitud al apagar el motor

La corriente aproximada que puede ser captada en el momento del arranque del motor, es de 429 mV entonces su corriente de arranque vendría dada por:

$$I_{arr} = \frac{0,429V}{0,08\Omega} = 5,36 A$$

Realizar un ensayo en el cual logre captarse el instante perfecto de arranque, puede llegar a ser toda una proeza, pero luego de hacer repetidos intentos con el fin de captar tal momento en la pantalla del aparato osciloscopio, el siguiente gráfico 3.40 “Instante del arranque del Motor Rotor Devanado” muestra este momento.

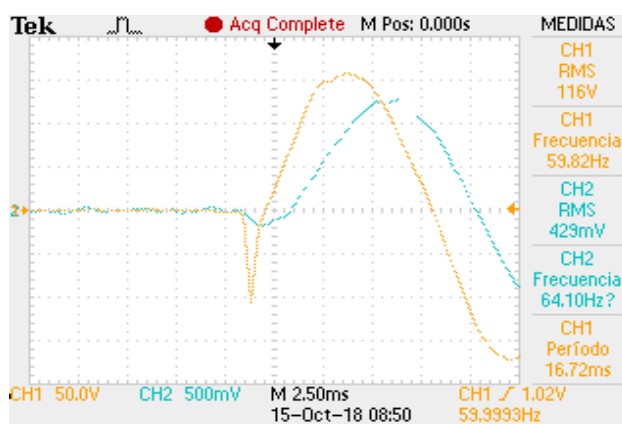
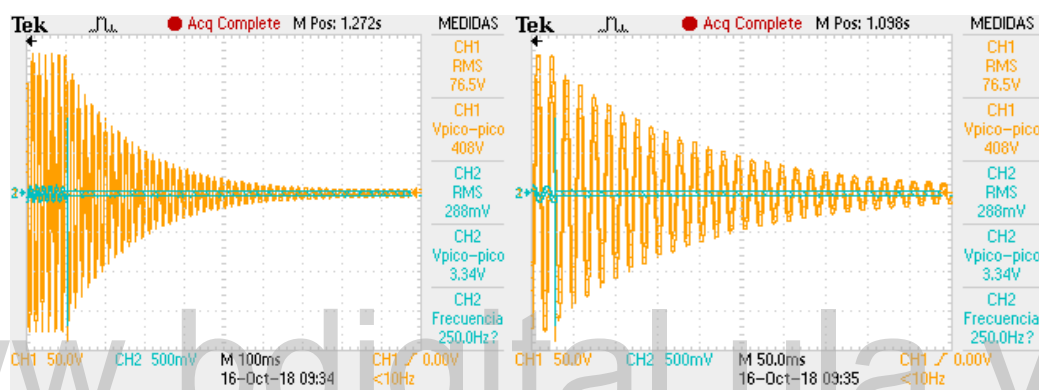


Gráfico 3.39 Instante del arranque del motor rotor devanado

A pesar de ser un tiempo muy pequeño, es posible ver el arranque y desfase entre voltaje y corriente, dando a conocer el impulso que otorga la señal del voltaje y lo similares que son en

amplitud, en un instante tan pequeño. Cabe destacar que esta imagen puede variar de acuerdo a cada intento o ensayo realizado.

De la misma forma que se ha captado el voltaje remanente y el comportamiento de la corriente durante el mismo régimen del motor jaula de ardilla, pues de la misma manera se ha dado a conocer a través de los Gráficos 3.40 “Régimen completo Voltaje Remanente” y 3.41 “Vista al detalle el Voltaje Remanente”, la variación en función del tiempo de ambas señales. La primera muestra el régimen completo desde su desconexión, y la segunda permite apreciar con más detalle la oscilación del voltaje.



**Gráfico 3.40 Régimen completo
voltaje remanente**

**Gráfico 3.41 Vista a detalle del voltaje
remanente**

Análisis experimental del motor de rotor devanado. Régimen permanente en vacío y con carga

Realizando un barrido de carga, partiendo desde el estado en vacío hasta su carga nominal, se han obtenido los siguientes gráficos que permiten extraer los datos necesarios para conocer el comportamiento del motor en función del tiempo.

Los ensayos se llevan a cabo, variando la distancia a la cual fue colocado el peso, iniciando desde vacío, hasta aproximadamente 14 cm que ha sido experimentalmente el valor máximo en el cual el motor presentó a su salida los 2 Amperes nominales.

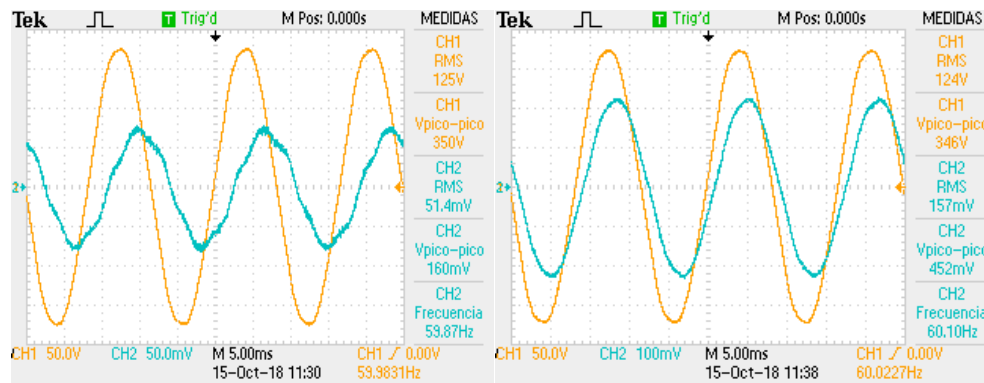


Gráfico 3.42 Señales de voltaje y corriente en vacío

Gráfico 3.43 Señales de voltaje y corriente nominal

Desplazando el peso de 0.9 Kg a lo largo del brazo mecánico, se logra obtener las señales de los gráficos 3.42 “Señales de Voltaje y Corriente en Vacío” y 3.43 “Señales de Voltaje y Corriente Nominal”, dando a conocer las condiciones en vacío y nominal respectivamente. Se observa la manera como se modifica la corriente conforme aumenta la carga conectada a la máquina, puede notarse el desplazamiento hacia la izquierda de tal señal y el aumento de su amplitud. El desplazamiento de la señal de corriente se debe al aumento del factor de potencia (Angulo de desfasaje entre Voltaje y Corriente), y el aumento de amplitud es ocasionado por el consumo de potencia reactiva que requiere el motor para poder mover la carga conectada a su eje.

Tomando una serie de medidas y realizando los mismos cálculos que se hicieron en el motor jaula de ardilla, se llega a la tabla 3.2 “Parámetros del Motor Rotor Devanado”, resaltando que la velocidad a este motor fue medida con un tacómetro digital convencional.

Tabla 3.2 Parámetros del motor rotor devanado

T(0.9 Kg)	VACÍO	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm	14cm
$V_{3\phi}(v)$	215	215	215	215	215	215	215	215
$I(A)$	0.64	0.86	1.01	1.18	1.35	1.56	1.75	1.98
$W_{3\phi}(w)$	109.3	243.28	318.54	391	457	534	611	693
fp	-0.45	-0.75	-0.84	-0.88	-0.91	-0.92	-0.94	-0.95
rpm	3580	3551	3530	3510	3490	3470	3440	3409
$W_{sal}(w)$	0	87.64	174.24	259.88	344.54	428.21	509.41	588.96
$\eta(\%)$	0	36.02	54.69	66.46	75.39	80.18	83.37	84.98

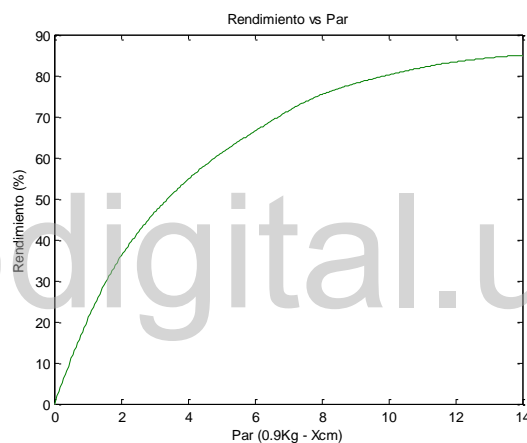


Gráfico 3.44 Rendimiento vs par (MRD)

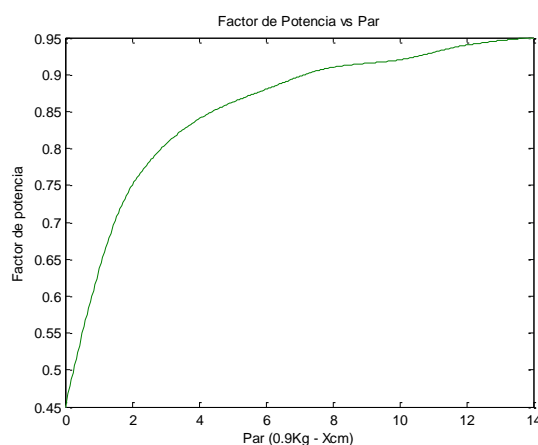


Gráfico 3.45 Factor de potencia vs par (MRD)

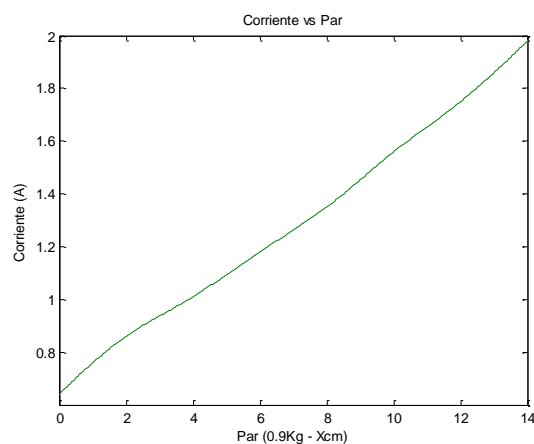


Gráfico 3.46 Corriente vs par (MRD)

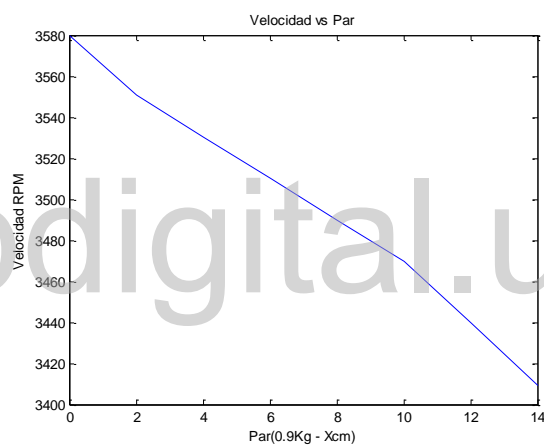


Gráfico 3.47 Velocidad vs par (MRD)

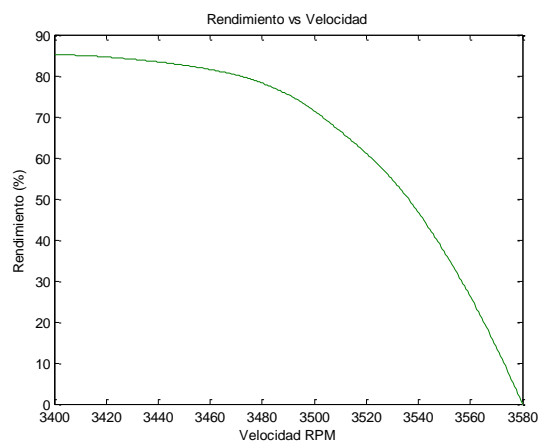


Gráfico 3.48 Rendimiento vs velocidad (MRD)

Ensayo a rotor bloqueado del motor de rotor devanado

Se bloquea el rotor de acuerdo a lo que se conoce como ensayo a rotor bloqueado y se alimenta a voltaje reducido hasta que circule la corriente nominal por fase en cada devanado, que en este caso son 2 amperes y se obtiene en el osciloscopio, las siguientes señales, como se puede apreciar en el gráfico 3.49 “Señales de Voltaje y Corriente a Rotor Bloqueado Rotor Devanado”

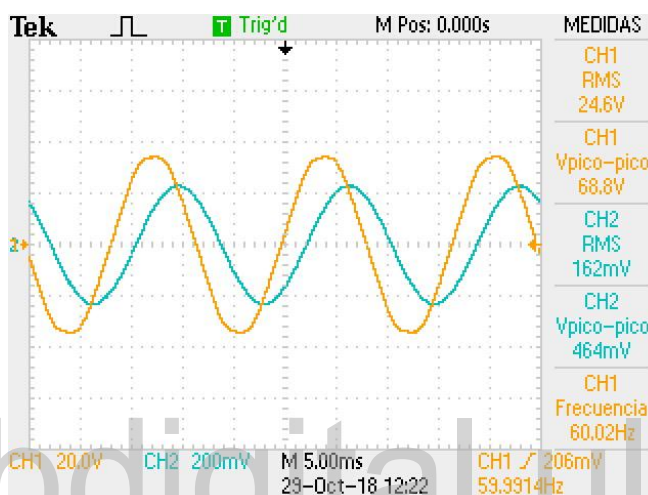


Gráfico 3.49 Señales de voltaje y corriente a rotor bloqueado del motor de rotor devanado

De ambas señales se puede obtener:

$$V = 24,6 \text{ V} \quad I = \frac{0.162 \text{ V}}{0.08 \Omega} = 2,0 \text{ A} \quad fp = \cos\left(\frac{0,0022 \text{ seg} * 360}{0,01660}\right) = 0,66 \text{ ind}$$

$$P_{1\phi} = 24,6 \text{ V} * 2 \text{ A} * 0,66 = 32,47 \text{ W} \quad P_{3\phi} = 32,47 \text{ W} * 3 = 97,41 \text{ W}$$

3.4 MÁQUINA DE CORRIENTE CONTÍNUA

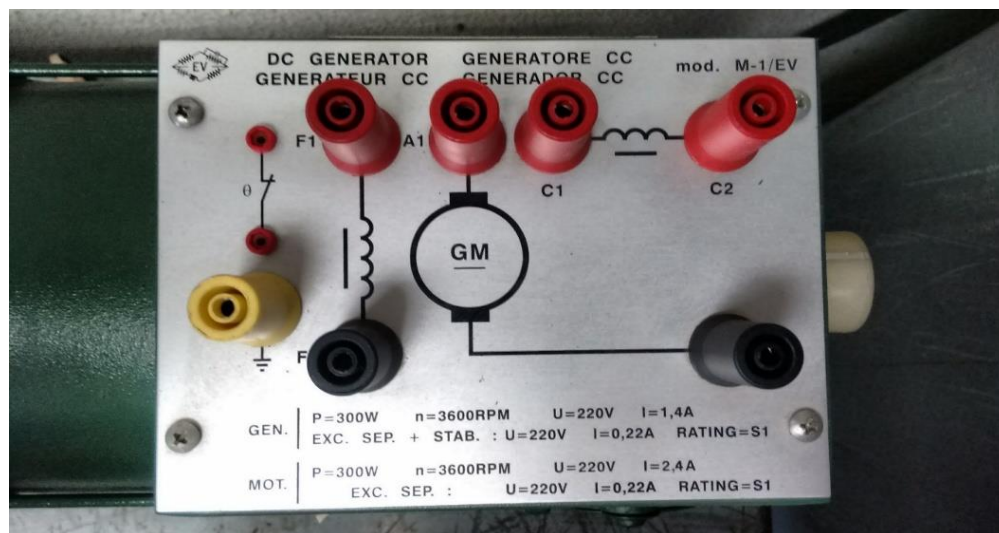


Figura 3.4 Máquina de Corriente Continua [Ortiz, C., 2018]

Datos de Placa

GENERADOR

$P = 300 \text{ W}$
 $U = 220 \text{ VDC}$
 $I = 1,4 \text{ A}$
 $U_{exc} = 220 \text{ VDC}$
 $I_{exc} = 0,22 \text{ A}$
 $n = 3600 \text{ rpm}$
 RATING = S1

MOTOR

$P = 300 \text{ W}$
 $U = 220 \text{ VDC}$
 $I = 2,4 \text{ A}$
 $U_{exc} = 220 \text{ VDC}$
 $I_{exc} = 0,22 \text{ A}$
 $n = 3600 \text{ rpm}$
 RATING = S1

La Máquina de Corriente Continua en estudio, al igual que los motores de inducción, tiene el dato de su potencia de salida en vatios, originando la necesidad de convertirlos a caballos de fuerza, para conocer su potencia de salida. También debe recordarse que los datos como motor, son diferentes a los datos como generador, partiendo de que en la aplicación como motor, el devanado serie soporta más corriente para mover la carga que se conecte a su eje.

Cálculos

Potencia en hp:

Recordando que el caballo de fuerza tiene su equivalente en vatios, es posible conocer la potencia de salida del motor en HP:

$$1\text{HP} \dots\dots\dots 746 \text{ Watt}$$

$$HP = \frac{300 \text{ w} * 1HP}{746 \text{ w}} \cong \frac{2}{5} HP$$

Conociendo la velocidad rotórica y la potencia de salida en HP se determina el par útil del motor, de la misma manera como se ha realizado en las máquinas de inducción:

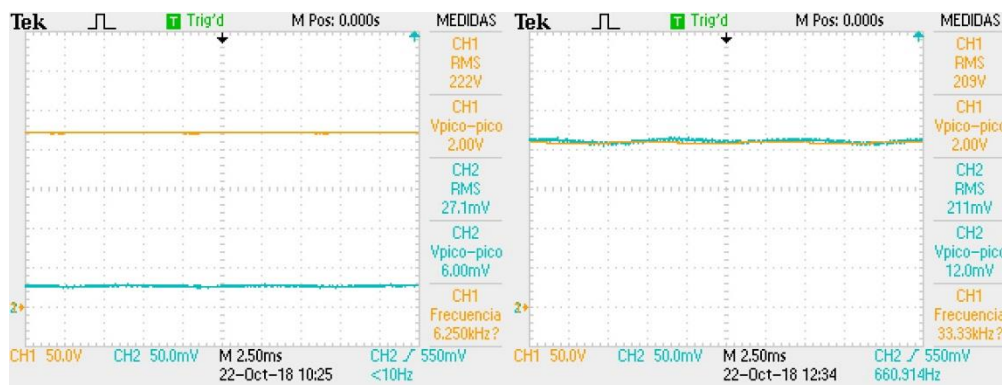
$$TC = \frac{746w * HP}{1.027 * n}$$

$$TC = \frac{746w * 2/5}{1.027 * 3600} = 0.08 \text{ kg} - m$$

$$TC = 8,0 \text{ kg} - cm$$

3.4.1 Máquina de motor corriente continua conexión devanado paralelo (MCCP)

Al conectar la armadura en paralelo con el devanado de campo, tomando en cuenta de que en este último debe conectarse una resistencia de excitación, se busca conocer el comportamiento de la máquina de corriente continua como motor y se precisa variar la carga conectada a su eje y obtener los resultados en la pantalla del osciloscopio, variando el par de menor a mayor distancia donde circule la corriente nominal de armadura:



**Gráfico 3.50 Voltaje y corriente
condición en vacío (MCCP)**

**Gráfico 3.51 Voltaje y corriente
nominal (MCCP)**

Desde el primer ensayo hasta el último, puede observarse el desplazamiento de la corriente de menor valor (en vacío) hasta ascender a su valor nominal, extrayendo los datos que constituyen la siguiente tabla:

Tabla 3.3 Datos obtenidos del motor corriente continua conexión en paralelo

V (v)	I _{exc} (A)	I _{arm} (A)	T 0.9Kg (Cm)	RPM
220	0.22	0.35	vacío	3581
220	0.22	0.74	3	3549
220	0.22	0.90	4	3522
220	0.22	1.05	5	3504
220	0.22	1.27	6	3478
220	0.22	1.40	7	3457
220	0.22	1.62	8	3434
220	0.22	1.80	9	3414
220	0.22	2	10	3391
220	0.22	2.18	11	3365
220	0.22	2.37	12	3346
220	0.22	2.63	13	3327

A pesar de que el par nominal de la máquina es de 8 Kg-cm como valor teórico, experimentalmente puede dominar una carga de aproximadamente 10 Kg-cm sin sufrir daño

en sus devanados, incluso se tomó en cuenta un valor por valor más, es decir, el peso se ubicó a 13 cm de su centro.

De la tabla anterior, se pueden obtener los siguientes gráficos, dando a conocer el comportamiento de la máquina de corriente continua como motor de excitación paralelo:

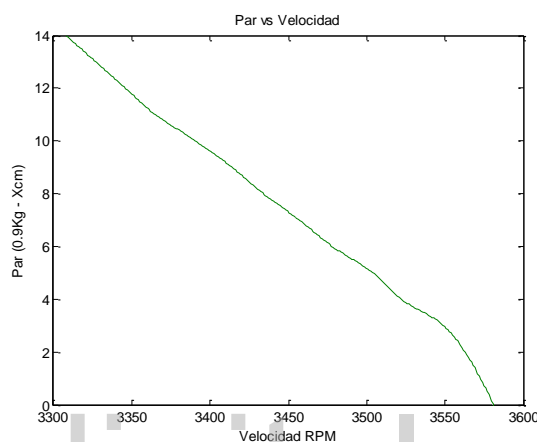


Gráfico 3.52 Par vs velocidad (MCCP)

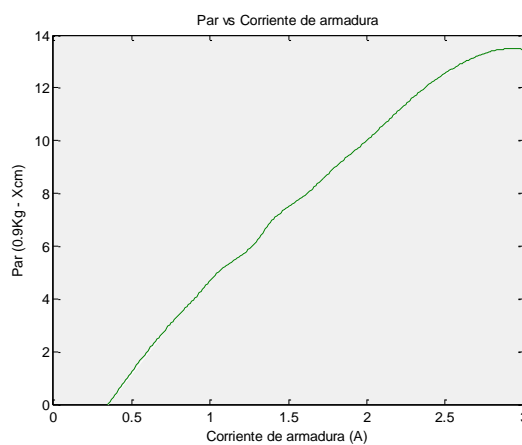


Gráfico 3.53 Par vs corriente de armadura (MCCP)

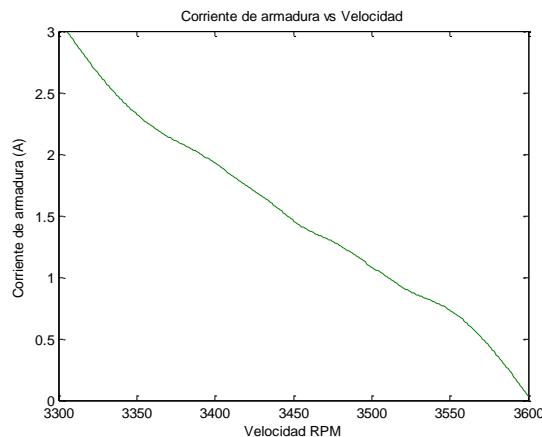


Gráfico 3.54 Corriente de armadura vs velocidad (MCCP)

3.4.2 Máquina de motor corriente continua conexión devanado serie

Se conoce que la configuración serie de este tipo de motores ofrece un excelente par de arranque, pero su velocidad disminuye exponencialmente conforme aumenta la carga conectada a su eje, así como también es importante resaltar que obligatoriamente debe ser conectado a una carga mecánica al momento del arranque, para poder conservar el control del rotor, de lo contrario, el eje toma velocidades muy altas y puede tomar un efecto de impulso que puede ocasionar daños graves al motor.

Los resultados ilustrativos en el osciloscopio del ensayo a esta configuración del motor se muestran a continuación:

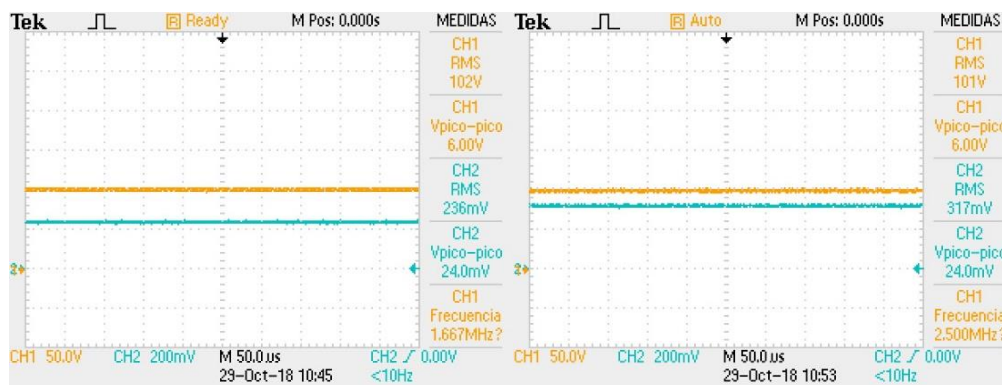


Gráfico 3.55 Voltaje y corriente condición en vacío (MCCS)

Gráfico 3.56 Voltaje y corriente nominal (MCCS)

La alimentación del motor es reducida debido a la alta corriente que a través el devanado serie circula. De los ensayos realizados se obtienen los siguientes resultados en tabla:

Tabla 3.4 Tabla de Datos obtenidos del Motor Corriente Continua Conexión en Serie

V(v)	I _{exc} (A)	I _{arm} (A)	T 0.9Kg (Cm)	RPM
100V	0,22	2,8	1	3670
100V	0,22	3,2	2	3003
100V	0,22	3,5	3	2410
100V	0,22	3,75	4	
100V	0,22	4,0	5	1420

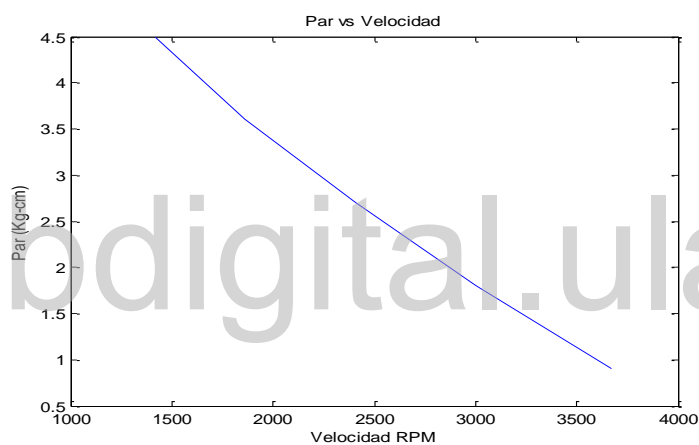


Gráfico 3.57 Par vs velocidad (MCCS)

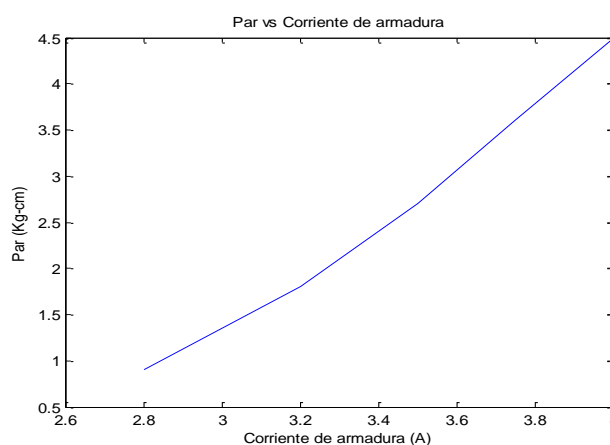


Gráfico 3.58 Par vs corriente de armadura (MCCS)

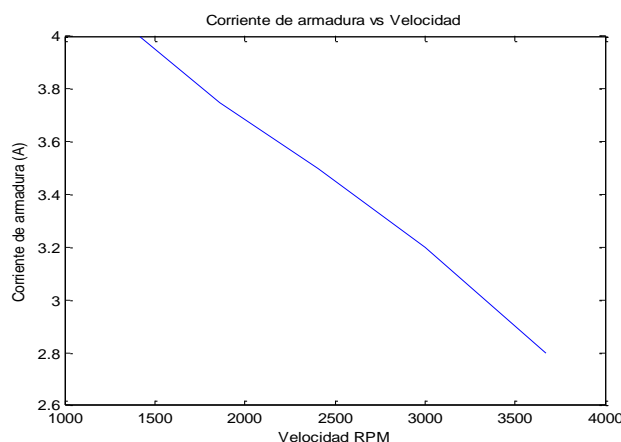


Gráfico 3.59 Corriente de armadura vs velocidad (MCCS)

3.4.3 Máquina de motor de corriente continua conexión independiente (MCCI)

Uno de los desafíos más grandes que presenta esta máquina para su alimentación de manera independiente, es la necesidad de conectar, tanto su devanado de campo, como su devanado de armadura con 220 volt continuos, lo que obliga a contar con dos fuentes de esta magnitud y de esta manera poder observar a la máquina trabajar con esta configuración, al lograrlo, se obtienen los siguientes gráficos de voltaje y corriente.



Gráfico 3.60 Voltaje y corriente condición en vacío (MCCI)

Gráfico 3.61 Voltaje y corriente nominal (MCCI)

En estos gráficos 3.60 y 3.61 se muestra tanto el voltaje y corriente en condición de vacío como el nominal, pasando por una serie de cargas conectadas a su eje como se ha realizado en

ensayos y configuraciones anteriores, obteniendo los siguientes datos para su posterior estudio:

Tabla 3.5 Datos obtenidos del motor corriente continua de excitación independiente

V(v)	I_{exc}(A)	I_{arm}(A)	T 0.9Kg (Cm)	RPM
220	0,22	0,40	3	3553
220	0,22	0,73	4	3500
220	0,22	0,90	5	3456
220	0,22	1,07	6	3424
220	0,22	1,20	7	3383
220	0,22	1,40	8	3361
220	0,22	1,50	9	3316
220	0,22	1,70	10	3281
220	0,22	1,90	11	3249
220	0,22	2,00	12	3213
220	0,22	2,20	13	3188
220	0,22	2,35	14	3130

La configuración de alimentación independiente de este motor de corriente continua, ofrece como ventaja la mayor cantidad de par, tomándose unas mediciones adicionales antes de llegar a su corriente nominal como motor. Como resultado de tal estudio se tiene:

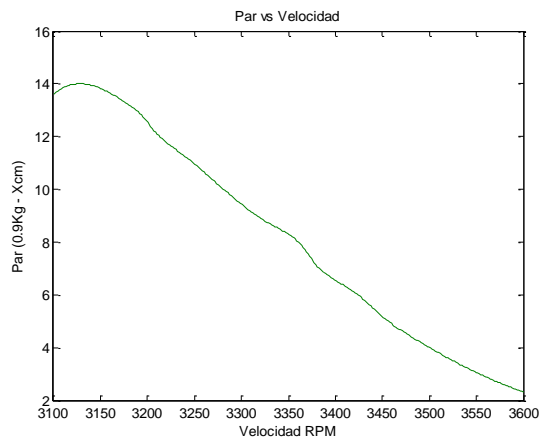


Gráfico 3.62 Par vs velocidad (MCCI)

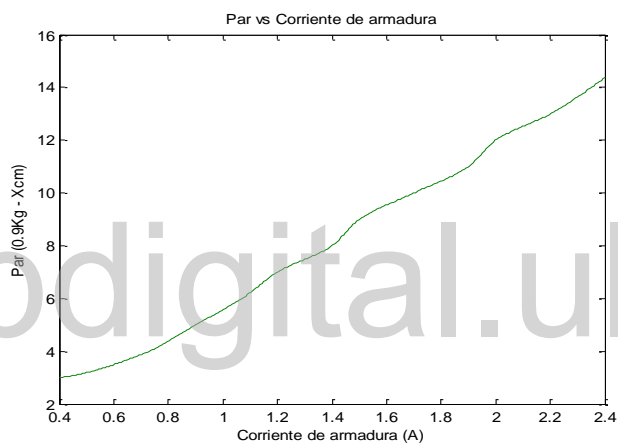


Gráfico 3.63 Par vs corriente de armadura (MCCI)

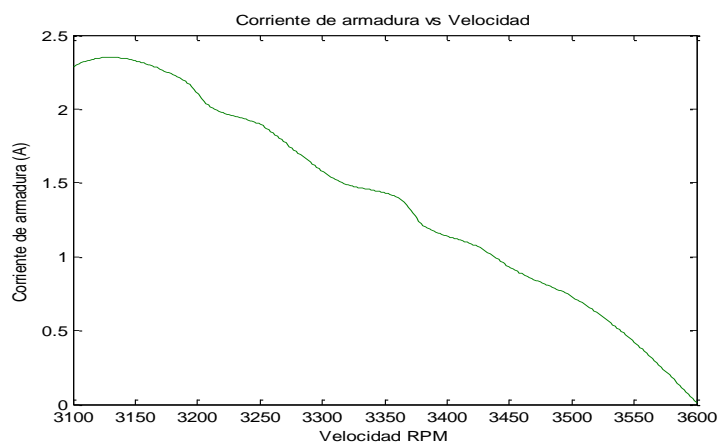


Gráfico 3.64 Corriente de armadura vs velocidad (MCCI)

3.4.4 Máquina generador de corriente continua excitación independiente (MGCCI)

Esta conexión se realiza separando la armadura de la bobina de excitación, dando lugar a conectar la carga en los bornes de la armadura, alimentando la carga con potencia activa de voltaje continuo. Al realizar los estudios de esta aplicación para el motor en estudio se obtienen los siguientes gráficos, tomando en cuenta que varía el voltaje generado con la corriente de excitación, observando que se presenta un ciclo de histéresis, constituido por medidas de manera ascendente y descendente, sin devolver la medida para no perder la magnetización.

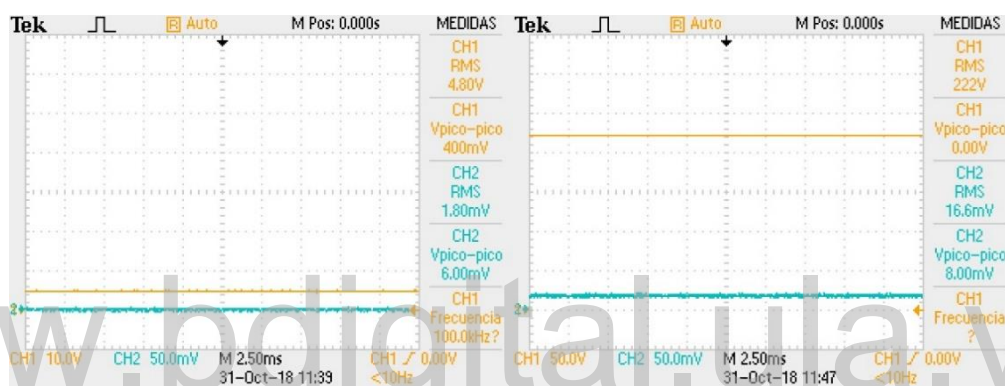


Gráfico 3.65 Voltaje inicial de generación (ascendente)

Gráfico 3.66 Voltaje máximo de generación

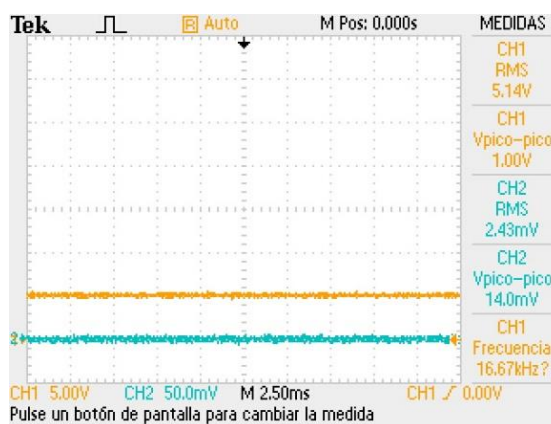


Gráfico 3.67 Voltaje final de generación (descendente)

Tabla 3.6 Generador de corriente continua ciclo de histéresis

Ascendente		Descendente	
Vgen(V)	Iexc(A)	Vgen(V)	Iexc(A)
4.80			
40,0	0,03	210	0,17
83.2	0,05	172	0,12
122	0,08	120	0,07
172	0,13	80	0,04
214	0,19	39,1	0,02
222	0,20	5,14	0,3

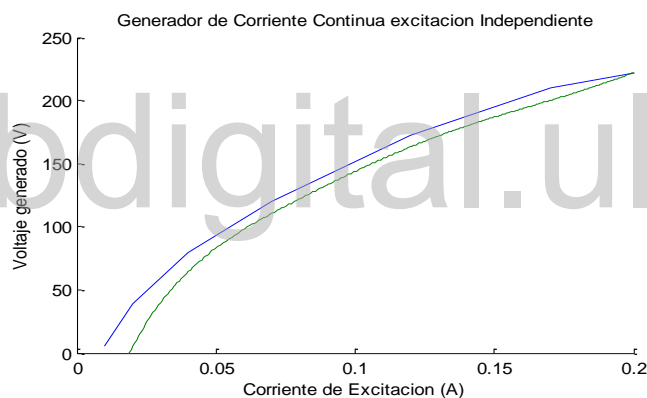


Gráfico 3.68 Ciclo de Histéresis del Generador de Corriente Continua Generación Independiente (MGCCI)

3.5 MOTOR DE REPULSIÓN

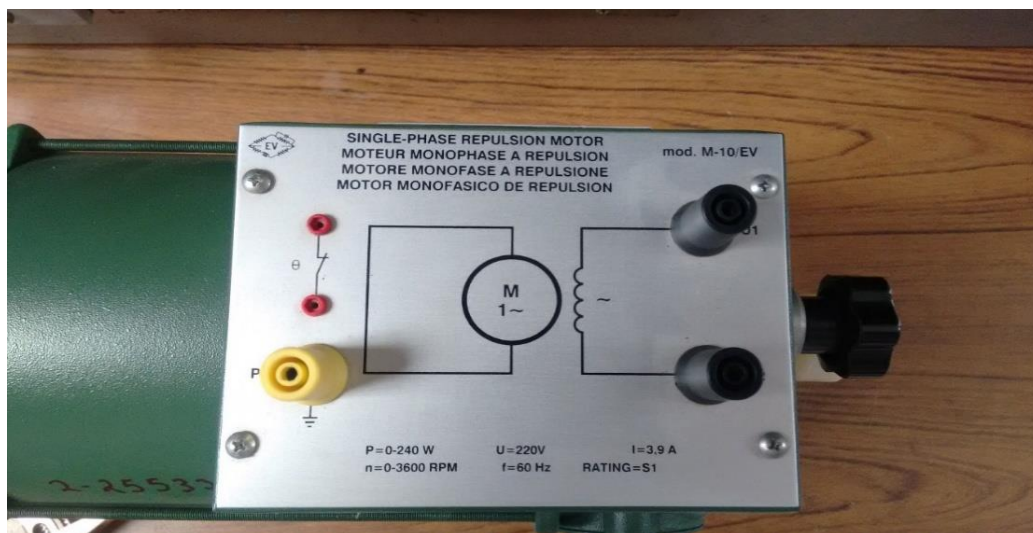


Figura 3.5 Motor de repulsión [Ortiz, C., 2018]

Este tipo de motor pertenece a la clase de máquina asíncrona monofásica y hasta hace poco tiempo fue usado para impulsar trenes debido a su particular funcionamiento, pues tiende a disminuir la velocidad, manteniendo el par constante sin la necesidad de elevar la corriente para ello, así como también, posee la virtud de cambiar su sentido de giro al mover una perilla en el sentido en la cual se desea que el gire su rotor y de acuerdo a la posición de la perilla será la velocidad a la cual el motor girará.

El motor en estudio tiene como dato de placa, una alimentación de 220V alterno, pero experimentalmente no es posible ingresar tal voltaje, debido a que excede la corriente nominal que por sus devanados debe circular, así como también, sobrepasa la velocidad nominal a la cual su rotor debe girar. Es por esta razón, que se evalúa este motor con tres magnitudes de voltaje diferente y observar su comportamiento de acuerdo a cada voltaje y obtener valores de par, corriente y velocidad en el motor, sin dejar de tomar en cuenta la corriente nominal. Los voltajes de alimentación son: 120, 130 y 140, tomando en cuenta de girar la perilla al máximo en cada ensayo.

A continuación, los valores experimentales obtenidos que integran cada tabla:

Tabla 3.7 de Datos obtenidos para 120V y Perilla Sentido Horario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
120	2,92	1	3524
120	3,23	2	2752
120	3,46	3	2315
120	3,70	4	1821
120	3,96	5	1332

Tabla 3.8 Datos obtenidos para 130V y Perilla Sentido Horario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
130	2,88	1	3970
130	3,12	2	3535
130	3,27	3	3078
130	3,57	4	2634
130	3,76	5	2290
130	3,98	6	1850
130	4,31	7	1391

Tabla 3.9 Datos obtenidos para 140V y Perilla Sentido Horario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
140	3,12	1	4297
140	3,31	2	3993
140	3,50	3	3510
140	3,75	4	3010
140	3,93	5	2671
140	4,03	6	2457
140	4,30	7	2021

Tabla 3.10 Datos obtenidos para 120V y Perilla Sentido Antihorario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
120	3,12	1	3518
120	3,31	2	3407
120	3,50	3	2942
120	3,75	4	2355
120	3,93	5	1935
120	4,03	6	1435
120	4,30	7	1010

Tabla 3.11 Datos obtenidos para 130V y Perilla Sentido Antihorario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
130	2,31	2	3743
130	2,46	3	3257
130	2,66	4	2760
130	2,85	5	2317
130	2,98	6	1960
130	3,16	7	1515
130	3,32	8	1245

Tabla 3.12 Datos obtenidos para 140V y Perilla Sentido Antihorario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
140	2,33	2	4011
140	2,51	3	3563
140	2,67	4	3166
140	2,86	5	2751
140	3,03	6	2370
140	3,21	7	2032
140	3,36	8	1730

140	3,52	9	1421
140	3,68	10	1124
140	3,82	11	858

Tabla 3.12 Datos obtenidos para 140V y Perilla Sentido Antihorario

Estos son los datos que se obtienen del motor de repulsión una vez que trabaja como motor de inducción, considerando que al girar la perilla de manera ascendente, este aumenta su velocidad al mismo tiempo que mantiene el par constante. Si llega a modificarse la posición de la perilla de manera descendente, entonces el motor tiende a mantener el par, bajando la velocidad, así como también proporcionalmente baja su corriente, tomando muy en cuenta que este fenómeno ocurre manteniendo el mismo voltaje de alimentación a la máquina de repulsión.

La opción que ofrece mejor resultado ante el experimento, es la que se obtiene de alimentar el motor a 140 voltios alternos, pues antes de alcanzar sus valores nominales es posible obtener un margen de carga mucho mayor que en los ensayos a 120 y 130 voltios, es por eso que se eligen las tablas de alimentación de 140V para observar el gráfico que ofrece dicho estudio, entre Corriente vs par, par vs velocidad,

GRÁFICOS PERILLA SENTIDO HORARIO

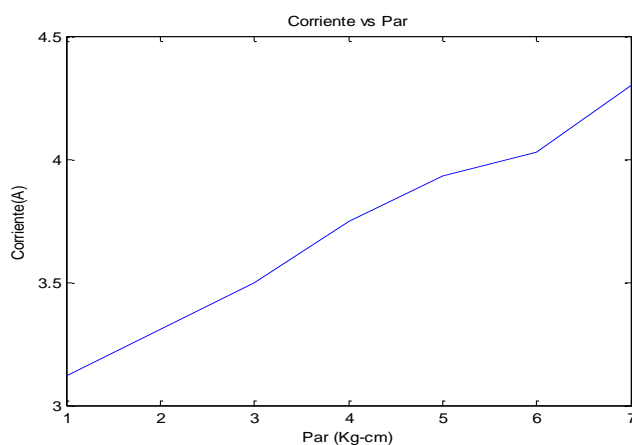


Gráfico 3.69 Corriente vs par (PSH)

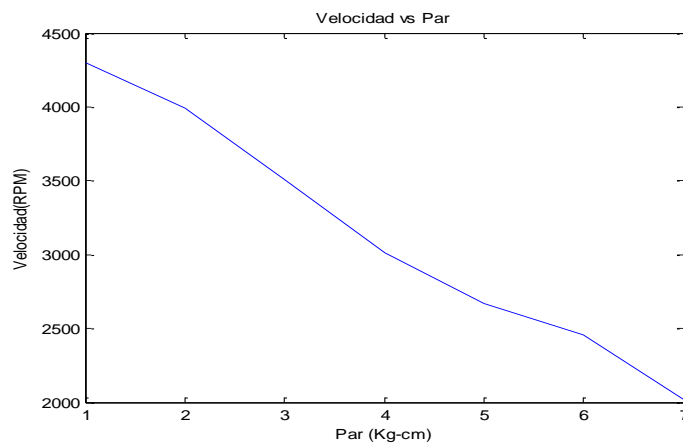


Gráfico 3.70 Velocidad vs par (PSH)

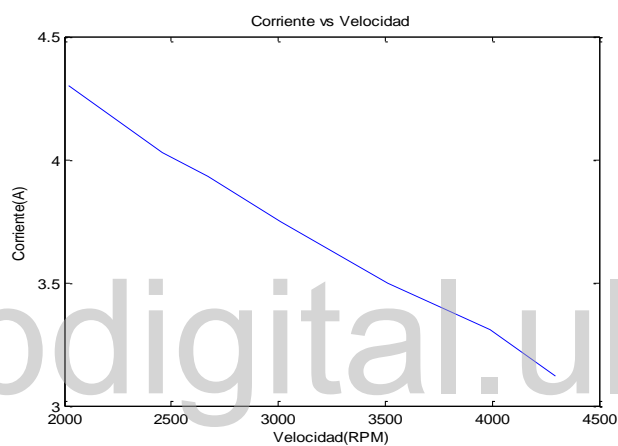


Gráfico 3.71 Corriente vs velocidad (PSH)

GRÁFICOS PERILLA SENTIDO ANTIHORARIO

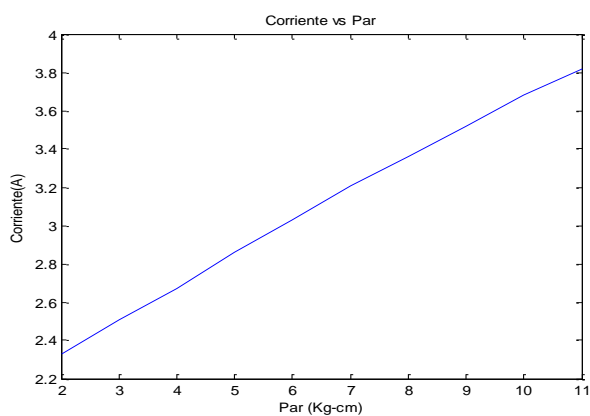


Gráfico 3.72 Corriente vs par (PSAH)

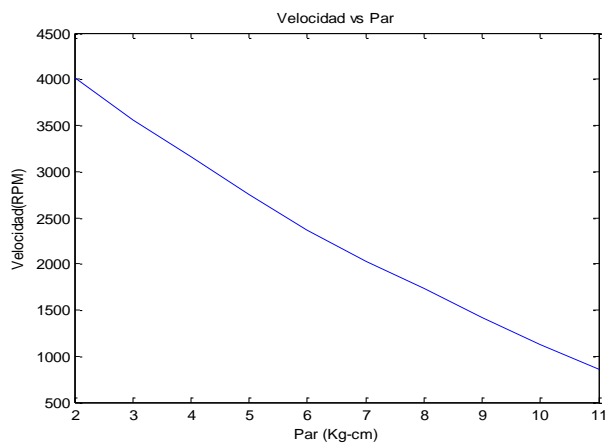


Gráfico 3.73 Velocidad vs par (PSAH)

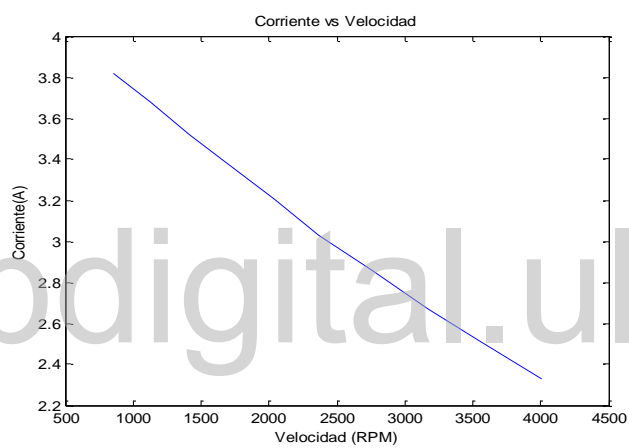


Gráfico 3.74 Corriente vs velocidad (PSAH)

CAPITULO 4

PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE MÁQUINAS

El estudio realizado a las máquinas del capítulo anterior, se lleva a cabo mediante el seguimiento estricto de una serie de pasos, con el fin de obtener los mejores resultados y conservar la seguridad del osciloscopio, pues este último es un equipo delicado y debe recibir un uso adecuado. Con el objetivo de que el estudio realizado a los motores sea repetido en otras oportunidades, nace la necesidad de plantear esquemas de conexión y un conjunto de pasos a realizar con el osciloscopio para obtener los resultados vistos en el capítulo anterior. El procedimiento para el estudio de los motores está directamente relacionado con el osciloscopio, más que con la conexión eléctrica, aunque esta conexión se encuentra explícita en cada uno de los esquemas de cada práctica.

La intención fundamental de las propuestas de este proyecto, consiste en acercar al usuario de las máquinas a obtener los resultados prácticos y experimentales de manera gráfica y con el menor número de instrumentos de medida posibles, reduciendo tal valor a uno, y es el lugar que ocupa el aparato osciloscopio digital usado en los experimentos realizados. Aparte de dar un vistazo a otra cara de los experimentos que usualmente se realizan a motores eléctricos, cabe resaltar que esta manera de realizar las prácticas, conlleva a un estudio más detallado de las magnitudes eléctricas que se obtienen, siendo un peldaño que ayuda a evolucionar la manera de estudiar fenómenos eléctricos que presentan las máquinas.

Cada práctica, así como cada tarea, está constituida principalmente por objetivos generales y específicos, siendo estos últimos los que ayudan a cumplir el objetivo general, cuyo planteamiento es el fundamental y quien determina la meta a alcanzar en la experiencia.

Para poder manipular todo instrumento o equipo, es necesario tener un conocimiento previo de las características del mismo y las aplicaciones que pueden ser explotadas en él y más si son equipos que funcionan con energía que puede afectar la seguridad del usuario, es por ello, que

cada practica exige el conocimiento teórico del funcionamiento y característica de cada equipo eléctrico que se va a usar para realizar cada experimento. De esta manera se tiene un poco más de garantía del uso adecuado, en cuanto a seguridad personal para el usuario, como para el equipo en el momento de realizar los ensayos que nos lleven a cumplir los objetivos planteados al principio. Es importante dejar en claro que el conocimiento teórico que se pueda tener previamente no garantiza del todo la seguridad tanto de los equipos, como del usuario, pues también queda de parte de quien los opere, tomar en cuenta reglas de seguridad industrial básicas necesarias para llevar a cabo cualquier proyecto, incluso el que se presenta ahora.

Para restar un poco el riesgo que puedan correr tanto las maquinas como el instrumento de medida, así como también el usuario, cada practica consta de una serie de pasos que se deben seguir para realizar las practicas, estos pasos llevan al usuario a dar un excelente uso y conseguir de manera más precisa las magnitudes eléctricas necesarias para alcanzar los objetivos. Estos pasos antes mencionados, se dividen en dos, uno para las conexiones básicas de las maquinas eléctricas y el otro para el buen uso del osciloscopio digital.

Al recaudar las señales y magnitudes eléctricas que arroja el osciloscopio en cada experiencia, se recomienda almacenarla en una memoria flash, cuyos pasos para lograr esto, también se encuentra escrito en la práctica uno, dejando claro que es posible realizarse a cada practica que se desee realizar. También se encuentra en cada práctica, una tabla para ser llenada con valores eficaces de las señales y magnitudes que requiera dicha tabla, cuyos datos contribuyen a la construcción de graficas que son solicitadas en la parte final de práctica, acompañada con su respectivo análisis de resultados, siendo este último, el escrito que deja explícitamente al docente el conocimiento adquirido por el o los estudiantes, de acuerdo al número de personas que integren cada grupo o al método de evaluación usado por el profesor. Las tablas nombradas anteriormente, no poseen un número finito de medidas a tomar, pues para la construcción de una curva se toma en cuenta el máximo número de valores posibles, antes de violar alguna regla o magnitud eléctrica que exceda los nominales y que puedan poner en peligro, tanto al usuario como a los equipos. Queda a criterio de cada estudiante, bajo la supervisión del profesor guía, el tomar el número de medidas que no generen peligro de ningún tipo.

El planteamiento está constituido por 5 prácticas, en las que se trabaja con los motores: jaula de ardilla, rotor devanado, motor de corriente continua y un motor de repulsión, para los

cuales el manipularlos, requiere de un conocimiento previo a cerca de fundamentos teóricos de cada uno de ellos.

La práctica número uno, se trata del motor trifásico de inducción en general, siendo un tipo de motor que posee dos tipos de rotores, lo que conlleva a realizar el ensayo a ambos motores y comparar los resultados. Para tener éxito en la práctica, el estudiante debe tener conocimientos previos a cerca de cada uno de los motores, siendo su diferencia el tipo de rotor, en general lo que debe dominar son los circuitos trifásicos, el modo de funcionamiento de cada uno en cuanto a deslizamiento y valores de revoluciones por minuto y corriente se refiere, así como también la corriente de arranque de cada uno, tomando en cuenta los datos de placa que posee cada máquina de inducción. Otro punto teórico muy importante que el estudiante debe dominar es el uso del osciloscopio, siendo el usado en esta caso uno digital, no dista mucho de los osciloscopios analógicos. El tener estos conocimientos, le abre la posibilidad al estudiante de evaluar si los datos que está arrojando el aparato de medida son correctos o erróneos, como por ejemplo al momento de asignar una carga al eje del motor que pueda exceder la corriente nominal de arranque y este sufra algún daño.

Una vez que el estudiante obtiene todos los datos, es posible cumplir con los objetivos planteados al inicio y los que son considerados necesarios para el aprendizaje de cada experiencia, ya que podrá demostrar por sí mismo, con curvas y cálculos, los conocimientos que en teoría tiene, como son: las características de funcionamiento, las variaciones de acuerdo a la carga, así como también las condiciones nominales de cada máquina.

En la práctica número dos, se trabaja con un motor de inducción jaula de ardilla pero con la aplicación de generador, esta configuración es pocas veces usada a este tipo de máquina, ya que teóricamente se sabe que no puede generar potencia reactiva por sí mismo, sino que esta debe ser extraída de un banco de capacitores o de una red de potencia infinita, este punto es muy importante a ser tomado en cuenta por el estudiante antes de hacer esta práctica, la idea principal de esta experiencia, es la de poder calcular cuanta potencia puede aportar el generador cuando su velocidad excede la de sincronismo, así como también el variar la velocidad de la maquina motriz y observar como la maquina pasa de generador a motor y viceversa cuando la potencia reactiva es extraída de la red.

Ya en la siguiente practica se trabaja con motores de corriente continua, pero antes de darle esta aplicación primero se plantea observar el comportamiento como generador, ya que es un tipo de máquina de doble función dependiendo de la configuración que se le otorgue, conocimiento previo que debe tener el estudiante antes de realizar cualquier tipo de conexión eléctrica, la que se pide en esta práctica, es la conexión independiente, para poder realizarla, el estudiante debe identificar las partes que constituyen tal maquina eléctrica y así poder realizar las conexiones pertinentes. Como objetivo general, observar el comportamiento y la generación de voltaje de corriente continua a su salida.

La próxima práctica está relacionada con la configuración de la máquina de corriente continua, pero esta vez con el uso como motor, el conocimiento previo a tener antes de realizar cualquier experiencia con la máquina, es la de sus tipos de conexiones como motor, sea serie, paralelo o conexión independiente, siendo cada una de estas configuraciones diferentes entre ellas debido a la respuesta mecánica que ofrecen. El objetivo, trazar las curvas de acuerdo a los valores solicitados en la tabla y así, demostrar la diferencia que hay en cada configuración y los valores nominales que posee la máquina de acuerdo a cada aplicación. Cabe destacar que el estudiante debe tomar en cuenta la alimentación de 220V de corriente continua para esta máquina y así lograr los valores nominales.

Por último, se desea conocer el comportamiento y las características eléctricas y mecánicas de un motor de inducción monofásico, conocido como Motor de Repulsión, el objetivo es observar el funcionamiento de la maquina cuando se varia el campo de la armadura, movimiento que es posible realizarse con el uso de una perilla que posee el motor paralelo a su eje. Para realizar tal práctica, es necesario el conocimiento previo a cerca del funcionamiento de los motores de inducción monofásicos, tomando en cuenta que particularmente, el motor en estudio trabaja con 220V monofásico, lo que quiere decir que necesita dos fases y debe tomar en cuenta el tipo de sistema de distribución con el que cuente antes de hacer algún tipo de conexión eléctrica en el motor. Al llenar las tablas propuestas en la práctica del anexo, el estudiante debe estar en la capacidad de determinar el sentido de giro de la perilla, en el cual el motor ofrezca mejor trabajo mecánico a su salida, así como también el de observar las variaciones de para metros como el par eléctrico en función de su corriente.

CONCLUSIONES

El enfoque principal del proyecto está orientado al análisis de las maquinas rotativas seleccionadas, mediante el uso del osciloscopio y darle una mirada al comportamiento grafico de los motores, al poder observar a detalle las señales que estos arrojan durante su funcionamiento, así como también, preservar el adecuado uso de equipos delicados como lo es el osciloscopio digital. Se observa en capítulos anteriores, que una de las ventajas del planteamiento de estas prácticas para realizar los estudios, es el poco uso de instrumentos de medida, pues no hay presentes equipos de medición de voltaje, amperaje, resistencia, factor de potencia o potencia, pues basta con el osciloscopio para el cálculo de gran parte de estas magnitudes eléctricas que nos permiten realizar el estudio a las maquinas rotativas.

Las ganancias del estudio realizado son importantes para el avance del laboratorio en cuanto a un nuevo aparato de medida se refiere, con el fin de que pueda darse una aplicación al osciloscopio con las maquinas rotativas o incluso maquinas eléctricas estáticas, ya que es importante el observar a través del osciloscopio fenómenos que solo podían simularse y apreciarse de acuerdo a ecuaciones matemáticas y a simulaciones basadas en expresiones que tienen que ver con cada máquina en específico. La curiosidad y el empuje de cada estudiante de mirar más de cerca las maquinas que impulsan el avance tecnológico y la industria en el mundo, es lo que lleva a obtener este enfoque en los motores, tomando como ejemplo aquellos gráficos obtenidos en instantes tan pequeños, que permiten llevar el conocimientos y dar una idea del comportamiento de las maquinas, que en el pasado, era imposible de obtener.

Este proyecto lleva como fin el fortalecimiento académico de una de las ramas más importantes en la ingeniería que son necesarias estudiar para el desarrollo práctico al momento de la

Elaboración de algún proyecto industrial, impulsado por máquinas que rotativas, así como también, fomentar el desarrollo de nuevas técnicas de medición y apreciación de las magnitudes eléctricas que nos permiten conocer los fenómenos eléctricos que desarrollan las máquinas eléctricas.

www.bdigital.ula.ve

RECOMENDACIONES

- Principalmente contar con un banco de trabajo más idóneo para la manipulación de las máquinas eléctricas, éstas deben estar aisladas de cualquier material conductor que pueda ocasionar la circulación de corriente hacia tierra o generar un cortocircuito y en general algún accidente que ponga en riesgo la seguridad del operario o usuario y de las máquinas.
- La alimentación del Electrodinómetro debe realizarse de manera regulada, hasta alcanzar el equilibrio del nivel y obtener el par de prueba del motor en estudio, es decir, no debe alimentarse su devanado con 220VCC como lo dicen sus datos de placa.
- El motor de repulsión, no debe alimentarse con 220VAC, debido a que basta con 140 voltios para alcanzar sus valores nominales en cuanto a corriente a torque se refiere.
- Obtener accesorios que permitan en buen desarrollo de las prácticas de laboratorio, como son: resistencias variables y capacitores para el estudio profundo de las máquinas eléctricas de acuerdo a sus diferentes aplicaciones.
- Se recomienda el estudio profundo de cada gráfica obtenida del aparato osciloscopio, una vez que se almacena en una memoria flash, pues existe la opción de obtener un archivo CSV, el cual puede manipularse a través de programas matemáticos.
- Debe tomarse en cuenta que el aparato osciloscopio usado tiene una amplia gama de opciones para explorar y obtener de allí, gráficos y estudios matemáticos diferentes, que permitan avanzar en cada análisis realizado, por ende, se recomienda el estudio a fondo del aparato osciloscopio revisando el manual del mismo.

REFERENCIAS

[1] Mora, Pedro Omar. Motores Asíncronos. Máquinas Eléctricas II. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mérida. 1995

[2] Tipos de Rotor de Motor Asíncrono. “Diagnóstico de Fallos en el Rotor de Motores Eléctricos en Estado Transitorio mediante Técnicas Estadísticas” Universidad de Valladolid. Escuela de Ingeniería Industrial. Valladolid. 2017 de <https://core.ac.uk/download/pdf/132345465.pdf>

[3] Corriente de Arranque de Motores Eléctricos Motortico. 2013 de <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2013%20NOV%20-%20Corriente%20de%20Arranque%20en%20Motores%20Electricos.pdf>.

[4] Mora, Pedro Omar. Máquinas de Corriente Continua. Máquinas Eléctricas II. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Mérida. 1995.

[5] Motor de Repulsión. (n.d.) de https://en.wikipedia.org/wiki/Repulsion_motor

[6] Osciloscopio de Almacenamiento Digital. Manual del Usuario. Tektronix. 2003 de www.tektronix.com

[7] Guías de Prácticas de Laboratorio. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería eléctrica

ANEXOS

www.bdigital.ula.ve

ANEXO 1

PRÁCTICA I: MOTOR TRIFÁSICO DE INDUCCIÓN

Objetivos Terminales

- Verificar las condiciones de funcionamiento del motor de inducción.
- Analizar las características de funcionamiento del motor de inducción.

Objetivos Específicos

- Identificar las partes del motor de inducción.
- Determinar de forma experimental sus condiciones nominales de funcionamiento del motor de inducción.
- Comparar valores teóricos o de placa con valores experimentales.
- Determinar experimentalmente, mediante el uso del foto tacómetro el deslizamiento.
- Determinar las características de funcionamiento de los motores de inducción.

Contenidos conceptuales necesarios para desarrollar la siguiente práctica

- **Motor de inducción**
 - Aspectos Constructivos
 - Funcionamiento
 - Jaula de Ardilla
 - Rotor Devanado
 - Condiciones Nominales
 - Deslizamiento
 - Potencia, Par y Rendimiento
- **Características de funcionamiento del motor de inducción**
 - Par vs Velocidad
 - Par vs Corriente

- Rendimiento vs Par
- $\cos(\varphi)$ vs Par

Procedimiento

- Para cada motor, realice el montaje eléctrico correspondiente (Practica 1: Conexión Motor jaula de ardilla y practica I: Conexión Motor rotor devanado) y obtenga las señales de voltaje y corriente en el régimen subtransitorio, transitorio y permanente en vacío. Así mismo, obtenga la señal de voltaje remanente en función del tiempo, al desconectar el motor de su alimentación.
- Calcule la distancia máxima a la cual se debe colocar el peso para obtener las condiciones nominales del motor de inducción. Obtenga los datos de corriente y par y compárelo con los datos de placa.
- Observe la señal de la foto tacómetro (jaula de ardilla) y calcule el deslizamiento.
- Para cada tipo de motor, obtenga experimentalmente las siguientes características de funcionamiento.

Obtenga los parámetros de cada motor a rotor bloqueado.

- Par vs Velocidad
- Par vs Corriente
- Rendimiento vs Par
- $\cos(\varphi)$ vs Par

Pasos a seguir con el osciloscopio para el desarrollo de la práctica

- Antes de encender el osciloscopio, asegúrese de AISLARLO con un transformador de relación 1:1, esto ofrecerá una mejor protección al osciloscopio.
- Encienda el osciloscopio y espere hasta que muestre las rejillas en pantalla negra con ambas señales (amarillo CH1 y azul CH2). En caso de ausencia de ambas o de alguna de las señales, oprima **AUTO CONFIG**. Si persiste alguna ausencia presione el botón 1 o 2 dependiendo de la señal ausente.

- Es necesario colocar ambas puntas del osciloscopio en el mismo punto de voltaje de fase, para poder calibrar ambas señales, antes de pasar una de las puntas a medir corriente, de esta manera no saldrá del margen de la pantalla ninguna de las señales durante el arranque y régimen permanente del motor.
- Ajuste las señales con los controles verticales y llévelos a la zona media de la escala.
- Para capturar la **SEÑAL DE DISPARO UNICO** del arranque del motor configure el osciloscopio como sigue:
 - Gire los mandos **Vertical escala** (voltios/división) y **Horizontal Escala** (segundos/división) hasta verlos rangos correspondientes que espera.
 - Pulse el botón **Adquisición** para ver el menú adquisición.
 - Pulse el botón de opción **Det.Picos**.
 - Pulse el botón **MENU DISPARO** para ver el menú Disparo
 - Pulse **Pendiente ► positiva**
 - Pulse el botón **Sec. Única** para iniciar la adquisición
- Accione el interruptor y capte en la pantalla el momento de arranque del motor y su transitorio.
- Una vez que el motor esté encendido, capte la señal de voltaje remanente de una de las fases del motor, realizando de nuevo el paso 4, variando la perilla Horizontal Escala hasta que el estado del osciloscopio muestre “SCAN”.
- Apague el motor y pulse el botón Run/Stop y capte el momento del voltaje remanente de la bobina en función del tiempo.
- Conecte el electrodinamómetro al motor y varíe la carga desde vacío hasta su valor nominal, deslizando el peso desde 0 cm hasta la medida calculada para obtener su corriente nominal, vacíe los datos en la Tabla 4.1”Datos obtenidos del Motor Trifásico de Inducción” (las revoluciones pueden ser calculadas con la señal cuadrada del foto tacómetro).

Tabla 1 Datos obtenidos del Motor Trifásico de Inducción

T(0.9 Kg)	VACÍO	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm (Nom)
$V_{3\phi}(v)$									
$I(A)$									
$W_{3\phi}(w)$									
fp									
rpm									
$W_{sal}(w)$									
$\eta(\%)$									

- Para la toma de medidas de forma automática, se logra presionando el botón **Medidas** y puede seleccionar en el menú la magnitud que desea ver de cada canal, así como también es posible usar los cursores que ofrece el aparato osciloscopio, a continuación, el procedimiento a realizar para usarlos.

- **Medida de la frecuencia y la amplitud de la oscilación**
 - Pulse el botón **Cursores** para ver el menú **Cursores**.
 - Pulse **Tipo ► Tiempo**
 - Pulse **Fuente ► CH1**
 - Pulse el botón de opción **Cursor 1**.
 - Gire el mando multiuso para colocar un cursor en el primer pico de la oscilación.
 - Pulse el botón de opción de **Cursor 2**.
 - Gire el mando multiuso para colocar un cursor en el primer pico de la oscilación.
 - Puede ver el tiempo Δ (delta) y la frecuencia de diferencia (la frecuencia de oscilación medida) en el menú **Cursores**.

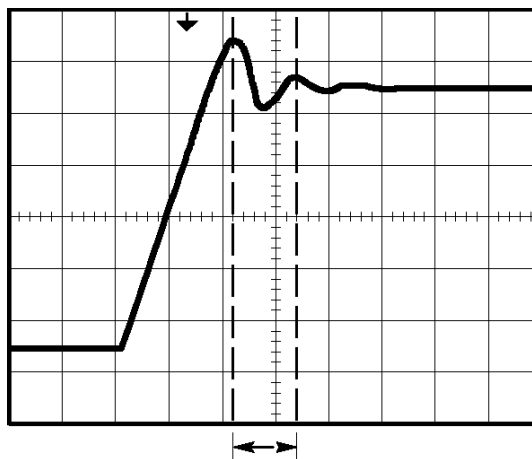


Gráfico 1 Frecuencia y Amplitud de Oscilación [Tektronix, 2003]

- Pulse **Tipo ► Amplitud**
- Pulse el botón de opción Cursor 1.
- Gire el mando multiuso para colocar un cursor en el primer pico de la oscilación.
- Pulse el botón de opción Cursor 2.
- Gire el mando multiuso para colocar un cursor en el primer pico de la oscilación. Puede ver la amplitud de la oscilación en el menú Cursores.

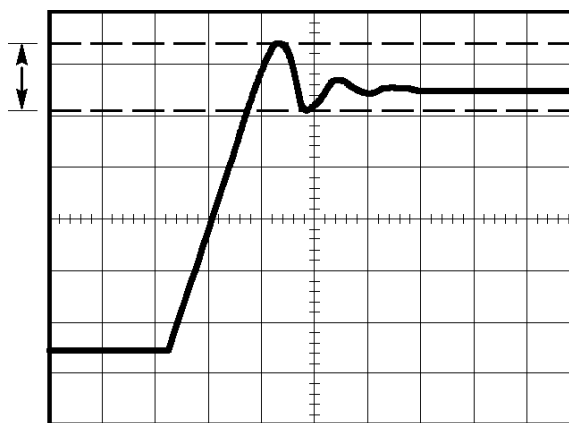


Gráfico 4.2 Amplitud de la señal [Tektronix, 2003]

- .Del osciloscopio se pueden extraer archivos detallados de cada gráfico, para lograrlo se debe configurar el equipo de la siguiente manera:
 - **Guardar todo archivo**

La opción Guardar todo arch permite guardar la información actual del osciloscopio en archivos de unidad USB flash. La acción Guardar todo arch requiere menos de 700KB de espacio en la unidad flash.

Antes de poder guardar datos en la unidad USB flash, debe cambiar el botón Imprimir del panel frontal para la función alternativa Guardar. Para ello, seleccione la opción **Alm./Rec.** ► **Guardar todo** ► **Botón IMPRIMIR** ► **Guardar todo arch.**

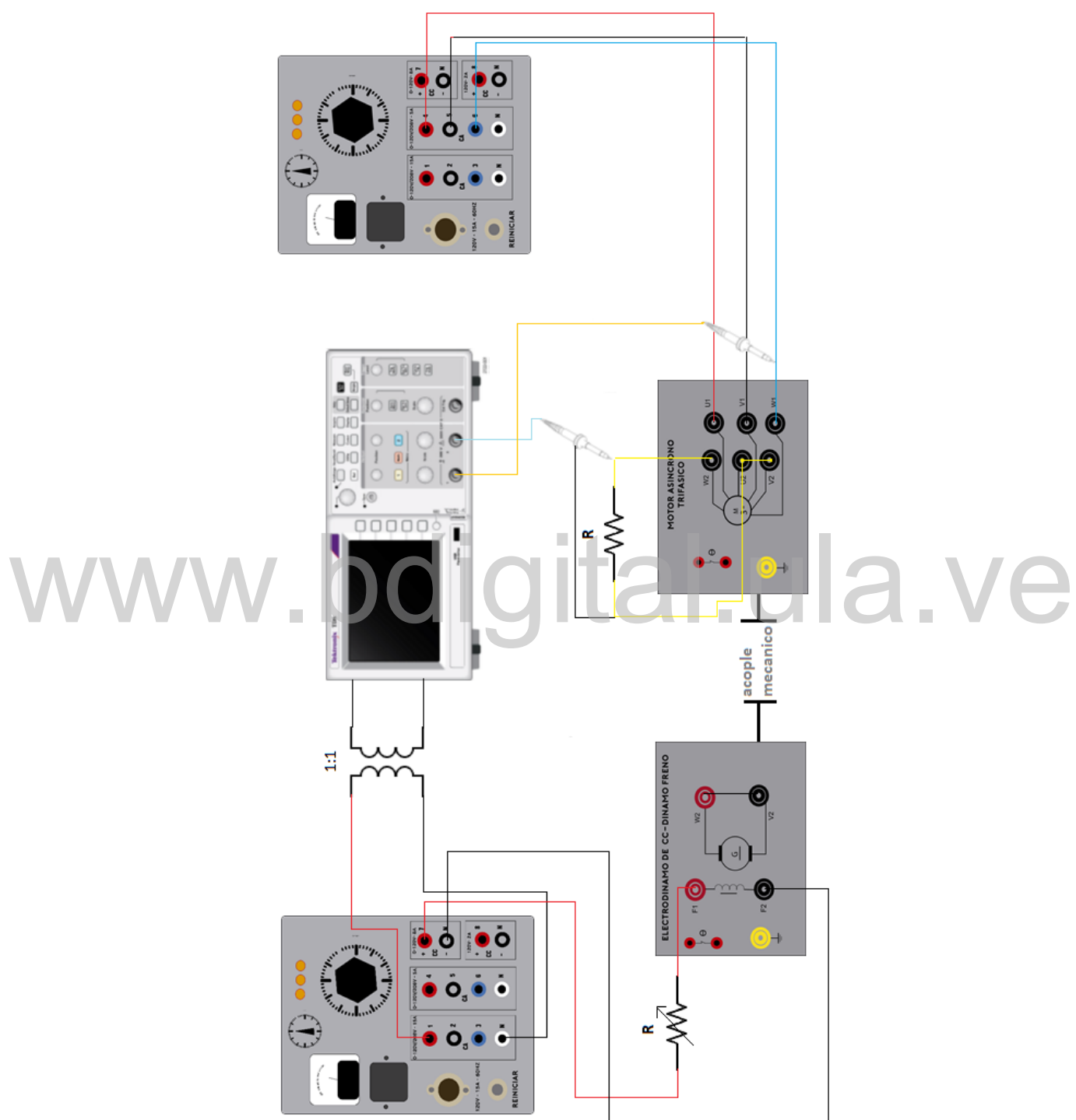
Para guardar todos los archivos del osciloscopio en una unidad USB flash, siga estos pasos:

1. Inserte una tarjeta USB flash en el puerto correspondiente.
2. Para cambiar la carpeta designada como carpeta actual, utilice el botón de opción Seleccionar Carpeta.
3. El osciloscopio crea una carpeta nueva dentro de la carpeta actual cada vez que pulsa el botón PRIN del panel frontal y genera automáticamente el nombre de la carpeta.
4. Configure el osciloscopio para capturar los datos.
5. Pulse el botón imprimir (Guardar).
6. El osciloscopio crea una carpeta nueva en la unidad flash y guarda la imagen en pantalla, los datos de forma de onda y los datos de configuración en archivos separados en esta nueva carpeta mediante el osciloscopio actual y la configuración del formato de archivo. El osciloscopio pone a la carpeta el nombre ALLnnnn.

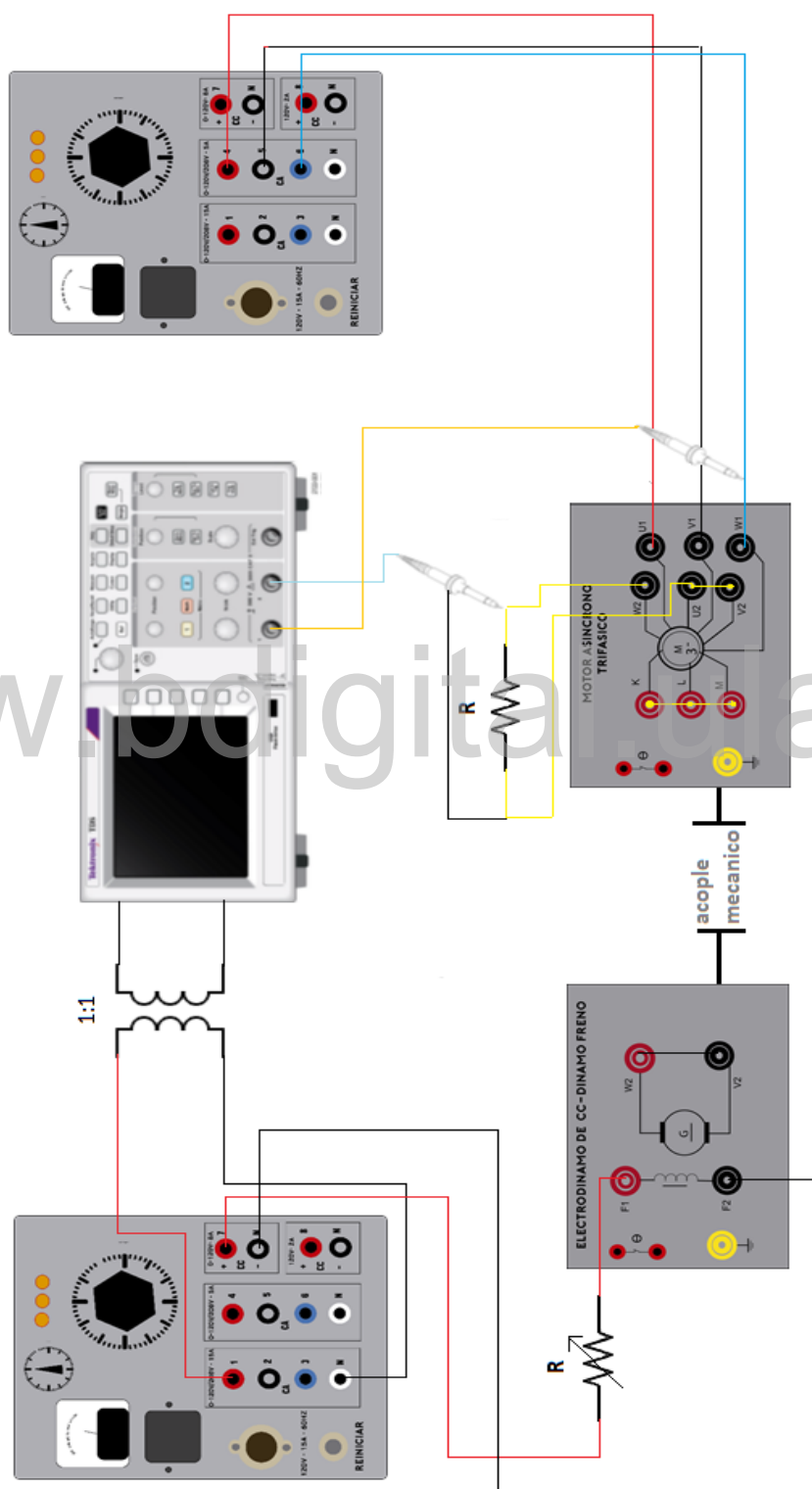
Para ver una lista de archivos que crea la función Guardar todo arch, acceda al menú:

Utilidades ► Utilidades del archivo

Practica I: Conexión motor jaula de ardilla



Practica I: Conexión motor rotor devanado



ANEXO 2

PRÁCTICA II: GENERADOR ASINCRONO

Objetivo terminal

Comprender y analizar el comportamiento de la máquina asincrónica como generador

Objetivo específico

Determinar el comportamiento de una Máquina Asíncrona como Generador conectada en Paralelo a la Red de Potencia Infinita.

Contenidos conceptuales necesarios para desarrollar la siguiente práctica

- **Máquina asíncrona como generador**

- Funcionamiento
- Características
- En paralelo con la red de potencia infinita
- Usos
- Limitaciones
- Ventajas y Desventajas

Procedimiento

- Realice el montaje eléctrico (Practica II: “Motor Jaula de Ardilla como Generador”), tomando en cuenta el uso de la máquina de corriente continua como máquina motriz para impulsar el generador asíncrono.
- Obtenga las señales de voltaje y corriente como generador y calcule la potencia activa y reactiva que el motor ofrece a su salida.

- Usando como ayuda el electrodinamómetro, pase de motor a generador y calcule la corriente y el factor de potencia para velocidades menor, igual y mayor a la de sincronismo.

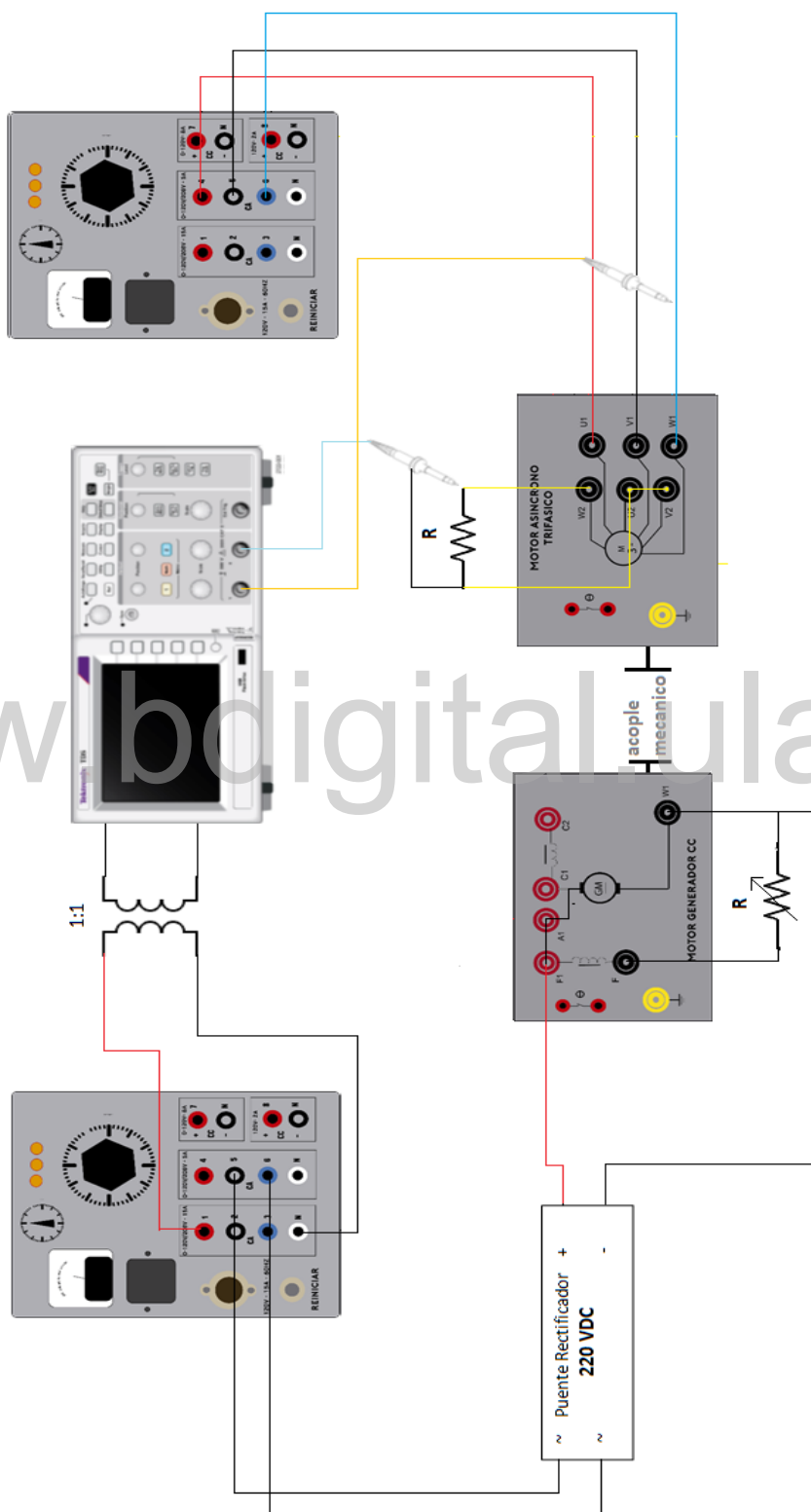
Pasos a seguir con el osciloscopio para el desarrollo de la práctica

- Antes de encender el osciloscopio, asegúrese de AISLARLO con un transformador de relación 1:1, esto ofrecerá una mejor protección al osciloscopio.
- Encienda el osciloscopio y espere hasta que muestre las rejillas en pantalla negra con ambas señales (amarillo CH1 y azul CH2). En caso de ausencia de ambas o de alguna de las señales, oprima **AUTO CONFIG**. Si persiste alguna la ausencia de alguna señal, presione el botón 1 o 2 dependiendo de la señal ausente.
- Es necesario colocar ambas puntas del osciloscopio en el mismo punto de voltaje de fase, para poder calibrar ambas señales, antes de pasar una de las puntas a medir corriente, de esta manera no saldrá del margen de la pantalla ninguna de las señales durante el arranque y régimen permanente del motor.
- Pase de motor a generador variando la alimentación del electrodinamómetro y ajuste el osciloscopio en la perilla **Horizontal Escala** (segundos/división), para calcular el desfase de la señal de corriente mientras pasa de motor a generador.

Tabla 4.2 Datos obtenidos del Generador Asíncrono

	n<3600rpm	n=3600rpm	n>3600rpm
V(v)			
I(A)			
fp			

Practica II: Conexión motor jaula de ardilla como generador



www.boigitalula.ve

ANEXO 3

PRACTICA III: MÁQUINA DE CORRIENTE CONTINUA COMO GENERADOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

Objetivo terminal

Comprender y analizar el comportamiento de la Máquina de Corriente Continua como Generador de Excitación Independiente.

Objetivos específicos

- Identificar las partes de la máquina de corriente continua.
- Determinar experimentalmente las características de funcionamiento del generador de excitación independiente.

Contenidos conceptuales necesarios para desarrollar la siguiente práctica

- La Máquina de corriente continua como generador
 - Aspectos constructivos.
 - Funcionamiento del generador de excitación independiente.
 - Condiciones nominales de funcionamiento.
 - Reacción de inducido.
- Características de funcionamiento de la máquina de corriente continua como generador de excitación independiente.
- Usos.

Procedimiento

- Realice el montaje (Practica IV “generador de corriente continua de excitación independiente”), tomando en cuenta que debe usar el motor sincrónico como máquina motriz para colocar a generar el motor de corriente continua.

- Obtenga los valores de voltaje y corriente ascendente y descendente del generador, teniendo presente de no devolver la medida para poder generar el gráfico de histéresis.

Pasos a seguir con el osciloscopio para el desarrollo de la práctica

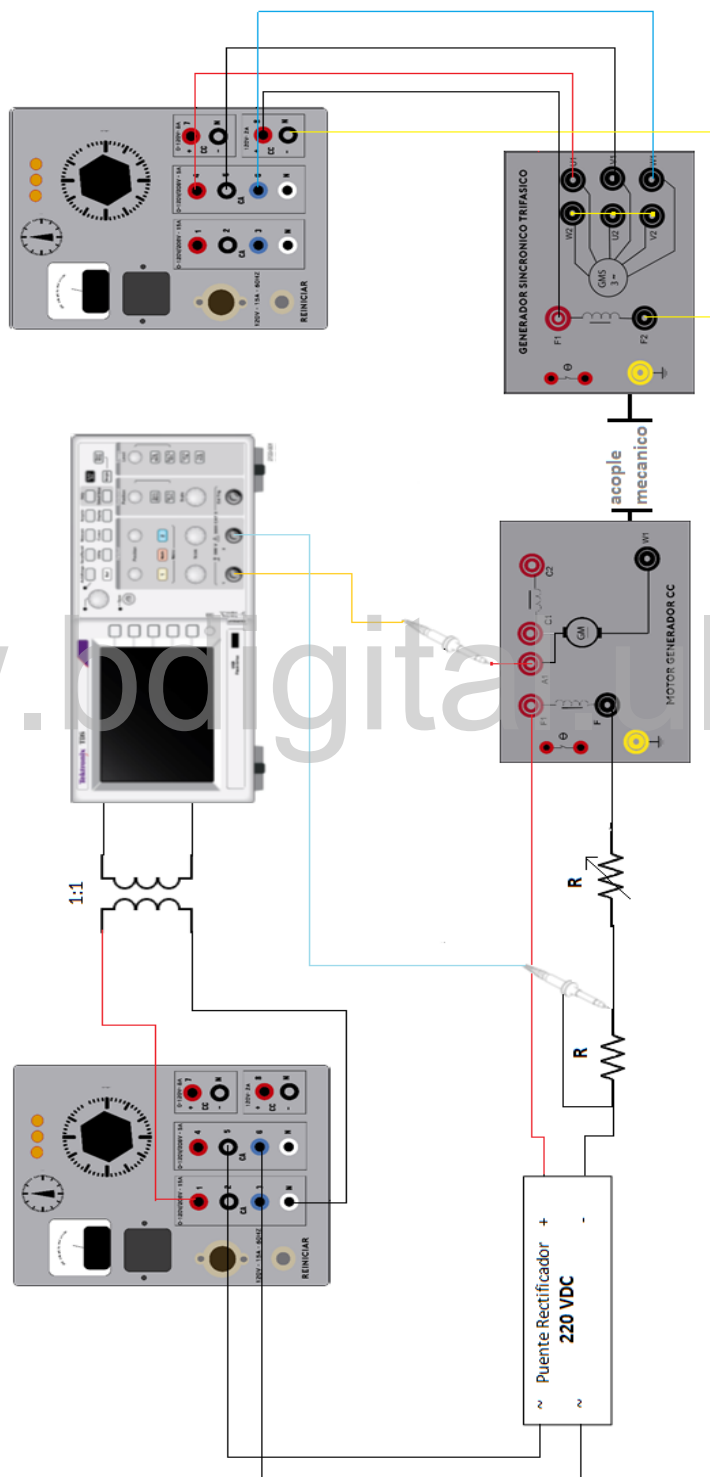
Antes de encender el osciloscopio, asegúrese de AISLARLO con un transformador de relación 1:1, esto ofrecerá una mejor protección al osciloscopio.

- Encienda el osciloscopio y espere hasta que muestre las rejillas en pantalla negra con ambas señales (amarillo CH1 y azul CH2). En caso de ausencia de ambas o de alguna de las señales, oprima **AUTO CONFIG**. Si persiste alguna ausencia presione el botón 1 o 2 dependiendo de la señal ausente.
- Es necesario colocar ambas puntas del osciloscopio en el mismo punto de voltaje de fase, para poder calibrar ambas señales, antes de pasar una de las puntas a medir corriente, de esta manera no saldrá del margen de la pantalla ninguna de las señales durante el arranque y régimen permanente del motor.
- Configure el osciloscopio para obtener automáticamente las medidas de voltaje y corriente de valores continuos presionando el botón **Medidas** y en el menú medidas, escoger los valores que desea obtener de manera automática.
- Gire las perillas de control vertical de cada canal **Vertical escala** (voltios/división) hasta una posición debajo de la línea media de la pantalla, debido al aumento del voltaje generador por el motor.

Tabla 4.3 Datos obtenidos de la Máquina de CC como Generador de Excitación Independiente

Ascendente		Descendente	
<u>Vgen(V)</u>	<u>Iexc(A)</u>	<u>Vgen(V)</u>	<u>Iexc(A)</u>

Practica III: Maquina de corriente continua como generador de excitación independiente



ANEXO 4

PRACTICA IV: MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Objetivo terminal

- Comprender y analizar el comportamiento de los motores de corriente continua

Objetivo específico

- Determinar las Características de Funcionamiento de los Motores de Corriente Continua presentes en el Laboratorio.

Contenidos conceptuales necesarios para desarrollar la siguiente práctica

- La máquina de corriente continua como motor
- Funcionamiento
 - Tipos de motores de corriente continua
 - Excitación independiente
 - Shunt o paralelo
 - Serie
- Características de funcionamiento de los motores de corriente continua
- Usos

Procedimiento

- Conecte la máquina de corriente continua (Practica IV “motor de corriente continua conexión paralelo”), y obtenga las condiciones nominales de funcionamiento y realice mediciones del par, la velocidad, la corriente y la tensión, para obtener las siguientes características:
 - Par vs Velocidad
 - Par vs I_a
 - I_a vs Velocidad

- Conecte la máquina de corriente continua como motor shunt (Practica IV “motor de corriente continua conexión serie”), obtenga las condiciones nominales de funcionamiento y realice las mediciones del par, la velocidad, la corriente y la tensión, para obtener las siguientes características:
 - Par vs Velocidad
 - Par vs I_a
 - I_a vs Velocidad
- Conecte la máquina de corriente continua (Practica IV “motor de corriente continua conexión independiente”), obtenga las condiciones nominales de funcionamiento y realice las mediciones del par, la velocidad, la corriente y la tensión, para obtener las siguientes características:
 - Par vs Velocidad
 - Par vs I_a
 - I_a vs Velocidad

Pasos a seguir con el Osciloscopio

- Antes de encender el osciloscopio, asegúrese de AISLARLO con un transformador de relación 1:1, esto ofrecerá una mejor protección al osciloscopio.
- Encienda el osciloscopio y espere hasta que muestre las rejillas en pantalla negra con ambas señales (amarillo CH1 y azul CH2). En caso de ausencia de ambas o de alguna de las señales, oprima **AUTO CONFIG**. Si persiste alguna ausencia presione el botón 1 o 2 dependiendo de la señal ausente.
- Es necesario colocar ambas puntas del osciloscopio en el mismo punto de voltaje de fase, para poder calibrar ambas señales, antes de pasar una de las puntas a medir corriente, de esta manera no saldrá del margen de la pantalla ninguna de las señales durante el arranque y régimen permanente del motor.

- Configure el osciloscopio para obtener automáticamente las medidas de voltaje y corriente de valores continuos presionando el botón **Medidas** y en el menú medidas, escoger los valores que desea obtener de manera automática.
- Gire las perillas de control vertical de cada canal **Vertical escala** (voltios/división) hasta una posición debajo de la línea media de la pantalla, debido al aumento del voltaje consumido por el motor.

Tabla 4.4 Datos obtenidos de la máquina corriente continua conexión paralelo

V(v)	I_{exc}(A)	I_{arm}(A)	T 0.9Kg (Cm)	RPM
-------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	------------

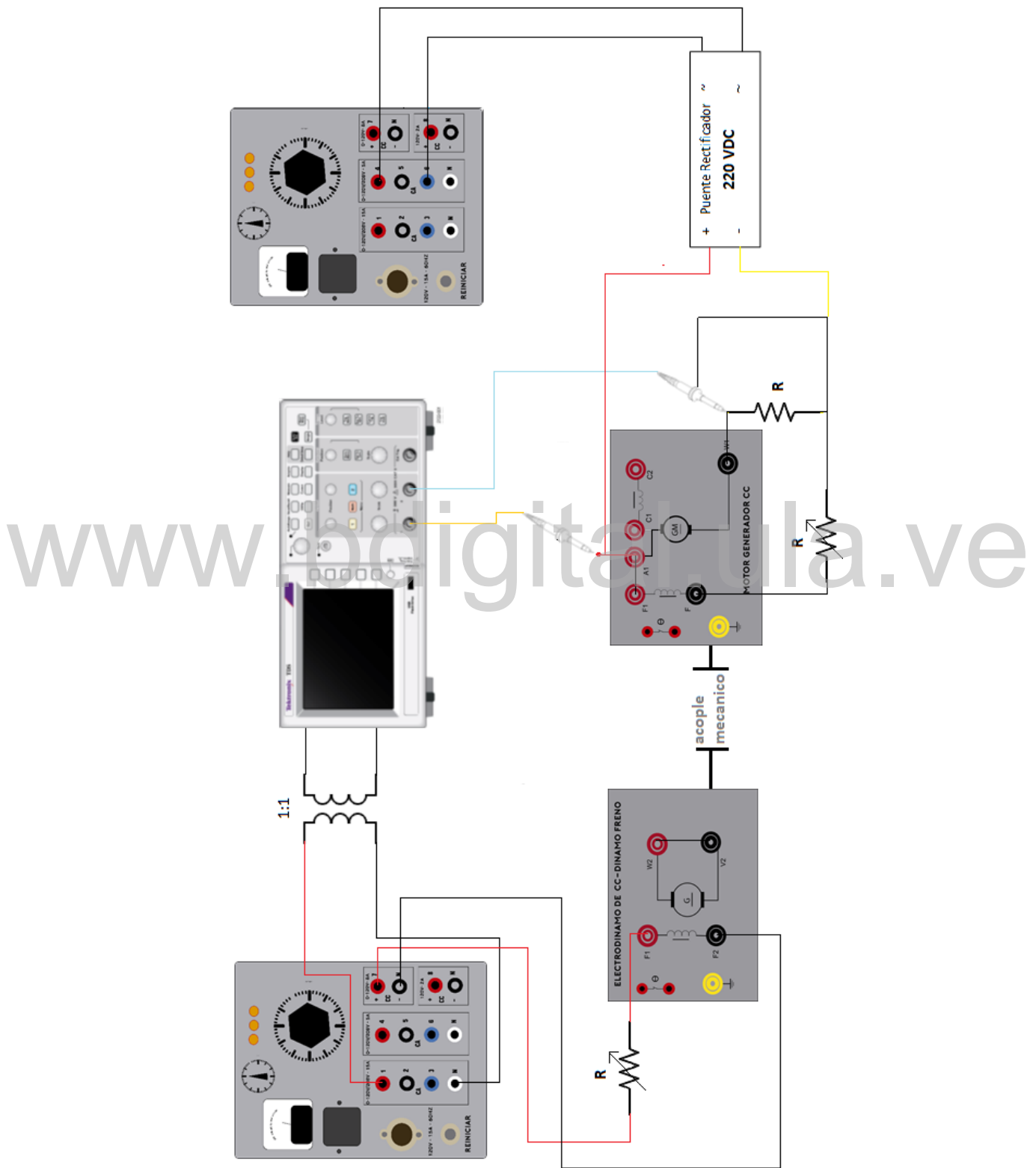
Tabla 4.5 Datos obtenidos de la máquina de corriente continua conexión serie

V(v)	I_{exc}(A)	I_{arm}(A)	T 0.9Kg (Cm)	RPM
-------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	------------

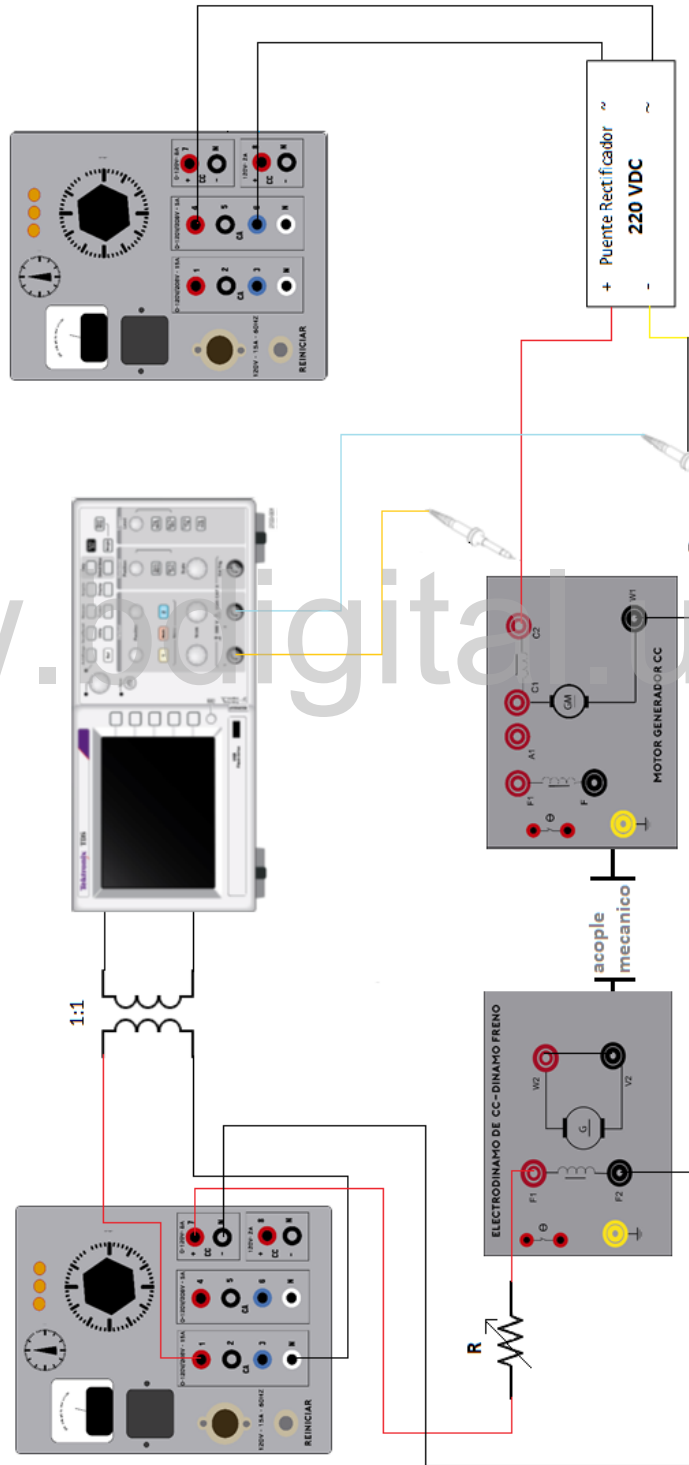
Tabla 4.6 Datos de máquina de corriente continua conexión independiente

V(v)	I_{exc}(A)	I_{arm}(A)	T 0.9Kg (Cm)	RPM
-------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	------------

PRACTICA IV: Motor corriente continua conexión paralelo

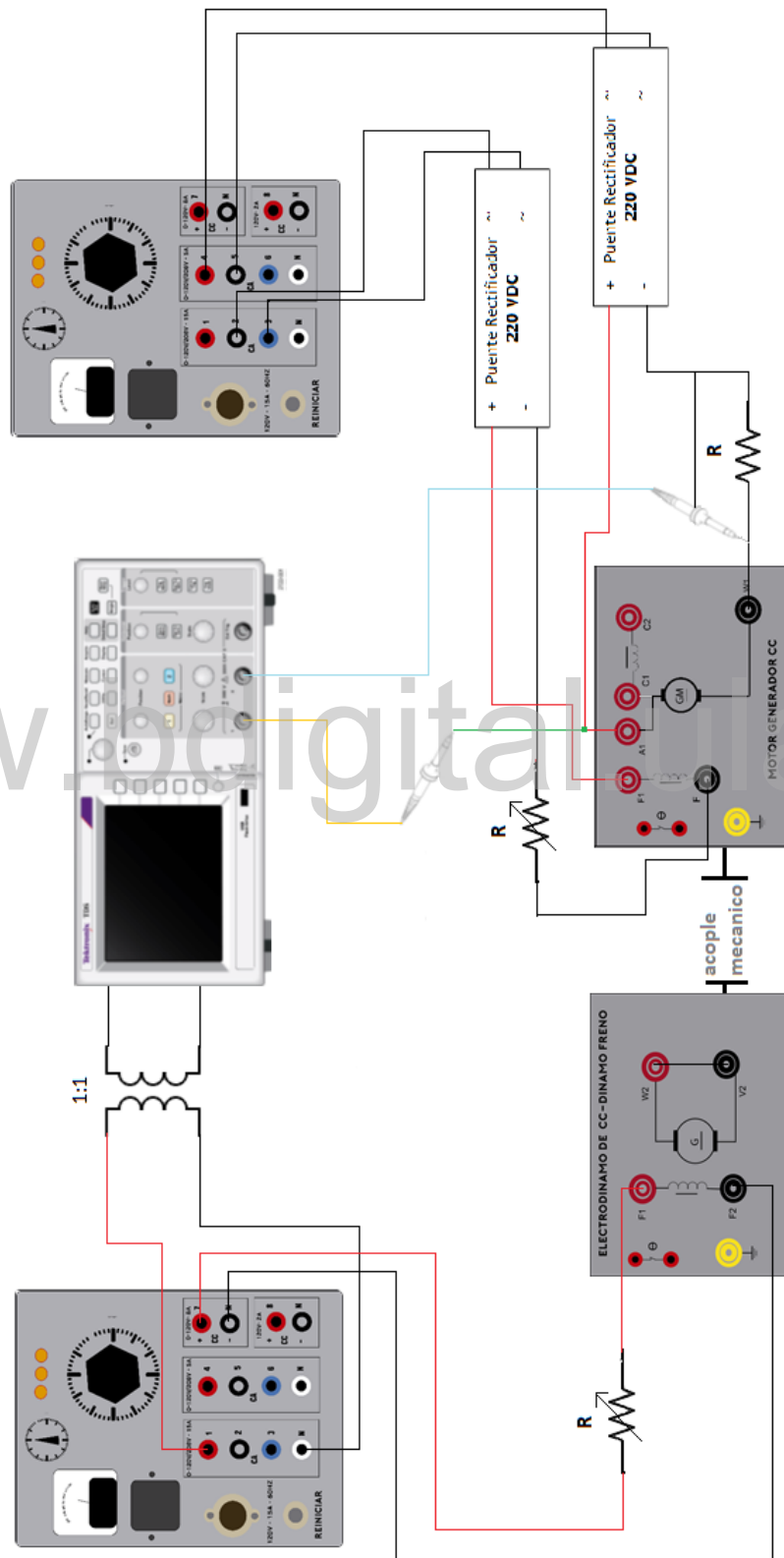


PRACTICA IV: Motor corriente continua conexión serie



www.digitalelectronics.com.ve

PRACTICA IV: Motor corriente continua conexión independiente



www.digitalelectronics.com.ve

ANEXO 5

PRÁCTICA V: Motor de repulsión

MOTOR DE REPULSIÓN

4.5.1 Objetivos terminales

- Verificar las Condiciones de Funcionamiento del Motor de Repulsión.
- Analizar las Características de Funcionamiento del Motor de Repulsión.

4.5.2 Objetivos específicos

- Identificar las partes del motor de repulsión.
- Determinar de forma experimental, sus condiciones nominales de funcionamiento del motor de inducción.
- Comparar valores teóricos o de placa con valores experimentales.
- Determinar las características de funcionamiento de los motores de repulsión.

4.5.3 Contenidos conceptuales necesarios para desarrollar la siguiente práctica

- Motor de repulsión
 - Funcionamiento
 - Condiciones nominales
 - Potencia, par y rendimiento

4.5.4 Procedimiento

- Realice el montaje eléctrico (Practica V “Motor de Repulsión”) y gire la perilla hacia algún sentido al máximo, tomando en cuenta una alimentación de 140 Voltios máximo en su alimentación y obtener los datos de corriente y velocidad sin variar el voltaje, de acuerdo a como avanza la carga a conectar.

- Gire la perilla y obtenga los mismos valores del paso anterior y observe el comportamiento de la máquina y compare el rendimiento en ambos sentidos.
- Para condiciones nominales, varíe la perilla en sentido contrario al sentido de giro del rotor y obtenga el valor de corriente y velocidad hasta que la carga disminuya en el nivel del Electrodinamómetro para cada carga.

Tabla 4.7 Datos obtenidos para 140 V y Perilla Sentido Horario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
------	-------	----------------	-----

Tabla 4.8 Datos obtenidos para 140 V y perilla sentido antihorario

V(v)	I (A)	T(0.9 Kg)* Xcm	RPM
------	-------	----------------	-----

4.5.5 Pasos a seguir con el osciloscopio para el desarrollo de la práctica

Los pasos a realizar con el osciloscopio son basados en los aplicados en la primera práctica, remitirse a los pasos citados de la página 3 y 4 de este capítulo. Agregando una técnica nueva para aplicar al osciloscopio cuando se requiera usar, a continuación los pasos para promediar una señal con presencia de ruido o irregularidad.

- 1) Examen de una Señal con Ruido

La señal parece tener ruido y se sospecha que este ruido esté causando problemas en el circuito. Para analizar mejor el ruido, siga estos pasos:

- Pulse el botón **Adquisición** para ver el menú Adquisición.
- Pulse el botón de opción **Det Picos**. La detección de picos pone de relieve los picos de ruido y los espurios de la señal, especialmente cuando la base de tiempo se establece en el ajuste lento.

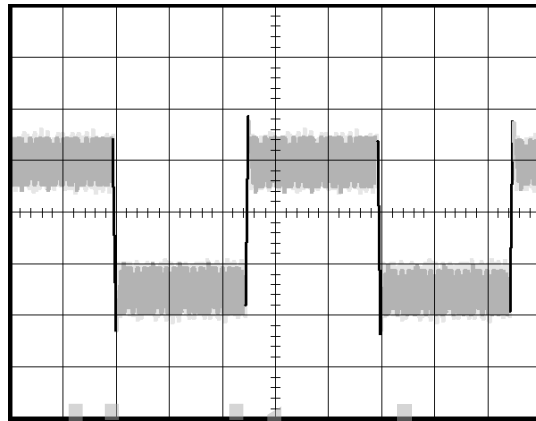


Gráfico 4.3 Señal Cuadrada con Ruido [Tektronix, 2003]

2) Separar la Señal de Ruido

Ahora se analiza la forma de la señal ignorando el ruido. Para reducir el ruido aleatorio en la presentación del osciloscopio, siga estos pasos:

- Pulse el botón **Adquisición** para ver el menú Adquisición.
- Pulse el botón opción **Promedio**.
- Pulse el botón de opción **Promediado** para ver el efecto que provoca variar el número de promedios en ejecución de la presentación de la forma de onda.

El promedio reduce el ruido aleatorio y permite examinar más fácilmente el detalle de una señal. En el ejemplo siguiente, una oscilación indica los flancos de subida y bajada de la señal al eliminar el ruido

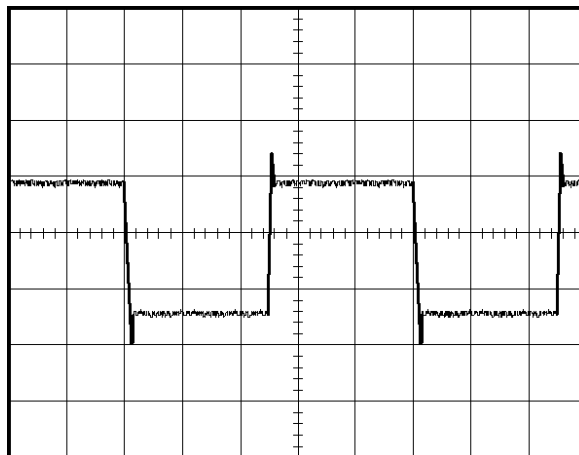
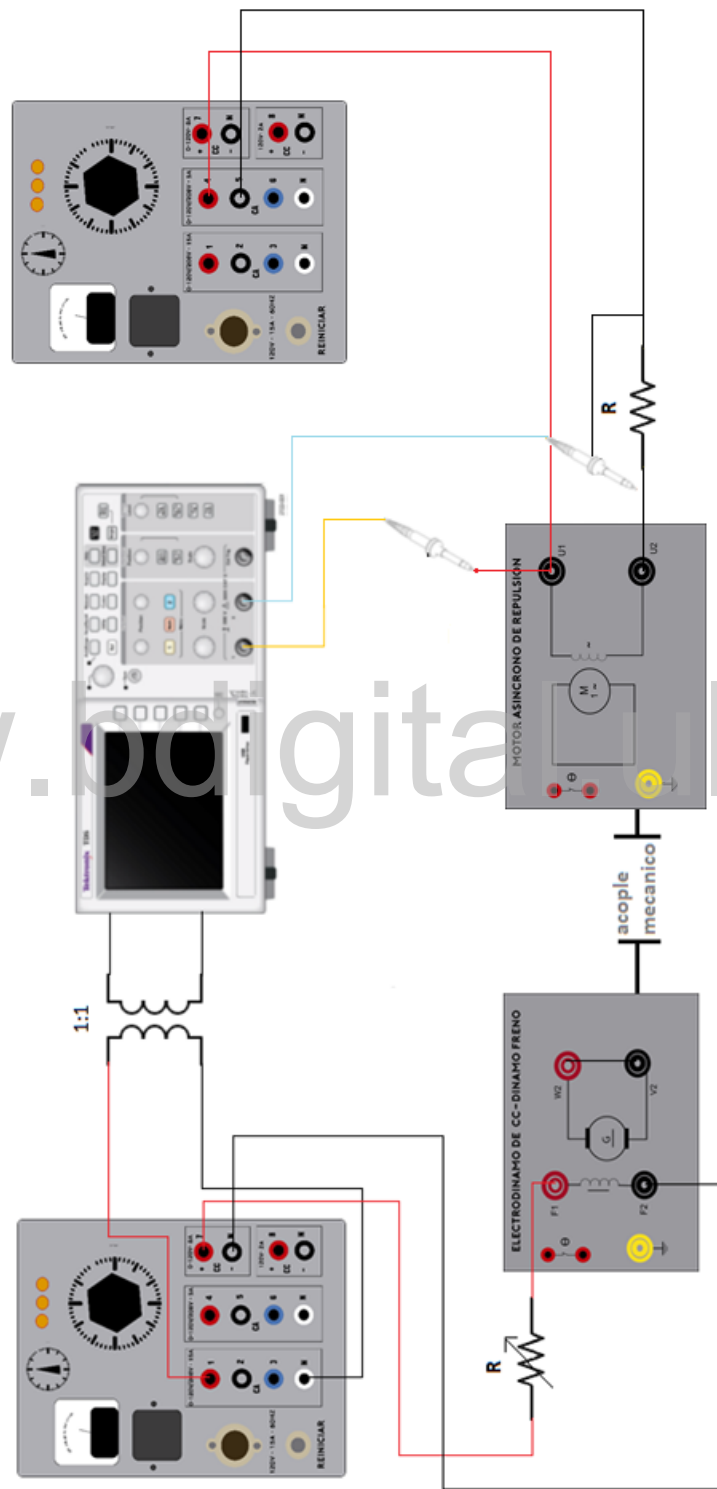


Gráfico 4.4 Señal Promediada sin Ruido [Tektronix, 2003]

www.bdigital.ula.ve

PRACTICA V: Motor de repulsión



www.digita.ve