



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO.**

Modalidad Proyecto Técnico

Título:

**“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN
AEROGENERADOR BAJO VARIABILIDAD DEL VIENTO EN
LABORATORIO DE POTENCIA”**

Autores:

**MERCHÁN OLEAS BILLY EUGENIO
SOLIS DELGADO JASMIN ALEXANDRA**

Tutor:

Ing. EDWIN PONCE MINAYA, MSc

MANTA – MANABÍ - ECUADOR

2025

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	REVISIÓN: 1
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular "Evaluación Del Rendimiento Energético De Un Aerogenerador Bajo Variabilidad Del Viento En Laboratorio De Potencia" bajo la autoría de Merchán Oleas Billy Eugenio, legalmente matriculado/a en la Carrera de Electricidad período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo núcleo problémico es la dificultad en el escenario práctico, teórico y matemático para evaluar el rendimiento energético del aerogenerador.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, agosto 13 de 2025

Lo certifico,

Ing. Edwin Bernardo Ponce Minaya, MsC
Docente Tutor(a)

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	REVISIÓN: 1
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular "Evaluación Del Rendimiento Energético De Un Aerogenerador Bajo Variabilidad Del Viento En Laboratorio De Potencia" bajo la autoría de Solís Delgado Jasmin Alexandra, legalmente matriculado/a en la Carrera de Electricidad período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo núcleo problémico es la dificultad en el escenario práctico, teórico y matemático para evaluar el rendimiento energético del aerogenerador.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, agosto 13 de 2025

Lo certifico,


 Ing. Edwin Bernardo Ponce Mhaya, MsC
 Docente Tutor(a)

Nota 1: Este documento debe ser realizado únicamente por el/la docente tutor/a y será receptado sin enmendaduras y con firma física original.

Nota 2: Este es un formato que se llenará por cada estudiante (de forma individual) y será otorgado cuando el informe de similitud sea favorable y además las fases de la Unidad de Integración Curricular estén aprobadas.



Evaluación Del Rendimiento Energético De Un Aerogenerador Bajo Variabilidad Del Viento En Laboratorio De Potencia



Nombre del documento: Eolica_evaluación de rendimiento energetico.docx
ID del documento: 846dfc83367da2fbd1ee7101a40ca06fbc27b829
Tamaño del documento original: 340,16 kB
Autores: Jasmin Alexandra Solis Delgado, Jasmin Alexandra Solis Delgado, Billy Eugenio Merchán Oleas

Depositante: Jasmin Alexandra Solis Delgado
Fecha de depósito: 13/8/2025
Tipo de carga: url_submission
fecha de fin de análisis: 13/8/2025

Número de palabras: 7816
Número de caracteres: 51.573

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuente con similitudes fortuitas

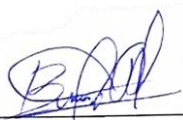
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Máquinas Eléctricas.docx Implementación de Dinamómetro Cuatro Cu... #c53311 Viene de de mi biblioteca	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	energia eolica.docx Simulación De Aerogenerador Mediante La Imple... #b51246 Viene de de mi biblioteca	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
2	repositorio.uleam.edu.ec UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABI: Sim... https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/58037?locale=en	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
3	132.248.9.195 Diseño, construcción y evaluación de un convertidor de potencia ... http://132.248.9.195/ptd2019/febrero/0785688/Inde.html	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO

Quien suscribe Merchán Oleas Billy Eugenio y Solís Delgado Jasmin Alexandra , con cédula de identidad N°1724412232 y N°1316817384, egresado de la Carrera de Electricidad de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, declaro que el presente proyecto de titulación: “Evaluación Del Rendimiento Energético De Un Aerogenerador Bajo Variabilidad Del Viento En Laboratorio De Potencia” es de autoría propia, el contenido, resultados y conclusiones obtenidas son de estricta responsabilidad del autor, teniendo como respaldo citas bibliográficas necesarias para el desarrollo del proyecto, respetando el derecho intelectual de cada autor citado. El patrimonio intelectual de este proyecto de titulación corresponderá a la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.



ESTUDIANTE
Merchán Oleas Billy Eugenio



ESTUDIANTE
Solís Delgado Jasmin Alexandra



ASESOR ACADÉMICO
Ing. Edwin Bernardo Ponce Minaya, MSc

DEDICATORIA

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de este camino. Por iluminarme en los momentos de oscuridad, darme fuerzas en los días difíciles y mantener viva mi fe para alcanzar este sueño. Este logro no sería posible sin su amor y su bondad.

A mis padres, mi mayor ejemplo y motor, gracias por cada sacrificio, por las madrugadas de trabajo, por las palabras de aliento cuando las necesitaba y por enseñarme que la humildad y la perseverancia son las verdaderas llaves del éxito. Este triunfo también es suyo.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos, gracias por ser parte de mi vida en cada reto y cada alegría, por sus conversaciones que me devolvieron la motivación, por las risas que me levantaron el ánimo y por demostrarme que el apoyo incondicional se vive, no solo se dice. A toda mi familia, gracias por su amor, su confianza y por recordarme siempre de dónde vengo y hacia dónde voy. Este logro es también un reflejo de la unión y fortaleza que nos caracteriza.

Hoy, con orgullo y gratitud, puedo decir que he alcanzado una meta muy importante en mi vida. Este es un triunfo compartido con todos ustedes, quienes han sido parte fundamental de este camino.

Merchán Oleas Billy Eugenio

DEDICATORIA

Quiero, en primera instancia, dedicarle el presente trabajo a mi abuelo Victor Delgado, quien, en su legado de vida, creyó en mí, sus palabras de optimismo son y serán reconfortantes.

A mis padres, Freddy Solis y Ana Delgado, por su arduo y duro esfuerzo, han sido mi fortaleza en toda esta trayectoria, animándome a seguir adelante, siendo mi rayo de luz ante los momentos más difíciles de mi vida.

A mi abuela, Ana Quijije, por darme felicidad y compañía en los momentos más saturados, y sus palabras de persistir y no desistir, haciendo que crea en mí misma.

A mi hermano y Frank, quienes estuvieron presente, dándome su compañía, haciendo que los pequeños momentos sean de paz y alegría.

A toda mi familia y personas que de alguna manera compartieron y estuvieron presente, dándome aliento, consejos y brindándome sus tiempos. Asimismo, a mis estimados amigos: Toala, Cedeño y Loor, quienes compartieron tiempo de estudio, aclarando dudas y alentándome.

.

Solis Delgado Jasmin Alexandra

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Edwin Ponce, MSc, tutor de esta tesis, por su invaluable guía, paciencia y dedicación durante todo el desarrollo de este trabajo de investigación. Su experiencia, compromiso y disposición para compartir sus conocimientos han sido fundamentales para lograr la culminación de este proyecto.

Asimismo, extendo mi gratitud al Ing. Vladimir Jaramillo, PhD, por su colaboración de aportes técnicos y disposición para orientar de manera paciente en este trabajo. Su apoyo ha enriquecido el contenido y ha permitido un enfoque más sólido y profesional.

A ambos, gracias por el tiempo brindado, las observaciones constructivas y la confianza depositada. Más allá de su rol como asesores, han sido mentores que me han inspirado a seguir creciendo profesional y personalmente.

A los amigos de estudio, que han sido parte de esta trayectoria de persistir y tener una meta que concluir. Finalmente, expresar, agradecimientos a los profesores que han impartido experiencias y material de aprendizaje profesional de calidad.

Merchán Oleas Billy Eugenio y Solis Delgado Jasmin Alexandra

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE TABLAS	14
CAPÍTULO 1.....	19
INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.....	19
1.1 Introducción.	19
1.2 Antecedentes	22
1.3 Planteamiento del problema.	23
1.4 Árbol del problema.....	24
1.5 Árbol de objetivos	25
1.6 Justificación.....	26
1.7 Delimitación.	26
1.7.1 Delimitación temática.	26
1.7.2 Delimitación espacial.	27
1.7.3 Delimitación temporal.....	27
1.8 Objetivos.	27
1.8.1 Objetivo General.	27
1.8.2 Objetivos específicos.....	27

CAPÍTULO 2.....	28
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	28
2.1 Energía eólica.....	28
2.1.2 Aplicación de energía eólica en Ecuador	29
2.2 Aerogeneradores.....	30
2.2.1 Tipos de Aerogeneradores	31
2.2.2 Aerogeneradores de eje horizontal.....	31
2.2.3 Aerogenerador de eje vertical	33
2.2.3.1 Aerogenerador de eje vertical tipo Savonius	33
2.2.3.2 Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus	34
2.3 Clasificación de aerogeneradores en función de distintos parámetros.....	35
a) Según el giro del eje	35
b) Según la cantidad de palas.....	36
c) Por la velocidad del rotor de la turbina eólica	36
d) Por el control y la regulación.....	37
e) Por el generador eléctrico	37
f) Por su emplazamiento.....	37
g) Por el tipo de viento.....	37
h) Por la interconexión a la red eléctrica	38
i) Por la potencia nominal	38

2.4	Componentes del aerogenerador	39
A.	Caja de engranaje:	39
B.	Generador:	40
C.	Freno:.....	40
D.	Góndola:	40
E.	Sistema de control:	40
F.	Sistema de almacenamiento y conexión:	40
2.5	Análisis de parámetros para el aerogenerador.....	41
2.5.1	Energía cinética	41
2.5.2	Distribución Weibull	45
2.5.2	Rosa de vientos	45
2.6	Tipos de Generadores.....	46
2.6.1	Generador síncrono de imanes permanentes (PMSG)	46
2.6.2	Generador de inducción de doble alimentación (DFIG)	47
2.6.3	Generador de inducción de jaula de ardilla (SCIG)	48
2.7	Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02).....	50
CAPÍTULO 3.....		51
3.1.	Metodología	51
3.2.	Módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (8960)	51

3.3. Módulo Alternador/controlador de aerogenerador eólica 8216-02	54
3.4. Módulo de resistencias.....	55
3.5. Banda de acoplamiento	57
3.6. Conjunto de funciones de emulador de turbina/motor 8968-3	59
3.7. Conectores tipo banana.....	60
3.8. Multímetro digital.....	61
3.9. Pinza amperimétrica.....	62
3.10. Análisis de Resultados (prácticas).	62
3.10.1 Procedimiento de prácticas	62
3.10.2 Práctica 1: Caracterización de la velocidad del viento en su conversión a velocidad angular del rotor.	63
3.10.3 Práctica 2: Evaluación en el rendimiento energético del aerogenerador a velocidad del viento constante.	64
3.10.4 Práctica 3: Respuesta energética ante ráfaga de viento (transitorio cortos)... 64	
3.10.5 Práctica 4: Evaluación del rendimiento energético con viento variable en forma sinusoidal.	66
3.10.6 Práctica 5: Evaluación del torque del generador ante distintas variaciones del viento.....	67
3.10.7 Práctica 6: Comparativa energética entre el régimen continuo y variable.....	68
3.10.8 Práctica 7: Potencia en función de velocidad del viento.....	69
CAPÍTULO 4.....	71

4.1Conclusiones	71
BIBLIOGRAFÍA	72
5 Recursos.....	83
5.1 Recursos Humanos	83
5.2 Recursos Económicos	83
6 Cronograma	85
Anexo 5	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Parque eólico Villonaco (Loja-Ecuador).....	30
Figura 2 Aerogenerador de eje horizontal	32
Figura 3 Aerogenerador de eje vertical Savonius	34
Figura 4 Aerogenerador de eje vertical Darrieus.....	35
Figura 5 Aerogenerador según el número de palas.....	36
Figura 6 Aerogenerador partes principales	41
Figura 7 Incremento del área sección transversal	43
Figura 8 Rosa de vientos.....	45
Figura 9 Sistema de un aerogenerador PMSG.....	47
Figura 10 a) Sistema simplificado de un aerogenerador con DFIG, b) Sistema a detalle de un aerogenerador con DFIG.....	48
Figura 11 Sistema de un aerogenerador con SCIG.....	49
Figura 12 Sistema de un aerogenerador PMSG enfocado en el módulo 8216-02	49

Figura 13 Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)	50
Figura 14 Módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (8960).....	52
Figura 15 Alternador/Generador de aerogenerador 8216-02.....	54
Figura 16 Módulo de resistencias	56
Figura 17 Banda de acoplamiento de dos módulos	57
Figura 18 Banda acoplada al módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) y el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo).	58
Figura 19 Software LVDAC-EMS emulador de aerogenerador	59
Figura 20 Conectores tipo banana	61
Figura 21 Multímetro digital.....	61
Figura 22 Pinza amperimétrica	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de aerogeneradores según su eje y subtipos.....	38
Tabla 2 Características del módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes modelo 8960-F	52
Tabla 3 Características técnicas del módulo Generador/controlador de turbina eólica 8216-0254	56
Tabla 4 Características técnicas del Módulo de resistencias	56
Tabla 5 Especificaciones del software para emulador de turbina	60
Tabla 6 Caracterización de la velocidad del viento en su conversión a velocidad angular del rotor	63

Tabla 7	Evaluación en el rendimiento energético del aerogenerador a velocidad del viento constante	64
Tabla 8	Respuesta energética ante ráfaga de viento (transitorio cortos).....	65
Tabla 9	Evaluación del rendimiento energético con viento variable en forma sinusoidal	66
Tabla 10	Evaluación del torque del generador ante distintas variaciones del viento	68
Tabla 11	Evaluación del viento en 8 m/s	69
Tabla 12	Evaluación del viento en 6 m/s y 10 m/s	69
Tabla 13	Evaluación de datos en 10 m/s.....	70
Tabla 14	Evaluación de datos en 7 m/s.....	70
Tabla 15	Evaluación de datos en 4 m/s.....	71
Tabla 16	Detalle de los recursos humanos y su aporte en el desarrollo del proyecto.....	83
Tabla 17	Detalle de los recursos materiales y económicos necesarios para la elaboración del proyecto.....	83

Resumen

La energía eólica ha ido tomando relevancia con los años, con la innovación de nuevos diseños de aerogeneradores y tecnologías asociadas, se puede obtener energía limpia por medio del viento, atrayendo aspectos favorables para suplir necesidades energéticas locales. El objetivo del actual estudio es evaluar el rendimiento energético del aerogenerador mediante la variabilidad del viento en diferentes simulaciones en el módulo 8216-02 Festo teniendo como principal característica del generador síncrono de imanes permanentes (PMSG), por lo cual este será apropiado para establecer estrategias factibles para el rendimiento. Utilizando la metodología de la investigación científica: cuantitativa, descriptiva, aplicada, no experimental, a través de prácticas en los módulos, recolección de datos y simulaciones, se determinarán escenarios adecuados. Por lo tanto, mediante la comparación de escenarios de diversas simulaciones bajo la variabilidad de la velocidad del viento y densidad del aire se analizó las características en relación con los parámetros dados. Luego se determina como resultado, que mediante la comparación de pruebas se optará por el principal criterio viable para el rendimiento energético del aerogenerador, que fue del 75.31%. En relación con lo desarrollado, se concluye que mediante las simulaciones del módulo 8216-02 Festo incorporado y el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo), se evaluó las características operativas, lo cual permitirá variar el comportamiento del aerogenerador, bajo los diversos escenarios de variabilidad de la velocidad del viento y densidad del aire, siendo de gran utilidad para generar una simulación con valores idóneos para rendimiento del aerogenerador.

Palabras claves: eólica, simulación, aerogenerador.

Abstract

Wind energy has become increasingly important over the years. With the innovation of new wind turbine designs and associated technologies, clean energy can be obtained from the wind, attracting favorable aspects to meet local energy needs. The objective of the current study is to evaluate the energy performance of the wind turbine through wind variability in different simulations in the Festo 8216-02 module, with the main feature being the permanent magnet synchronous generator (PMSG), which will be appropriate for establishing feasible strategies for performance. Using scientific research methodology: quantitative, descriptive, applied, non-experimental, through practical work in the modules, data collection, and simulations, suitable scenarios will be determined. Therefore, by comparing scenarios from various simulations under varying wind speeds and air densities, the characteristics were analyzed in relation to the given parameters. The result was that, by comparing tests, the main viable criterion for the wind turbine's energy performance was chosen, which was 75.31%. In relation to what was developed, it was concluded that through the simulations of the incorporated Festo 8216-02 module and the LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo) software, the operational characteristics were evaluated, which will allow the behavior of the wind turbine to be varied under various scenarios of wind speed and air density variability, being very useful for generating a simulation with ideal values for wind turbine performance.

Keywords: wind, simulations, wind turbine.

TEMA

Evaluación del Rendimiento Energético de un Aerogenerador bajo
Variabilidad del Viento en Laboratorio de Potencia.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

Las energías renovables, han demostrado el incremento de su eficiencia en la generación de energía, destacando entre ellas la solar, la eólica y la hidráulica (Palacios et al., 2019). Una creciente demanda energética, impulsa la integración de tecnologías renovables. Por lo tanto, la energía eólica se presenta como una de la opción viable, incorporándose poco a poco a nivel local, teniendo en cuenta el dimensionamiento del área evaluada en puntos accesibles para la implantación de los aerogeneradores (Salgado, 2022).

La energía eólica, caracterizada por su bajo régimen de giro y alto par, se transforma en energía mecánica de alta velocidad y bajo par, lo que permite al generador convertirla en energía eléctrica (Salgado, 2022). Según (*Atlas Eólico Del Ecuador: Con Fines De Generación Eléctrica 2013*, n.d.), en las zonas aprovechables del país, las velocidades medias anuales del viento superan los 7 m/s a 3000 metros sobre el nivel del mar, lo que contribuiría a los 21,15 MW de potencia ya en servicio (Alvarez, Jurado, Flores & Reivan, 2023).

Por otro lado, el aerogenerador no se moverá si tiene un umbral por debajo del valor de viento inicial que permita girar el rotor. Las turbinas eólicas comienzan a producir electricidad cuando superan la velocidad inicial, que en la mayoría de las turbinas comerciales se sitúa entre los 3 y 4 m/s (Oguz A. Soysal, Hilkat S. Soysal, 2020). El diseño de un sistema de energía eólica debe optimizar la captura de energía anual de acuerdo a las condiciones del sitio. Una manera eficiente de aprovechar el viento es mediante pitch control del aerogenerador (Patel & Beik, 2021).

En consecuencia, ante una velocidad de corte, las turbinas eólicas se detienen para prevenir sobrecargas y el deterioro de la vida útil de la estructura. Usualmente, la eficiencia máxima se logra a velocidades del viento entre 10, 12 y 16 m/s, donde la potencia de salida alcanza su

capacidad nominal, estos valores difieren según el tipo de aerogenerador (Bhattacharya, 2019). Por otro lado, escenarios de variabilidad de viento y determinar su eficiencia en un rango de valor de velocidad del viento, se las puede realizar en módulos de Festo (López-Flores et al., 2020).

Un punto característico a recalcar es el límite de Betz (Coelho, 2023) refiere a este término como la eficiencia o potencia máxima en una turbina eólica ideal, así mismo la ecuación se la puede integrar con datos reales. Además, la curva de potencia describe, criterios de control para un aerogenerador en función de la velocidad, esta curva define dos regiones principales de operación: las regiones 2 y 3, es donde se va a ir ajustando la velocidad de la turbina en respuesta a los cambios en el viento (Joe H. Chow & Juan J. Sanchez-Gasca, 2019).

Por otro lado, la curva de potencia es una característica fundamental que es proporcionada por el fabricante de la turbina, considerando que las velocidades del viento varían en el transcurso del tiempo, lo que inevitablemente provoca fluctuaciones en la generación de energía (Bhattacharya, 2019). Ante variabilidad del viento con turbulencia, se debe tener precaución de una velocidad excesiva, ya que puede dañar el aerogenerador, en escenarios de la vida real tienen sistemas de control y regulación de velocidad. En módulos emuladores, tienen una baja probabilidad de que lleguen a tomar una velocidad excesiva no controlada (V. Jaramillo-García, comunicación personal, 20 de mayo del 2025).

En las turbinas eólicas, se han implementado variedad de tecnologías de generadores como: el generador de inducción (IG), el generador de inducción de doble alimentación (DFIG), el generador síncrono de imanes permanentes (PMSG), entre otros que se describirán con más detalle a lo largo de este documento (Beik & Al-Adsani, 2020). En un análisis comparativo con otros tipos de generadores, el PMSG destaca por sus ventajas, al ser de velocidad variable y presentar menores pérdidas mecánicas (Yee Heng et al., 2022).

En estudios la eficiencia del emulador de pequeña turbina eólica, junto con el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes, ha demostrado gran precisión al evaluar diferentes escenarios de funcionamiento. Las variaciones realizadas mostraron una diferencia aceptable, que oscila entre rangos permitidos en comparación con los resultados experimentales (López-Flores et al., 2020). Un factor a considerar es el coeficiente de potencia (C_p) de la turbina eólica, que define la proporción de potencia que se extrae del viento mediante mediciones a diversas velocidades del viento (Beik & Al-Adsani, 2020).

La comprensión de los vientos es un estudio amplio, con datos de (*WAYREapp – Aplicación Desarrollada Por El IIGE Para Impulsar Los Estudios En Energía Eólica – Instituto de Investigación Geológico y Energético*, n.d.) se permite evaluar el comportamiento del viento mediante la creación de plantillas, así simular y emular los datos en el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo), en conjunto con el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo) donde se podrá guardar e incluir datos, y visualizar los datos estimados en gráficos.

Por consiguiente, el laboratorio de potencia de la carrera Electricidad abarca una gran cantidad de equipos que se han ido adquiriendo planificadamente, y es por ello que debido al gran impacto de estudio, surge la necesidad de implementar el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), posibilitando la evaluación de parámetros variables de un aerogenerador, y desarrollar las habilidades prácticas e investigativas de los estudiantes ayudando a cumplir con el perfil de la carrera, el mismo que ayuda al crecimiento profesional del estudiante y robusteciendo un naciente laboratorio de Energías Renovables.

En el capítulo 1, se describe un breve concepto introductorio de la energía eólica y cómo ha ido evolucionando con nuevas tecnologías, considerando también características claves en parámetros variables para la evaluación de diversos escenarios ante la variabilidad del viento.

En el capítulo 2, se describirán con mayor detalle el aerogenerador, aspectos principales a tomar en cuenta para este estudio, los tipos de generadores que se usan en un aerogenerador ya mencionados anteriormente y otros parámetros de interés, cabe destacar que en el presente documento se hace énfasis en el generador síncrono de imanes permanentes (PMSG), este generador es la última generación.

En el capítulo 3 se proporciona una descripción de los módulos a usar entre otros elementos como; materiales de medición (multímetro y amperímetro) y los análisis de diferentes escenarios prácticos en conjunto con sus cuadros de datos evaluados.

En el capítulo 4 se presentan conclusiones a las que se llegan como finalización del análisis de datos y discusión de resultados alcanzados del proyecto técnico estudiado.

1.2 Antecedentes

Con el paso del tiempo, se requieren de nuevas tecnologías para un mayor rendimiento aprovechado de la energía eólica, en concordancia con la matriz energética propuesta por (Arroyo & Miguel, 2020). Esta necesidad implica recurrir a fuentes primarias confiables, y el desarrollo de nueva tecnología, condición clave para el uso factible de las fuentes renovables; acotando que según (*Atlas Eólico Del Ecuador: Con Fines De Generación Eléctrica 2013*, n.d.), Ecuador posee una capacidad eólica bruta de 1671 MW, con una producción promedio de 2869 GWh/año. Además, el Global Wind Energy Council (GWEC, 2023) señala que las tecnologías eólica y solar mantienen un crecimiento sostenido y proyectan un aumento significativo en la capacidad energética instalada entre los años 2023 y 2025.

Por lo tanto, considerando el aumento de la integración de la energía eólica, este estudio es la continuación del tema ya implementado “*Simulación de aerogenerador mediante la Implementación de dinamómetro de cuatro cuadrantes en laboratorio de electricidad*” (Palma Rodríguez & Vera Parrales, 2024), contando con la integración del módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo), ya adquirido. En coherencia con lo mencionado se integra el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo). Este módulo estima con precisión parámetros a simular con respecto a la variabilidad del viento en diferentes escenarios y determinar valores idóneos y factibles.

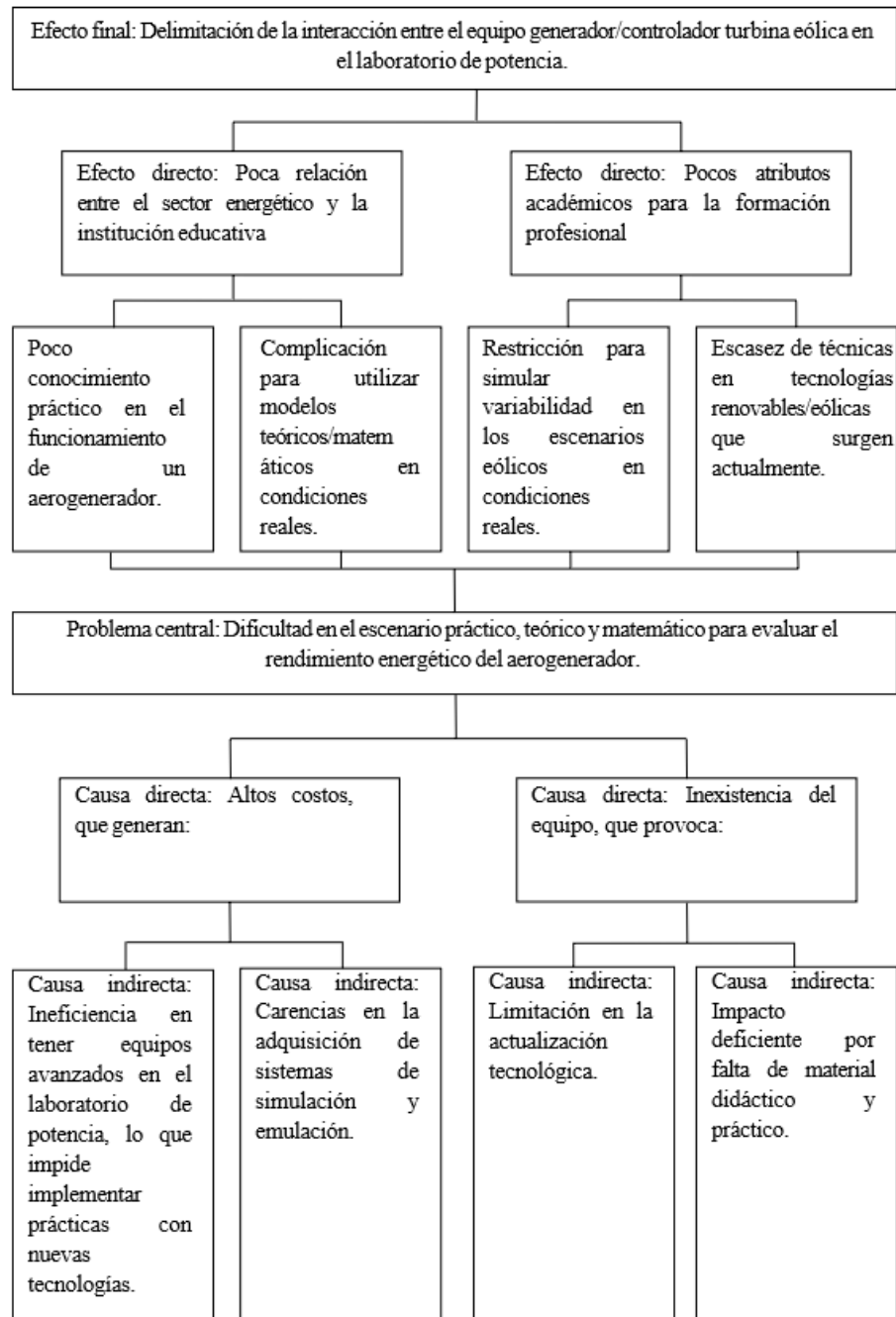
Por consiguiente, el objetivo del presente proyecto técnico es evaluar el rendimiento energético del aerogenerador considerando la variabilidad del recurso eólico en distintas simulaciones realizadas en el módulo 8216-02 de Festo. Este enfoque permitirá establecer estrategias técnicamente viables para optimizar el rendimiento de manera segura, a través de prácticas en el laboratorio de potencia, utilizando el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo). Además, se garantiza la seguridad de los estudiantes y docentes, ya que las simulaciones se realizan sin el riesgo de posibles lesiones causadas por el rotor de las aspas giratorias.

1.3 Planteamiento del problema.

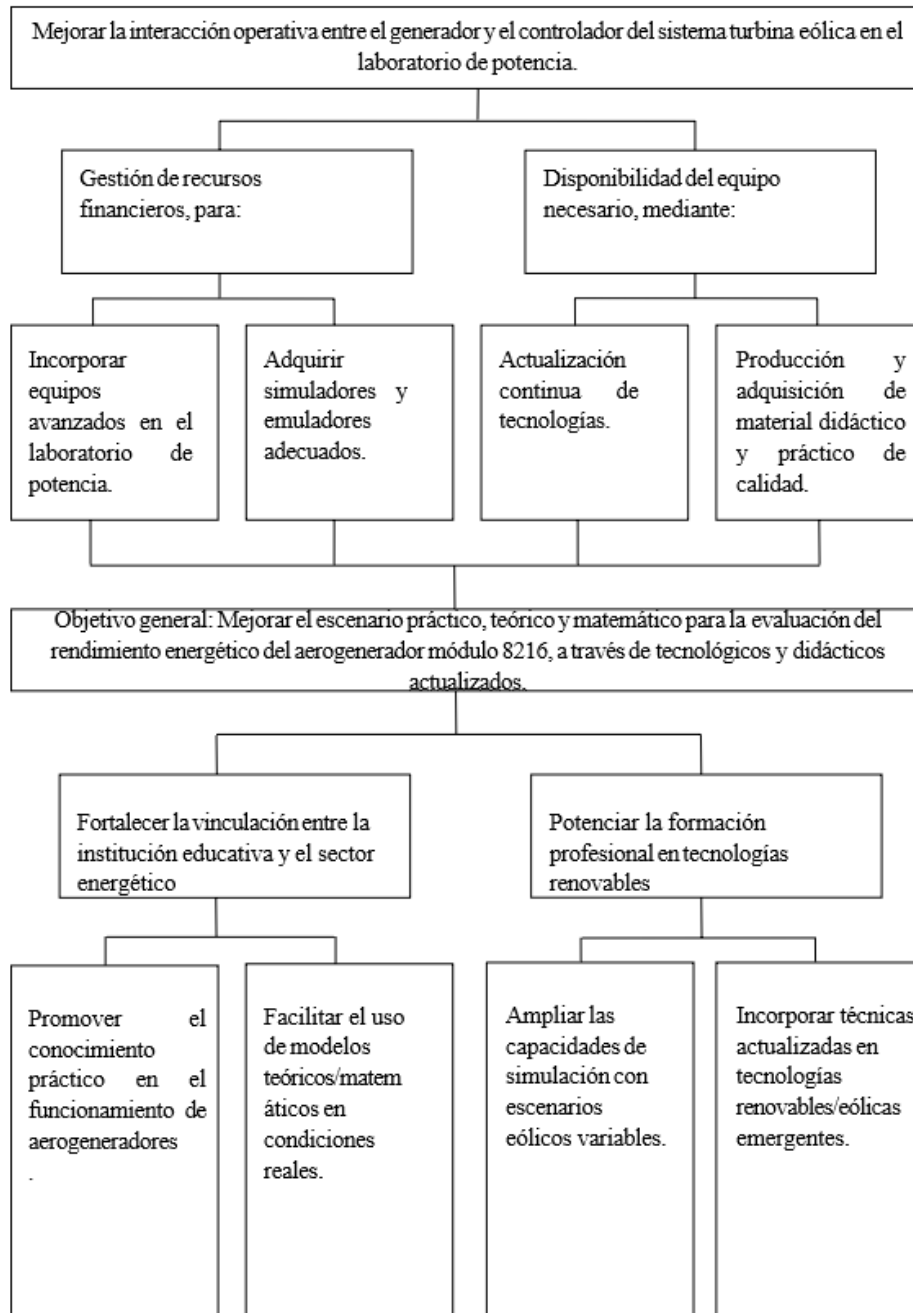
En un contexto específico el laboratorio de potencia de la Universidad; “No cuenta con un módulo especial centrado en Energía Eólica, donde los alumnos puedan interactuar con un aerogenerador, lo cual dificulta esclarecer las dudas que surgen después de la parte teórica impartida por el docente. Donde debe ser fundamental, debido al gran impacto que tiene el uso de energías renovables no solo en el país, sino también a nivel global. Así mismo para nuestro país es fundamental, debido al déficit de generación por el cual estamos pasando.

El estudio se enfoca en la simulación de diversos parámetros de operación, permitiéndonos observar cómo varían la tensión, frecuencia y corriente a causa de la fluctuación la velocidad del viento durante un periodo determinado.

1.4 Árbol del problema



1.5 Árbol de objetivos



1.6 Justificación.

La incorporación de tecnologías (Mateo et al., 2024), describe que han tenido un desarrollo eficiente, sin embargo, se requiere el incremento de optimización en las tecnologías ya existentes, para hacerlas más eficientes y rentables. Con la tecnología adecuada y una gestión eficiente de las zonas con potencial eólico, la energía eólica demuestra ser una alternativa estratégica para enfrentar el déficit energético.

Por lo tanto y dando continuidad a la planificación de la carrera de Electricidad en la profundización del estudio de las Energías Renovables y Sostenibilidad Energética, se considera continuar con el estudio y control de datos utilizando el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) ya adquirido. La investigación se centrará en la variación de parámetros de interés, como la velocidad variable del viento, empleando el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo).

Esto resulta útil, ya que la evaluación de diferentes escenarios permitirá comprender mejor el comportamiento del aerogenerador en diversas condiciones de viento. La interacción entre ambos módulos proporcionará datos experimentales precisos y confiables para optimizar el rendimiento energético del aerogenerador.

1.7 Delimitación.

1.7.1 Delimitación temática.

Este estudio se enfoca en la implantación del módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo) en el laboratorio de potencia, evaluando diferentes escenarios ante la variabilidad del viento en conjunto con otros módulos y aspectos a considerar. La información recolectada y analizada es con fines académicos

y promover la interacción de estos módulos a los estudiantes teniendo un aprendizaje experimental y didáctico.

1.7.2 Delimitación espacial.

El presente estudio se abordará en la Universidad “Laica Eloy Alfaro de Manabí” en la Facultad Ingeniería, Industria y Arquitectura, de la carrera de electricidad, en el laboratorio de potencia.

1.7.3 Delimitación temporal.

Los datos evaluados ante las diferentes prácticas en escenarios de variabilidad del viento, corresponden en el período del año 2025(1).

1.8 Objetivos.

1.8.1 Objetivo General.

Evaluar el rendimiento energético del aerogenerador 8216-02 mediante la variabilidad del viento en diferentes simulaciones.

1.8.2 Objetivos específicos.

- Analizar cómo la variabilidad del viento influye en diferentes periodos de tiempo específicos.
- Evaluar el rendimiento energético del aerogenerador en diversas condiciones y eventos.
- Implementar un sistema de control adaptativo para mejorar el rendimiento.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Energía eólica

La energía eólica se define como aquella que se obtiene del viento, corresponde a un tipo de energía cinética que surge por las corrientes de aire. También, se indica que es limpia, renovable, no contaminante, y que reemplaza a la generada por combustibles fósiles (Clementi & Jacinto, 2021). Se reporta que el mayor productor de esta energía es Estados Unidos, seguido de Alemania, India, España y China; en América Latina, Brasil es el principal generador, obteniéndose a partir del movimiento de las palas de un aerogenerador con su conversión a energía eléctrica (Martínez-Hernández et al., 2022).

Las energías ecológicas provienen de dos tipos de fuentes: hidráulica muy conocida y utilizada desde hace más de un siglo, y eólica que es más moderna y muy económica que resulta muy atractiva por su bajo costo y viable técnicamente (Arias & Gavela, 2022). La energía eólica ha mejorado la gestión y el mantenimiento de parques eólicos, la implementación de la energía en la red y la incorporación de diseños innovadores en los aerogeneradores. Esto contribuirá a la creación de generadores de alta potencia que reducen costos y favorecen la producción de energía renovable (Azamar & García, 2021).

La energía eólica ha mostrado su confiabilidad técnica y económica, Alves y Batista (2021) señaló que estos puntos resaltan el avance de esta tecnología:

- La necesidad de fuentes alternativas para evitar el uso de recursos no renovables de acuerdo al aumento de la población.
- El uso de diversos suministros energéticos y el aumento de abastecimiento para ayudar la independencia de este tipo de energía amigable con el ambiente.

- La disminución del impacto ambiental por la reducción de la emisión de gases (efecto invernadero y deterioro de la capa de ozono) y la minimización de residuos sólidos y líquidos.

Entre las principales ventajas de la energía eólica se detallan: el ahorro de combustible, su bajo costo de mantenimiento y operatividad, la disminución de la dependencia de energías convencionales y la rápida recuperación energética (Gordillo Valdez et al., 2022). Por otro lado, entre las desventajas, se destaca que el viento tiene una velocidad variable, por lo que se utilizan controladores, la energía eólica no es constante, la electricidad que se produce debe consumirse de forma inmediata y se necesita incorporar infraestructuras de almacenamiento energético (Hernández Palma et al., 2022).

2.1.2 Aplicación de energía eólica en Ecuador

Las energías renovables permiten producir energía eléctrica o térmica sin emisiones de gases, con bajos costos de operación y de manera sostenible (Leandro Valencia-Bautista et al., 2022). Estos factores permiten que el país aspire a contar con recursos renovables como Brasil o Noruega gracias a su geografía favorable, estos países suministraron el 84% y el 96% de su demanda de energía en 2019 respectivamente. Mientras tanto, España ha mejorado su posición como uno de los líderes en estas energías amigables con el ambiente (Hernández Palma et al., 2022). El aprovechamiento de la energía eólica en el Ecuador se retoma al año de 1897 (Alberto et al., 2023).

En el país, se implementó 11 aerogeneradores en el parque de Villonaco situado en la ciudad de Loja, como se muestra en la Figura 1, esta primera puesta en marcha representó el inicio de este megaproyecto de generación de energía eólica (Palacios et al., 2019). Posteriormente se construyeron los proyectos de Membrillo- Ducal y Guarapamba que generaron 50 megavatios y el

segundo 45 megavatios respectivamente. Para el año 2007 se inauguró un nuevo parque eólico en la isla San Cristóbal (Galápagos) con una potencia eólica de 2,4 MW y una producción anual de 3,2 GWh (Alberto et al., 2023).

Figura 1

Parque eólico Villonaco (Loja-Ecuador)



Tomado del *Ministerio de Energía y Minas*, (2024).

En la provincia de Imbabura, se describe un proyecto de implementación de un parque eólico en la parroquia rural de Salinas gracias al respaldo de la Empresa Eléctrica Regional Norte y la operadora Electro Viento, que han realizado estudios sobre la conexión eléctrica e impacto ambiental (Alberto et al., 2023). Se proyecta una inversión de 22 millones de dólares con la obtención de una potencia eólica inicial de 10 MW (Alberto et al., 2023). El objetivo del gobierno ecuatoriano consiste en alcanzar una capacidad de 200MW en un lapso de cinco años, promoviendo así la implementación de energía renovable en el sector para reducir la emisión anual de Dióxido de Carbono (CO₂) (Bautista, 2024).

2.2 Aerogeneradores

Se define como aerogeneradores a los dispositivos que permiten producir energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento. Estos elementos están conformados por palas que giran

por influencia del viento, un rotor, una góndola y una torre (Flavio Javier et al., 2024). El funcionamiento básico del aerogenerador consiste en que el viento provoca el giro de las palas; este movimiento se transmite por un eje, y el generador transforma la energía mecánica del giro en electricidad y la electricidad, la cual es transportada por cables hasta una red de distribución (Dahaj, 2023).

2.2.1 Tipos de Aerogeneradores

Desde los inicios del uso de esta fuente de energía, se han desarrollado numerosos diseños con mecanismos variados. En las solicitudes de patentes se ha superado en gran medida la idea de otros dispositivos (Mateo et al., 2024). Se clasifican los aerogeneradores según el eje posicionado en ellas con respecto a la dirección del viento, encontrándose 2 categorías principales: los de eje horizontal en que el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, y los de eje vertical en que el eje es perpendicular a la superficie de la tierra y la dirección del viento (Patel & Beik, 2021).

2.2.2 Aerogeneradores de eje horizontal

Estos son los más utilizados y que han demostrado tener mayor eficiencia de conversión; en la mayoría, esta transformación ocurre en el eje del rotor conectado a dispositivos ubicados como en las turbinas eólicas. La generación de electricidad, como se muestra en la Figura 2, es realizada por el generador eléctrico acoplado al eje del rotor, mediante una caja de engranaje localizada en la góndola (Almeida, 2020). Se denominan “máquinas rápidas” con palas de perfil aerodinámico, exclusivas para generar electricidad. Tienen rotores de una a tres palas que por el modelo pueden ubicarse en la popa o proa (Patel & Beik, 2021).

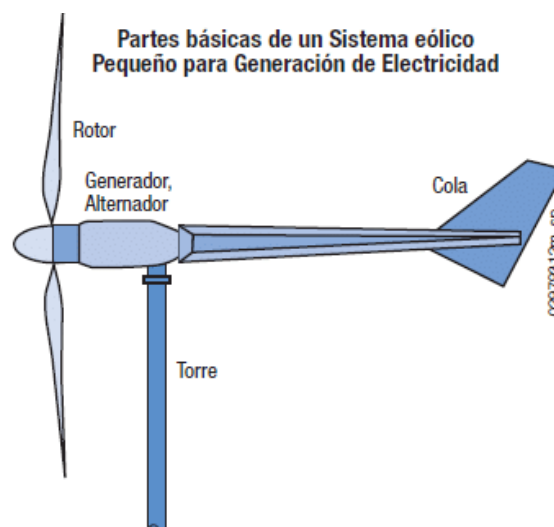
Los aerogeneradores de eje horizontal, principalmente los de tamaño pequeño como 400 W, suelen estar equipados por una estructura que sostiene el rotor y el generador denominada “góndola”. Las palas situadas detrás del eje, orientadas en dirección al viento (Alves & Batista,

2021). En este tipo de aerogeneradores, no es necesario un sistema de orientación activa, ya que las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre las palas permiten que el rotor se alinee con el viento, sin embargo, los aerogeneradores de gran tamaño, si es indispensable este sistema (Patel & Beik, 2021).

En los aerogeneradores grandes, el sistema necesita de orientación para evitar las desviaciones o vibraciones de las palas pueden comprometer mecánicamente a las mismas (González, 2020). En el caso de los modelos de palas ubicadas en la proa se deben implementar sistemas de orientación más precisos. Para el caso de aerogeneradores pequeños se utilizan las colas de orientación; mientras que, en aerogeneradores grandes se incorporan servomecanismos automatizados para la alineación correcta con el viento (Azamar & García, 2021).

Figura 2

Aerogenerador de eje horizontal



Tomado de *Guía de vientos pequeños*, (p.4) por (WINDEXchange, n.d.)

Acerca del control de la velocidad en la rotación del rotor será esencial la prevención de aumento descontrolado debido a ráfagas fuertes de viento (Bautista, 2024). Ante ello en la actualidad, la mayoría de aerogeneradores modernos tienen sistema de frenado que permiten el

frenado de las palas en caso de vientos extremos, de esta forma se evita que el rotor alcance una velocidad peligrosa (embalamiento) que pueda llegar a comprometer u ocasionar daños estructurales (Arias & Gavela, 2022).

2.2.3 Aerogenerador de eje vertical

Estas máquinas eólicas se caracterizan porque no requieren de un sistema de orientación para alinearse con el viento, esto representa una ventaja significativa evitando mecanismos complejos y disminuye el esfuerzo que soportan las palas por los cambios continuos de la dirección del viento (Flavio Javier et al., 2024). Por el diseño que presentan, el sistema de conversión de energía puede posicionarse a nivel del suelo o la base, entonces la torre no deberá soportar cargas pesadas, aportando con menor costo estructural y mantenimiento (TotalEnergies, 2022). Existen dos diseños básicos de aerogeneradores verticales:

2.2.3.1 Aerogenerador de eje vertical tipo Savonius

En este caso, el rotor de tipo Savonius funciona por arrastre del viento, tiene un alto par de arranque, pero baja eficiencia energética (Cerrada, 2022). Presenta un diseño simple, como se muestra en la Figura 3 y empieza a girar fácilmente con viento suave, además que se confecciona de manera artesanal e incluso con material reciclado (Gustavo et al., 2019). Usualmente se emplea en sistemas de bombeo de agua a pequeña escala o extractores de aire en edificios industriales.

Figura 3

Aerogenerador de eje vertical Savonius



Tomado de *LS SAVONIUS 3.0, turbina eólica urbana para empresas y terrenos privados*, EcoInventos (2024).

2.2.3.2 Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus

Fue inventado en Francia por G. Darrieus en 1920. El rotor consiste en palas aerodinámicas que funcionan por sustentación, generando potencias eléctricas de gran magnitud (Kumar et al., 2019). A diferencia de Savonius, tiene un arranque nulo, por lo que necesita impulso inicial para comenzar, pero a medida que empieza el movimiento se presenta un buen rendimiento (Patel & Beik, 2021). El diseño original, como se observa en la Figura 4, comprende palas curvas en forma de huevo o C, en algunos casos se ha combinado con el rotor Savonius en nuevas variantes para aprovechar las ventajas de ambos modelos.

Figura 4

Aerogenerador de eje vertical Darrieus



Tomado de *Aerogenerador de eje vertical Darrieus: Reinventando los aerogeneradores flotantes en alta mar*, EcoInventos (2022).

2.3 Clasificación de aerogeneradores en función de distintos parámetros

En la Tabla 1, se observan parámetros importantes según el tipo de aerogenerador, asimismo, (Patel & Beik, 2021) detallaron la clasificación de los aerogeneradores de acuerdo a distintos parámetros: giro del eje, cantidad de palas, velocidad del rotor de la turbina eólica, control y regulación, generador eléctrico, emplazamiento, tipo de viento, interconexión a red, y potencia nominal.

a) Según el giro del eje

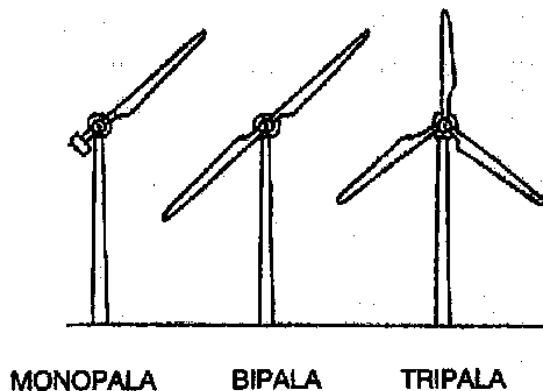
- **Eje horizontal:** Se utilizan mayoritariamente, su rotor está orientado de forma horizontal, paralelo al suelo y necesita un sistema de orientación.
- **Eje vertical:** Su eje se orienta perpendicular al suelo, no necesita sistema de orientación al viento, entonces su mantenimiento se torna fácil. Son muy aplicados en el área urbana.

b) Según la cantidad de palas

- **Monopalas y bipalas:** Presentan una o dos palas, no cuestan mucho y son ligeras, pero con poca eficiencia.
- **Tripala:** Es el diseño más frecuente, posee estabilidad, no genera ruido y es eficiente.
- **Multipala:** Tiene más de tres palas, suele utilizarse en el área rural porque funciona muy bien con poco viento.

Figura 5

Aerogenerador según el número de palas



Tomado de Rusell (2024).

c) Por la velocidad del rotor de la turbina eólica

- **Velocidad constante:** Su giro se realiza fijo independientemente del viento, no son utilizados actualmente y su eficiencia es muy reducida.
- **Velocidad variable:** Su velocidad se ajusta con la intensidad del viento.
- **Velocidad semivariable:** Tiene características de las dos anteriores, con dos o más velocidades de acuerdo al viento.
- **Dos velocidades:** Posee dos niveles de velocidad para adaptarse a rangos distintos de viento.

d) Por el control y la regulación

- Control por disminución de aerodinámica o palas de paso fijo: Las palas poseen un ángulo determinado y se controla la potencia con el frenado eléctrico o aerodinámico.
- Control por disminución activa de aerodinámica: Se implementan flaps o frenos aerodinámicos para disminuir la fuerza del viento.
- Control por cambio de ángulo del paso de pala: Se ajusta el ángulo de las palas en el momento para proteger el aerogenerador y controlar la potencia.

e) Por el generador eléctrico

- Generador asíncrono jaula de ardilla: Simple, económico y fuerte.
- Generador asíncrono con rotor bobinado doblemente alimentado: Permite el control de la potencia reactiva y activa.
- Generador síncrono multipolar: Eficiente y se puede utilizar en sistemas de generación directa sin caja de engranajes.

f) Por su emplazamiento

- Aerogeneradores para emplazamientos terrestres: Su mantenimiento e instalación es más accesible, siendo adaptados en tierra firme.
- Aerogeneradores para emplazamientos marinos: Se instalan en el mar, en que el viento es fuerte y constante, entonces su instalación requiere más dinero.

g) Por el tipo de viento

- Aerogeneradores para viento clase I: Diseñados para vientos muy fuertes (superior a 10 m/s).

- Aerogeneradores para viento clase II: Orientados a vientos moderadamente fuertes (entre 8,5 a 10 m/s).
- Aerogeneradores para viento clase III: Aplicables en vientos suaves (menos de 8,5 m/s).

h) Por la interconexión a la red eléctrica

- Sistemas eólicos conectados a la red eléctrica: Incorporan energía en la red, siendo parte de los parques eólicos.

i) Por la potencia nominal

- Microturbinas eólicas (>5kW): Para consumo mínimo o uso doméstico.
- Mini turbinas eólicas (5-100kW): Para escuelas, granjas o comunidades pequeñas.
- Turbinas de media y gran potencia (100 a 1000kW): Aplicación en la industria o conexión parcial con la red.
- Turbinas multimegabit (1000 a 5000 kW): Para parques eólicos marinos o terrestres.

Tabla 1

Clasificación de aerogeneradores según su eje y subtipos

Eje	Tipo de rotor	Rendimiento máximo	Característica
Horizontal	Holandés	0,17	30-60 KW. Alto par arranque. Velocidades a media. Diseño ineficiente de palas. 4 palas.
	Multipala americano	0,15	0,4-6 KW. Alto par arranque. Bajas velocidades. 12-15 palas.
	Perfil aerodinámico	0,47	0,5-3.200 KW. Bajo par de arranque. Altas velocidades. Alto rendimiento. 1 a 3 palas.
Vertical	Savonius	0,30	0-1,5 KW. No requiere ser orientado.

		Alto par de arranque. Bajas velocidades. 2-4 palas.
		5-500kw.
Darrieus	0,35	No debe ser orientado. No arranca solo. Altas velocidades. Buen rendimiento. 2 -3 palas.

Fuente: (Patel & Beik, 2021)

2.4 Componentes del aerogenerador

El sistema de generación de electricidad eólica está conformado por uno o varios aerogeneradores que realizan sus funciones eléctricas en paralelo, como se observa en la Figura 6, cada una de las turbinas tiene los siguientes elementos básicos: diseño de la torre, rotor de 3 palas ancladas al buje, eje con engranajes mecánicos, generador eléctrico, mecanismo de guiñada como aleta de cola, sensores y control (Alves & Batista, 2021). Actualmente, los aerogeneradores tienen algunos componentes que permiten la conversión de energía de forma segura, controlada y eficiente (Lara, 2024).

Ejes y rotor: El rotor se encuentra constituido por las palas de la máquina eólica, es el primer elemento que está en contacto con el viento y su diseño interviene en el arranque y la estabilidad durante la generación de energía. Con respecto al eje, se describen dos tipos: de baja velocidad en que el rotor hace girar entre 30 a 60 revoluciones por minuto (rpm), y de alta velocidad que está conectado a través de engranajes a velocidad de 1200 a 1800 rpm para la acción eficiente del generador (Brunke, 2021).

- A. **Caja de engranaje:** También denominada “multiplicadora”, este elemento conecta el eje de baja velocidad con el de alta velocidad. Tiene la función de incrementar la velocidad de rotación para que el generador funcione de forma adecuada, pero

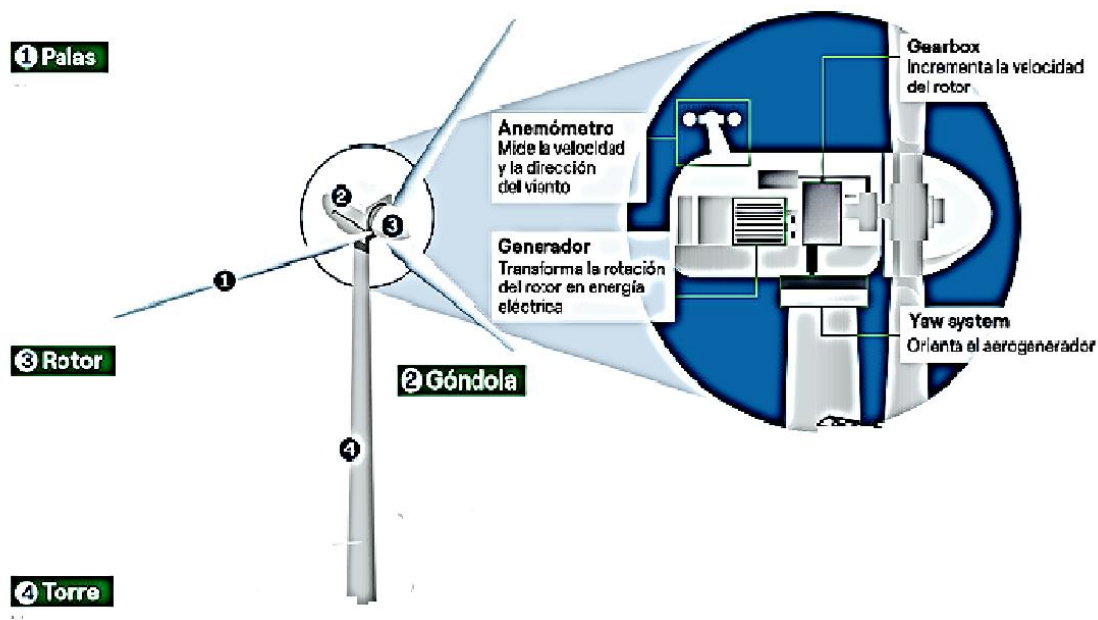
debido a su peso y costo elevado han quedado en desuso, ahora se desarrollan generadores que no requieren esta caja (Flavio Javier et al., 2024).

- B. **Generador:** Este elemento convierte la energía mecánica del eje de mayor velocidad en energía eléctrica, usualmente se trata de generadores de corriente alterna (CA) que aplican entre 50-60 Hz según el país (Barrón Cornejo et al., 2021).
- C. **Freno:** El aerogenerador posee un freno de disco que puede funcionar de forma hidráulica, eléctrica o mecánica, cuya función será parar el rotor en caso de emergencia o mantenimiento. Este sistema será muy importante para evitar daños por falla mecánica o viento excesivo (Gustavo et al., 2019).
- D. **Góndola:** Se refiere a la carcasa situada en la parte de arriba de la torre, en ella se encuentran los elementos del sistema, es decir el generador, controlador, freno, ejes, rotor y caja de engranajes. En algunos casos, tienen mucho espacio que el técnico puede ingresar directamente y realizar el mantenimiento (González, 2020).
- E. **Sistema de control:** Cada aerogenerador moderno posee su propio sistema de vigilancia o control para gestionar su funcionamiento, incluso desde una sala de control. El controlador principal se encarga de regular el arranque de turbina según la velocidad del viento (8-15 millas por hora) y se detiene cuando superar el límite de seguridad (50–70 mph), existen algunos sensores dispuestos en la turbina, el anemómetro permite medir la velocidad del viento y el cabeceo (pitch) orienta las palas fuera del viento cuando las velocidades son muy bajas o extremadamente altas (Alves & Batista, 2021).
- F. **Sistema de almacenamiento y conexión:** Comprende elementos opcionales como la batería que permitirá almacenar energía como medio de respaldo, aportando

alimentación para sistemas autónomos, o el enlace con la red eléctrica local (Ortiz, 2025).

Figura 6

Aerogenerador partes principales



Tomado de (Aerogenerador: Qué Es, Partes y Su Función | Enel Green Power, n.d.)

2.5 Análisis de parámetros para el aerogenerador

2.5.1 Energía cinética

La energía cinética es la energía que se aprovecha del aire. Por lo tanto, es la capacidad o trabajo que permite que un objeto pase de estar en reposo a moverse en una determinada velocidad (Cinta, 2023). En la energía eólica el aerogenerador transforma la energía cinética del viento en

energía mecánica que luego se usa como motor principal de un generador eléctrico (Beik & Al-Adsani, 2020). La energía cinética viene dada por la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{2} m v^2 \text{ (Joules)} \quad (1)$$

Considerando la ecuación de la energía cinética, se puede obtener la potencia, que viene dada de la siguiente forma:

$$U = \frac{1}{2} (\rho A x) v^2 \quad (2)$$

Donde:

m: masa (Kg)

v: viento (m/s)

A: área de sección transversal

ρ : densidad del aire (Kg/m^3)

x: ancho del aerogenerador

Aplicando derivadas se obtiene que la potencia es la siguiente:

$$P = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^2 \frac{dm}{dt} \quad (3)$$

$$m = \frac{dm}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right) \quad (4)$$

Reemplazando, que como tal:

$$P_w = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \text{ (W)} \quad (5)$$

Utilizando la ecuación de continuidad, dado que el área de la sección transversal detrás de la turbina aumenta resultado de la reducción de la velocidad, como se observa en la Figura 7, Tomado de la (Cátedra Energía Renovable y Sostenibilidad Energética, V. Jaramillo-García, comunicación personal, 3 de julio del 2025), la ecuación queda expresada, en:

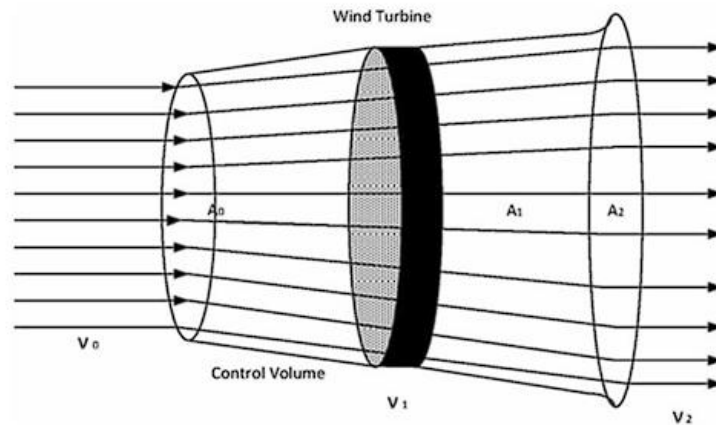
$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 \quad (6)$$

Aplicando la ecuación de continuidad en las palas:

$$vA = v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (7)$$

Figura 7

Incremento del área sección transversal



Adaptado de *Wind Energy: Technical Considerations*, (p,148), por (Rao, 2019)

Agrupando términos queda de tal forma:

$$P = \frac{1}{2} \rho v A (v_1^2 - v_2^2) \quad (8)$$

Realizando el promedio de v_1 y v_2 , reemplazando en la ecuación (10), queda de tal manera:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (9)$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) (v_1^2 - v_2^2) \quad (10)$$

Realizando un arreglo matemático, se considera que:

$$a = \frac{v_2}{v_1} \quad (11)$$

Despejando v_2 :

$$v_2 = a v_1 \quad (12)$$

Reemplazando la ecuación (12) en la ecuación (13), que de tal manera:

$$P = \frac{1}{2} \rho A \frac{1}{2} (v_1 + a v_1) (v_1^2 - a^2 v_1^2) \quad (13)$$

Agrupando y simplificados términos:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \frac{1}{2} (1 + a) (1 - a^2) \quad (14)$$

Por lo tanto, queda el coeficiente de potencia, este tiene una relación entre la potencia del aerogenerador y la potencia disponible en el viento:

$$C_p = \frac{1}{2} (1 + a) (1 - a^2) \quad (15)$$

Ecuación de potencia de viento en el aerogenerador:

$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p v^3_1 (W) \quad (16)$$

Y para sacar la eficiencia, este tiene una relación entre la potencia eléctrica y potencia mecánica

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia mecánica}} \times 100\% \quad (17)$$

2.5.2 Distribución Weibull

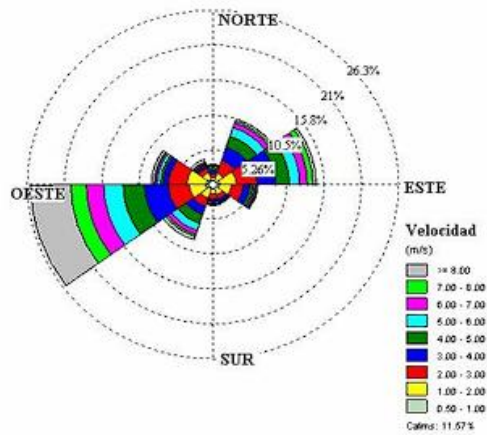
Mediante la distribución Weibull (Rao, 2019) indica que ante distintos escenarios de velocidades de viento mediante la distribución estadística se evalúa de forma concreta, observando cuales son los datos de viento más altos para la generación de energía del aerogenerador. Por otra parte, frente a la variabilidad inherente del recurso eólico en distintos escenarios, se han aplicado diversos métodos de modelado estadístico, destacándose la distribución de Weibull como una de las más robustas y eficientes para caracterizar el comportamiento del viento (Wang et al., 2022).

2.5.2 Rosa de vientos

La rosa de vientos indica, como se observa en la Figura 8, la frecuencia de orientación del viento en una zona determinada, en un intervalo de tiempo específico (Yancachajlla Tito et al., 2022). En otro estudio (Perez Montes et al., 2022) describe que, al determinar la rosa de los vientos de los datos ajustados requeridos, se puede obtener como resultado una selección adecuada del aerogenerador, esto cambia según los datos de vientos evaluados.

Figura 8

Rosa de vientos



Adaptado de *Caracterización del viento con la función de Weibull* (p.7), por (Yancachajlla Tito et al., 2022)

2.6 Tipos de Generadores

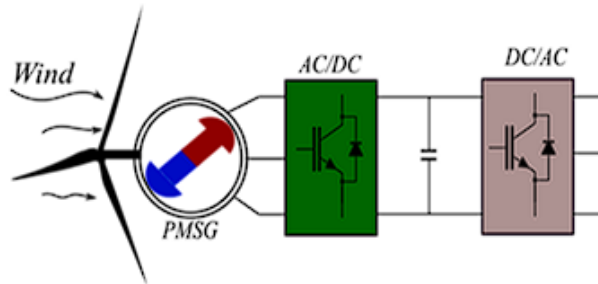
Eventualmente en los aerogeneradores, existen diferentes tipos de generadores dependiendo de su uso, tales como:

2.6.1 *Generador síncrono de imanes permanentes (PMSG)*

(Mahtani, 2024) el PMSG es favorable por su alta eficiencia en su operatividad, presentando un diseño sin caja de engranajes. Opera eficazmente ante las diversas variabilidades de velocidad. En la Figura 9, se observa que el rotor está conectado a un eje que lo acopla al PMSG. Por otra parte, dispone de convertidores CA-CC-CA, el cual transforma la corriente alterna en continúa generada por el PMSG y posteriormente la corriente continúa en alterna saliendo como tales valores de tensión estables (Yee Heng et al., 2022).

Figura 9

Sistema de un aerogenerador PMSG



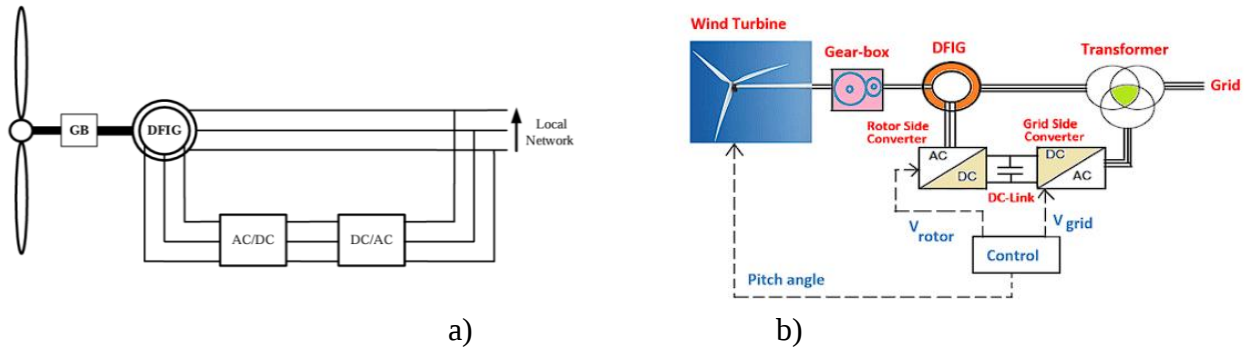
Adaptado de Revista “Chone, Ciencia y Tecnología” (p.4), por (Mahtani, 2024)

2.6.2 Generador de inducción de doble alimentación (DFIG)

El DFIG tuvo un impacto masivo, (Samad, n.d.) describe cómo se conecta, este está conectado a una caja de engranajes y el estator está directamente a la red, mientras que el devanado del rotor está conectado a un convertidor, como se muestra en la Figura 10 a y b.(Patel & Beik, 2021) señalan que el DFIG tiende a tener una limitación operativa, ya que los convertidores tienen poca eficacia.

Figura 10

a) Sistema simplificado de un aerogenerador con DFIG, b) Sistema a detalle de un aerogenerador con DFIG

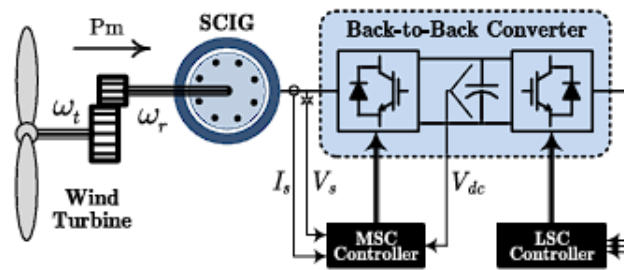


Adaptado de *Electrical Generators* (p.86), por (Patel & Beik, 2021), *Introduction To Wind Power Generation* (p.22), por (Samad, n.d.)

2.6.3 Generador de inducción de jaula de ardilla (SCIG)

El SCIG está conectado mecánicamente a una caja de engranaje, y por consiguiente al SCIG, y desde el SCIG se conecta un convertidor de CA-CC, mediante el cual se controla la velocidad del generador, como se observa en la Figura 11. En secuencia, se conecta un convertidor CC-CA/, el cual regula la tensión derivada del primer convertidor y controla la potencia reactiva de la red (Sotoudeh & Rezaei, 2023). Por otro lado (Mahtani, 2024) indica que, aunque el SCIG es más accesible financieramente que otros generadores, presenta limitaciones en operar ante las variaciones de velocidad del viento, generando pérdidas.

Figura 11
Sistema de un aerogenerador con SCIG

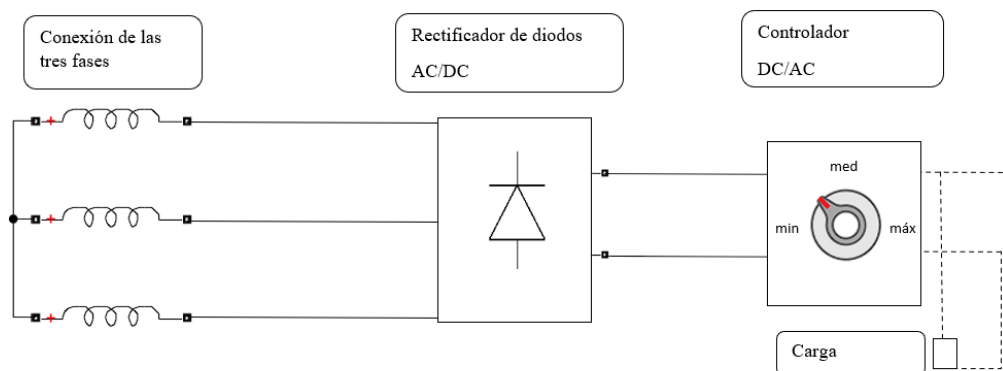


Adaptado de *Energy Reports* (p.2), por (Sotoudeh & Rezaei, 2023)

Varios estudios (Cabeza-Gras & V. Jaramillo-García, 2021; Essaki Raj et al., 2025; Yee Heng et al., 2022) ,refieren que el PMSG es una tecnología novedosa en el aerogenerador, teniendo pocas pérdidas, y alta eficiencia en la operatividad. Por lo tanto, en este estudio, el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), será incorporado, siendo su principal característica el PMSG. Esto garantiza uniformidad en los resultados de los diversos escenarios a evaluar. En la Figura 12 se observa el esquema del sistema de un aerogenerador con PMSG relacionado con módulo 8216-02, considerado para los escenarios propuestos.

Figura 12

Sistema de un aerogenerador PMSG enfocado en el módulo 8216-02



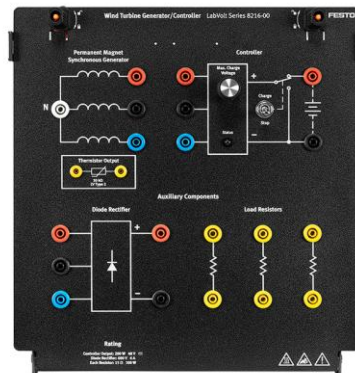
Tomado de la *Cátedra Energía Renovable y Sostenibilidad Energética*, V. Jaramillo-García, comunicación personal, 18 de junio del 2025

2.7 Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02)

Este módulo, proporciona la emulación de un aerogenerador eólico real en pequeña escala, su componente principal es el generador síncrono de imanes permanentes trifásico (PMSG), como se muestra en la Figura 13, el módulo también incluye el controlador que convierte la energía trifásica del generador en corriente continua (CA-CC) (Festo, 2024). Por otro lado, el rectificador también regula la tensión para mantener una salida de CC constante. En caso de incorporar un banco de baterías este módulo proporciona el almacenamiento de energía (Festo, 2024).

Figura 13

Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)



Tomado de presentación *LabVolt Series por Festo Didactic - Alternador/controlador de aerogenerador (8216-02)* (Festo, 2024)

Por otra parte, el manual Festo Didactic 579354 proporciona las diversas configuraciones para el banco de resistencias a utilizar e indicando, que se pueden utilizar las resistencias del

módulo u otras agrupaciones de resistencias a usar (Festo, 2024). Además, es importante controlar la velocidad del viento, cuando se incorporan agrupaciones de resistencias de valores pequeños controladas (V. Jaramillo-García, comunicación personal, 17 de julio del 2025).

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL PROYECTO, MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología

En el presente documento se han utilizado diversas metodologías que permiten abordar el enfoque del estudio realizado. Por lo tanto, la metodología cuantitativa se ha optado para recopilar y analizar datos numéricos, lo que facilita la obtención de resultados que se visualizan estadísticamente. La metodología descriptiva se ha empleado para caracterizar los diversos escenarios de variabilidad del viento observados, proporcionando detalles de las variables involucradas. Por consiguiente, la metodología aplicada permite plantear escenarios factibles de eficiencia en el aerogenerador, mediante la aplicación de material teórico y escenarios prácticos, tomando en cuenta datos de situaciones reales. Por último y no menos importante, al ser un estudio no experimental, la manipulación interna de los módulos no es el objetivo, ni parte fundamental del estudio, por lo tanto, mediante la manipulación del simulador y emulador de Festo, se permitirá observar los diversos resultados de los escenarios prácticos.

3.2. Módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (8960)

El dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes como se observa en la Figura 14, que alimentan la fuente esencial para la interacción con el módulo 8216, especialmente en energía renovable. Tiene dos modos de operación: un dinamómetro y una fuente de alimentación. Cada modo operativo ofrece una amplia gama de características seleccionables por el usuario (Festo Didactic , 2025). El módulo está disponible en el laboratorio de potencia de la carrera

Electricidad en la Universidad “Laica Eloy Alfaro de Manabí”, en la Tabla 2 se detallan las características del módulo. En el presente estudio se utilizará el interfaz de emulación del aerogenerador.

Figura 14
Módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (8960)



Tomado de presentación (LabVolt Series Por Festo Didactic - Dinamómetro/Fuente de Alimentación de Cuatro Cuadrantes (8960-00), 2025)

[LabVolt Series por Festo Didactic - Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes \(8960-00\)](#)

Tabla 2
Características del módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes modelo 8960-F

Modo Dinamómetro	Parámetros
Par magnético	0 - 3N*m (0 a 27 lbf-in)
Sentido de rotación	0 - 2500 r/min
Potencia nominal	350W
Modo Fuente de Alimentación	

Tensión CC	0 a +- 150V
Tensión CA (RMS)	0 - 105V (sin carga)
Corriente continua	0 a +- 5 A
Corriente alterna (RMS)	0 – 3,5 A
Potencia máxima de salida	500W
Frecuencia corriente alterna	10 – 120Hz
Funciones de control	
Conjuntos activos	Funciones estándar (control manual)
	Funciones estándar (control por PC)
	Emulador de turbina (Hidráulica y Eólica)
	Cargador de baterías de plomo-acido
	Emulador de panel solar
Entradas de control	
Comandos	0 a +- 10V
Termistor	10K Ω , tipo 1
Salidas de control	
Codificador de eje	En cuadratura (A-B)
Sensibilidad de salida de par	0,3 N*m/V (2,655 lbf-in/V)
Sensibilidad de salida de velocidad	500 r/min/V
Puerto de comunicación	USB 2.0
Requisitos del módulo	120V – 6A – 60Hz
Características físicas	
Dimensiones (A x L x Prof.)	308x268x490mm
Peso neto	19,5kg (43,0lb)

3.3. Módulo Alternador/controlador de aerogenerador eólica 8216-02

Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02) como se muestra en la Figura 12 y 15, descrito anteriormente, (Festo Didactic , 2025) presentan las características de fábrica del módulo, en la Tabla 3, que son a considerar para no pasar los límites y no ocasionar una sobrecarga. El módulo fue de interés de implementación en el laboratorio de potencia de la carrera de electricidad en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Figura 15
Alternador/Generador de aerogenerador 8216-02



Tomado de presentación *Alternador/controlador de aerogenerador 8216* (Festo, 2024)
[LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller \(8216-02-00\)](#)

Tabla 3

Características técnicas del módulo Generador/controlador de turbina eólica 8216-02

Parámetro	Valor
-----------	-------

Tipo de turbina eólica	Rotor de tres aspas de accionamiento directo y paso fijo
Salida del controlador	
Potencia	200 W a una velocidad de viento de 12,5 (m/s) (28 mph)
Rango de punto de ajuste de voltaje de carga	54.4 – 68.0 V
Voltaje recomendado de la batería	48 V
Rectificador de diodos	600 V – 6 A
Resistencias de potencia	
Calificaciones	15 Ω - 100 W (cada resistencia)
Cantidad	3
Características físicas	
Dimensiones (H x W x D)	308 x 291 x 44 ^o mm (2.1 x 11.5 x 17.3 in)
Peso neto	12.0 Kg (26.4 lb)

3.4. Módulo de resistencias

Es un módulo que tiene una agrupación de nueve resistencias, como se muestra en la Figura 16, de tres bancos idénticos. Cada banco consta de tres resistencias conectadas en paralelo para obtener diferentes valores de resistencia, en la Tabla 4 se detallan las características del módulo. Esto gradualmente le permite aumentar o disminuir la resistencia total (similar) de cada banco. También pueden conectarse entre sí para trabajar en esquemas de una sola fase (Festo Didactic, 2025). Con fines prácticos, se utilizará el banco de resistencias disponible en el laboratorio de la Universidad “Laica Eloy Alfaro de Manabí” o las resistencias incorporadas del módulo 8216.

Figura 16

Módulo de resistencias



Tomado de presentación (*LabVolt Series Por Festo Didactic - Carga Resistiva (8311-00)*,
n.d.)

[LabVolt Series by Festo Didactic - Resistive Load \(8311-00\)](#)

Tabla 4

Características técnicas del Módulo de resistencias

Parámetros	Valor
Resistencias	
Cantidad	Tres bancos idénticos de tres resistencias
Valores de resistencias (cada grupo)	300/600/1200 Ω
Voltaje nominal	120 V ac/dc
Precisión del valor de resistencia	$\pm 5\%$
Carga a voltaje nominal (cada banco)	

Potencia	12 – 84 W
Corriente	0.1 – 0.7 A
Medida	Siete, de incremento igual
Incremento de corriente	0.1 A
Características físicas	
Dimensiones (H x W x D)	154 x 287 x 410 mm (6.1 x 11.3 x 16.1 in)
Peso neto	4.5 Kg (9.9 lb)
Color	
Color frontal del panel	Negro

3.5. Banda de acoplamiento

Es una banda de transmisión de alta calidad hecha de caucho, como se observa en la Figura 17, permite acoplar el Módulo electrodinamómetro de Cuatro cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo (Festo, 2025)).

Figura 17

Banda de acoplamiento de dos módulos



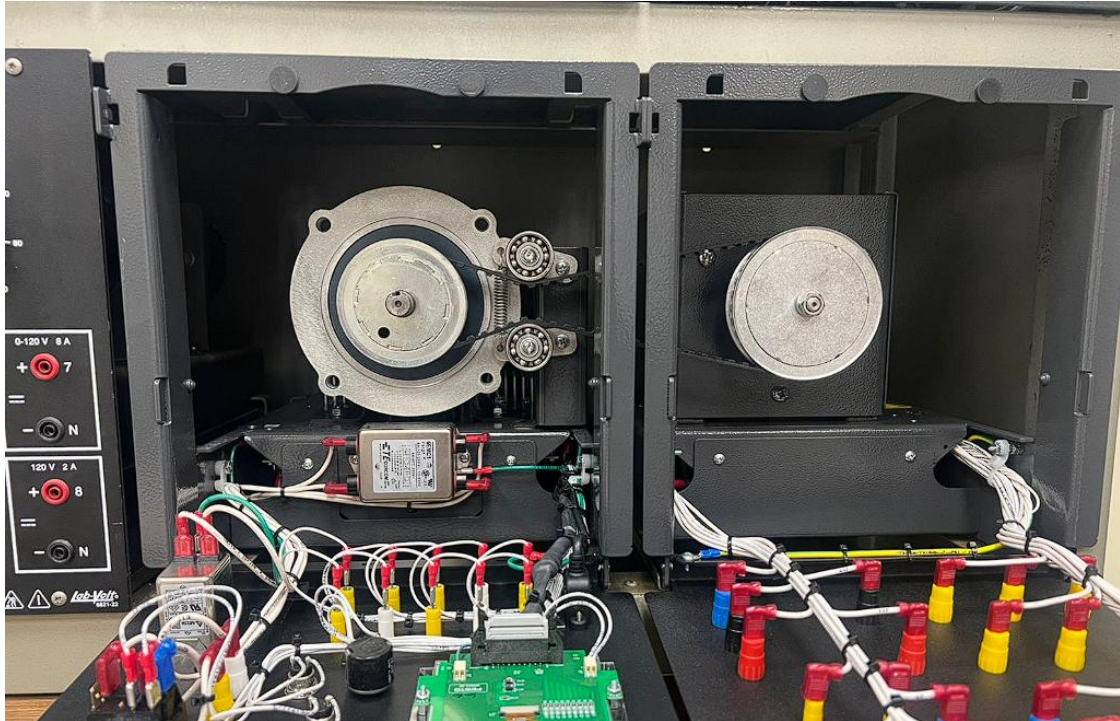
Tomado de presentación *LabVolt Series por Festo Didactic- Banda de acoplamiento*(Festo, 2025)

[LabVolt Series por Festo Didactic - Correa dentada \(8942-00\)](#)

En la Figura 18, se observa la banda acoplada en el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) ya adquirido y el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo). Está disponible en el laboratorio de la Universidad “Laica Eloy Alfaro de Manabí”.

Figura 18

Banda acoplada al módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) y el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo).



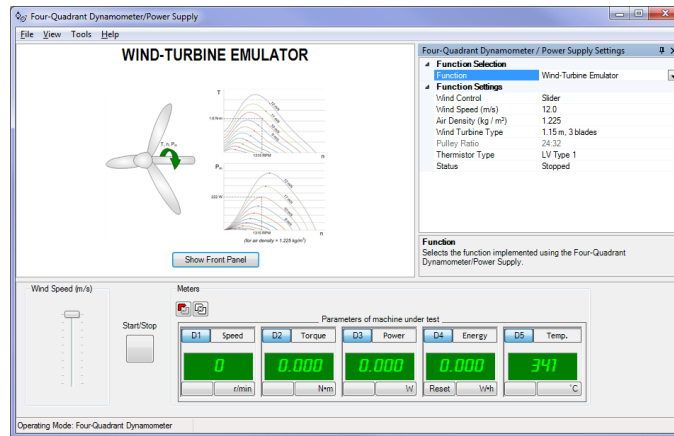
Tomada del *Laboratorio de Potencia Facultad Ingeniería, Industria y Arquitectura, de la carrera de electricidad*, 2025

3.6. Conjunto de funciones de emulador de turbina/motor 8968-3

El emulador de turbina/motor es una aplicación de funciones de control que puede ser activada en el dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes y se monitorea a través del software LVDAC-EMS (Festo), en la Tabla 5 se detallan las especificaciones del software. El Emulador de Aerogenerador, como se muestra en la Figura 19, posibilita la interacción de los dos módulos, sin necesidad de maniobrar los equipos (Festo Didactic, 2025). Este simulador se encuentra disponible y operativo en el laboratorio de la Universidad “Laica Eloy Alfaro de Manabí”.

Figura 19

Software LVDAC-EMS emulador de aerogenerador



Tomado de presentación (LabVolt Series Por Festo Didactic - Conjunto de Funciones de Emulador de Turbina (8968-30), n.d.)

[LabVolt Series by Festo Didactic - Turbine/Engine Emulator Function Set \(8968-30\)](#)

Tabla 5*Especificaciones del software para emulador de turbina*

Parámetro	Valor
Funciones de Control	
Funciones de Control	Emulador de Turbina Eólica
Emulador de Turbina Eólica	
Control del Viento	Control deslizante de software o entrada de comandos
Velocidad del Viento	3-12 m/s (67-26.8 mph)
Densidad del Aire	1.12-1.44 kg/m ³) (0.07-0.09 lb/ft ³)
Tipo de Turbina Eólica	1,15 m con 3 cuchillas, 1,15 m con 3 cuchillas y caja de engranajes s, 0,72 m con 3 cuchillas y parada pasiva
Inercia J	0.02 x 0.4 kg x m ³ (0.475 x 9.492 lb x ft ²) (solo disponible para ciertos tipos de turbinas eólicas)
Relación de Transmisión R	0.5 x 2 (solo disponible para ciertos tipos de aerogeneradores)

3.7. Conectores tipo banana

Para la conexión entre los equipos que se utilizó los cables tipo banana, mostrados en la Figura 20, nos permiten la conexión rápida con terminales tipo banana, adecuados para la conexión en los módulos descritos. Esta herramienta se encuentra en el laboratorio de potencia de la carrera de electricidad en la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.

Figura 20

Conectores tipo banana



Tomado de (*Terminales y Conectores – SEIPE, n.d.*)

3.8. Multímetro digital

Su innovadora tecnología, que permite realizar medidas precisas de voltaje, frecuencia, corriente, resistencia. Su alta precisión y tecnología son muy útiles al momento de realizar mediciones en equipos sensibles de laboratorio. Para este estudio nos ayuda mucho ya que cuenta con la medición de Corriente Continua (DC), por su gran sensibilidad (Fluke, 2025).

Figura 21

Multímetro digital



Tomado de (*Multímetro Industrial Fluke 87V | Fluke, n.d.*)

3.9. Pinza amperimétrica

La Pinza Amperimétrica Digital 200A es una herramienta de medición y trazado esencial para electricistas y técnicos en electrónica. Como se observa en la Figura 22, su pantalla LCD de fácil lectura, puede medir corriente alterna y continua, voltaje, resistencia y continuidad. Además, su diseño ergonómico y compacto la hace fácil de usar en espacios reducidos (Maviju, 2025).

Figura 22

Pinza amperimétrica



Tomado de (PINZA AMPERIMETRICA DIGITAL 200A | Maviju Tienda En Línea, n.d.)

3.10. Análisis de Resultados (prácticas).

3.10.1 Procedimiento de prácticas

Para la realización de prácticas se tomaron múltiples consideraciones y medidas de seguridad, con el objetivo de salvaguardar los equipos utilizados así mismo como garantizar la protección personal, durante la ejecución de los conexiones o alguna maniobra para la obtención de datos. Se utilizó el Módulo electrodinamómetro de Cuatro cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) como simulador de viento, el cual era acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo) que tiene la función de un aerogenerador. Una vez realizado el acoplamiento y conexionado, el sistema fue supervisado por

el docente tutor, quien monitorea que todo esté correctamente dispuesto antes de iniciar la práctica y evitar fallas en los equipos. Las prácticas realizadas serán mejor detalladas en el apartado anexos.

3.10.2 Práctica 1: Caracterización de la velocidad del viento en su conversión a velocidad angular del rotor.

En esta práctica se simuló la respuesta de la velocidad angular del rotor con respecto de la variación de la velocidad del viento. En la Tabla 6, se evidencia una relación directa entre ambas variables, la cual es proporcional, ya que a medida que se incrementa la velocidad del viento, la velocidad angular también aumenta. Para esta práctica se utilizó el Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo).

Tabla 6

Caracterización de la velocidad del viento en su conversión a velocidad angular del rotor

Índice de fila	Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (Rpm)	Tensión generada (DC)
1	5	1260	66
2	6	1530	81.5
3	7	1810	96.5
4	8	2080	111.6
5	9	2356	150
6	10	2620	164
7	11	2880	176
8	12	3000	180

3.10.3 Práctica 2: Evaluación en el rendimiento energético del aerogenerador a velocidad del viento constante.

Para esta práctica se evaluó el rendimiento energético de un aerogenerador, a diferentes velocidades de viento: 6, 8, 9, 10 m/s Durante el experimento, se registraron datos correspondientes de torque, potencia mecánica, potencia eléctrica, corriente, tensión. Como resultado se observó que el aerogenerador alcanzó una eficiencia del 73,82% De la misma manera, como se muestra en la Tabla 7, que el mejor rendimiento se obtuvo a una velocidad de 9 m/s. En esta práctica se utilizó el Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), también se emplearon cargas resistivas de 15 ohmios(Ω), como elementos de disipación eléctrica (cargas).

Tabla 7

Evaluación en el rendimiento energético del aerogenerador a velocidad del viento constante

Índice de fila	Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (Rpm)	Torque (N*m)	Potencia mecánica (W)	Potencia eléctrica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Eficiencia (%)
1	6	500	0,680	35,6	24,192	19,2	1,26	67,95
2	8	875	1,180	108,1	77,97	34,5	2,26	72,13
3	9	1080	1,400	158,3	116,87	42,5	2,75	73,82
4	10	1305	1,633	223,2	162,52	49,7	3,27	72,81

3.10.4 Práctica 3: Respuesta energética ante ráfaga de viento (transitorio cortos).

En esta práctica se realizó la simulación del impacto que producen las variaciones de ráfagas, las mismas que pueden afectar la estabilidad eléctrica y su eficiencia. Para el desarrollo

del experimento se tuvo que programar intervalos de tiempo con diferentes velocidades de viento, lo que permitió registrar valores de potencia mecánica, corriente, tensión y potencia eléctrica. Como se puede observar en la Tabla 8, el aerogenerador respondió de manera eficiente ante las ráfagas de viento simuladas, lo cual nos da una buena estabilidad post-transitoria del sistema, así como la robustez del mismo antes condiciones de viento no controladas. Para esta práctica se utilizó el Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), conectados a unas cargas resistivas de 100 ohmios (Ω).

Tabla 8

Respuesta energética ante ráfaga de viento (transitorio cortos)

Índice de fila	Tiempo (min)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia eléctrica (W)
1	0-30	6	0,242	0,4	61,2	24,48
2	31-35	10	0,435	0,76	114,1	86,716
3	36-60	6	0,242	0,41	61,7	25,297
4	60-90	6	0,242	0,4	60,9	24,36
5	91-95	10	0,428	0,75	113,4	85,05
6	96-120	6	0,240	0,4	61,8	24,72
7	120-150	6	0,245	0,41	61,5	25,2
8	151-155	10	0,421	0,75	113,6	85,2
9	156-180	6	0,238	0,41	61,39	25,38

3.10.5 Práctica 4: Evaluación del rendimiento energético con viento variable en forma sinusoidal.

En esta práctica se analizó la eficiencia del sistema frente a variaciones continuas de energía mecánica. Para ello, se obtuvieron datos de potencia mecánica, potencia eléctrica, tensión y corriente, en intervalos de tiempo de 5 segundos, a diferentes velocidades con el fin de calcular la energía total generada por el aerogenerador. Como se muestra en la Tabla 9, los resultados de nuestros datos y podemos decir que nuestro sistema es eficiente y estable bajo un régimen de variabilidad eólica. Para esta práctica se utilizó Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), conectados a unas cargas resistivas de 100 ohmios (Ω).

Tabla 9
Evaluación del rendimiento energético con viento variable en forma sinusoidal

Índice de la fila	Tiempo (seg)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Potencia eléctrica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Energía Acumulada (Ws)
1	0	7	45.2	35.904	74.8	0.48	0
2	5	7.1	46.3	37.338	76.2	0.49	186.69
3	10	7.2	47.35	38.6	77.2	0.50	193
4	15	7.3	48.8	39.831	78.1	0.51	199.155
5	20	7.5	51.9	43.195	81.5	0.53	215.975
6	25	7.8	55.7	47.712	85.2	0.56	238.56
7	30	8	60.7	50.866	87.7	0.58	254.33
8	35	8.3	64.8	54.9	91.5	0.60	274.5
9	40	8.5	69.1	58.714	94.7	0.62	293.57
10	45	8.7	74.1	61.824	96.16	0.64	309.12
11	50	8.9	76.5	65.43	99.14	0.66	327.15
12	55	9.1	80.5	66.44	99.17	0.67	332.2
13	60	9.2	82.3	70.65	103.9	0.68	353.25
14	65	9.4	86.3	74.41	106.3	0.70	372.05

15	70	9.2	80.6	72.03	104.4	0.69	360.15
16	75	9.1	77.5	69.63	102.4	0.68	348.15
17	80	8.9	74.4	65.87	99.8	0.66	329.35
18	85	8.7	71.9	62.21	97.2	0.64	311.05
19	90	8.5	67.01	61.696	96.4	0.64	308.48
20	95	8.3	64.05	56.42	92.5	0.61	282.1
21	70	8	59.6	51.388	88.6	0.58	256.94
22	75	7.8	53.7	47.824	85.4	0.56	239.12
23	80	7.5	50.8	43.142	81.4	0.53	215.71
24	85	7.3	47.5	35.464	68.2	0.52	177.32
25	90	7.2	45.7	34.221	67.1	0.51	171.105
26	95	7.1	43.9	33.25	66.5	0.5	166.25
27	100	7	42.7	31.997	65.3	0.49	159.985

3.10.6 Práctica 5: Evaluación del torque del generador ante distintas variaciones del viento

En la siguiente práctica se analizó si el incremento de la velocidad del viento es proporcional al aumento del torque. En la Tabla 10 se observa que el sistema alcanza una eficiencia del 87,68% en el punto de 10 m/s. A partir de este punto comienza a disminuir, por lo tanto, no es recomendable operar a velocidades de viento superiores a 10 m/s. También, se observan perturbaciones eléctricas que afectan la eficiencia de salida del sistema, esto implica que es necesario una adecuada gestión del punto de operación para evitar pérdidas de rendimiento. Para esta práctica se utilizó Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), conectados a unas cargas resistivas de 150 ohmios (Ω).

Tabla 10

Evaluación del torque del generador ante distintas variaciones del viento

Índice de la fila	Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Potencia eléctrica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Eficiencia (%)
1	714	0.268	5	20.04	14.849	47.9	0.31	74.096
2	919	0.323	6	31.03	23.79	61	0.39	76.667
3	1300	0.441	8	60.09	51.04	88	0.58	84.94
4	1699	0.559	10	99.41	87.172	114.7	0.76	87.68
5	2093	0.709	12	155.3	131.13	41	0.93	84.43

3.10.7 Práctica 6: Comparativa energética entre el régimen continuo y variable

En la siguiente práctica se analizó, la eficiencia bajo escenarios de viento constante y viento variable, el sistema mostró un desempeño eficiente en el régimen variable, como se observa en las Tablas 11 y 12, las oscilaciones en la potencia fueron mayores con viento variable, el sistema respondió con estabilidad, demostrando adaptabilidad ante los cambios de velocidad, por lo tanto el promedio de potencia eléctrica en el régimen variable es de 52,501 W, en cuanto al régimen constante de 49,949 W, la diferencia porcentual de los regímenes, es de 5,109% y una diferencia porcentual de la eficiencia de 3,60%, demostrando que la eficiencia y potencia fueron mayores con viento variable, sin embargo, a viento constante también demostró un rendimiento aceptable. Para esta práctica se utilizó Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), conectados a unas cargas resistivas de 150 ohmios (Ω).

Tabla 11
Evaluación del viento en 8 m/s

Índice fila	de Tiempo (min)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia eléctrica (W)
1	3	8	60,76	0,57	87	49,59
2	6	8	59,03	0,57	87,2	49,704
3	9	8	58,32	0,57	87,5	49,875
4	12	8	58,778	0,57	86,8	49,476
5	15	8	61,44	0,57	87,9	50,103

Tabla 12
Evaluación del viento en 6 m/s y 10 m/s

Índice fila	de Tiempo (min)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia eléctrica (W)
1	1	6	31,06	0,40	61,8	24,72
2	2	7	44,77	0,48	74,2	35,616
3	3	8	50,66	0,58	87,9	50,282
4	4	9	78,33	0,66	100,3	66,138
5	5	10	85,875	0,75	114,5	85,875

3.10.8 Práctica 7: Potencia en función de velocidad del viento

Se planteó diversos escenarios ante la variabilidad del viento y carga conectadas, como se observa en las Tablas 13,14 y 15, en los datos evaluados, se demostró que en 10 m/s, con la incorporación de cargas resistivas de 10 ohmios, se tiene una potencia eléctrica de 126,024 W, que podría ser eficiente, sin embargo, al tener una carga resistiva pequeña se debe monitorear constantemente, ya que podría ocasionar una sobrecarga. En escenarios de velocidad del viento de 7 m/s mostró valores óptimos y el escenario de velocidad del viento 4 m/s, la eficiencia está muy por debajo y, por lo tanto, no es eficiente. Para esta práctica se utilizó Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) acoplado

mediante una banda de transmisión al Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo), y se fueron alternando la conexión de cargas resistivas.

Tabla 13

Evaluación de datos en 10 m/s

Índice de fila	Resistencia (Ω)	Velocidad (Rpm)	Par (N*m)	Potencia Mecánica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia Eléctrica (W)
1	200	1762	0,437	80,66	119,8	0,21	25,16
2	86	1546	0,848	137,3	100,8	0,76	76,61
3	45	1321	1,242	171,8	81	1,22	98,82
4	30	1181	1,571	194,3	68,5	1,71	117,14
5	15	935	2,122	207,6	47,2	2,67	126,024
6	7,5	686	2,518	180,7	28,7	4,12	118,24
7	5	520	2,414	131,4	18,6	3,77	70,122

Tabla 14

Evaluación de datos en 7 m/s

Índice de fila	Resistencia (Ω)	Velocidad (Rpm)	Par (N*m)	Potencia Mecánica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia Eléctrica (W)
1	240	1170	0,285	34,91	80,4	0,05	4,02
2	120	1046	0,45	49,27	69,5	0,19	13,21
3	71	936	0,623	61,11	59,8	0,42	25,12
4	45	839	0,808	70,94	51,8	0,58	30,044
5	30	719	0,978	73,64	41,8	0,81	33,858
6	15	521	1,235	67,39	26,5	1,27	33,655
7	7,5	286	1,052	31,49	11,6	1,9	22,04
8	5	203	0,872	18,48	6,6	1,6	10,56

Tabla 15*Evaluación de datos en 4 m/s*

Índice de fila	Resistencia (Ω)	Velocidad (Rpm)	Par (N*m)	Potencia Mecánica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia Eléctrica (W)
1	400	629	0,139	9,181	42,9	0,26	11,15
2	150	534	0,208	11,65	34,7	0,11	3,81
3	75	442	0,306	14,17	27,9	0,08	2,232
4	45	382	0,356	14,23	22,8	0,01	0,228
5	30	300	0,408	12,81	16,8	0,04	0,672
6	15	155	0,341	5,536	7	0,02	0,14
7	7,5	79	0,235	1,935	2,4	0,8	1,92
8	5	69	0,231	1,67	1,6	0,7	1,12

CAPÍTULO 4

4.1Conclusiones

Se evaluó, como el rendimiento energético del aerogenerador es proporcional al aumento de variabilidad del viento, lo que incrementa la tensión y a su vez la potencia, por lo tanto, es factible generar energía nominal a una velocidad de viento promedio de 9.8 m/s (dependiendo del tipo de aerogenerador usado en la práctica), en otro aspecto, ante los regímenes de escenarios de fluctuaciones abruptas y aunque el aerogenerador mostró estabilidad éstas no son deseables porque generan pérdidas de eficiencia.

- Se analizó los datos simulados en diferentes períodos de tiempo, y se pudo observar que la variabilidad del viento, va impactar en la velocidad angular y desarrollo de la producción de energía, por tanto, la variabilidad en la producción se hace más visible en períodos cortos asociados a cambios bruscos en la velocidad, mientras que en períodos de tiempos más prolongados la energía producida tiende a estabilizarse.

- La evaluación del rendimiento energético comparativo, evidencia que el rendimiento óptimo se da en condiciones de viento estable moderado, y que la degradación de la eficiencia se da ante la presencia de ráfagas o turbulencias, por lo cual se hace evidente el ajuste de operación en función del escenario presente.
- El ajuste de los parámetros de la velocidad del viento y banco de resistencias (100, 150 ohmios), demostraron un control adaptativo de generación, y la rápida respuesta en presencia de cambios bruscos en la velocidad del viento, optimizando la producción energética y disminuyendo las pérdidas por variabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali Sayigh & David Milborrow. (2020). Wind Energy Development. En *The Age of Wind Energy: Progress and Future Directions from a Global Perspective* (págs. 5-22). Springer Cham 978-3-030-26448-2.
- Almeida, N. (2020). *Fontes renováveis de energia: Energia eólica*. Obtenido de Anhanguera: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/30496/1/NAILZA_DE_ALMEIDA_LEAL_ATIVIDADE4.pdf
- Alvarez, Jurado, Flores & Reivan. (2023). Ecuadorian electrical system: Current status, renewable energy and projections. *Heliyon Volumen 9, Número 5* <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16010>, 1-18.
- Alves, K., & Batista, V. (2021). The current scenario of wind energy production in Brazil: A literature review. *Research, Society and Developmen*, 10(1). doi:10.33448/rsd-v10i1.12107.

- Arias, D., & Gavela, P. (2022). Estado del Arte: Incentivos y Estrategias para la Penetración de Energía Renovable. *Revista Técnica Energía*, 18(2). doi:<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.494>
- Azamar, A., & García, Y. (2021). Diagnóstico y riesgos de la energía eólica en México. *Revista de Geografía Agrícola*(67), 27-45. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8814360>
- Bautista, S. (2024). Generación renovable eólica y fotovoltaica en Ecuador: Una revisión sistemática de literatura. *CienciAmérica*, 13(2), 40-62. doi:10.33210/ca.v13i2.472.
- Bhattacharya, S. (2019). Overview of a Wind Farm and Wind Turbine Structure. En *Design of Foundations for Offshore Wind Turbines*. Print ISBN:9781119128120 chap 1.
- Brunke, B. (2021). *Elaboration of a rotor and the mechanical shaft of a Direct Drive Wind Turbine*. Obtenido de Universitat Politècnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/7f6afdfc-b792-4688-903c-475b8a71aaf9/content>
- Cerrada, J. (2022). *Estudio y diseño de aerogenerador Savonius*. Obtenido de Universidad Pública de Navarra: <https://academica-e.unavarra.es/server/api/core/bitstreams/fe877322-9890-4e20-a92d-fafeb483b257/content>
- Clementi, L., & Jacinto, G. (2021). Energía eólica distribuida: oportunidades y desafíos en Argentina. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*(29). doi:<https://doi.org/10.17141/letrasverdes.29.2021.4590>
- Dahaj, A. (2023). *Plan de mantenimiento y estudio de evaluación de riesgos de un aerogenerador*. Obtenido de Universidad de La Laguna:

- <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/33272/Plan%20de%20mantenimiento%20y%20estudio%20de%20evaluacion%20de%20riesgos%20de%20un%20aerogenerador.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EcoInventos . (2022). *Aerogenerador de eje vertical Darrieus: Reinventando los aerogeneradores flotantes en alta mar*. Obtenido de EcoInventos: <https://ecoinventos.com/aerogenerador-eje-vertical-darrieus/>
- EcoInventos. (2024). *LS SAVONIUS 3.0, turbina eólica urbana para empresas y terrenos privados*. Obtenido de ecoinventos.com: <https://ecoinventos.com/ls-savonius-3-0/>
- Festo Didactic . (2025). *Festo Didactic* . Obtenido de https://labvolt.festo.com/solutions/6_power_energy/98-8960-00_four_quadrant_dynamometer_power_supply
- Festo Didactic . (2025). *Festo Didactic* . Obtenido de https://labvolt.festo.com/Website/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller
- Fluke. (2025). *Fluke*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-87v#>
- Gebel, T. R. (2021). *Investigation of Power Generation by Small-Scale Wind Turbines How a Vortex impacts Power Generation*. Printed by Chalmers Reproservice.
- González, D. (2020). *Aerogenerador de eje vertical y horizontal: principales diferencias*. Obtenido de INESEM: <https://www.inesem.es/revistadigital/gestion-integrada/aerogenerador-de-eje-vertical-y-horizontal/>
- GWEC. (2023). *GLOBAL WIND REPORT*. Obtenido de <https://www.gwec.net/reports/globalwindreport/2023#DownloadWindReport2023>

- Joe H. Chow & Juan J. Sanchez-Gasca. (2019). Wind Power Generation and Modeling. En *Power System Modeling, Computation, and Control* (págs. 487-530). The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex, PO19 8SQ, UK.
- Lara, B. (2024). *La energía eólica en España con especial referencia a Aragón*. Obtenido de Universidad Zaragoza: <https://zaguan.unizar.es/record/146277/files/TAZ-TFG-2024-3893.pdf>
- Maviju. (2025). *Maviju*. Obtenido de <https://maviju.com/herramientas/pinza-amperimetrica-digital-200a-he050012>
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Central Eólica "Villonaco"*. Obtenido de [recursosyenergia.gob.ec: https://www.rekursosyenergia.gob.ec/central-eolica-villonaco/](https://www.rekursosyenergia.gob.ec/central-eolica-villonaco/)
- Nick Jenkins, Tony Burton, Ervin Bossanyi, David Sharpe & Michael Graham. (2021). Wake effects and wind farm control. En *Wind Energy Handbook 3e, Third Edition* (págs. 637-663). Print ISBN:9781119451099 chp 9.
- Oguz A. Soysal, Hilkat S. Soysal. (2020). Wind Energy Systems . En *Energy for Sustainable Society: From Resources to Users* (págs. 365-403). Print ISBN:9781119561309 chp9.
- Ortiz, E. (2025). *Construcción de un prototipo de aerogenerador casero* . Obtenido de Universidad de Cuenca: <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/fda69223-2f78-4d62-91c3-6b67187df774/content>
- Owens, B. N. (2019). The Age of Small Wind. En *The Wind Power Story: A Century of Innovation that Reshaped the Global Energy Landscape* (págs. 19-36). IEEE press 10.1002/9781118794289.ch2.

- Romero, I., & Jara, D. (2020). *Identificación de las barreras que obstaculizan la expansión de la energía eólica y solar fotovoltaica como fuentes de generación eléctrica en el Ecuador*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18735/1/UPS-CT008766.pdf>
- Russell, I. (2024). *Energía eólica*. Obtenido de Slideserve: <https://www.slideserve.com/ivan-russell/energ-a-e-lica>
- Salgado, J. R. (2022). *ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE ALTERAN LOS RESULTADOS DE LAS ANALÍTICAS DE ACEITE DE LAS MULTIPLICADORAS EN ENERGÍA EÓLICA. PROPUESTA DE SOLUCIÓN*. Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga PhD.
- TotalEnergies. (2022). *Nuevas turbinas eólicas verticales, ¿en qué se diferencian de las actuales?* Obtenido de TotalEnergies: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/turbinas-eolicas-verticales-beneficios-y-diferencias>
- Aerogenerador: qué es, partes y su función* | Enel Green Power. (n.d.). Retrieved July 16, 2025, from <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-eolica/aerogenerador>
- Alberto, L., Armijo, U., Uriana, J., Masaquiza, M., Estatal, U., Puyo, A., María, J., Carrión, P., Gabriela, M., & Jácome, M. (2023). Revisión documental de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en el Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 6714–6734. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7I6.9202
- Arroyo, F. R. M., & Miguel, L. J. (2020). The Role of Renewable Energies for the Sustainable Energy Governance and Environmental Policies for the Mitigation of Climate Change

- in Ecuador. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 3883, 13(15), 3883.
<https://doi.org/10.3390/EN13153883>
- Atlas Eólico Del Ecuador: Con Fines De Generación Eléctrica* 2013. (n.d.). Retrieved August 8, 2025, from <https://www.ariae.org/servicio-documental/atlas-eolico-del-ecuador-con-fines-de-generacion-electrica>
- Barrón Cornejo, A., Centurión Cruz, M., Ferreyros Corigliano, L., Forero Chávez, G., López Velásquez, G., & Markovinovic Godoy, L. (2021). *La importancia del uso de energías renovables en centros comerciales en Lima*.
https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/14421/Importancia_uso_energias_renovables.pdf?sequence=1
- Beik, O., & Al-Adsani, A. S. (2020). DC wind generation systems: Design, analysis, and multiph. turbine technology. *DC Wind Generation Systems: Design, Analysis, and Multiphase Turbine Technology*, 1–185. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39346-5/COVER>
- Cabeza-Gras, O., & V. Jaramillo-García. (2021). Wind energy system in Ambocas-Ecuador: distributed generation and energy quality. *RE&PQJ*, 19(5), 609–613.
<https://doi.org/10.24084/REPQJ19.361>
- Cinta, R. I. (2023). *Análisis de la eficiencia de un aerogenerador eólico de baja potencia bajo diferentes niveles de vibración*. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/7895/1/RI007222.pdf>
- Coelho, P. (2023). The Betz limit and the corresponding thermodynamic limit. *Wind Engineering*, 47(2), 491–496.
<https://doi.org/10.1177/0309524X221130109/ASSET/93EEE98A-4DC8-4443-820A->

29A0ED42276A/ASSETS/IMAGES/LARGE/10.1177_0309524X221130109-

FIG2.JPG

Essaki Raj, R., Vasudevan, N., Srinivasan, S., Abirami, T., Pandian, R., Gnanavel, C., Parkunam, N., Srinivasan, R., & Hurissa, D. (2025). Analysis of Wind Driven Permanent Magnet Synchronous Generator for Power Grid System. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2025(1), 5188452. <https://doi.org/10.1155/ETEP/5188452>

Festo. (2024). *LabVolt Series por Festo Didactic - Alternador/controlador de aerogenerador (8216-00)*. [https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-](https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller)

00_wind_turbine_generator_controller

Festo. (2025). *Timing Belt 579637 (8942-00) - Búsqueda.*

[https://www.bing.com/search?q=Timing+Belt+579637+\(8942-](https://www.bing.com/search?q=Timing+Belt+579637+(8942-00)&cvid=11e7b5b0a064492c9380ce419b02693d&gs_lcrp=EgRlZGdlKgYIABBFgdkyBggAEEUYOTIGCAEQABhAMgYIAhAAGEAyBggDEAAYQDIGCAQQABhAMgYIBRAAGEAyBggGEAAYQDIGCAcQABhAMgYICBAAGEDSAQc2NTdqMG)

00)&cvid=11e7b5b0a064492c9380ce419b02693d&gs_lcrp=EgRlZGdlKgYIABBFgdkyBggAEEUYOTIGCAEQABhAMgYIAhAAGEAyBggDEAAYQDIGCAQQABhAMgYIBRAAGEAyBggGEAAYQDIGCAcQABhAMgYICBAAGEDSAQc2NTdqMG

o0qAIIIsAIB&FORM=ANAB01&PC=U531

Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series.*

Flavio Javier, D.-C., Nidiana, R.-H., O, A. J., Nacional de Humanidades, C., Ciencias Tecnológicas, M., & A, J. O. (2024). *Diseño de un rotor Darrieus tipo Phi para aerogeneradores de baja potencia Design a Darrieus Phi-rotor for low power wind turbine*

Becerra-Nuñez

Guillermo.

<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2024.25.4.028>

- Gordillo Valdez, A., Montoya Granda, M., & Salinas Pedemonte, P. A. (2022). Análisis del desarrollo y potencial de la energía eólica en el Perú. *Ingeniería Industrial*, 43, 177–198. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n43.6114>
- Gustavo, B., Hoyos, G., Elizabeth, D., & Quintero, M. (2019). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.AYD23-44.EETS>
- Hernández Palma, H., Jiménez Coronado, A., & Mendoza Casseres, D. (2022). Renewable energy and international energy. *Justicia (Barranquilla)*, 27(41), 150–160. <https://doi.org/10.17081/JUST.27.41.5997>
- Kumar, P. M., Sivalingam, K., Lim, T. C., Ramakrishna, S., & Wei, H. (2019). Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Large Wind Turbines. *Clean Technologies* 2019, Vol. 1, Pages 205-223, 1(1), 205–223. <https://doi.org/10.3390/CLEANTECHNOL1010014>
- LabVolt Series por Festo Didactic - Carga resistiva (8311-00)*. (n.d.). Retrieved July 18, 2025, from https://labvolt.festo.com/Website/solutions/50-8311-00_resistive_load
- LabVolt Series por Festo Didactic - Conjunto de funciones de emulador de turbina (8968-30)*. (n.d.). Retrieved July 18, 2025, from https://labvolt.festo.com/Website/solutions/50-8968-30_turbine_engine_emulator_function_set
- LabVolt Series por Festo Didactic - Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (8960-00)*. (2025). https://labvolt.festo.com/solutions/6_power_energy/98-8960-00_four_quadrant_dynamometer_power_supply

- Leandro Valencia-Bautista, E. I., Miguel Farfán-Bone III, J., Alejandro Arboleda-Cheres, I. V, Joel Angulo-Guerrero, R. I., Joa Verá-Lozano, C. I., & Joel Orobio-Arboleda, T. V. (2022). *Una revisión del suministro de energía renovable y las tecnologías de eficiencia energética A review of renewable energy supply and energy efficiency technologies Uma revisão do fornecimento de energia renovável e tecnologias de eficiência energética* *Ciencias de la Educación Artículo de Revisión*. 7, 2012–2046. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3934>
- López-Flores, D. R., Duran-Gomez, J. L., & Vega-Pineda, J. (2020). Aerodynamic Frequency Domain Model for Evaluating Small Wind Turbines. *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC, 2020-March*, 3276–3281. <https://doi.org/10.1109/APEC39645.2020.9124556>
- Mahtani, K. (2024). Revisión de las topologías de convertidores de potencia plena para sistemas de conversión de energía eólica basados en generadores síncronos de imanes. *Chone, Ciencia y Tecnología*, 2(2), 2960–8228. <https://doi.org/10.56124/CCT.V2I2.015>
- Martínez-Hernández, J., Parra-Reyes, N., Guerrero-Martín, L. E., Galindo, L. S. C., Silva, R. S., Guerrero, W. A., & Guerrero-Martín, C. A. (2022). A SWOT Analysis for Wind Energy Potential Assessment in Colombia. *Fuentes El Reventon Energetico*, 20(1), 45–56. <https://doi.org/10.18273/REVFUE.V20N1-2022005>
- Mateo, A., Pizarro, V., Fernanda, J., Viscaíno, M., Flor, ;, Jaramillo, Y. V., Del Cisne, A., & Granda, V. (2024). Desarrollo sostenible de Ecuador a través del desarrollo de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable. *RECIMUNDO*, 8(2), 103–113. [https://doi.org/10.26820/recimundo/8.\(2\).abril.2024.103-113](https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(2).abril.2024.103-113)

- Multímetro industrial Fluke 87V* | Fluke. (n.d.). Retrieved July 18, 2025, from <https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/multimetros-digitales/fluke-87v>
- Palacios, Á. G. P., Rodríguez, S. A. I., Fuentes., E. D. V., Quinto, V. M. C., Quinto, V. M. C., Párraga, N. L. M., & Gavilanes, F. E. Z. (2019). Producción de energía eólica en Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3), 22–32. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.610>
- Palma Rodríguez, L. D., & Vera Parrales, R. A. (2024). *Simulación de aerogenerador mediante la implementación de dinamómetro de cuatro cuadrantes en laboratorio de electricidad*. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5803>
- Patel, M. R., & Beik, O. (2021). Wind and Solar Power Systems : Design, Analysis, and Operation. *Wind and Solar Power Systems*. <https://doi.org/10.1201/9781003042952>
- Perez Montes, D., De Ávila Solano, A., & Jimenez Cardozo, J. (2022). Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos. *LADEE: Latin American Developments in Energy Engineering*, ISSN-e 2744-9750, Vol. 3, Nº. 1, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Enero-Junio), Págs. 40-46, 3(1), 40–46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8487172&info=resumen&idioma=ENG>
- PINZA AMPERIMETRICA DIGITAL 200A* | Maviju tienda en línea. (n.d.). Retrieved July 18, 2025, from <https://maviju.com/herramientas/pinza-amperimetrica-digital-200a-he050012>
- Rao, K. R. (2019). Wind energy for power generation: Meeting the challenge of practical implementation. *Wind Energy for Power Generation: Meeting the Challenge of Practical Implementation*, 1–1443. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75134-4/COVER>

- Samad, A. (n.d.). *Design Aspects of Direct Drive Permanent Magnet Machines For Wind Power Generation TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN ELECTRICAL ENGINEERING INGEGNERIA ELETTRICA*.
- Sotoudeh, A., & Rezaei, M. M. (2023). An adaptive control strategy for grid-forming of SCIG-based wind energy conversion systems. *Energy Reports*, 10, 114–122.
<https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.06.030>
- Terminales y Conectores – SEIPE*. (n.d.). Retrieved July 18, 2025, from <https://www.seipe.com/terminales-y-conectores/>
- Wang, W., Qin, C., Zhang, J., Wen, C., & Xu, G. (2022). Correlation analysis of three-parameter Weibull distribution parameters with wind energy characteristics in a semi-urban environment. *Energy Reports*, 8, 8480–8498.
<https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.06.043>
- WAYREapp – aplicación desarrollada por el IIGE para impulsar los estudios en energía eólica – Instituto de Investigación Geológico y Energético*. (n.d.). Retrieved July 3, 2025, from <https://www.geoenergia.gob.ec/wayreapp-aplicacion-desarrollada-por-el-iige-para-impulsar-los-estudios-en-energia-eolica/>
- WINDExchange. (n.d.). *Small Wind Guidebook* . Retrieved July 8, 2025, from <https://windexchange.energy.gov/small-wind-guidebook#size>
- Yancachajlla Tito, U., Vilca Huayta, O. A., Yancachajlla Tito, U., & Vilca Huayta, O. A. (2022). Caracterización del viento con la función de Weibull para una zona altoandina, Laraqueri - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 190–198.
<https://doi.org/10.18271/RIA.2022.439>

Yee Heng, T., Jian Ding, T., Choe Wei Chang, C., Jian Ping, T., Choon Yian, H., & Dahari, M. (2022). Permanent Magnet Synchronous Generator design optimization for wind energy conversion system: A review. *Energy Reports*, 8, 277–282. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.10.239>

5 Recursos

5.1 Recursos Humanos

Anexo 1. Detalle de los recursos humanos y su aporte en el desarrollo del proyecto.

Tabla 16

Detalle de los recursos humanos y su aporte en el desarrollo del proyecto.

Nombre	Función o cargo	Aporte al proyecto
Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc	Docente	Tutor del proyecto
Merchan Oleas Billy Eugenio	Estudiante	Autor
Solis Delgado Jasmin Alexandra	Estudiante	Autor

5.2 Recursos Económicos

Anexo 2. Detalle de los recursos económicos necesarios para la elaboración del proyecto.

Tabla 17

Detalle de los recursos materiales y económicos necesarios para la elaboración del proyecto.

N.º	Descripción	Cantidad	U	Valor unitario \$	Valor total \$
-----	-------------	----------	---	-------------------	----------------

1	Generador/Controlador de aerogenerador	1	\$ 7.017,31	\$ 7.017,31
			Total	\$7.017,31

TOTAL: Siete mil diecisiete dólares con treinta y uno centavos americano.

Cronograma

Anexo 3. Cronograma de actividades FASE 1

Meses Actividad	Año 2024																							
	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
Socialización taller de Anteproyecto.																								
Aprobación del tema en general y designación de tutor.																								
Determinación de tema y horarios por parte del tutor																								
Elaboración de tema tentativo y variables dependiente e independiente de Anteproyecto.																								
Elaboración de tema Anteproyecto.																								
Elaboración de matriz																								
Elaboración de Resumen y revisión por parte del tutor																								
Elaboración de Introducción																								
Elaboración de Antecedentes, Justificación, Marco teórico y revisión por parte del tutor																								
Revisión y corrección del Anteproyecto por parte del tutor																								
Entrega del anteproyecto a la comisión académica																								
Entrega del proyecto final, petición de tribunal y fecha de sustentación																								

Anexo 4. Cronograma de actividades FASE 2

Actividad	Meses	Año 2025																							
		Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
Entrega del módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo) en el laboratorio de potencia, facultad electricidad.																									
Revisión e interacción del módulo 8216-02 en conjunto con el módulo 8960, en el laboratorio de potencia																									
Elaboración de práctica uno en común, característica de la tensión en función de la velocidad en el alternador de un aerogenerador																									
Revisión de tesis e introducción de inicio de artículo																									
Elaboración de práctica en común, características del par en función de la corriente en el alternador de un aerogenerador, solo para evaluación de conexión de banco de resistencias																									
Elaboración de práctica dos en común, influencia del viento en intervalos de parámetros temporales																									
Elaboración de práctica cuatro, caracterización de la velocidad del viento en su conversión a velocidad angular del rotor																									
Elaboración de práctica cinco, de evaluación en el rendimiento energético del aerogenerador a velocidad del viento constante																									
Elaboración de práctica seis, respuesta energética ante ráfaga de viento (transitorio cortos)																									
Elaboración de práctica siete, evaluación del rendimiento energético con viento variable en forma sinusoidal y práctica ocho evaluaciones del torque del generador ante distintas variaciones del viento																									
Elaboración de practica ocho, comparativa energética entre el régimen continuo y variable																									
Elaboración de práctica nueve, potencia en función de velocidad del viento																									
Revisión y corrección del proyecto por parte del tutor																									

Anexo 5

GUÍA TALLER/LABORATORIO

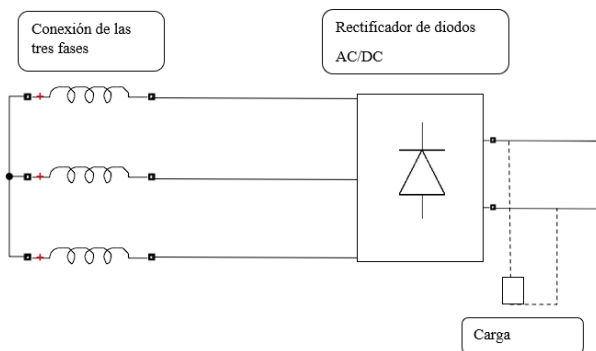
GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Caracterización de la velocidad del viento en su conversión a velocidad angular del rotor.	No. PRÁCTICA: TS.4.03-01
--------------------------------------	---	---

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	15/07/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

2. FUNDAMENTACIÓN
En los sistemas de generación eólica, la velocidad del viento es un factor crítico que afecta directamente en la cantidad de energía que puede ser extraída. Dado que en el laboratorio no se cuenta con viento natural, se utiliza el Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) como emulador de turbina eólica, el cual permite simular diferentes condiciones de viento mediante el control de torque y velocidad del rotor.(Festo Didactic, 2024) La velocidad angular del rotor (ω) se relaciona con la velocidad del viento (u_v) a través de las curvas características del aerogenerador. Esta práctica busca establecer una tabla de correspondencia entre velocidades de viento simuladas y velocidades de angulares reales, lo cual servirá de base para posteriores simulaciones y evaluaciones de rendimiento.



Esquema de conexión a conectar en el módulo

Fórmulas relevantes:

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \left(\frac{rad}{s} \right)$$

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60}$$

$$P_m = T \times \omega$$

3. OBJETIVOS

- Simular velocidades de viento en el rango de 5 a 12 (m/s).
- Medir y registrar la velocidad angular correspondiente a cada velocidad de viento.
- Establecer una tabla de equivalencias $V(m/s)$ vs $\omega \left(\frac{rad}{s} \right)$.
- Graficar la curva velocidad angular vs velocidad del viento.
- Sentar las bases para la caracterización energética del sistema en prácticas posteriores.

4. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)

Software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Multímetro digital Cables tipo bananas Computadora Banda de acoplamiento Cuaderno de apuntes

5. PROCEDIMIENTO		
N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Encender el sistema Lab-Volt y verificar conexiones de seguridad	Asegurarse que la conexión USB y la alimentación estén estables
2	Abrir el software LVDAC-EMS y seleccionar el modo Wind Turbine Generator elegir el tipo de turbina correspondiente al modelo 8216-02 de Festo	
3	Conectar una carga resistiva de 15 ohmios, en la salida del rectificador	
4	Configurar la velocidad del viento en 3m/s, registrar velocidad angular en rpm en eje del generador	
5	Repetir el paso anterior para velocidades de 4,5,6,7,8,9,10,11 y 12 (m/s)	Revisar al menos tres mediciones por velocidad para obtener el valor promedio
6	Convertir la velocidad angular del rotor de rpm a rad/seg. Usar la formula: $\omega = \frac{2\pi \times n}{60}$	
7	Construir una tabla de equivalencias Voltaje (V) vs Omega (ω) usar software.	

8	Graficar la curva velocidad (m/s) vs ω (rad/s)	
---	---	--

6. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores respecto a la variación del viento de 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 m/s

Índice de fila	Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (Rpm)	Tensión generada (DC)
1	5	1260	66
2	6	1530	81.5
3	7	1810	96.5
4	8	2080	111.6
5	9	2356	150
6	10	2620	164
7	11	2880	176
8	12	3000	180

7. CONCLUSIONES

- Se identificó una relación directa entre la velocidad del viento simulada y la velocidad angular del rotor.
- El sistema Lab-Volt permite simular con precisión distintos regímenes de viento en forma segura.
- Se observó una tabla de equivalencias claves para futuras prácticas experimentales.
- La curva velocidad (m/s) vs ω (rad/s) nos mostró una tendencia lineal dentro del rango analizado.
- Se estableció una base cuantitativa útil para evaluar el rendimiento energético del aerogenerador en condiciones variables.

8. RECOMENDACIONES

- Verificar que el software LVDAC-EMS esté actualizado antes de iniciar.
- Asegurar una correcta fijación del generador para evitar vibraciones que afecten las mediciones.
- Realizar al menos tres mediciones por punto para obtener valores confiables.

9. BIBLIOGRAFÍA

10. ANEXOS

Emulador de aerogenerador

Velocidad del viento (m/s): 5.0

Medidores

D1	Velocidad	D2	Par	D3	Potencia	D4	Energía
0		-0.001		0.000		-12.52	
	r/min		Nm		W		kWh

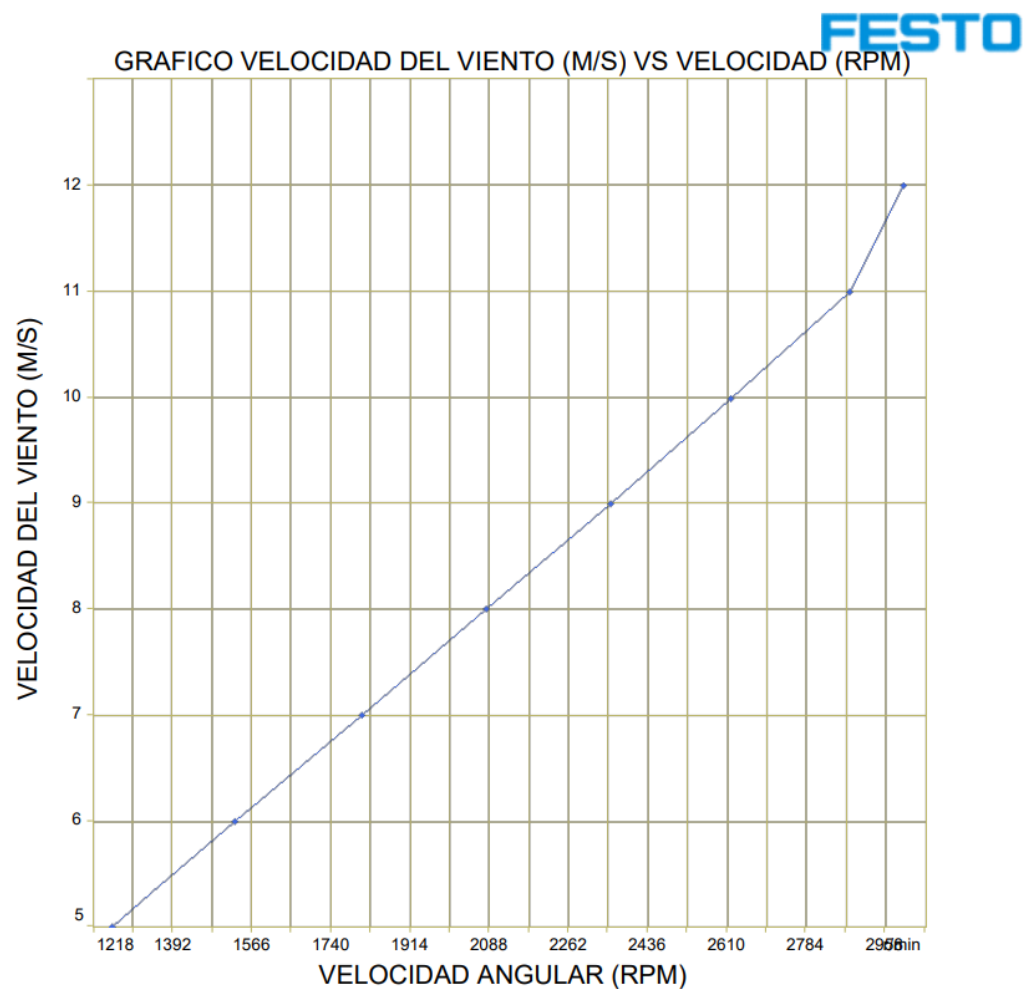
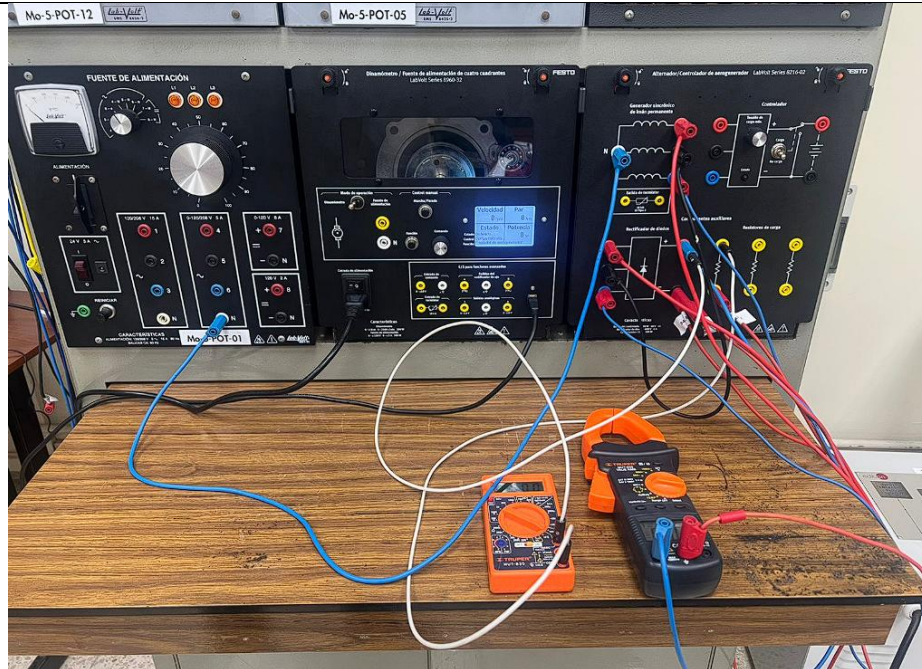
Parámetros de la máquina bajo prueba

Función: Emulador de aerogenerador

Parámetros de la función:

Parámetro	Valor
Control del viento	Deslizador
Velocidad del viento (m/s)	5.0
Densidad del aire (kg/m³)	1.225
Tipo de aerogenerador	1.15 m, 3 álabes
Relación de la p Poleas	24.32 (acoplamiento por correa de distribución)
Tipo de termistor	Ninguno
Estado	Detenido

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.



--

Fecha de Elaboración: 15/7/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 15/7/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA
INFORME

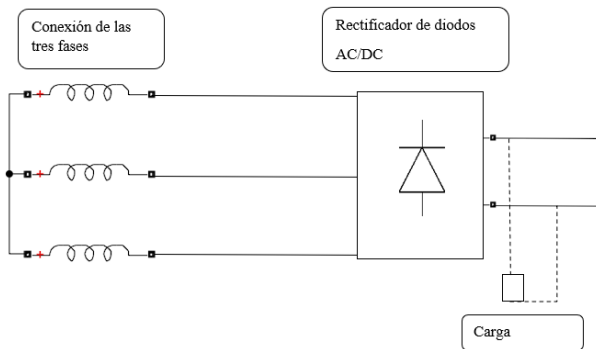
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Evaluación en el rendimiento energético del aerogenerador a velocidad del viento constante	No. PRÁCTICA: TS.4.03- 02
--------------------------------------	---	--------------------------------------

11. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	15/07/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

12. FUNDAMENTACIÓN

El rendimiento energético de un aerogenerador se define como la proporción de energía eléctrica útil, generada respecto a la energía mecánica disponible en su eje. Esta eficiencia depende de múltiples factores como la velocidad del viento, el diseño del rotor, las pérdidas internas del generador y el sistema de conversión.

En esta práctica se utiliza el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) para simular condiciones estables de viento. Se establecerán varios puntos de operación con velocidades de viento constante de (6, 8, 9, 10, 12 m/s), midiendo la potencia mecánica en el eje del generador y la potencia eléctrica entregada al sistema. (Festo Didactic, 2024)



Esquema de conexión a conectar en el módulo

- Fórmulas claves

$$\text{Potencia mecánica} = \tau \cdot \omega \text{ (w)}$$

$$\text{Potencia eléctrica} = V \cdot I \text{ (w)}$$

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia mecánica}} \times 100\%$$

13. OBJETIVOS

- Simular condiciones de viento constantes en varios niveles
- Medir la potencia mecánica suministrada al generador
- Medir la potencia eléctrica generada

- Calcular el rendimiento energético en cada punto de operación
- Analizar la eficiencia del sistema bajo condiciones estables

14. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)

software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Módulo de cargas resistivas

Multímetro digital

Cables tipo bananas

Computadora

Banda de acoplamiento

15. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Sacar los equipos correspondientes	Cuando se saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo y el Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)	Tener precaución a la hora de acoplar la banda, y verificar que la relación de la polea sea la correcta
4	Conectar una resistencia de 15 ohmios a la salida del rectificador	
5	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
6	Verificar conexión del sistema Lab-Volt	Usar configuración según las deseadas

7	Iniciar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Seleccionar la función modo Emulador de aerogenerador y establecer 43 voltios como voltaje objetivo
8	Configurar la velocidad del viento para 6m/s	Registrar velocidad angular, torque, potencia eléctrica, potencia mecánica, voltaje, corriente y eficiencia
9	Calcular la potencia mecánica y potencia eléctrica para el punto de operación	Utilizar fórmulas indicadas
10	Repetir los pasos 8 y 7 para velocidades de viento de 8,9 y 10 (m/s)	Registrar todos los datos en tablas y solo se le hace hasta 10 m/s, para prevenir que el generador se frene por sobrecarga
11	Calcular el rendimiento energético para cada velocidad	Expresarlo en porcentaje
12	Elaborar la gráfica de eficiencia (%) vs velocidad del viento (m/s)	Usar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

16. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores respecto a la variación del viento de 6, 8, 9, 10 m/s

Índice de fila	Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (Rpm)	Torque (N*m)	Potencia mecánica (W)	Potencia eléctrica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Eficiencia (%)
1	6	500	0,680	35,6	24,192	19,2	1,26	67,95
2	8	875	1,180	108,1	77,97	34,5	2,26	72,13
3	9	1080	1,400	158,3	116,87	42,5	2,75	73,82
4	10	1305	1,633	223,2	162,52	49,7	3,27	72,81

17. CONCLUSIONES

- El aerogenerador presenta un rendimiento energético de eficiencia del 73,82% en condiciones de viento constante.
- Se observó que el rendimiento aumenta levemente por la velocidad del viento en el un punto de 9 (m/s)
- Las pérdidas internas del sistema afectan significativamente al rendimiento en velocidades bajas
- La emulación del viento estable permite observar tendencias reales del comportamiento energético del sistema
- Esta caracterización es general para futuras generaciones del viento variables

18. RECOMENDACIONES

- Verificar los parámetros de cada conexión antes de iniciar
- Revisar los valores de medición para asegurar repertividad
- Evitar cargas excesivas que puedan saturar el sistema o alterar los datos
- Controlar la temperatura de módulos durante las pruebas prolongadas

19. BIBLIOGRAFÍA

Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series*.

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

20. ANEXOS

δo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
Archivo Ver Herramientas Ayuda

EMULADOR DE AEROGENERADOR

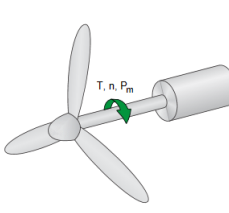


Diagram showing the variation of wind speed (Variación de la velocidad del viento) over time (t) and the resulting mechanical power (Pm) over time (t). The graphs show multiple curves representing different wind speed profiles.

Ajustes del dinamómetro

Selección de función
Emulador de aerogenerador

Parámetros de la función

Control del viento	Deslizador
Velocidad del viento (m/s)	5.0
Densidad del aire (kg/m³)	1.225
Tipo de aerogenerador	1.15 m, 3 álabes
Relación de la púas	24:32 (acoplamiento por correa de distribución)
Tipo de termistor	Ninguno
Estado	Detenido

Función
Selecciona la función implementada utilizando el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.

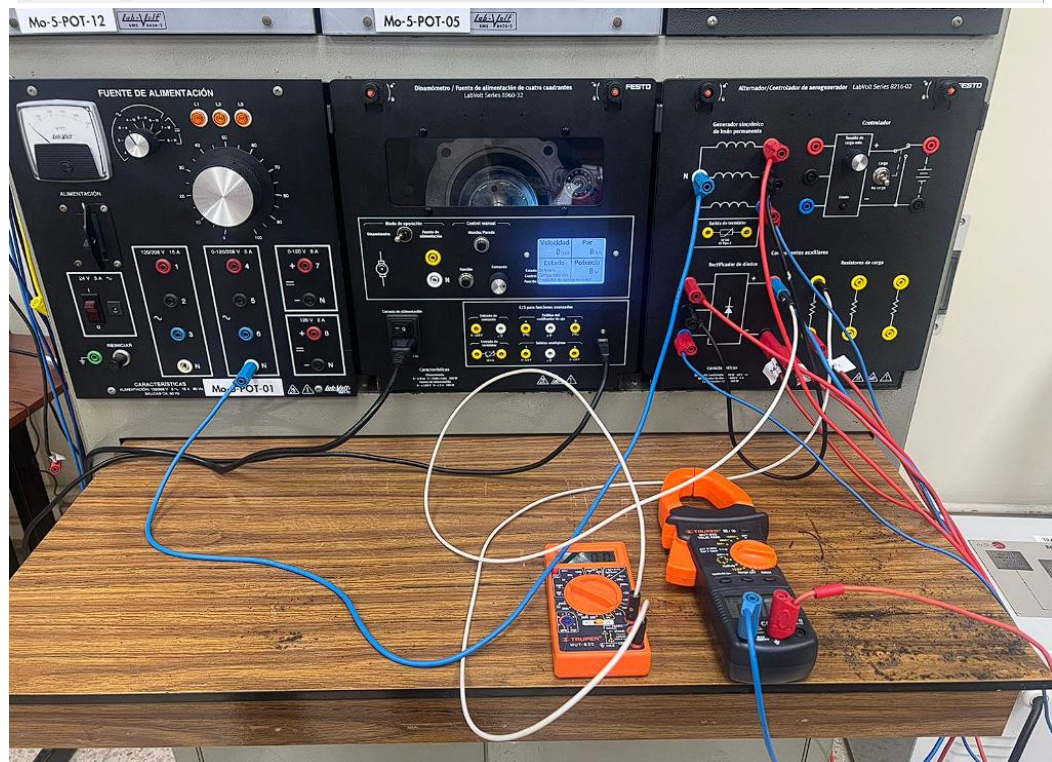
[Mostrar panel frontal](#)

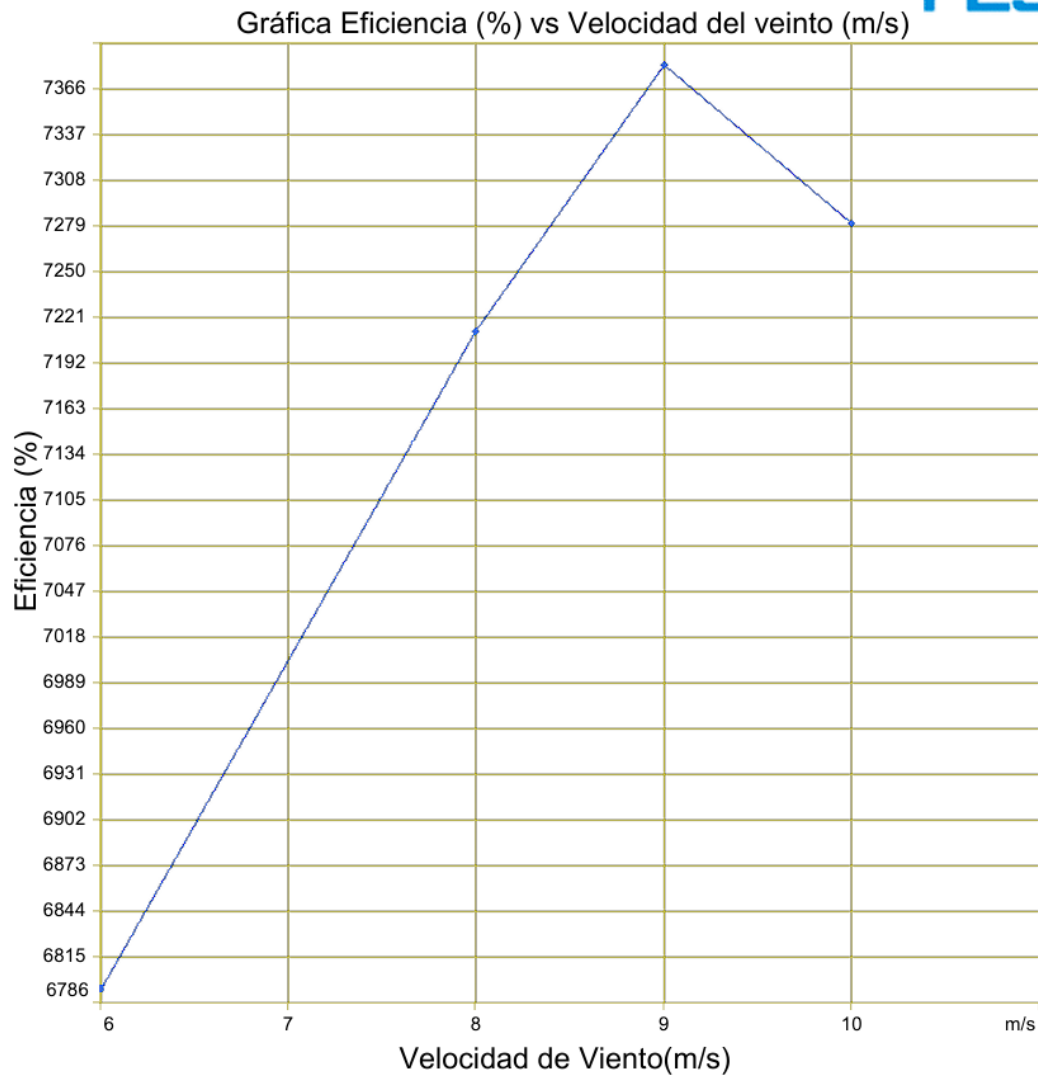
Velocidad del viento (m/s): 5.0

Medidores:

Parámetros de la máquina bajo prueba			
D1	D2	D3	D4
Velocidad	Par	Potencia	Energía
0	-0.001	0.000	-12.52
elmin	N/m	W	Reini

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.





- Para sacar la potencia mecánica, potencia eléctrica y rendimiento energético se realizará con las siguientes fórmulas

Potencia mecánica = $\tau \cdot \omega$ (w)

Para 6 (m/s) rpm de 500 y torque de 0,680

$$P_m = 0.680 \times 500 \times 0.10472 = 35.6W$$

Para 8 (m/s) rpm de 875 y torque de 1,180

$$P_m = 1.180 \times 875 \times 0.10472 = 108.1W$$

Para 9 (m/s) rpm de 1080 y torque de 1,400

$$P_m = 1.400 \times 1080 \times 0.10472 = 158.3 \text{ W}$$

Para 10 (m/s) rpm de 1305 y torque de 1,633

$$P_m = 1.633 \times 1305 \times 0.10472 = 223.2 \text{ W}$$

Potencia eléctrica= V*I (w)

Para 6 (m/s) tensión de 19,2 y corriente de 1,26

$$P_e = 19,2 \times 1,26 = 24,192 \text{ W}$$

Para 8 (m/s) tensión de 34,5 y corriente de 2,26

$$P_e = 34,5 \times 2,26 = 77,97 \text{ W}$$

Para 9 (m/s) tensión de 42,5 y corriente de 2,75

$$P_e = 42,5 \times 2,75 = 116,87 \text{ W}$$

Para 10 (m/s) tensión de 49,7 y corriente de 3,27

$$P_e = 49,7 \times 3,27 = 162,52 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia mecánica}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{24,192}{35,6} \times 100\% = 67,95\%$$

$$\eta = \frac{77,97}{108,1} \times 100\% = 72,13 \%$$

$$\eta = \frac{116,87}{158,3} \times 100\% = 73,82\%$$

$$\eta = \frac{162,52}{223,2} \times 100\% = 72,81\%$$

Fecha de Elaboración: 15/7/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 15/7/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

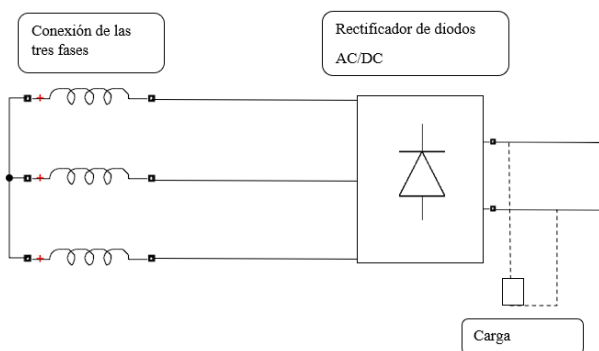
INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Respuesta energética ante ráfaga de viento (transitorio cortos)	No. PRÁCTICA: TS.4.03- 03
--------------------------------------	--	--------------------------------------

21. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	17/07/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

22. FUNDAMENTACIÓN

En la generación eólica real, el viento no sopla a velocidad constante; por el contrario, pueden presentar variaciones repentinas en forma de ráfagas. Estas ráfagas representan transitorios breves de alta energía que pueden impactar el rendimiento del aerogenerador, su estabilidad eléctrica y la eficiencia del sistema de conversión. El sistema de LabVolt 8960-3 con su módulo dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (8960), permite simular en precisión ráfagas de viento gracias a la funcionalidad del software LVDAC-EMS. Esta práctica permitirá observar respuestas dinámicas del aerogenerador ante este tipo de fenómenos, midiendo potencia, energía y tiempos de estabilización del sistema.



Esquema de conexión a conectar en el módulo

- Fórmulas claves

Potencia eléctrica $\rightarrow P(dt) = V dt * I dt$

Energía Acumulada $\rightarrow \int P(dt) dt$

Tiempo de respuesta: tiempo del inicio de la ráfaga y la estabilización del sistema

23. OBJETIVOS

- Simular ráfagas de viento con incremento rápido de velocidad
- Registrar la potencia eléctrica y mecánica durante el evento
- Medir el tiempo de respuesta del sistema a la variación del viento
- Evaluar la energía generada durante y después de la ráfaga
- Analizar la capacidad del sistema para absorber transitorios del viento

--

24. MATERIALES E INSUMOS
Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo) software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo) Módulo de cargas resistivas Multímetro digital Cables tipo bananas Computadora Banda de acoplamiento Cronómetro

1. PROCEDIMIENTO		
Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Sacar los equipos correspondientes	Cuando de saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo y el Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)	Tener precaución a la hora de acoplar la banda, y verificar que la relación de la polea sea la correcta
4	Conectar una resistencia de 150 ohmios a la salida del rectificador	
5	Prender la Pc, conectar del módulo hacía el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
6	Verificar conexión del sistema Lab-Volt	Usar configuración según las deseadas
7	Iniciar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Seleccionar la función modo Emulador de

8	Configurar la velocidad del viento para 6m/s, durante 30 seg	Registrar velocidad angular, potencia eléctrica, potencia mecánica, voltaje, corriente
9	Registrar potencia eléctrica generada antes, durante y después de la ráfaga	Utilizar fórmulas indicadas
10	Repetir el experimento al menos dos veces para sacar el promedió	Registrar todos los datos en tablas
11	Graficar potencia eléctrica (w) vs tiempo (s), identificar la respuesta dinámica del sistema	Usar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

2. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores respecto a la variación del viento de 6, 10 m/s, en intervalos de tiempos establecidos

Índice de fila	Tiempo (Seg)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia eléctrica (W)
1	0-30	6	0,242	0,4	61,2	24,48
2	31-35	10	0,435	0,76	114,1	86,716
3	36-60	6	0,242	0,41	61,7	25,297
4	60-90	6	0,242	0,4	60,9	24,36
5	91-95	10	0,428	0,75	113,4	85,05
6	96-120	6	0,240	0,4	61,8	24,72
7	120-150	6	0,245	0,41	61,5	25,2
8	151-155	10	0,421	0,75	113,6	85,2
9	156-180	6	0,238	0,41	61,39	25,38

3. CONCLUSIONES

- El aerogenerador respondió eficientemente ante la ráfaga de viento, incrementó su potencia instantáneamente
- Se observó un tiempo de respuesta de 180 seg hasta llegar a la estabilización
- La energía generada durante la ráfaga representa un incremento significativo respecto al régimen estable
- El sistema mostró buena estabilidad pos-transitorio sin oscilaciones prolongadas
- Estos resultados permiten validar la robustez del sistema ante condiciones de viento no controlada

4. RECOMENDACIONES

- Usar cronómetro para la mayor precisión en la medición de datos
- Verificar que la potencia mecánica no exceda sus límites en los puntos de ráfagas de viento

5. BIBLIOGRAFÍA

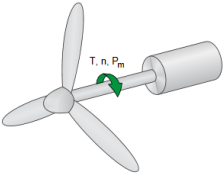
Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series*.

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

6. ANEXOS

🔍 Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
Archivo Ver Herramientas Ayuda

EMULADOR DE AEROGENERADOR



Gráficos de variación de la velocidad del viento:

- T vs n
- P_m vs n

Mostrar panel frontal

Ajustes del dinamómetro

Selección de función	
Función	Emulador de aerogenerador

Parámetros de la función

Control del viento	Deslizador
Velocidad del viento (m/s)	5.0
Densidad del aire (kg/m³)	1.225
Tipo de aerogenerador	1.15 m, 3 álabes
Relación de la polea	24:32 (acoplamiento por correa de distribución)
Tipo de termistor	Ninguno
Estado	Detenido

Función
Selecciona la función implementada utilizando el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.

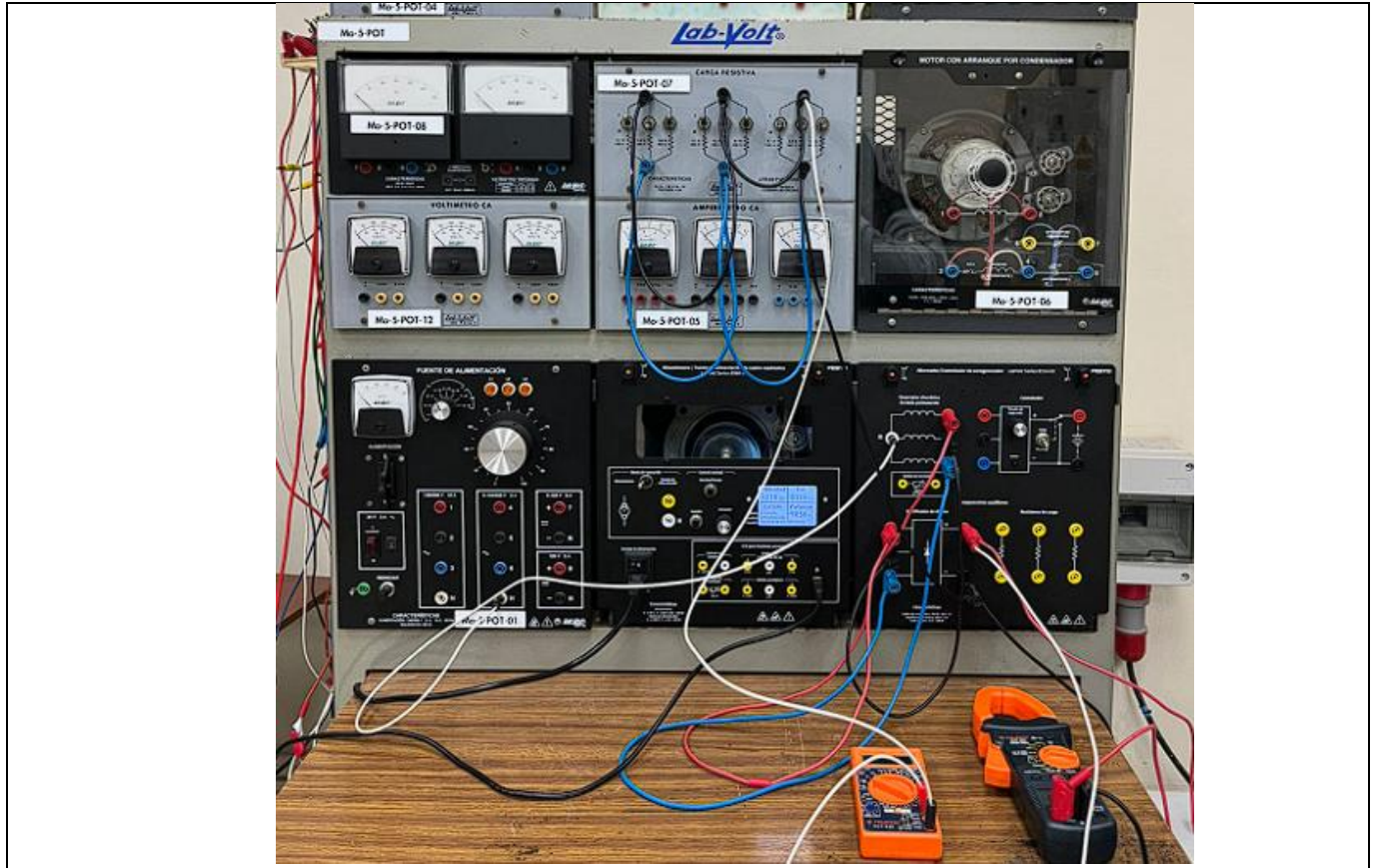
Velocidad del viento (m/s): 5.0

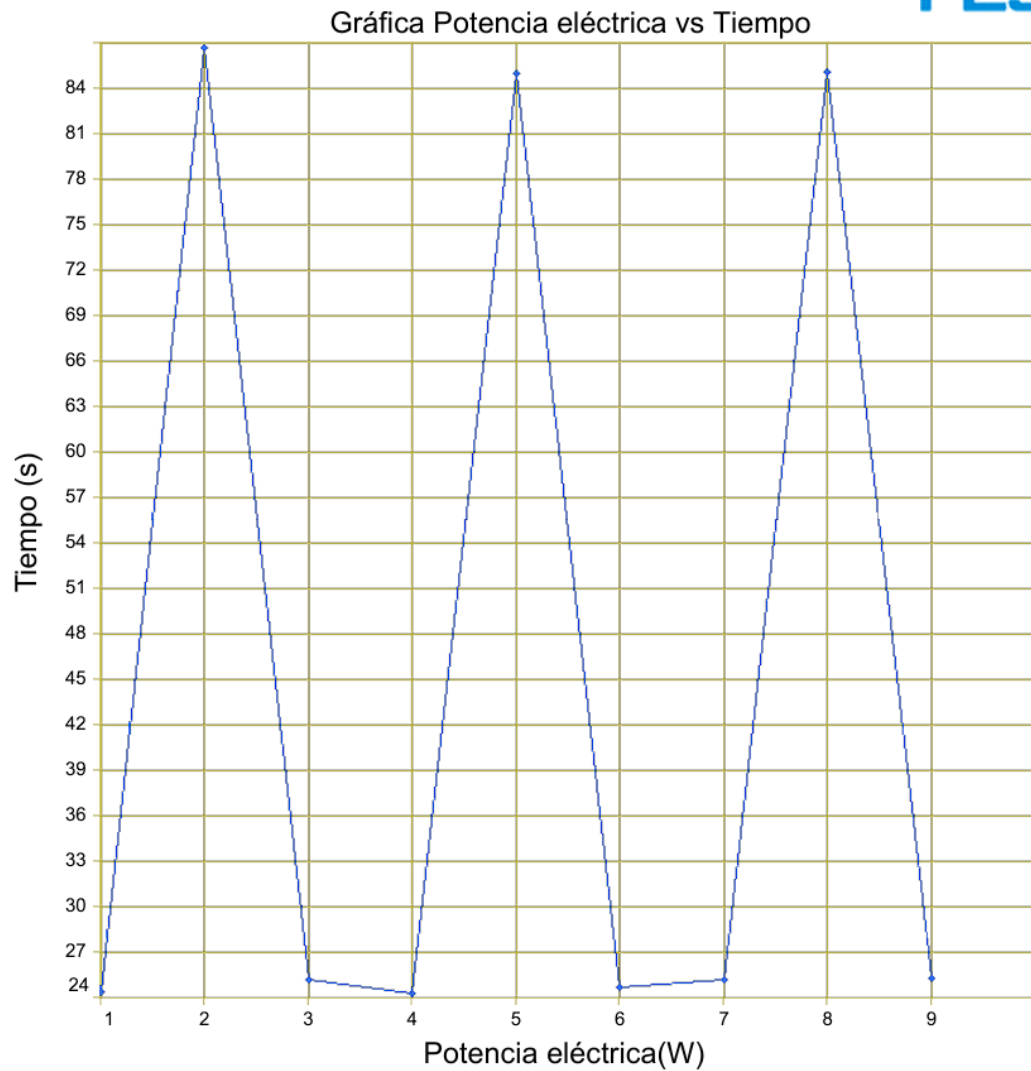
Marcha / Parada

Medidores

Parámetros de la máquina bajo prueba			
D1	Velocidad	D2	Par
0	-0.001	0.000	-12.52
reini	Nm	W	VWh

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.





- Teniendo nueve valores medidos en la potencia eléctrica, se obtendrá un promediado de:

$$Pe_{promedio} = \frac{24,48 + 86,716 + 25,297 + 24,36 + 85,05 + 24,72 + 25,2 + 85,2}{9} = 45,15 \text{ (w)}$$

Y como se observa en la tabla hay una potencia pico 86,716 (w)

- Para sacar la energía total se calculará con la potencia eléctrica registrada por el tiempo establecido

Energía en el rango de 6 m/seg a 30 seg: $24,48 \text{ (w)} * 30 \text{ seg} = 734,4 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 10 m/seg a 35 seg: $86,716 \text{ (w)} * 35 \text{ seg} = 3035,06 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 6 m/seg a 30 seg: $25,297 \text{ (w)} * 30 \text{ seg} = 758,91 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 6 m/seg a 30 seg: $24,36 \text{ (w)} * 30 \text{ seg} = 730,8 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 10 m/seg a 35 seg: $85,05 \text{ (w)} * 35 \text{ seg} = 2976,75 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 6 m/seg a 30 seg: $24,72 \text{ (w)} * 30 \text{ seg} = 741,6 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 6 m/seg a 30 seg: $25,2 \text{ (w)} * 30 \text{ seg} = 756 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 10 m/seg a 35 seg: $85,2 \text{ (w)} * 35 \text{ seg} = 2982 \text{ Wseg}$

Energía en el rango de 6 m/seg a 30 seg: $25,38 \text{ (w)} * 30 \text{ seg} = 761,4 \text{ Wseg}$

Fecha de Elaboración: 17/7/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 17/7/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

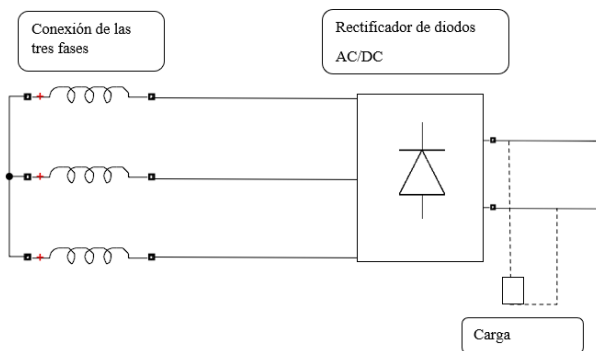
GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Evaluación del rendimiento energético con viento variable en forma sinusoidal	No. PRÁCTICA: TS.4.03- 04
--------------------------------------	--	--------------------------------------

25. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	18/07/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

26. FUNDAMENTACIÓN
El viento natural presenta patrones de variabilidad a lo largo del día, generalmente al comportamiento senoidal de una onda senoidal. Incrementa gradualmente durante la mañana, alcanza un máximo al medio día y disminuye en la noche. Evaluar el rendimiento del aerogenerador bajo perfil del viento sinusoidal permite aproximar el comportamiento energético en condiciones reales. Mediante el software LVDAC-EMS del sistema LabVolt 8260-3, se puede simular un perfil de viento variable en forma de onda sinusoidal en un intervalo de tiempo determinado. Esta práctica permitirá medir la energía total generada bajo este régimen y analizar la eficiencia del sistema frente a variaciones continuas en la entrada de energía mecánica.



Esquema de conexión a conectar en el módulo

- Ecuación del perfil simulado

$$V(dt) = a \text{ sen}(\omega t) + V_{med}$$

a = Amplitud del viento (m/s)

V_{med} = Velocidad media del viento (m/s)

ω = Frecuencia angular

t = tiempo (s)

27. OBJETIVOS

- Simular un perfil de viento con forma sinusoidal
- Registrar en tiempo real la potencia mecánica y eléctrica
- Calcular la energía total durante el experimento
- Evaluar el rendimiento promedio del aerogenerador
- Comparar el comportamiento frente a condiciones de viento constante

28. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)

software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Módulo de cargas resistivas

Multímetro digital

Cables tipo bananas

Computadora

Banda de acoplamiento

Cronómetro

29. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Sacar los equipos correspondientes	Cuando de saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo y el Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)	Tener precaución a la hora de acoplar la banda, y verificar que la relación de la polea sea la correcta
4	Conectar una resistencia de 150 ohmios a la salida del rectificador	
5	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
6	Verificar conexión del sistema Lab-Volt	Usar configuración según las deseadas
7	Iniciar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Seleccionar la función modo Emulador de aerogenerador

8	Configurar un perfil de viento senoidal $V_d t = 2.5 \sin 0.1(t) + 7$	La velocidad variará entre 7-9,4 m/s
9	Ejecutar la simulación durante 100 segundos	Registrar velocidad angular, potencia eléctrica, potencia mecánica, voltaje y corriente, cada 5 segundos
9	Calcular la potencia eléctrica para calcular la energía total generada	Utilizar fórmulas indicadas, puede usar plantilla de Excel u otro software
10	Calcular el rendimiento promedio del sistema	
12	Elaborar la gráfica de potencia eléctrica (w) vs energía acumulada (Ws) y potencia eléctrica (w) vs tiempo (seg)	Usar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

30. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores respecto a la variación del viento de 7, 7.1, 7.2, 7.3, 7.5, 7.8, 8, 8.3, 8.5, 8.7, 8.9, 9.1, 9.2, 9.4 m/s en intervalos de tiempo de 5 seg ascendente y descendente

Índice de la fila	Tiempo (seg)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Potencia eléctrica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Energía Acumulada (Ws)
1	0	7	45.2	35.904	74.8	0.48	0
2	5	7.1	46.3	37.338	76.2	0.49	186.69
3	10	7.2	47.35	38.6	77.2	0.50	193
4	15	7.3	48.8	39.831	78.1	0.51	199.155
5	20	7.5	51.9	43.195	81.5	0.53	215.975
6	25	7.8	55.7	47.712	85.2	0.56	238.56
7	30	8	60.7	50.866	87.7	0.58	254.33
8	35	8.3	64.8	54.9	91.5	0.60	274.5
9	40	8.5	69.1	58.714	94.7	0.62	293.57
10	45	8.7	74.1	61.824	96.16	0.64	309.12
11	50	8.9	76.5	65.43	99.14	0.66	327.15
12	55	9.1	80.5	66.44	99.17	0.67	332.2
13	60	9.2	82.3	70.65	103.9	0.68	353.25
14	65	9.4	86.3	74.41	106.3	0.70	372.05
15	70	9.2	80.6	72.03	104.4	0.69	360.15
16	75	9.1	77.5	69.63	102.4	0.68	348.15
17	80	8.9	74.4	65.87	99.8	0.66	329.35
18	85	8.7	71.9	62.21	97.2	0.64	311.05
19	90	8.5	67.01	61.696	96.4	0.64	308.48
20	95	8.3	64.05	56.42	92.5	0.61	282.1
21	70	8	59.6	51.388	88.6	0.58	256.94
22	75	7.8	53.7	47.824	85.4	0.56	239.12
23	80	7.5	50.8	43.142	81.4	0.53	215.71
24	85	7.3	47.5	35.464	68.2	0.52	177.32
25	90	7.2	45.7	34.221	67.1	0.51	171.105
26	95	7.1	43.9	33.25	66.5	0.5	166.25
27	100	7	42.7	31.997	65.3	0.49	159.985

31. CONCLUSIONES

- El sistema mostro comportamiento eficiente y estable bajo un régimen de variabilidad de viento
- El rendimiento promedio se dio en 82.42% lo que confirma su capacidad de adaptación
- Se logró simular una condición de operación realista, replicando variaciones naturales del viento
- La energía total generada fue de 6875.26 W segundos comparable con la obtenida en régimen constante
- La curva de potencia vs tiempo se evidenció respuestas suaves sin picos abruptos

32. RECOMENDACIONES

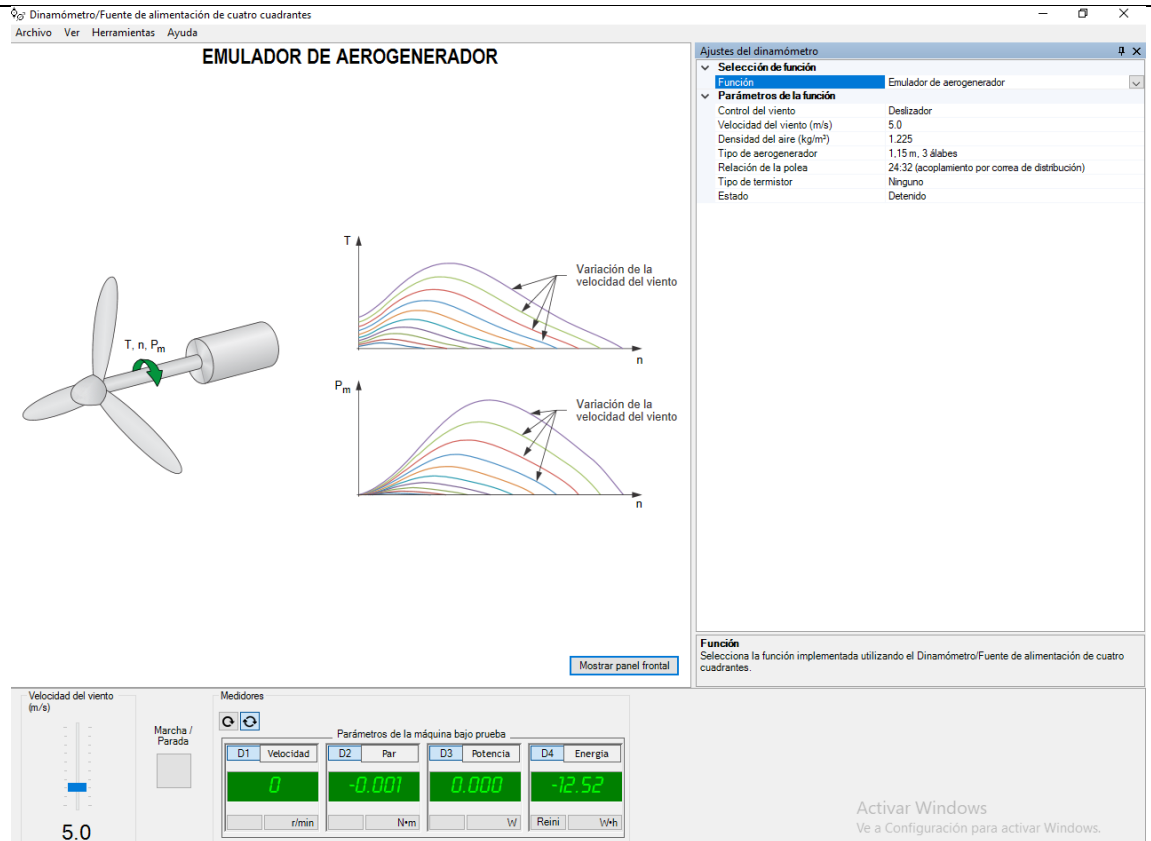
- Usar intervalos de muestreos pequeños menores o iguales a 5 segundos para capturar con mayor precisión el comportamiento del sistema
- Verificar la calibración del módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) y el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)
- Comparar los resultados con prácticas anteriores para determinar las operaciones óptimas de operación
- Considerar otros perfiles de variabilidad triangular, escalonado para futuras pruebas

33. BIBLIOGRAFÍA

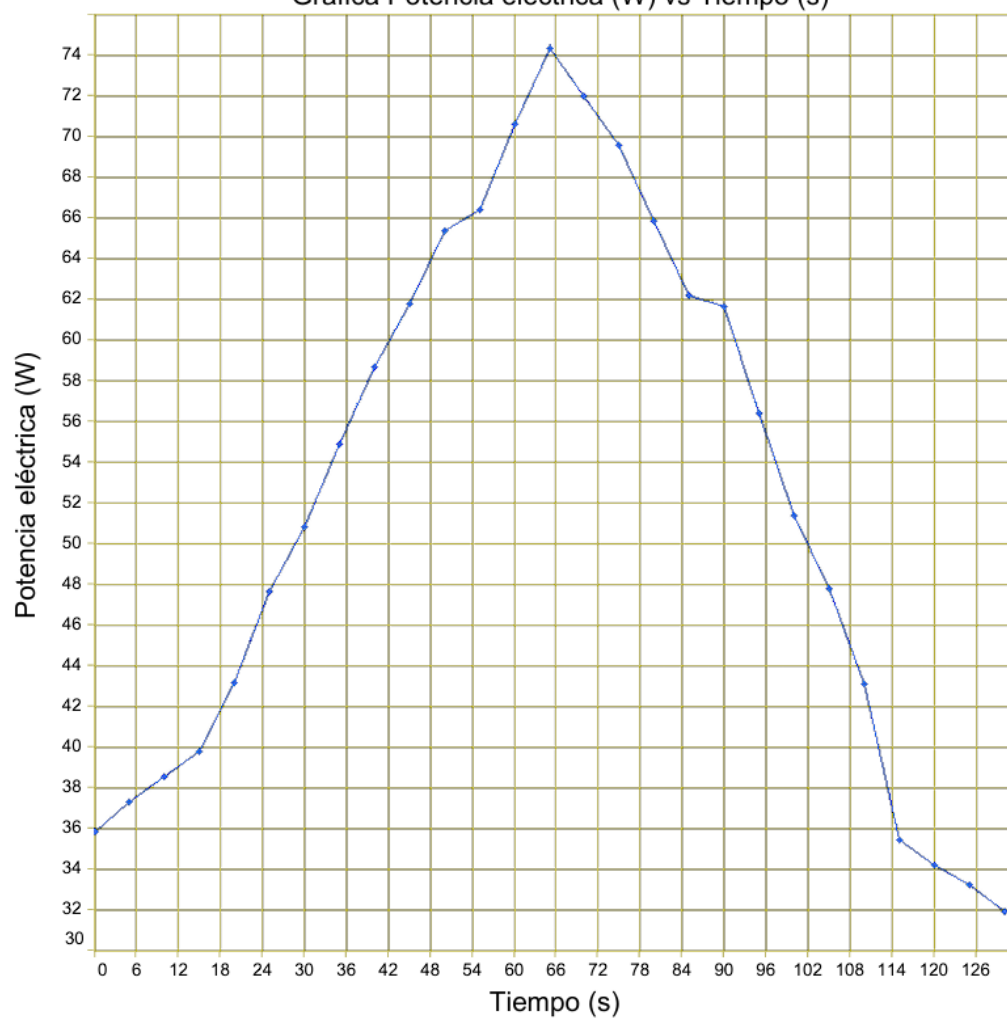
Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series.*

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

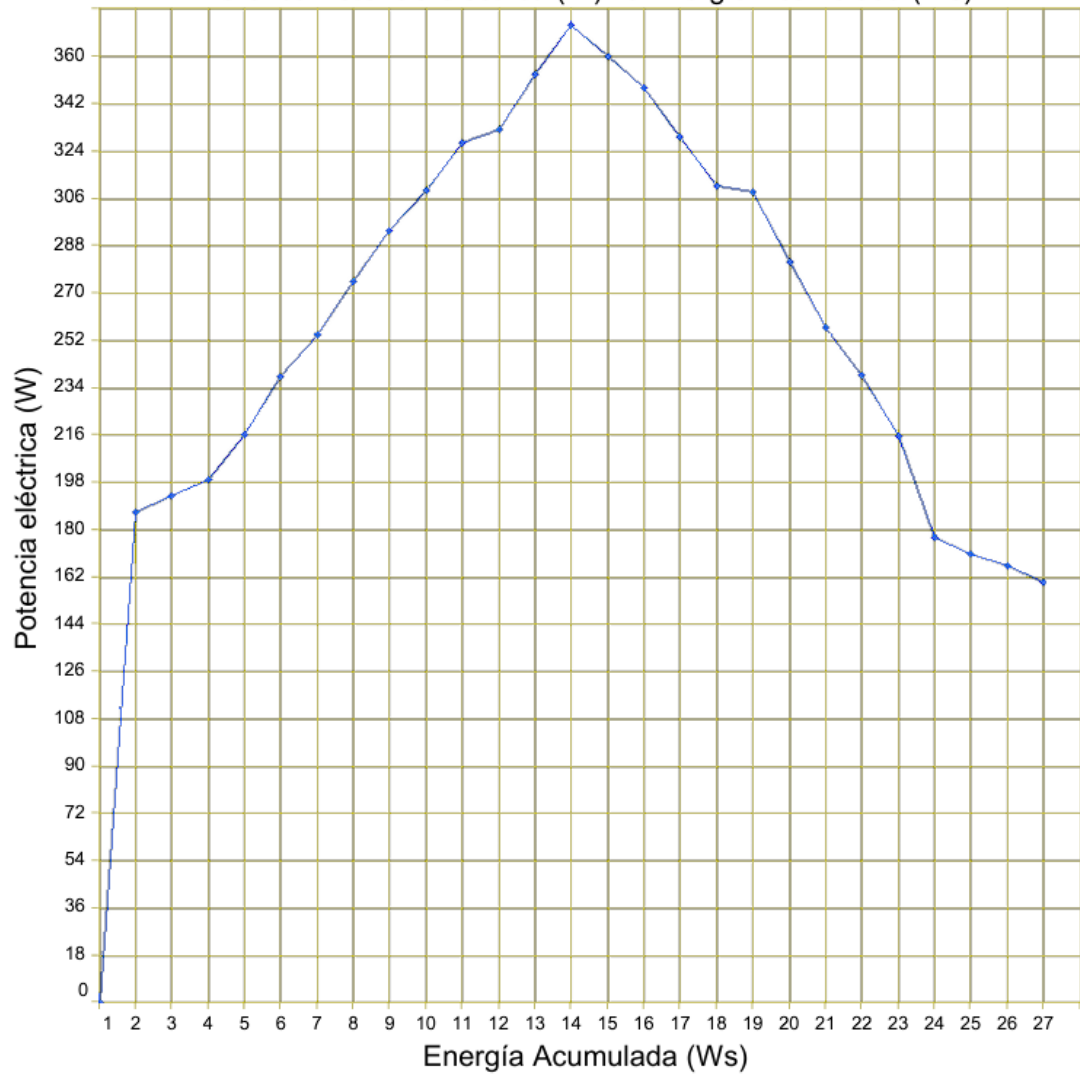
34. ANEXOS



Gráfica Potencia eléctrica (W) vs Tiempo (s)



Gráfica Potencia eléctrica (W) vs Energía Acumulada (Ws)



--

Fecha de Elaboración: 18/7/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 18/7/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

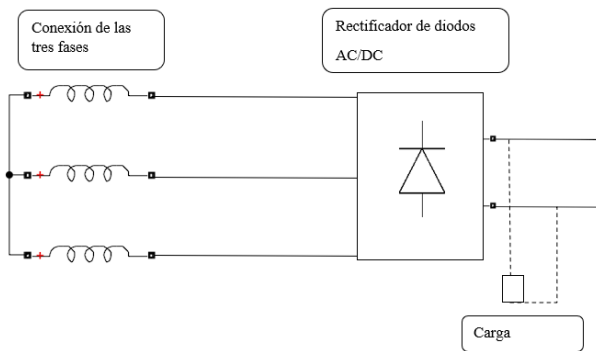
NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Evaluación del torque del generador ante distintas variaciones del viento	No. PRÁCTICA: TS.4.03- 05
--------------------------------------	--	--------------------------------------

35. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	18/07/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

36. FUNDAMENTACIÓN

El par (torque) del aerogenerador es una de las variables mecánicas más importantes, ya que está directamente relacionado con la conversión de energía cinética del viento en energía mecánica. Este torque varía con la velocidad del viento, el diseño del rotor y el comportamiento electromecánico del generador.

Mediante el software LVDAC-EMS del sistema LabVolt 8260-3 y el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo), se puede medir el torque aplicado en eje del generador para diferentes condiciones de viento simuladas. Esta práctica permitirá construir la curva torque vs velocidad del viento y comparar la potencia mecánica vs la potencia eléctrica obtenida (Festo Didactic, 2024).



Esquema de conexión a conectar en el módulo

- Relaciones relevantes

$$\tau = \frac{P_m}{\omega}$$

$$P_m = \tau * \omega$$

$$P_e = V * I$$

37. OBJETIVOS

- Simular distintos escenarios de velocidad de viento entre 5 y 12 (m/s)
- Medir el torque generado por el sistema en cada punto
- Calcular la potencia mecánica entregada al generador

- Comparar la potencia mecánica con la potencia eléctrica generada
- Elaborar la curva torque (N*M) vs Velocidad del viento (m/s)

38. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)

software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Módulo de cargas resistivas

Multímetro digital

Cables tipo bananas

Computadora

Banda de acoplamiento

39. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Sacar los equipos correspondientes	Cuando de saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo y el Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)	Tener precaución a la hora de acoplar la banda, y verificar que la relación de la polea sea la correcta
4	Conectar una resistencia de 150 ohmios a la salida del rectificador	
5	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
6	Verificar conexión del sistema Lab-Volt	Usar configuración según las deseadas
7	Iniciar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Seleccionar la función modo Emulador de aerogenerador

8	Configurar un perfil de viento de 5 m/s	Registrar torque, velocidad angular, potencia eléctrica, potencia mecánica, voltaje y corriente
10	Repetir el paso 8 para velocidades de 6,8,10 m/s	Registrar mínimo tres lecturas para promediar
11	Calcular la potencia mecánica y eléctrica para calcular la energía total generada	Utilizar fórmulas indicadas
12	Elaborar la gráfica de torque (N*m) vs velocidad del viento (m/s)	Usar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo) y observar el comportamiento no lineal del sistema
13	Comparar la potencia mecánica vs potencia eléctrica para calcular la eficiencia	Documentar todos los datos en tabla

40. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores respecto a la variación del viento de 5,6,8,10,12 m/s

Índice de la fila	Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Potencia eléctrica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Eficiencia (%)
1	714	0.268	5	20.04	14.849	47.9	0.31	74.096
2	919	0.323	6	31.03	23.79	61	0.39	76.667
3	1300	0.441	8	60.09	51.04	88	0.58	84.94
4	1699	0.559	10	99.41	87.172	114.7	0.76	87.68
5	2093	0.709	12	155.3	131.13	41	0.93	84.43

41. CONCLUSIONES

- El torque del aerogenerador incrementa progresivamente con la velocidad del viento
- La relación no es lineal, lo que confirma el comportamiento aerodinámico del sistema
- La potencia mecánica generada se incrementa con el tiempo, pero el rendimiento tiende a disminuir en un punto de 12 m/s después de pasar su punto de máxima eficiencia de 10 m/s
- Se verificó que existen pérdidas mecánicas y eléctricas que afectan la eficiencia total del sistema
- Esta curva torque vs velocidad es fundamental para el diseño de controladores en sistemas eólicos

42. RECOMENDACIONES

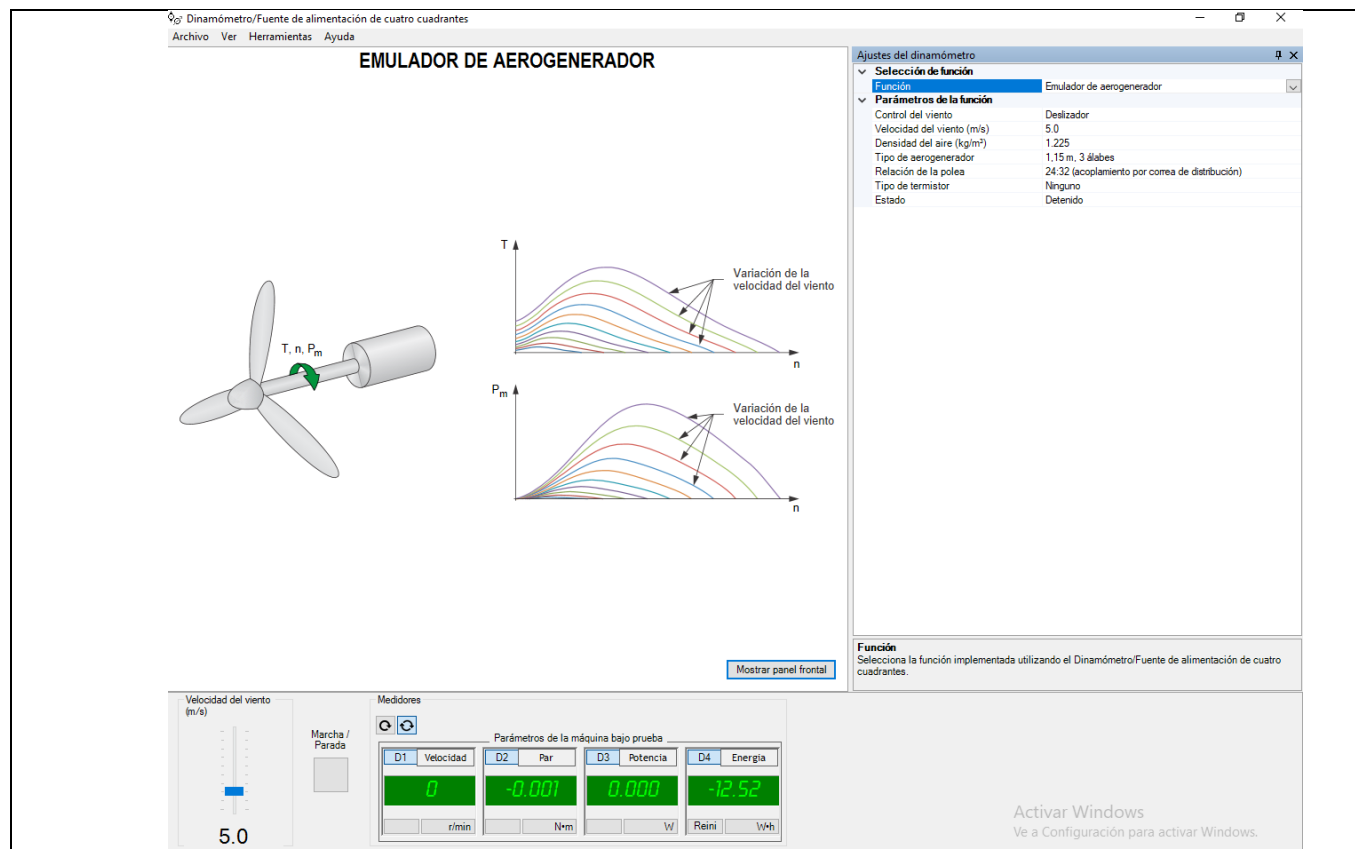
- Realizar cada valor medición con valores promediados de torque y velocidad para reducir errores
- Comparar de observación con el fabricante del generador
- Mantener condiciones constantes de carga para evaluar el comportamiento de la influencia del viento
- Considerar agregar sensores para futuras prácticas

43. BIBLIOGRAFÍA

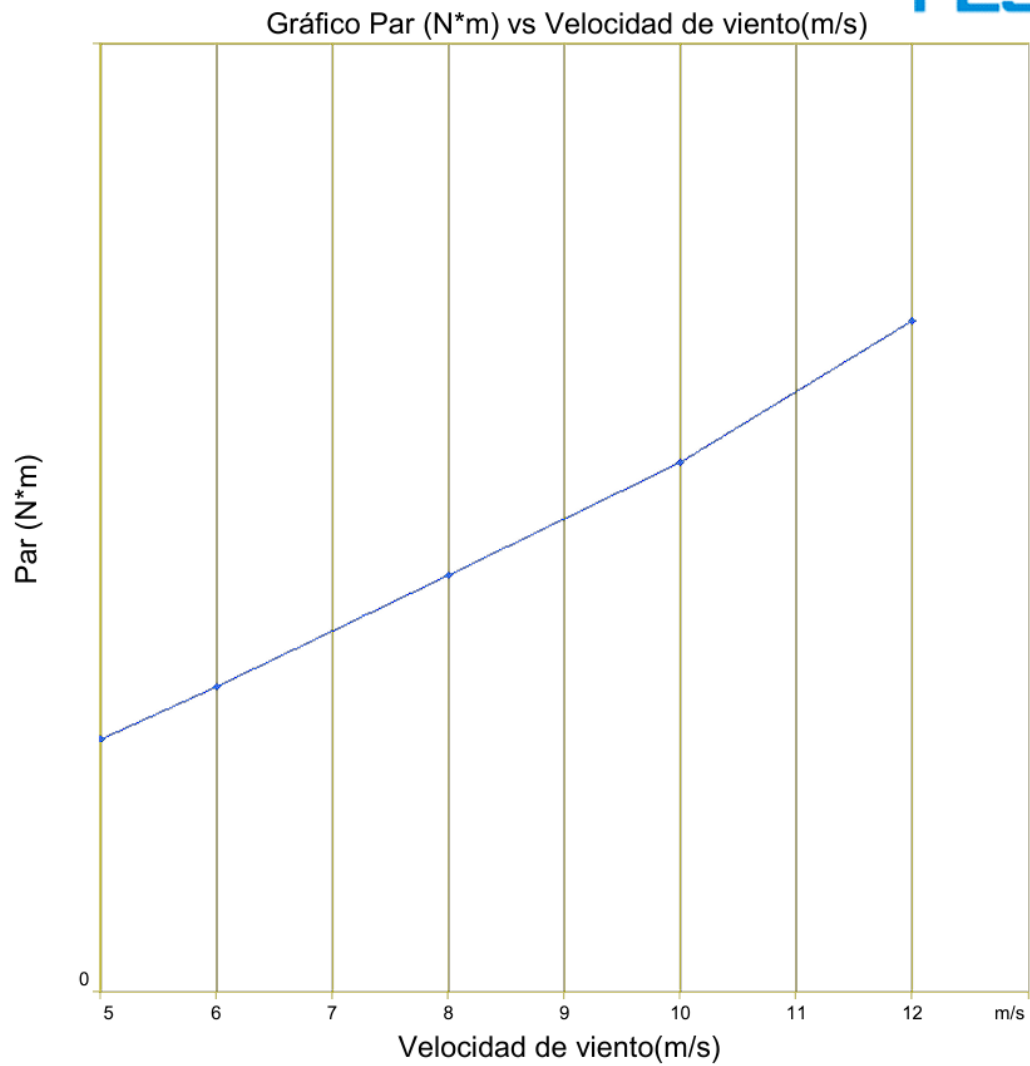
Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series*.

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

44. ANEXOS







- Para sacar el rendimiento energético se realizará con la siguiente fórmula

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencia mecánica}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{14,849}{20,04} \times 100\% = 74,096\%$$

$$\eta = \frac{23,79}{31,03} \times 100\% = 76,667\%$$

$$\eta = \frac{51,04}{60,09} \times 100\% = 84,94\%$$

$$\eta = \frac{87,172}{99,41} \times 100\% = 87,68\%$$

$$\eta = \frac{131,13}{155,3} \times 100\% = 84,43\%$$

Fecha de Elaboración: 18/7/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 18/7/2025

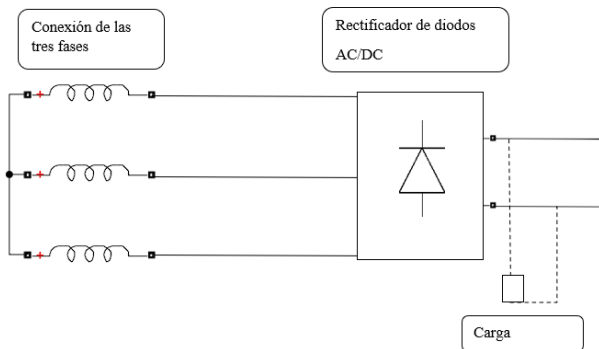
GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Comparativa energética entre el régimen continuo y variable.	No. PRÁCTICA: TS.4.03- 06
--------------------------------------	---	--------------------------------------

45. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	25/07/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

46. FUNDAMENTACIÓN
El rendimiento de un sistema de generación eólica depende no solo del diseño del generador, sino también del tipo de viento al que se expone. Mientras que el viento constante permite condiciones de operaciones estables, el viento variable representa la realidad en la mayoría de los escenarios naturales (Festo Didactic, 2024). En esta práctica se compararán escenarios de dos regímenes: 1. Viento constante de 8 (m/s) 2. Viento variable de 6 a 10 (m/s) en forma sinusoidal Durante un mismo período de tiempo. Se analizará la energía acumulada como la potencia promedio, voltaje, la eficiencia del sistema bajo ambos escenarios. Esto permitirá establecerse el sistema puede adaptarse con eficiencia a condiciones reales de operación.



Esquema de conexión a conectar en el módulo

47. OBJETIVOS

- Simular condiciones de viento constante y variable con dos escenarios equivalentes
- Registrar la energía acumulada, potencia promedio y voltaje de carga en ambos regímenes
- Comparar los resultados energéticos y de eficiencia
- Analizar el comportamiento del sistema en escenarios de operación estable e inestable
- Proponer recomendaciones para maximizar el rendimiento energético en condiciones reales

48. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)

software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Módulo de cargas resistivas

Multímetro digital

Cables tipo bananas

Computadora

Banda de acoplamiento

Cronómetro

1. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Sacar los equipos correspondientes	Cuando se sacan los equipos se debe tener cuidado
2	Se acoplan módulos en la estantería	

3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo y el Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)	Tener precaución a la hora de acoplar la banda, y verificar que la relación de la polea sea la correcta
4	Configurar u conectar una resistencia de 150 ohmios a la salida del rectificador	
5	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
6	Verificar conexión del sistema Lab-Volt	Usar configuración según las deseadas
7	Iniciar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Seleccionar la función modo Emulador de aerogenerador
8	Configurar un perfil de viento de 8 (m/s) constante y simular durante 3 minutos	Registrar tensión, potencia y corriente
9	Detener la prueba y reiniciar en condición variable	
	Configurar un perfil de viento variable de 6 a 10 (m/s) y simular durante 1 minutos	Registrar tensión, potencia y corriente
10	Calcular la potencia eléctrica para calcular la energía total generada	Utilizar fórmulas indicadas, puede usar plantilla de Excel u otro software
11	Calcular el rendimiento promedio del sistema	

12	Elaborar la gráfica de potencia eléctrica (w) vs tiempo (seg)	Usar el software LVDAC- EMS (Lab-Volt Festo)
13	Realizar comparativa de los dos escenarios	

2. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores de viento constante de 8 (m/s)

Índice de fila	Tiempo (min)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia eléctrica (W)
1	3	8	60,76	0,57	87	49,59
2	6	8	59,03	0,57	87,2	49,704
3	9	8	58,32	0,57	87,5	49,875
4	12	8	58,778	0,57	86,8	49,476
5	15	8	61,44	0,57	87,9	50,103

- Tabla de valores de viento variable de 6 a 10 (m/s)

Índice de fila	Tiempo (min)	Velocidad del viento (m/s)	Potencia mecánica (W)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia eléctrica (W)
1	1	6	31,06	0,40	61,8	24,72
2	2	7	44,77	0,48	74,2	35,616
3	3	8	50,66	0,58	87,9	50,282
4	4	9	78,33	0,66	100,3	66,138
5	5	10	98,13	0,75	114,5	85,875

3. CONCLUSIONES

- El sistema mostró un rendimiento ligeramente superior bajo el régimen constante, aunque el desempeño del régimen variable también fue eficiente
- La energía generada del régimen variable representó una eficiencia promedio de aproximadamente 86,69% en cuanto de la energía generada del régimen constante, con una eficiencia promedio de aproximadamente 83,67%.
- Las oscilaciones en la potencia fueron mayores con viento variable, pero el sistema respondió con estabilidad

- El control del módulo demostró adaptabilidad ante los cambios de velocidad
- Este tipo de análisis es fundamental para validar el comportamiento de aerogeneradores en condiciones reales.

4. RECOMENDACIONES

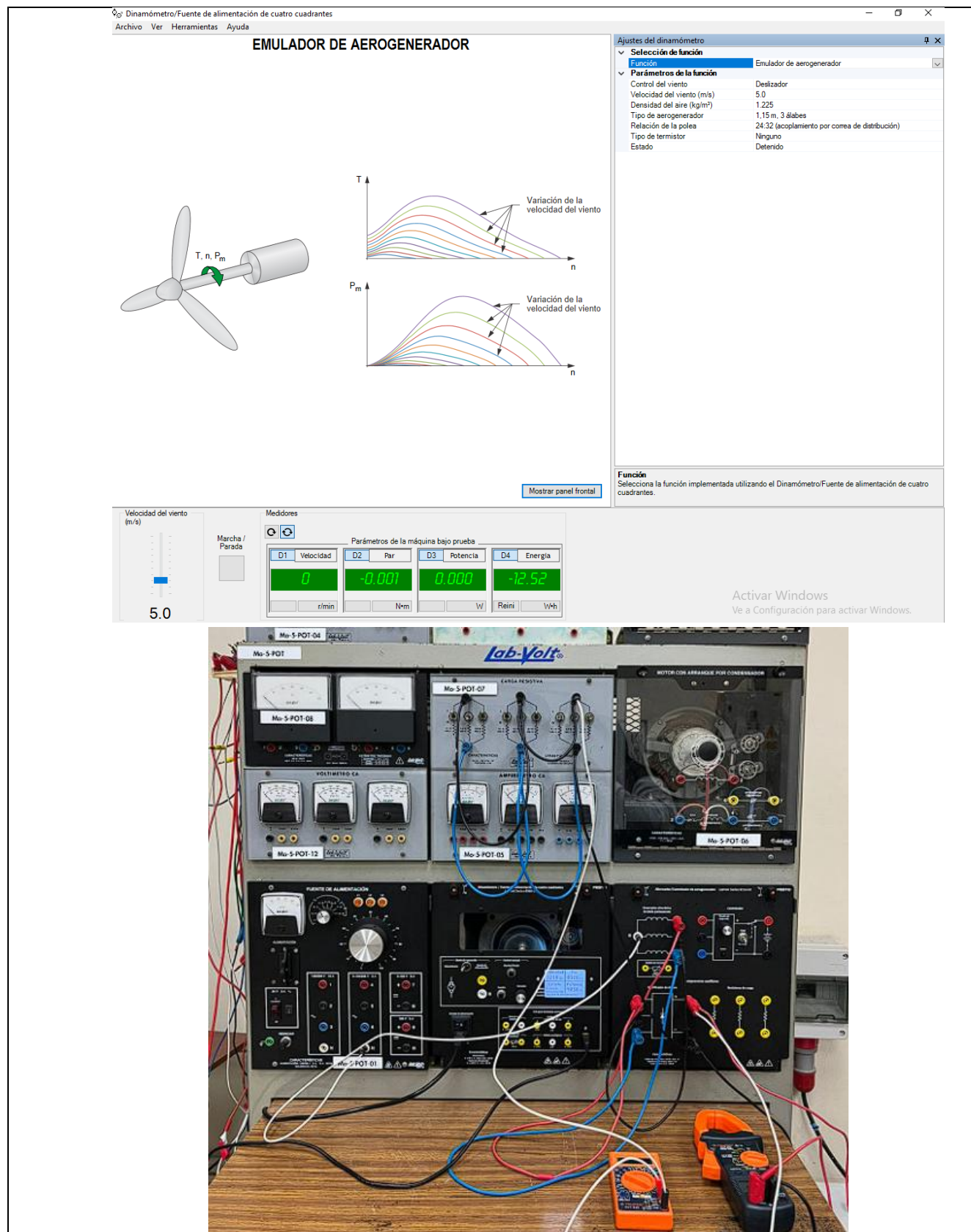
- Considerar una duración mayor de simulación para observar tendencias sostenidas y utilizar banco de baterías
- Incluir condiciones ambientales reales de temperatura o humedad, si es posible, para validar la simulación
- Repetir pruebas en diferentes ramos de tiempo para ampliar la base de comparación
- Usar filtros de método analíticos, usar simplemente equipos de medición

5. BIBLIOGRAFÍA

Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series.*

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

6. ANEXOS



- **Para sacar la potencia eléctrica**

Potencia eléctrica= $V \cdot I$ (w) en datos evaluados de viento de 8 m/s

Para 8 (m/s) tensión de 87 y corriente de 0,57

$$Pe = 87 \times 0,57 = 49,59 \text{ W}$$

Para 8 (m/s) tensión de 87,2 y corriente de 0,57

$$Pe = 87,2 \times 0,57 = 49,704 \text{ W}$$

Para 8 (m/s) tensión de 87,5 y corriente de 0,57

$$Pe = 87,5 \times 0,57 = 49,875 \text{ W}$$

Para 8 (m/s) tensión de 86,8 y corriente de 0,57

$$Pe = 86,8 \times 0,57 = 49,476 \text{ W}$$

Para 8 (m/s) tensión de 87,9 y corriente de 0,57

$$Pe = 87,9 \times 0,57 = 50,103 \text{ W}$$

$$\text{Potencia eléctrica promedio} = \frac{49,59 + 49,704 + 49,875 + 49,476 + 50,103}{5} = 49,949 \text{ w}$$

Potencia eléctrica= $V \cdot I$ (w) en datos evaluados de viento de 6 m/s y 10 m/s

Para 6 (m/s) tensión de 61,8 y corriente de 0,40

$$Pe = 61,8 \times 0,40 = 24,72 \text{ W}$$

Para 7 (m/s) tensión de 74,2 y corriente de 0,48

$$Pe = 74,2 \times 0,48 = 35,616 \text{ W}$$

Para 8 (m/s) tensión de 87,9 y corriente de 0,58

$$Pe = 87,9 \times 0,58 = 50,982 \text{ W}$$

Para 9 (m/s) tensión de 100,3 y corriente de 0,66

$$Pe = 100,3 \times 0,66 = 66,198 \text{ W}$$

Para 10 (m/s) tensión de 114,5 y corriente de 0,75

$$Pe=114,5 \times 0,75= 85,75 \text{ W}$$

$$\text{Potencia eléctrica promedio}=\frac{24,72+35,616+50,282+66,138+85,75}{5} = 52,501 \text{ w}$$

La diferencia porcentual de las 2 potencias eléctricas promediadas, es:

$$\text{Diferencia porcentual}=\frac{52,501-49,949 \text{ w}}{49,949 \text{ w}} \times 100\% = 5,109 \%$$

Por lo tanto, la variación de entre las 2 potencias, en el escenario de velocidad constante, el sistema ante un incremento de velocidad variable, es factible, ya que la potencia aumenta, en comparación del escenario de velocidad constante.

La eficiencia promediada viene dada por:

$$\eta = \frac{\text{Prom } Pe}{\text{Prom } Pm} \times 100\%$$

- Escenario de velocidad constante de 8 m/s.

$$\eta = \frac{49,949}{59,726} \times 100\% = 83,67\%$$

- Escenario de velocidad variable de 6 m/s y 10 m/s.

$$\eta = \frac{52,526}{60,59} \times 100\% = 86,69\%$$

La diferencia porcentual es de 3,60%, como se observa, la diferencia de los dos escenarios no tiene una brecha grande, sin embargo, en el escenario de velocidad variable es mas eficiente.

Fecha de Elaboración: 25/7/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 25/7/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Característica de la tensión en función de la velocidad en el alternador de un aerogenerador	No. PRÁCTICA: TS4.03- 07
--------------------------------------	---	-------------------------------------

49. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	16/05/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

50. FUNDAMENTACIÓN

A mayor velocidad de rotación de un aerogenerador, mayor es la variación del campo magnético, de tal forma que cuando mayor sea la velocidad de rotación, mayor será la tensión inducida y la frecuencia. En la práctica se utiliza el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) para simular condiciones estables de viento, estableciendo un límite de rango de 1500 rev/min.(Festo Didactic, 2024)

51. OBJETIVOS

Establecer la relación entre velocidad -tensión y velocidad-frecuencia en función de la variabilidad del viento.

52. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)
 Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)
 software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)
 Multímetro digital
 Cables tipo bananas
 Computadora
 Banda de acoplamiento

53. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Se saca los equipos correspondientes	Cuando de saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador 8216-02 y Módulo Electrodinamómetro de 4 cuadrantes 8960	Tener precaución a la hora de acoplar la banda
4	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
5	Abrir el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Ver la relación de la polea
6	Se escoge el tipo de función, para este caso Emulador aerogenerador	Escoger los parámetros de función, según se requiera

7	Se aumenta la variación del viento, hasta llegar a los 1500 r/min y se van midiendo los valores de frecuencia y tensión.	Antes de ir variando la velocidad, se debe generar una tabla dentro del programa para guardar los datos
8	Los datos medidos se los coloca manualmente en la tabla generada dentro del programa	
9	Por último, se genera gráficas con los datos obtenidos en función velocidad -tensión y velocidad-frecuencia	Se puede evidenciar cómo aumenta la tensión y frecuencia cuando hay mayor velocidad

54. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores respecto a la variación del viento hasta llegar a 1500(r/min)

Índice de la fila	Velocidad (r/min)	Tensión del alternador E_g (V)	Frecuencia del alternador f_g (Hz)
1	535.0	16.06	52.2
2	548.0	17.04	54.36
3	567.0	18.01	56.7
4	593.0	18.09	59.0
5	608.0	19.03	60.69
6	638.0	20.02	64.44
7	650.0	21.0	66.30
8	681.0	21.08	68.24
9	716.0	23.02	72.77
10	733.0	23.2	73.04
11	755.0	24.0	75.37
12	859.0	27.2	85.39
13	963.0	30.9	96.29
14	1069.0	33.9	106.8
15	1172.0	37.1	117.2
16	1259.0	40.2	125.4
17	1380.0	44.0	137.3
18	1423.0	45.1	141.2
19	1440.0	46.1	143.6
20	1486.0	47.0	148.1
21	1500.0	48.0	150.0

55. CONCLUSIONES

Se pudo observar mediante los datos medidos y los graficos que cuando se variaba la velocidad se aumentaba la tensión y la frecuencia, ya estas son proporcionales a la velocidad. Y un punto importante es que hay que tener en cuenta el ruido del generador ya que existe una mínima posibilidad de que se embale.

56. RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta el ruido del generador y que no sobrepase valores establecidos
- Realizar diversos escenarios para futuras prácticas

57. BIBLIOGRAFÍA

Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series*.

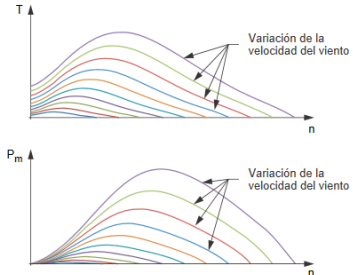
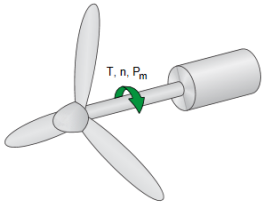
Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

58. ANEXOS

Óg Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes

Archivo Ver Herramientas Ayuda

EMULADOR DE AEROGENERADOR



Mostrar panel frontal

Ajustes del dinamómetro

✓ Selección de función
Función Emulador de aerogenerador

✓ Parámetros de la función

Control del viento	Deslizador
Velocidad del viento (m/s)	5.0
Densidad del aire (kg/m³)	1.225
Tipo de aerogenerador	1.15 m, 3 álabes
Relación de la polea	24:32 (acoplamiento por correa de distribución)
Tipo de termistor	Ninguno
Estado	Detenido

Función
Selecciona la función implementada utilizando el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.

Velocidad del viento (m/s)

5.0

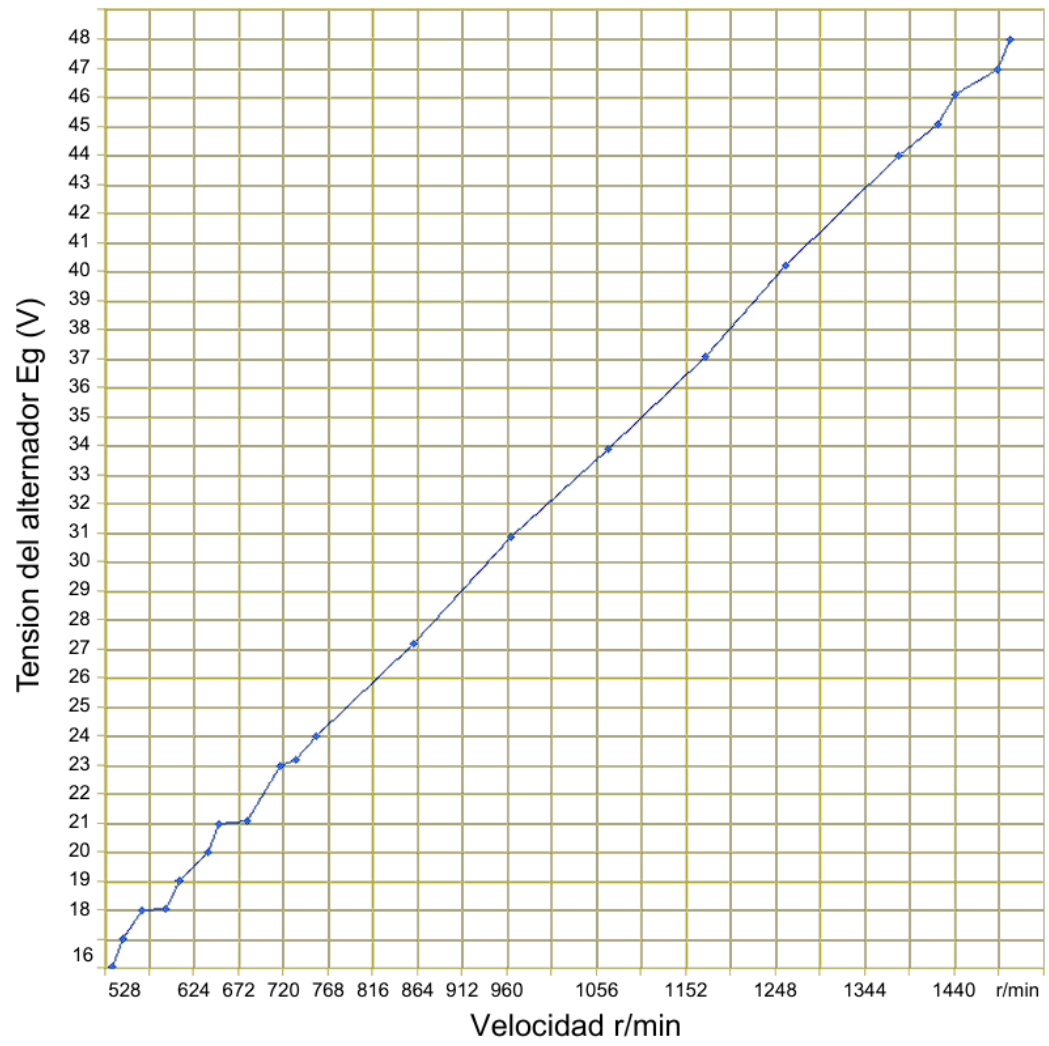
Marcha / Parada

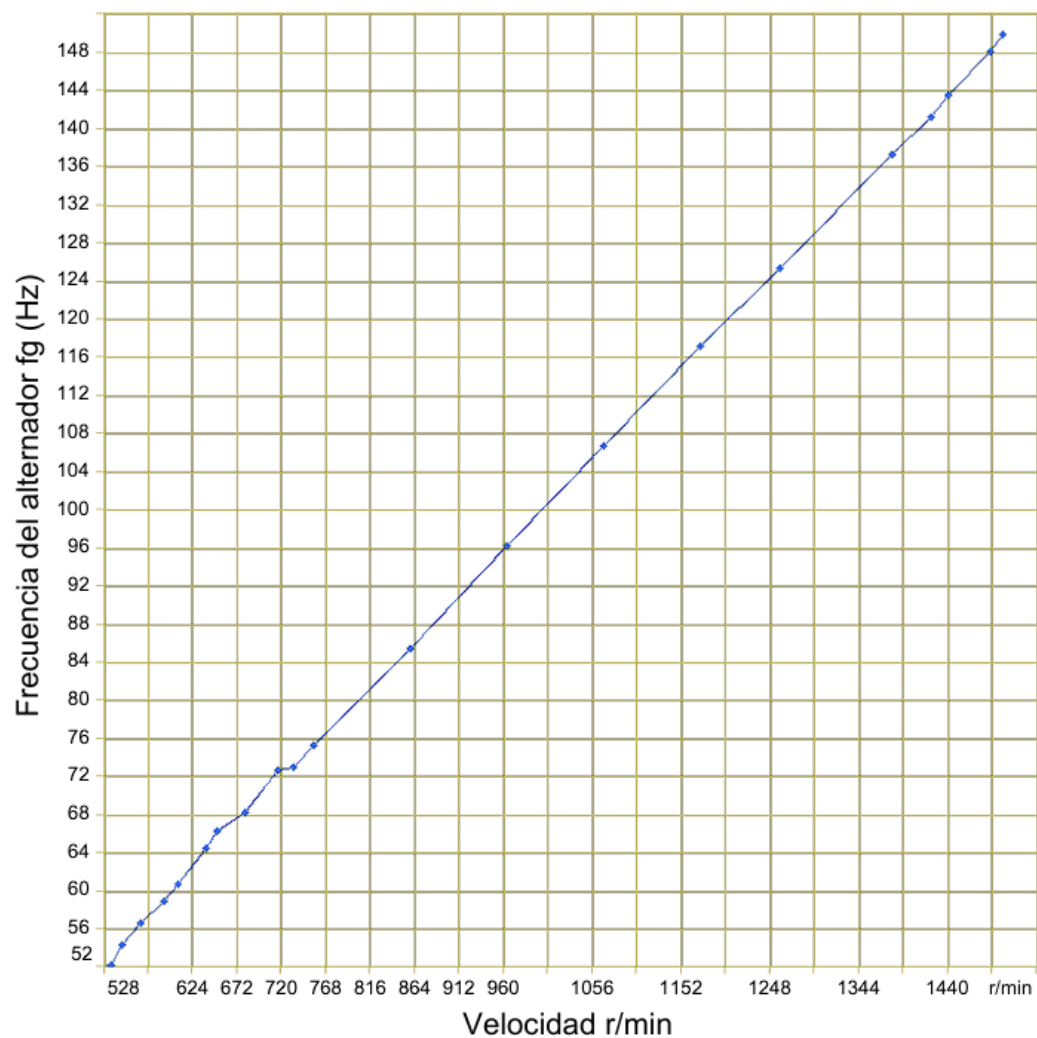
Medidores

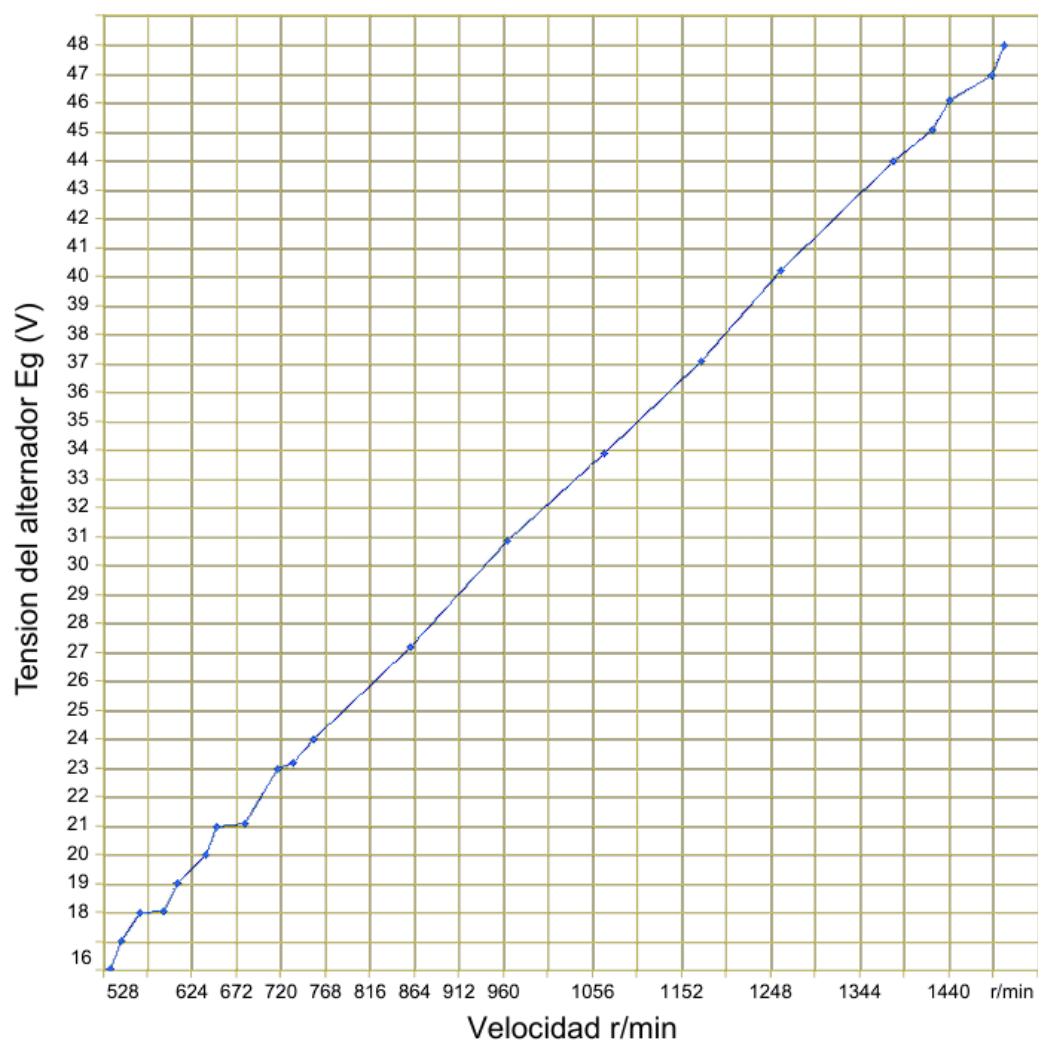
Parámetros de la máquina bajo prueba

D1	Velocidad	D2	Par	D3	Potencia	D4	Energía
0		-0.001		0.000		-12.52	
	r/min		N·m		W		Reini kWh

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.







Fecha de Elaboración: 16/05/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya,
MSc

FECHA: 16/05/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

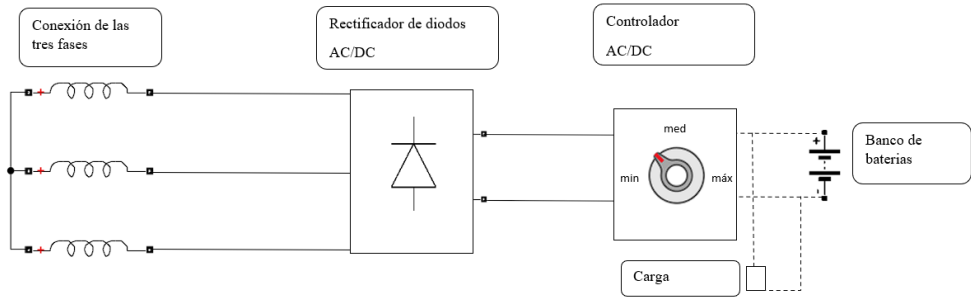
INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Influencia del viento en intervalos de parámetros temporales	No. PRÁCTICA: TS4.03- 08
--------------------------------------	---	-------------------------------------

59. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	16/05/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

60. FUNDAMENTACIÓN

La rapidez y la orientación del viento son elementos cruciales que afectan el desempeño de los aerogeneradores. La rapidez del viento establece la cantidad de energía que puede producirse, mientras que la dirección del viento influye en la dirección de las palas para recoger la energía más elevada. Adicionalmente, las fluctuaciones en la rapidez del viento, como las ráfagas, pueden influir de manera positiva o negativa en la generación de energía y la solidez estructural de los aerogeneradores.(Festo Didactic, 2024) El esquema a conexasion se la observa en el esquema de conexión.



El diagrama muestra un sistema de conexión para un aerogenerador. A la izquierda, un 'Conexión de las tres fases' (tres bobinas) se conecta a un 'Rectificador de diodos AC/DC' (simbolizado con un triángulo y una línea vertical). La salida del rectificador va a un 'Controlador AC/DC' (simbolizado con un círculo y una línea vertical). Desde el controlador, la conexión se divide: una rama va a un 'Banco de baterías' (simbolizado con una pila) y otra rama va a una 'Carga' (simbolizada con un rectángulo). El controlador también tiene un medidor (simbolizado con un círculo y una línea vertical) que muestra 'min', 'med' y 'máx'.

Esquema de conexión a conectar

En esta práctica se utiliza el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo) para simular condiciones estables de viento. Se establecerán varios puntos de operación con velocidades de viento constante que varían entre 6-12 m/s.

61. OBJETIVOS

Analizar cómo la variabilidad del viento afecta el rendimiento del aerogenerador en diferentes lapsos de tiempo.

62. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216-02 de Festo)

software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Módulo de cargas resistivas

Multímetro digital

Cables tipo bananas

Computadora

Banda de acoplamiento

63. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Se saca los equipos correspondientes	Cuando de saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo Alternador/Controlador de aerogenerador 8216-02 y Módulo Electrodinamómetro de 4 cuadrantes 8960	Tener precaución a la hora de acoplar la banda

4	Conectar las tres fases del generador síncrono de imanes permanentes al rectificador de diodos	
5	Luego del rectificador de diodos al controlador	
	Del controlador de la carga, conectar una resistencia de 100 ohmios	
6	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
7	Abrir el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Ver la relación de la polea
8	Se escoge el tipo de función, para este caso Emulador aerogenerador	Escoger los parámetros de función, según se requiera
9	Se aumenta la variación del viento, se van midiendo los valores de frecuencia y tensión.	Antes de ir variando la velocidad, se debe generar una tabla dentro del programa para guardar los datos
10	Los datos medidos se los coloca manualmente en la tabla generada dentro del programa	
11	Por último, se genera gráficas con los datos obtenidos en función velocidad -tensión	Se puede evidenciar como aumenta la tensión cuando aumenta la velocidad

64. CUADRO DE RESULTADOS

- Tabla de valores velocidad del viento
6,6.5,6.8,7.2,7.8,8.3,8.8,9.3,9.8,10,10.5,11,11.5,11.8 y 12 (m/s)

Índice de la fila	Velocidad (r/min)	Velocidad del viento (m/s)	Tensión (V)
1	1135.0	6.0	79.5
2	1229.0	6.5	77.2
3	1301.0	6.8	92.5
4	1390.0	7.2	99.0
5	1516.0	7.8	107.5
6	1610.0	8.3	115.0
7	1711.0	8.8	122.5
8	1813.0	9.3	129.5
9	1914.0	9.8	137.0
10	1966.0	10.0	140.0
11	2054.0	10.5	147.0
12	2146.0	11.0	155.0
13	2248.0	11.5	160.0
14	2250.0	11.8	160.6
15	2251.0	12.0	160.6

65. CONCLUSIONES

- Relación entre velocidad y tensión
- La velocidad es proporcional al aumento de la velocidad del viento
- En la gráfica generada velocidad vs tensión se observa un incremento lineal

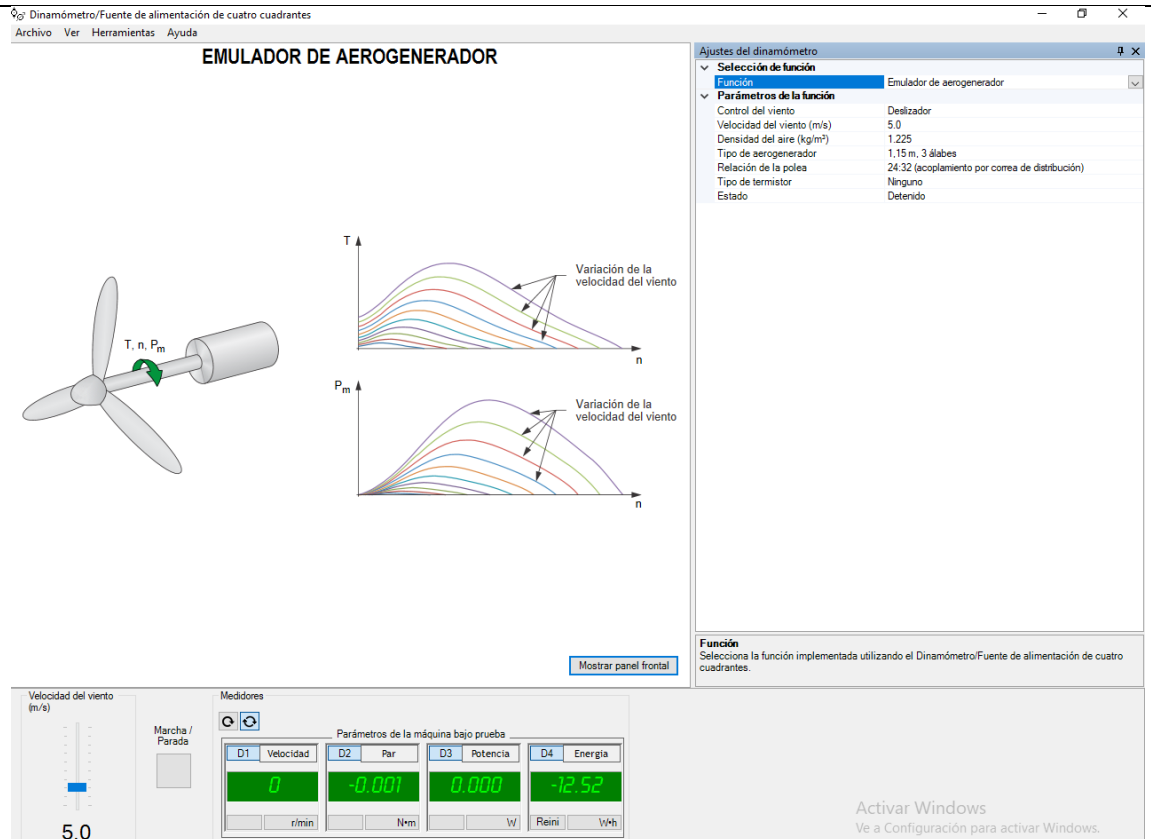
66. RECOMENDACIONES

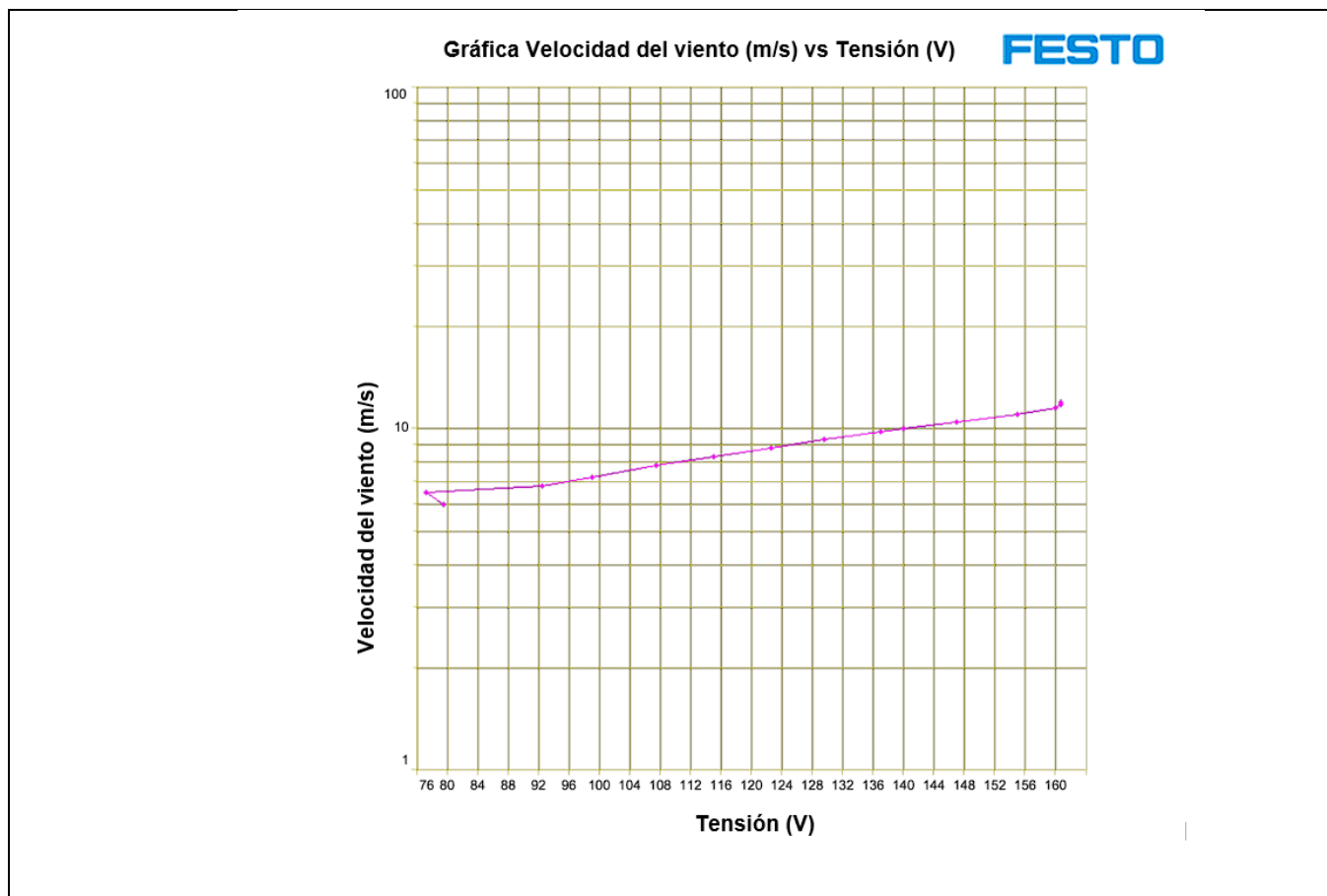
- Tender en cuenta el ruido del generador y que no sobrepase valores establecido
- Realizar diversos escenarios para futuras prácticas

67. BIBLIOGRAFÍA

Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series*.
Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

68. ANEXOS





Fecha de Elaboración: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

Elaborado por: 16/05/2025

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 16/05/2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Potencia en función de velocidad del viento.	No. PRÁCTICA: TS.4.03-08
--------------------------------------	---	---------------------------------

69. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	9no
FECHA:	1/08/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc

70. FUNDAMENTACIÓN
El rendimiento de la energía eólica es proporcional, a medida que aumenta la velocidad del viento, incrementa la potencia. De la misma manera cuando aumenta la velocidad del rotor, aumenta el par producido, hasta alcanzar un punto máximo, luego es punto, disminuye. Mediante el software LVDAC-EMS del sistema LabVolt 8260-3 y el módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo), se puede medir el torque aplicado en eje del generador para diferentes condiciones de viento simuladas. Esta práctica permitirá construir las curvas de par en función de la velocidad y curvas mecánicas en función de la velocidad obtenida de los datos medidos (Festo Didactic, 2024). El diagrama ilustra la configuración eléctrica para la práctica. A la izquierda, se muestra 'Conexión de las tres fases' con tres bobinas de inductancia. Las salidas de estas bobinas se conectan a un 'Rectificador de diodos AC/DC', representado por un símbolo de puente de diodos. La salida del rectificador se conecta a una 'Carga', representada por un símbolo de resistencia. Las conexiones se realizan mediante líneas rectas y puntos de conexión. Esquema de conexión a conectar en el módulo

--

71. OBJETIVOS

- Simular condiciones de viento ante diferentes valores de carga
- Registrar la potencia mecánica y entender como varia ante los diferentes escenarios
- Comparar los resultados mediante curvas
- Analizar los puntos factibles en los regímenes de viento de 10, 7, 4 m/s

72. MATERIALES E INSUMOS

Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo)

Módulo Controlador/ Generador Turbina Eólica (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216 de Festo)

software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

Módulo de cargas resistivas

Multímetro digital

Cables tipo bananas

Computadora

Banda de acoplamiento

7. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Sacar los equipos correspondientes	Cuando se saca los equipos se debe tener cuidado
2	Se acopla módulos en la estantería	
3	Colocar la banda entre los dos equipos, Módulo electrodinamómetro de 4 cuadrantes (Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply, modelo 8960 de Festo y el Módulo Controlador/ Generador Turbina Eólica (Wind Turbine Generator/Controller, modelo 8216 de Festo)	Tener precaución a la hora de acoplar la banda, y verificar que la relación de la polea sea la correcta

4	Configurar u conectar una resistencia de 5 ohmios a la salida del rectificador	
5	Prender la Pc, conectar del módulo hacia el pc	Tener en cuenta que se debe conectar primero
6	Verificar conexión del sistema Lab-Volt	Usar configuración según las deseadas
7	Iniciar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)	Seleccionar la función modo Emulador de aerogenerador
8	Configurar un perfil de viento de 10 (m/s) y simular	Registrar tensión, potencia y corriente
9	Detener la prueba y repetir el paso 4, con resistencias de 7.5, 15,30,45,71,75,86,120,150,200, 240 y 400, para perfiles de vientos de 10, 7 y 4 m/s.	Revisar las conexiones de resistencias antes de simular
10	Calcular la potencia eléctrica para calcular la energía total generada	Utilizar fórmulas indicadas, puede usar plantilla de Excel u otro software
11	Calcular el rendimiento promedio del sistema	
12	Elaborar la gráfica de potencia eléctrica (w) vs tiempo (seg)	Usar el software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)
13	Realizar comparativa de los dos escenarios	

73. CUADRO DE RESULTADOS

• **Tabla de valores de viento de 10 (m/s)**

Índice de fila	Resistencia (Ω)	Velocidad (Rpm)	Par (N*m)	Potencia Mecánica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia Eléctrica (W)
1	200	1762	0,437	80,66	119,8	0,21	25,16
2	86	1546	0,848	137,3	100,8	0,76	76,61
3	45	1321	1,242	171,8	81	1,22	98,82
4	30	1181	1,571	194,3	68,5	1,71	117,14
5	15	935	2,122	207,6	47,2	2,67	126,024
6	7,5	686	2,518	180,7	28,7	4,12	118,24
7	5	520	2,414	131,4	18,6	3,77	70,122

• **Tabla de valores de viento de 7 (m/s)**

Índice de fila	Resistencia (Ω)	Velocidad (Rpm)	Par (N*m)	Potencia Mecánica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia Eléctrica (W)
1	240	1170	0,285	34,91	80,4	0,05	4,02
2	120	1046	0,45	49,27	69,5	0,19	13,21
3	71	936	0,623	61,11	59,8	0,42	25,12
4	45	839	0,808	70,94	51,8	0,58	30,044
5	30	719	0,978	73,64	41,8	0,81	33,858
6	15	521	1,235	67,39	26,5	1,27	33,655
7	7,5	286	1,052	31,49	11,6	1,9	22,04
8	5	203	0,872	18,48	6,6	1,6	10,56

• **Tabla de valores de viento de 4 (m/s)**

Índice de fila	Resistencia (Ω)	Velocidad (Rpm)	Par (N*m)	Potencia Mecánica (W)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia Eléctrica (W)
1	400	629	0,139	9,181	42,9	0,26	11,15
2	150	534	0,208	11,65	34,7	0,11	3,81
3	75	442	0,306	14,17	27,9	0,08	2,232
4	45	382	0,356	14,23	22,8	0,01	0,228
5	30	300	0,408	12,81	16,8	0,04	0,672
6	15	155	0,341	5,536	7	0,02	0,14
7	7,5	79	0,235	1,935	2,4	0,8	1,92
8	5	69	0,231	1,67	1,6	0,7	1,12

8. CONCLUSIONES

- El sistema mostró un rendimiento mayor en la velocidad del viento de 10 m/s
- La energía generada del régimen variable presento una eficiencia de la energía generada del régimen de viento de 10 m/s de eficiencia de 54,90%
- Las oscilaciones en la potencia fueron mayores en viento de 10 m/s, ante la conexión de resistencias de 15 ohmios
- El módulo demostró adaptabilidad ante los cambios de velocidad

9. RECOMENDACIONES

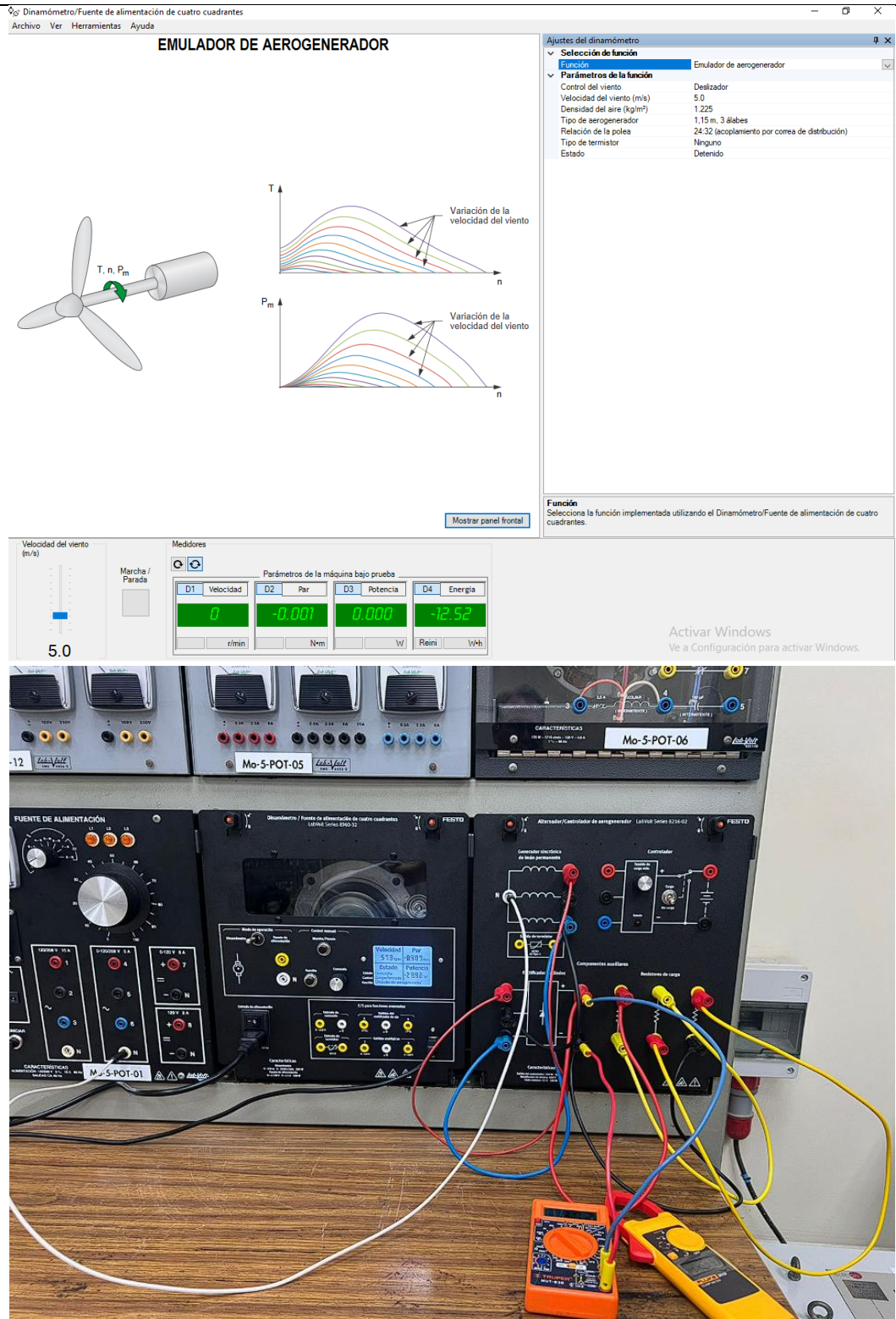
- Considerar una duración mayor de simulación para observar tendencias sostenidas y utilizar banco de baterías
- Incluir condiciones ambientales reales de temperatura o humedad, si es posible, para validar la simulación
- Repetir pruebas en diferentes ramos de tiempo para ampliar la base de comparación

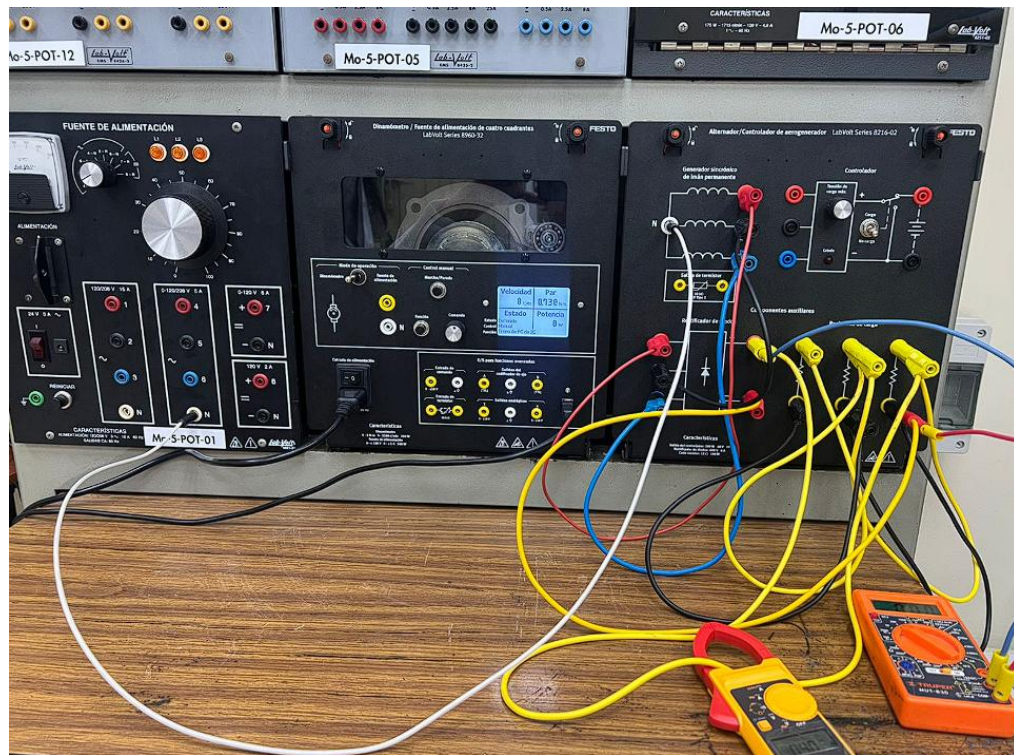
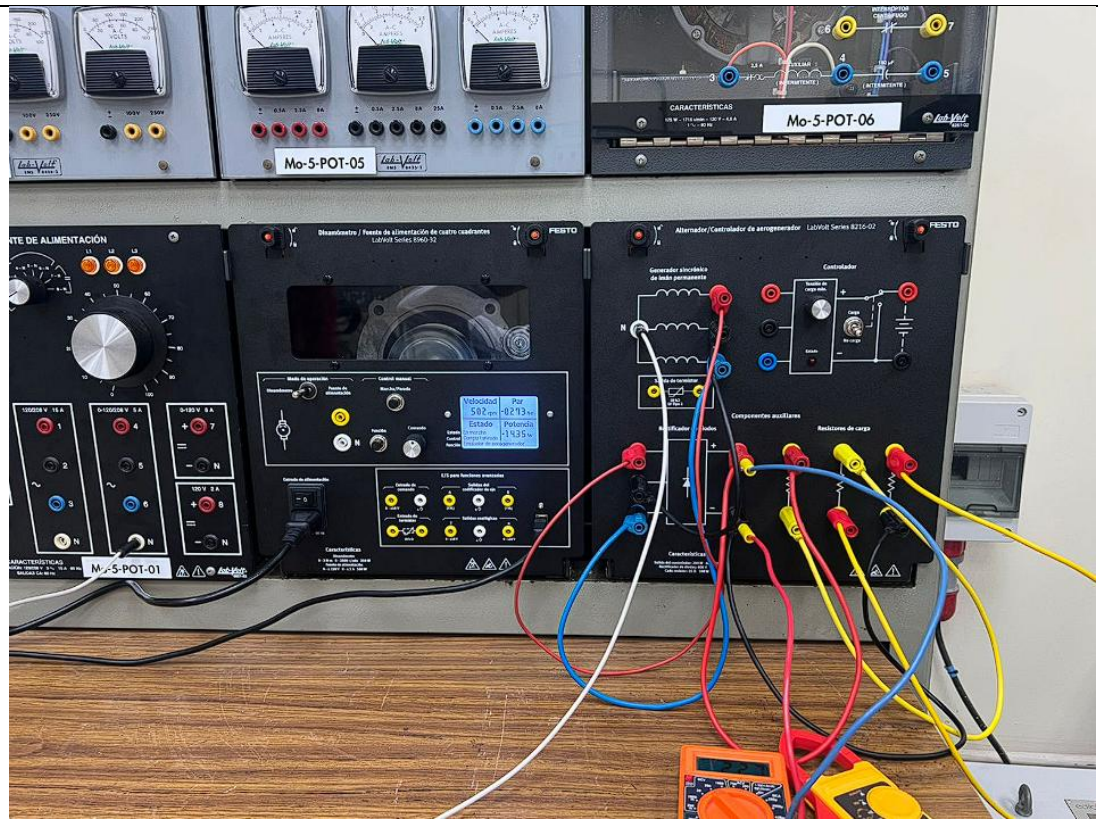
10. BIBLIOGRAFÍA

Festo Didactic, ©. (2024). *Small-Scale Wind Power Electricity Generation Training System, LabVolt Series*.

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

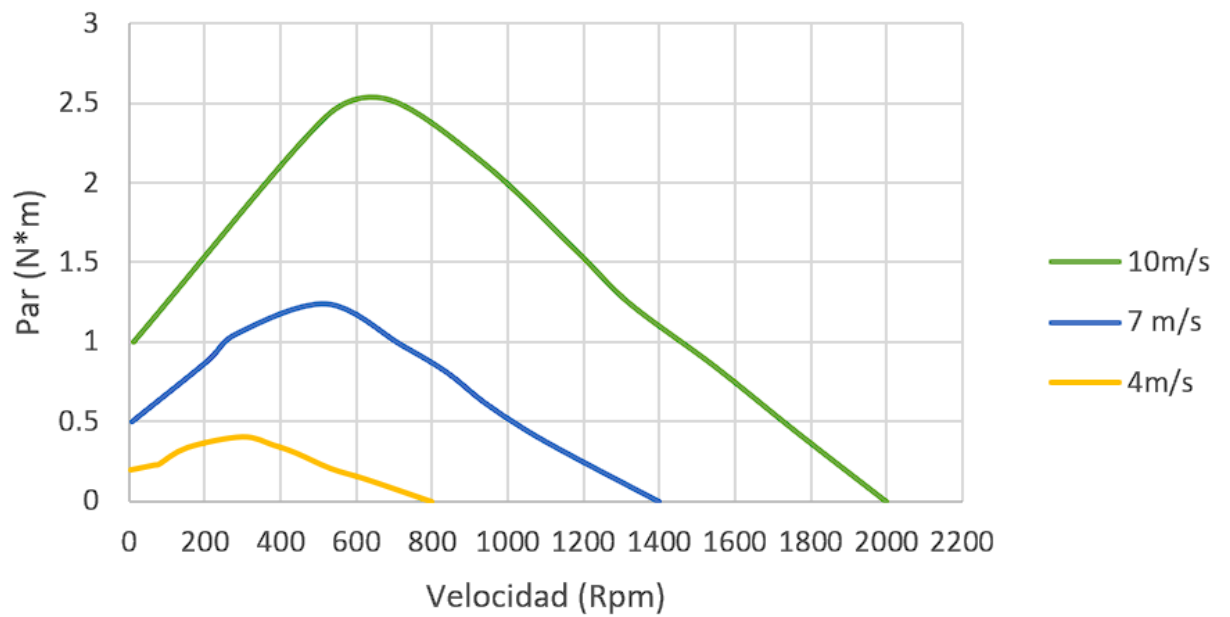
11. ANEXOS

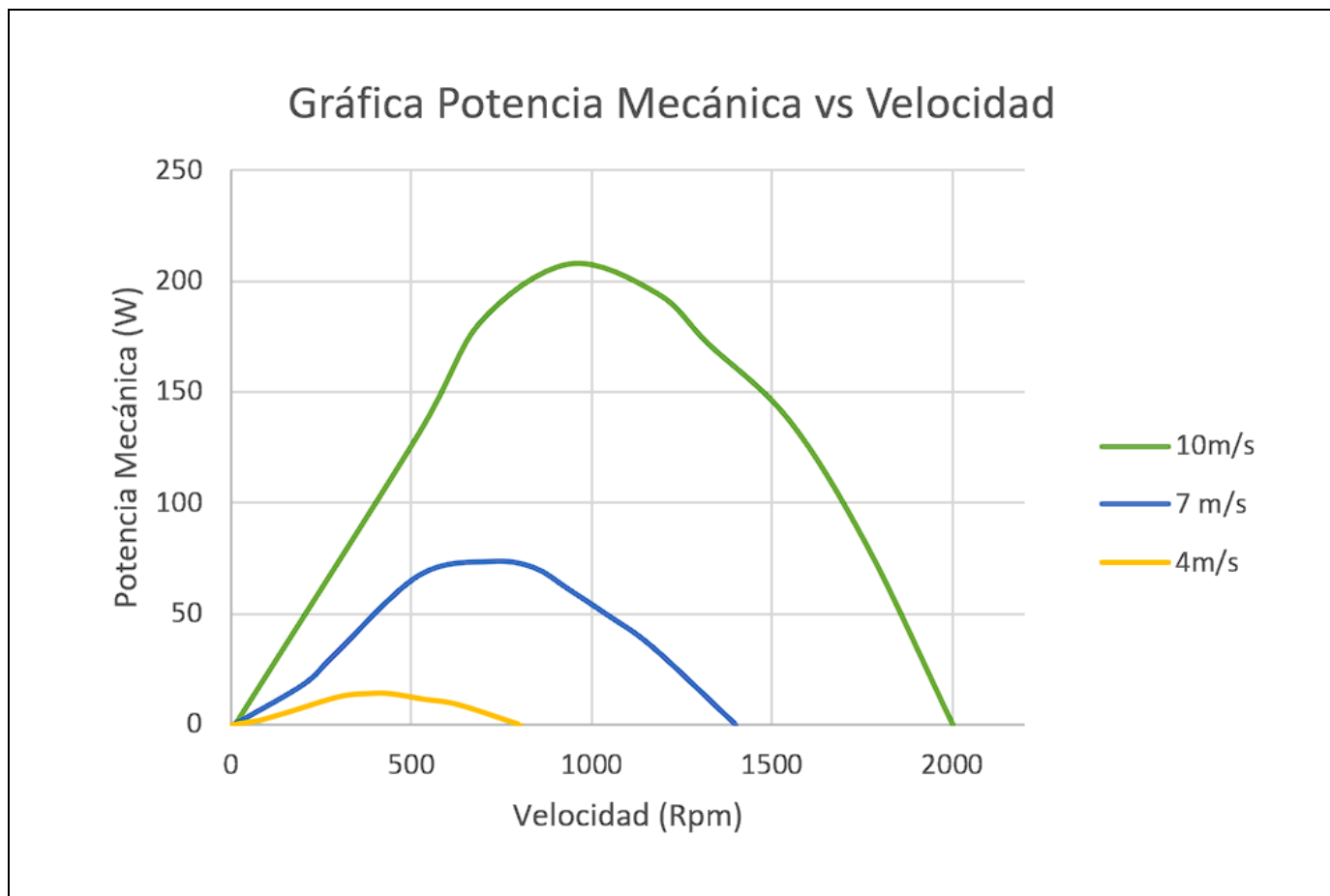






Gráfica Par vs Velocidad





Fecha de Elaboración: 1/8/2025

Elaborado por: Merchan Oleas Billy Eugenio, Solis Delgado Jasmin Alexandra

REVISADO POR: Ing. Edwin Ponce Minaya, MSc
FECHA: 1/8/2025