



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

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

Modalidad Proyecto Técnico

Tema:

“OPTIMIZACIÓN AVANZADA DEL CONTROL DE POTENCIA EN UN
AEROGENERADOR EN ENTORNO DE LABORATORIO DE POTENCIA”

Autores:

GARCÍA SANTANA DANNY LENIN
ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR EMILIO

Tutor:

ING. FERNANDO VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA, PHD

Manta – Ecuador

Periodo 2025-1

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 2 de 158

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 “Optimización Avanzada del Control de Potencia En Un Aerogenerador En Entorno De Laboratorio De Potencia”. bajo la autoría de García Santana Danny Lenin estudiante legalmente matriculado/a en la carrera de Electricidad período académico 2025(1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo núcleo Problemático es la falta de un sistema optimizado de control de potencia para el aerogenerador en el entorno de laboratorio de potencia.

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 del mismo, 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. Fernando Vladimir Jaramillo García, Ph.D
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).	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 3 de 158

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 “Optimización Avanzada del Control de Potencia En Un Aerogenerador En Entorno De Laboratorio De Potencia”. bajo la autoría de Zambrano Bailón Salvador Emilio estudiante legalmente matriculado/a en la carrera de Electricidad período académico 2025(1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo núcleo Problemático es la falta de un sistema optimizado de control de potencia para el aerogenerador en el entorno de laboratorio de potencia.

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 del mismo, 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. Fernando Vladimir Jaramillo García, PhD
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.

AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO

Quienes suscribimos, **García Santana Danny Lenin**, con cedula de identidad N°**1350754311** y **Zambrano Bailón Salvador Emilio**, son cedula de identidad N° **1315900256**, egresados de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, declaramos que el presente proyecto de titulación: “Optimización Avanzada Del Control De Potencia En Un Aerogenerador En Entorno De Laboratorio De Potencia” es de autoría nuestra, el contenido, resultado y conclusión obtenidas son de estricta responsabilidad de los autores, 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 corresponde a la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.



ESTUDIANTE
Danny Lenin García Santana



ESTUDIANTE
Zambrano Bailón Salvador Emilio



ASESOR ACADÉMICO
Ing. Fernando Vladimir Jaramillo García, PhD

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino. Él conoce el esfuerzo, la dedicación y todo lo que me ha costado llegar hasta este momento tan importante en mi vida.

A mis padres, Ángel García y Sonia Arteaga por ser mi pilar fundamental en mi formación personal, por su amor incondicional y sus enseñanzas.

A mi novia, Denisse Rivera, por ser un apoyo constante a lo largo de este camino universitario. Su compañía incondicional, sus palabras de aliento y su comprensión durante las largas jornadas de estudio me brindaron la fuerza necesaria para seguir adelante. Gracias por estar siempre a mi lado y por celebrar conmigo cada logro, grande o pequeño.

Extiendo también esta dedicatoria a mi familia y a todas aquellas personas que, con sus palabras de aliento, gestos de apoyo y compañía sincera, me impulsaron a no rendirme y a mantenerme firme en la búsqueda de mis metas.

Por otra parte, dedico este logro a mis docentes, quienes, con profesionalismo y entrega, compartieron sus conocimientos y me inspiraron a dar siempre lo mejor de mí. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi vida académica y personal.

Este título es el resultado de un esfuerzo compartido con todos aquellos que creyeron en mí y caminaron a mi lado. Hoy, al culminar esta etapa y graduarme como Ingeniero Eléctrico, lo hago con profundo orgullo, gratitud y la firme convicción de que cada paso dado ha valido la pena.

Danny Lenin García Santana

DEDICATORIA

"Jehová es mi Pastor; nada me faltará. En lugares de delicados pastos me hará descansar."

A Dios Todopoderoso, fuente de fortaleza, consuelo y sabiduría, quien en cada momento de dificultad y desánimo iluminó mi camino con su gracia. A Él, que ha sido mi roca firme y mi guía segura en medio de los retos académicos y personales, dedico con gratitud este fruto de años de esfuerzo. A mis queridos padres, el Sr. Emilio Zambrano y Sra. Loly Bailón de Zambrano, base fundamental de mi vida, por su amor incondicional, por su ejemplo de honestidad y por enseñarme que la perseverancia abre las puertas de los sueños más grandes. A mi esposa, Belén Rosales, fiel compañera desde el inicio de mi formación profesional, cuyo apoyo constante, paciencia y amor han sido clave en este recorrido. A mi hijo, Ezequiel Zambrano, mi primogénito y mayor inspiración, quien me dio la fuerza para concluir lo que durante años construí con sacrificio, dedicación y disciplina.

A mi única y querida abuelita materna Nieves Saltos, cuyo amor, oraciones y sabios consejos han sido refugio y aliento constante. A mis hermanos Jorge, Sonia, Ana, Jose Luis y Cesar, quienes, con su cercanía, ánimo y respaldo me recordaron siempre que en este camino no estaba solo, alentándome a continuar cuando las fuerzas parecían faltar. Y a toda mi familia en general, quienes con su cariño y apoyo me animaron a no rendirme. Extiendo este reconocimiento a los amigos que la vida me regaló en esta etapa, en especial a mi gran amigo Isaac Alcívar, cuya voz de aliento llegó justo en los momentos más difíciles, y a todos mis compañeros, quienes con su compañía y apoyo fueron parte importante de este logro.

De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis, el Dr. Vladimir Jaramillo García, por su guía, paciencia y valiosos consejos durante el desarrollo de este trabajo, cuyo aporte fue esencial para culminar con éxito este proyecto académico. Finalmente, con profundo amor y recuerdo, dedico este triunfo a la memoria de mi hermano Javier, quien ahora descansa en el cielo. Desde siempre soñó con verme llegar a este momento y cumplir el objetivo de convertirme en Ingeniero Eléctrico. Hoy sé que, desde lo alto, se siente orgulloso de este logro, que es tanto suyo como mío.

Salvador Emilio Zambrano Bailón

AGRADECIMIENTO

Expresamos un fraterno agradecimiento a nuestro tutor de tesis el Ing. Fernando Vladimir Jaramillo García, PhD por su constante guía, paciencia y compromiso durante este proceso de titulación. Su apoyo y disposición para orientarnos en cada etapa fueron decisivos para alcanzar este logro profesional. Su acompañamiento no solo aportó claridad a nuestra investigación, sino que también nos motivó a mantener la perseverancia y el compromiso necesario para llegar a este punto.

A los docentes que nos acompañaron a lo largo de estos años, les reconocemos su dedicación y entrega al compartir sus conocimientos, fortaleciendo nuestra formación y nuestra vocación.

De igual manera, expresamos nuestra gratitud a nuestros compañeros más cercanos, con quienes compartimos aprendizajes, ideas y retos durante cada etapa académica. Estas experiencias, más allá del ámbito académico, nos brindaron un valioso respaldo y fortalecieron nuestros valores a lo largo de este camino, convirtiéndose en una experiencia más llevadera y enriquecedora.

Danny Lenin García Santana

Salvador Emilio Zambrano Bailón



Optimización Avanzada Del Control De Potencia En Un Aerogenerador En Entorno De Laboratorio De Potencia



Nombre del documento: Eólica_Optimización.docx

ID del documento:

2e7733d1b0c5adbe4f5ddcaca33fea7e83421524 Tamaño del documento original: 69,59 kB

Autores: Salvador Emilio Zambrano Bailón, Danny Lenin García Santana

Depositante: Salvador Emilio Zambrano

Bailón Fecha de depósito: 13/8/2025

Tipo de carga: url_submission fecha de fin de análisis: 13/8/2025

Número de palabras: 9435

Número de caracteres: 63.194

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes con similitudes fortuitas

N°	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)
2	repositorio.utm.edu.ec http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/123456789/241/1/TESIS_UTM_COMPLETA.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 palabras)
3	energía eólica.docx Simulación De Aerogenerador Mediante La Imple... #b61246 Viene de de mi biblioteca	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
4	esingenieria.net El Límite de Betz en la generación de Energía Eólica ESingen... https://esingenieria.net/el-limite-de-betz-en-la-generacion-energia-eolica/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
5	dspace.ups.edu.ec Evaluación de la confiabilidad de equipos eléctricos y mecán... http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28992	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	17
INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.....	17
1.1 Introducción.....	17
1.2 Antecedentes.....	23
1.3 Planteamiento del problema.....	24
1.3.1 Árbol de Problemas.....	26
1.3.2 Árbol de Objetivos.....	27
1.3 Justificación.....	28
1.4 Delimitación.....	29
1.4.1 Delimitación temática	29
1.4.2 Delimitación espacial.....	29
1.4.3 Delimitación temporal	29
1.5 Objetivos.....	29
1.5.1 Objetivo General.....	29
1.5.2 Objetivos específicos	29
CAPÍTULO 2.....	30
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	30
2.1. Energía Eólica.....	30
2.2 Aerogeneradores	31
2.2.1 Funcionamiento del aerogenerador.....	31
2.2.2 Componentes principales del aerogenerador	32
2.3. Análisis de parámetros del aerogenerador	34

2.3.1 Distribución de Weibull.....	34
2.3.2 Rosa de vientos	35
2.4. Tipos de aerogeneradores	36
2.4.1 Aerogeneradores HAWT (Eje Horizontal)	39
2.4.2 Aerogenerador VAWT de eje vertical	40
2.4.3 Aerogenerador de baja potencia.....	41
2.4.4 Aerogenerador offshore en ambientes marinos	42
2.5. Control de Potencia en Aerogeneradores.....	43
2.5.1 Función del control de potencia en el aerogenerador	43
2.5.2 Técnicas convencionales de control.....	44
2.5.3 Impacto de las condiciones ambientales en el control de potencia.....	44
2.6. Optimización del Control de Potencia	45
2.6.1 Tecnologías avanzadas para el control	45
2.6.2 Estrategias de control dinámico	47
2.6.3 Integración con sistemas eléctricos existentes	47
2.7 Simulación y Entorno de Laboratorio.....	48
CAPÍTULO 3.....	50
3.1. Metodología	50
3.2. Alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02)	51
3.3. Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32.....	53
3.4. Módulo de carga resistiva	56
3.5. Conectores tipo banana	57
3.6. Software LVDAC-EMS.....	58

3.7. Pinza amperimétrica Fluke 301D/ESP, 600A AC/DC	60
3.8 Multímetro digital	61
3.7. Análisis de Resultados (Prácticas)	61
3.7.1 Práctica <<TS.4.03-01>>: Caracterización del generador eólico a distintas velocidades del viento.....	61
3.7.2 Práctica <<TS.4.03-02>>: Curva de potencia del aerogenerador en función del viento simulado.....	62
3.7.3 Práctica <<TS.4.03-03>>: Optimización de variación energética mediante carga resistiva	63
3.7.4 Práctica <<TS.4.03-04>>: Análisis del comportamiento de la tensión de salida ante las variaciones de la densidad del aire.....	64
3.7.5 Práctica <<TS.4.03-05>>: Comparación del rendimiento de diferentes configuraciones de aerogeneradores simulados	65
3.7.6 Práctica <<TS.4.03.06 >>: Evaluación Integral del sistema con perfil de viento variable estrategia MPPT (curva de máxima potencia)	67
3.7.7 Práctica <<TS.4.03.07>>: Característica de la tensión en función de la velocidad en el alternador de un aerogenerador.....	68
3.7.8 Práctica <<TS.4.03.08>>: Influencia del viento en intervalos de parámetros temporales	70
3.7.9 Práctica <<TS.4.03-09>>: Potencia en función de la velocidad del viento.....	71
CAPÍTULO 4.....	74
CONCLUSIONES	74
4.1 Conclusiones.....	74

BIBLIOGRAFÍA	76
--------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Funcionamiento de un aerogenerador	32
Figura 2 Componentes de un aerogenerador	33
Figura 3 Distribución Weibull para la velocidad del viento	35
Figura 4 Rosa del viento para cálculo de la energía	36
Figura 5 Aerogenerador de eje horizontal y vertical	37
Figura 6 Aerogeneradores HAWT	39
Figura 7 Aerogeneradores VAWT	41
Figura 8 Aerogeneradores de baja potencia.....	42
Figura 9 Aerogeneradores offshore	43
Figura 10 Alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02).....	51
Figura 11 Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32	53
Figura 12 Módulo de carga resistiva.....	56
Figura 13 Conectores tipo banana.....	57
Figura 14 Software LVDAC-EMS	58
Figura 15 Pinza amperimétrica Fluke 301D/ESP, 600A AC/DC	60
Figura 16 Multímetro digital.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de aerogeneradores - Características	38
Tabla 2 Características del alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02).....	51
Tabla 3 Características del dinamómetro de cuatro cuadrantes 8960-32	53
Tabla 4 Características del Módulo de carga resistiva.....	56
Tabla 5 Software LVDAC-EMS.....	59
Tabla 6 Caracterización del generador eólico a distintas velocidades del viento	62
Tabla 7 Curva de potencia del aerogenerador en función del viento simulado	63
Tabla 8 Optimización de variación energética mediante carga resistiva.....	64
Tabla 9 Tensión de salida ante las variaciones de la densidad del aire	65
Tabla 10 Rendimiento de diferentes configuraciones de aerogeneradores simulados	66
Tabla 11 Evaluación Integral del sistema con perfil de viento variable estrategia MPPT	67
Tabla 12 Tensión en función de la velocidad en el alternador de un aerogenerador.....	69
Tabla 13 Valores velocidad del viento.....	70
Tabla 14 Valores de viento de 10 (m/s).....	71
Tabla 15 Valores de viento de 7 (m/s).....	71
Tabla 16 Valores de viento de 4 (m/s).....	72

RESUMEN

Los aerogeneradores enfrentan desafíos significativos en su diseño, especialmente debido al elevado momento de inercia del rotor, enmarcando aspectos importantes como el arranque, la regulación de la velocidad y la seguridad durante el frenado. El objetivo de la investigación es optimizar el control de los aerogeneradores para mejorar su eficiencia energética, utilizando una metodología descriptiva y cuantitativa para llevar a cabo un análisis sistemático. Se realizaron ensayos en el laboratorio de Potencia de la Carrera de Electricidad, donde se analizaron los datos obtenidos a través del electrodinamómetro 4 cuadrantes, asociado al módulo del alternador/controlador de aerogenerador 8216-02, empleando el software LVDAC-EMS; estas pruebas permitieron desarrollar estrategias de control enfocadas en maximizar la captación de energía, logrando emular con alta precisión el comportamiento de una turbina eólica en distintas condiciones de velocidad del viento y densidad del aire. Los resultados mostraron que el generador presentó un amplio rango operativo, oscilando entre 520 rpm y 1762 rpm, lo que demuestra su capacidad de adaptarse a diversas velocidades de viento, desde 3 m/s hasta 25 m/s; esta flexibilidad es una característica clave de los generadores eólicos, dado que ajustan su régimen de giro para maximizar la conversión de energía. En conclusión, el generador de imanes permanentes operó eficientemente en el 54,90% del rango de velocidades del viento, ajustando su velocidad entre 520 y 1762 rpm.

Keywords: control, potencia, velocidad, viento.

SUMMARY

Wind turbines face significant design challenges, particularly due to the high moment of inertia of the rotor, which affects important aspects such as start-up, speed regulation, and safety during braking. The objective of the research is to optimize the control of wind turbines to improve their energy efficiency, using a descriptive and quantitative methodology to carry out a systematic analysis. Tests were carried out in the Power Laboratory of the Electrical Engineering Department, where the data obtained through the 4-quadrant electrodynamicometer, associated with the 8216-02 alternator/wind turbine controller module, was analyzed using LVDAC-EMS software. These tests enabled the development of control strategies focused on maximizing energy capture, achieving high-precision emulation of the behavior of a wind turbine under different wind speed and air density conditions. The results showed that the generator had a wide operating range, ranging from 520 rpm to 1762 rpm, demonstrating its ability to adapt to various wind speeds, from 3 m/s to 25 m/s. This flexibility is a key feature of wind generators, as they adjust their rotation speed to maximize energy conversion. In conclusion, the permanent magnet generator operated efficiently in 54.90% of the wind speed range, adjusting its speed between 520 and 1762 rpm.

Keywords: control, power, speed, wind.

TEMA

OPTIMIZACIÓN AVANZADA DEL CONTROL DE POTENCIA EN UN
AEROGENERADOR EN ENTORNO DE LABORATORIO DE POTENCIA

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

La complejidad de los sistemas energéticos actuales no se limita únicamente a sus aspectos técnicos; también involucra factores socioculturales, económicos, geopolíticos y ambientales, los cuales se entrelazan y evolucionan de manera constante, afectando directamente la toma de decisiones en el ámbito energético (Reinoso, 2023). La interrelación genera desafíos estructurales que requieren una intervención activa y estratégica por parte de los poderes públicos, principalmente en el diseño y regulación de políticas energéticas sostenibles (Godfrid, 2023).

La energía renovable se origina en fuentes naturales inagotables como la solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y de biomasa, las cuales representan una alternativa sostenible en cuanto al uso intensivo de combustibles fósiles; estas tecnologías ayudan a minimizar la huella ambiental (Quiñones, 2023). Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes naturales capaces de reponerse continuamente a corto o mediano plazo, lo que las convierte en inagotables; esta característica se debe a su abundante disponibilidad en el entorno (López, 2023).

Actualmente, Ecuador enfrenta una crisis energética que se agrava por la falta de generación eléctrica, debido a una sequía prolongada que ha reducido la capacidad del parque hidroeléctrico al 50%, según datos del Operador Nacional de Electricidad Cenace (Cenace, 2024). Por tanto, la energía eólica se presenta como una alternativa para complementar la matriz energética nacional, además, la optimización de su uso no solo es necesaria para mitigar los efectos de la escasez de generación eléctrica, sino que también asegura un suministro energético sostenible en el país (Jaramillo, 2022).

Una mayor participación de fuentes renovables en la matriz energética promueve la sostenibilidad ambiental, impulsa la diversificación económica y refuerza la seguridad energética de un país, al disminuir la dependencia de recursos fósiles expuestos a fluctuaciones geopolíticas y del mercado (Ramos, 2025). De igual forma, la diversificación es importante para las economías emergentes, dado que ayuda a reducir su vulnerabilidad frente a crisis energéticas y estabilizar las finanzas públicas a través del uso de recursos locales (Atiaja, 2024).

La producción de energía a partir de fuentes renovables causa, en general, niveles significativamente menores de emisiones en comparación con la combustión de recursos fósiles como el carbón, el gas natural o el petróleo; estas fuentes se han vuelto más accesibles en términos económicos (León, 2024). Asimismo, la energía eólica destaca por su capacidad de transformar la fuerza del viento en electricidad, utilizando aerogeneradores modernos que han evolucionado gracias a los avances tecnológicos (Guanuchi, 2024).

Para maximizar la eficiencia de esta fuente de energía, la electrónica de potencia desempeña un punto importante en la operación de los aerogeneradores, protegiendo los componentes mecánicos y eléctricos del sistema (Marasco, 2023). Además, la producción de energía eólica está influenciada por la velocidad del viento, lo que indica la importancia de optimizar el control de potencia en los aerogeneradores, debido a que las variaciones en la velocidad del viento impactan directamente en la eficiencia del sistema (Gonzales, 2022).

Si bien la energía eólica es una de las alternativas renovables más prometedoras, su implementación aún implica elevados costos iniciales, principalmente en la fabricación de aerogeneradores, a causa de que la adquisición de sus componentes como el proceso de ensamblaje demandan una inversión considerable (Rocano, 2024). Sin embargo, en las últimas décadas, el uso de la energía eólica ha demostrado ser altamente beneficioso en aplicaciones domésticas e

industriales, donde el avance continuo en estudios e investigaciones ha favorecido al desarrollo de tecnologías más eficientes (Ayala, 2023).

Los sistemas eólicos se dividen en dos tipos principales: aislados de la red eléctrica y conectados a la red pública; en el caso de los sistemas conectados, existen los pequeños sistemas, que funcionan en áreas cercanas a una red eléctrica y suministran energía del aerogenerador y de la red convencional (Gil, 2024). Igualmente, están los sistemas de gran escala, conocidos como parques eólicos, que producen energía principalmente para inyectarla al sistema eléctrico nacional sin consumo directo (Pacheco, 2023).

Para realizar un análisis efectivo de la energía eólica, es importante tomar en consideración dos variables que inciden directamente en la generación eléctrica: la velocidad y la dirección del viento; donde la velocidad del viento es un factor determinante, dado que permite estimar la cantidad de energía que puede producir un aerogenerador (Cárdenas, 2023). Además, es necesario evaluar la magnitud de la velocidad y la frecuencia en conjunto con la duración de los periodos con vientos débiles, debido a que estos afectan la continuidad y eficiencia del suministro energético (Guanuchi, 2024).

Una de las principales ventajas de generar energía eléctrica mediante el viento es que este proceso no emite gases tóxicos que contribuyan al efecto invernadero ni provoquen lluvia ácida; además, la energía eólica no genera residuos contaminantes ni riesgos secundarios asociados a la contaminación ambiental (Díaz, 2023). Por otra parte, uno de los principales desafíos asociados a esta fuente es la variabilidad del recurso eólico, lo cual exige el desarrollo de sistemas de control avanzados que permitan optimizar la captación de energía y mantener la estabilidad del sistema eléctrico (Castro, 2023).

La implementación de estrategias de control adaptativas en aerogeneradores ayuda a simular escenarios reales en entornos controlados, como los laboratorios de potencia, aportando así a la formación técnica especializada y a la generación de soluciones innovadoras (Chiriboga, 2023). Los aerogeneradores son dispositivos eléctricos que convierten la energía del viento en electricidad a través del movimiento de turbinas impulsadas por la fuerza del aire en movimiento, por ende, también se les conoce como turbinas eólicas (Quesada, 2024).

Las estrategias de control dinámico en aerogeneradores sirven para maximizar la captación de energía eólica, uno de los mecanismos más efectivos es el control del paso de las palas, que ajusta dinámicamente el ángulo de las palas del rotor en función de la velocidad del viento (Conrado, 2021). De igual manera, este control permite optimizar la potencia generada, evitando que el aerogenerador opere fuera de sus límites óptimos; en condiciones de vientos suaves, las palas se inclinan para capturar la mayor cantidad de energía posible, mientras que en vientos fuertes disminuyen (Mukund, 2021).

Los aerogeneradores se clasifican según la potencia que generan, la orientación de su rotor en relación con el viento, la cantidad de palas que poseen y el método utilizado para transformar la energía eólica en eléctrica; estos criterios permiten seleccionar el diseño más adecuado según las condiciones específicas del sitio (Roque, 2022). Los sistemas de control que equipan las turbinas eólicas ajustan su operación para seguir la velocidad variable del viento y maximizar la producción de energía dentro de límites seguros (Uvidia, 2024).

La energía eólica, como fuente renovable que aprovecha los flujos de aire para generar electricidad ha mejorado su eficiencia gracias a avances en el diseño de turbinas, el control de accionamientos mecánicos y la incorporación de electrónica de potencia para optimizar el rendimiento de los aerogeneradores (Freire, 2022). Los aerogeneradores han sido los dispositivos

más usados en la generación eólica terrestre, y con el desarrollo de nuevas tecnologías, se ha logrado incrementar su capacidad de captación y estabilidad, optimizando su producción de energía (Garrido, 2022).

Un enfoque optimizado también considera el balance entre eficiencia energética y durabilidad, asegurando que el sistema opere dentro de parámetros seguros sin comprometer el rendimiento y el control avanzado de potencia se ajusta dinámicamente el comportamiento del generador en respuesta a cambios en el entorno (Álvarez, 2022). Además, maximiza la producción de energía sin exceder los límites de diseño; esta capacidad de adaptación es parte principal para el éxito de los parques eólicos modernos, que enfrentan variaciones constantes en ciertas condiciones meteorológicas (Mukund, 2021).

Las tecnologías avanzadas para el control de potencia en los aerogeneradores permiten maximizar la eficiencia y la estabilidad del sistema en diversas condiciones operativas, además, los convertidores de frecuencia, combinados con controladores de paso y par, optimiza el rendimiento (Conrado, 2021); este tipo de control no solo maximiza la captación de energía, sino que también protege los componentes clave del sistema al evitar sobrecargas, las innovaciones en este contexto han permitido aumentar la vida útil de los aerogeneradores y mejorar su fiabilidad (Álvarez, 2022).

En el proceso de simulación de aerogeneradores en un ambiente controlado (laboratorio), se presenta una función específica denominada “Emulador de Turbina Eólica Pequeña”, accesible a través del software LVDAC-EMS; este sistema permite emular de manera precisa el comportamiento de una turbina eólica bajo diversas condiciones, como variaciones en la velocidad del viento (entre 3 y 12 m/s) y la densidad del aire. Utilizando las funciones de transferencia de

una turbina eólica real, los usuarios pueden recrear el comportamiento operativo de una turbina pequeña.

Asociado al modelo de alternador/controlador de aerogenerador 8216-02, este emulador en su conjunto ayuda a cubrir todo el proceso de generación de energía eólica, los usuarios pueden ajustar parámetros clave, como la velocidad del viento y la densidad del aire, lo que es importante para evaluar la eficiencia del sistema bajo diferentes condiciones operativas. Asimismo, el control del emulador es sencillo, permitiendo la selección de velocidades de viento específicas y brindando datos en tiempo real que pueden ser monitoreados para optimizar el rendimiento del aerogenerador.

El proyecto se encuentra estructurado en cuatro capítulos, cada uno orientado a desarrollar los aspectos más importantes de la propuesta.

El Capítulo 1 plantea el problema del proyecto, contextualizando la creciente necesidad de integrar energías renovables, principalmente la eólica, en la formación académica. Se destaca la necesidad de contar con equipos que ayuden a simular el comportamiento del viento y el funcionamiento de los aerogeneradores, como complemento principal a la teoría impartida en las aulas. Además, se establece la justificación, el objetivo general, los objetivos específicos, el campo de acción y el objeto de estudio, delimitando con claridad los alcances del proyecto.

El Capítulo 2 describe el marco teórico, donde se recopilan y analizan las bases teóricas relacionadas con la energía eólica, los principios de conversión de energía mecánica en eléctrica, los sistemas de control en aerogeneradores y el uso de herramientas como el software LVDAC-EMS para el monitoreo y análisis en tiempo real; esta base conceptual permite entender mejor las implicaciones de la propuesta y respalda el diseño de la implementación.

El Capítulo 3 desarrolla la metodología usada para realizar el proyecto, detallando el tipo de investigación, el diseño experimental, los equipos requeridos y los procedimientos técnicos.

Además, se describe detalladamente el sistema de control de potencia a implementar, sus características, componentes, así como las pruebas que se harán para evaluar su desempeño dentro del laboratorio.

Por último, el Capítulo 4 presenta los resultados alcanzados tras la implementación del sistema propuesto, el análisis de los datos encontrados durante las simulaciones, y la validación del comportamiento del aerogenerador bajo distintas condiciones. Se detallan también los recursos empleados (humanos, técnicos y financieros), el cronograma de actividades bibliográficas y los anexos con las prácticas realizadas.

A través de la implementación de un sistema de control de potencia optimizado en el laboratorio de la carrera de Electricidad, se busca simular con precisión el funcionamiento de un aerogenerador ante diversas condiciones de viento, favoreciendo el aprendizaje práctico de los estudiantes y promoviendo su preparación frente a los retos tecnológicos del sector energético.

1.2 Antecedentes.

La energía eólica se ha consolidado como una fuente clave en la transición hacia energías limpias, aprovechando la capacidad del viento para brindar electricidad de forma eficiente y sostenible, por ende, el control de potencia en aerogeneradores se ha convertido en un aspecto esencial para optimizar su funcionamiento (Silva, 2023). Este control busca ajustar el desempeño del generador según las variaciones en la velocidad del viento, permitiendo una mayor eficiencia; la optimización del sistema además de mejorar la captación de energía, mejora la estabilidad operativa (Hoxha, 2024).

En Ecuador, la Sierra tiene un gran potencial para la producción de energía eólica, como lo demuestra el Proyecto Eólico Huascachaca, ubicado en la provincia de Loja, que ha alcanzado un avance del 98% en su construcción, evidenciando el compromiso del país con el desarrollo de

fuentes renovables (Ministerio de Energía y Minas, 2023). Asimismo, la Central Eólica Villonaco, que ha sido reconocida por su alto factor de planta y su capacidad de generación de 16,5 MW, contribuyendo al suministro eléctrico nacional (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2024).

Además de ser un ejemplo de desarrollo eólico, la Central Eólica Villonaco ha marcado un hito en el aprovechamiento de los recursos eólicos del país, demostrando la viabilidad y el potencial de esta fuente de energía renovable, sirviendo también como modelo para futuros desarrollos eólicos en otras regiones del país (Ministerio de Energía y Minas, 2022). A medida que se han desarrollado tecnologías y se ha ampliado la conciencia en cuanto a la sostenibilidad energética, la energía eólica se ha vuelto esencial en la diversificación de la matriz energética nacional (Díaz, 2023).

La optimización del control en aerogeneradores ayuda a maximizar la eficiencia de la energía eólica, dado que la variabilidad en la velocidad del viento impacta directamente en su rendimiento, permitiendo que los aerogeneradores se ajusten a las fluctuaciones en la intensidad del viento (Alave, 2022). En este contexto, el proyecto surge ante: “La falta de equipos adecuados que permitan analizar el funcionamiento de los aerogeneradores y el comportamiento del viento, como respaldo efectivo para las clases teóricas”.

1.3 Planteamiento del problema.

En el laboratorio de potencia de la carrera de Ingeniería Eléctrica, no se cuenta con equipos especializados que permitan simular de manera detallada el funcionamiento de un aerogenerador ni el comportamiento dinámico del viento, lo cual dificulta el proceso de aprendizaje práctico tras la impartición de contenidos teóricos respecto a la generación eólica; esta limitación impide a los estudiantes analizar de forma correcta los efectos de variables como la velocidad del viento, la respuesta del sistema ante cambios en la carga, o los ajustes en el control de potencia.

La falta de herramientas tecnológicas que reproduzcan escenarios reales de operación con energías renovables, principalmente en sistemas eólicos, representa una brecha importante en la formación profesional, dado que no permite contrastar los principios teóricos con resultados experimentales; esto podría ser crítico si se toma en cuenta que la energía eólica conforma el modelo energético global en expansión, y su estudio requiere una base práctica sólida. Por tanto, limita la capacidad del estudiante para comprender las complejidades del comportamiento dinámico de un aerogenerador.

Delimitando el problema al entorno del laboratorio, la investigación se enfoca en la necesidad de implementar un sistema optimizado de control de potencia para aerogeneradores, con el fin de facilitar el análisis y la comprensión del comportamiento eléctrico y mecánico de estos sistemas bajo condiciones simuladas, usando tecnología como el software LVDAC-EMC para obtener curvas de rendimiento y evaluar su eficiencia en función de parámetros ajustables, lo cual permite el desarrollo de habilidades en el ajuste de variables críticas.

1.3.1 Árbol de Problemas



1.3.2 Árbol de Objetivos



1.3 Justificación.

El proyecto se realiza ante la necesidad de optimizar los procesos de conversión energética mediante el desarrollo de un sistema de control de potencia avanzado aplicado a un aerogenerador en un entorno de laboratorio. La incorporación de tecnologías como el software LVDAC-EMS permitirá una supervisión precisa y en tiempo real de las variables eléctricas y mecánicas del sistema, favoreciendo el análisis de datos con mayor exactitud para comprender el comportamiento del aerogenerador bajo distintas condiciones de operación.

Dicho lo anterior, el proyecto busca mejorar la eficiencia energética y operativa del equipo y potenciar el aprendizaje práctico de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electricidad, quienes podrán aplicar conocimientos teóricos en un contexto experimental controlado. La manipulación de variables como la velocidad del viento simulada, la carga eléctrica y el control de la potencia activa y reactiva ayuda a reproducir condiciones operativas reales, lo que aporta un entendimiento más profunda de los desafíos vinculados al aprovechamiento de la energía eólica; esta aproximación técnica favorece el entendimiento de los procesos de conversión, regulación y gestión de potencia en sistemas de generación renovable, importantes en la formación de ingenieros del sector energético (Freire, 2022).

En este contexto, la implementación de este sistema de control constituye una herramienta esencial para la formación académica, debido a que propicia el desarrollo de competencias analíticas, técnicas y críticas en el manejo de aerogeneradores. Igualmente, fomenta la innovación y el pensamiento dirigido a la mejora continua en un área estratégica para el futuro energético del país, aportando al componente práctico de la malla curricular y fortaleciendo el vínculo entre teoría y práctica con un alto valor educativo.

1.4 Delimitación.

1.4.1 Delimitación temática

Este estudio se enfoca en la optimización del control de potencia en un aerogenerador didáctico (modelo 8216 de Festo) a través de la emulación y simulación de condiciones variables de viento en el laboratorio de potencia. Se busca aumentar la eficiencia energética del sistema y robustecer el aprendizaje práctico usando el software LVDAC-EMC y otros módulos complementarios.

1.4.2 Delimitación espacial

El estudio se desarrollará 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.

1.4.3 Delimitación temporal

La ejecución de la investigación, recolección de datos, implementación de estrategias de control y análisis de resultados se enmarca en el período académico correspondiente al año 2025.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General

Diseñar y Optimizar el control de Potencia en un Aerogenerador, mejorando su Eficiencia Energética.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento del generador en diferentes condiciones de viento.
- Implementar estrategias de control para maximizar la captación de energía.
- Evaluar la estabilidad del sistema de control en condiciones extremas.

CAPÍTULO 2.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Energía Eólica

Hoy en día, las fuentes renovables de energía (FRE) favorecen las políticas energéticas globales, dado que representan una alternativa sostenible frente a los combustibles fósiles, minimizando considerablemente las emisiones contaminantes (Quesada, 2023). Entre estas fuentes, la energía eólica destaca por su capacidad para producir electricidad limpia y su bajo impacto ambiental, factores que han incentivado su adopción a gran escala y donde la instalación de aerogeneradores continúa en constante desarrollo (Solano, 2021).

La generación de electricidad mediante energía eólica aparece en el año 1887, cuando Charles F. Brush desarrolló la primera turbina eólica capaz de producir energía eléctrica, marcando un precedente para el desarrollo de esta tecnología y representado un avance en el aprovechamiento del viento como fuente renovable de energía (Vergara, 2020). Durante el siglo XX, los avances en aerodinámica impulsados por la industria aeronáutica ayudaron a establecer criterios técnicos para el diseño de aerogeneradores, optimizando su rendimiento en diferentes condiciones de viento (Guanuchi, 2024).

El control del sistema de energía eólica en cuanto a los aerogeneradores, se enfoca en aumentar la producción energética, disminuir las cargas estructurales para prolongar la vida útil de las turbinas y asegurar la estabilidad del sistema eléctrico al que están conectadas (Jahantigh, 2023); estas funciones ayudan a tener un mejor rendimiento técnico y aportan al desarrollo sostenible de las naciones, donde la generación eficiente de electricidad es un punto importante del progreso al revelar el bienestar y desarrollo de una sociedad (Sánchez, 2021).

La energía eólica se produce a través de aerogeneradores, también conocidos como turbinas eólicas, formados por componentes como las palas, el rotor y el generador; cuando el viento incide sobre las palas, estas capturan la energía cinética y la transforman en energía mecánica de rotación (Castillo, 2024). Este dispositivo está diseñado para extraer la energía útil del viento; el movimiento de las palas genera una rotación que, a través de la caja multiplicadora aumenta la velocidad para que al final el generador la transforme en energía eléctrica (Solano, 2021).

2.2 Aerogeneradores

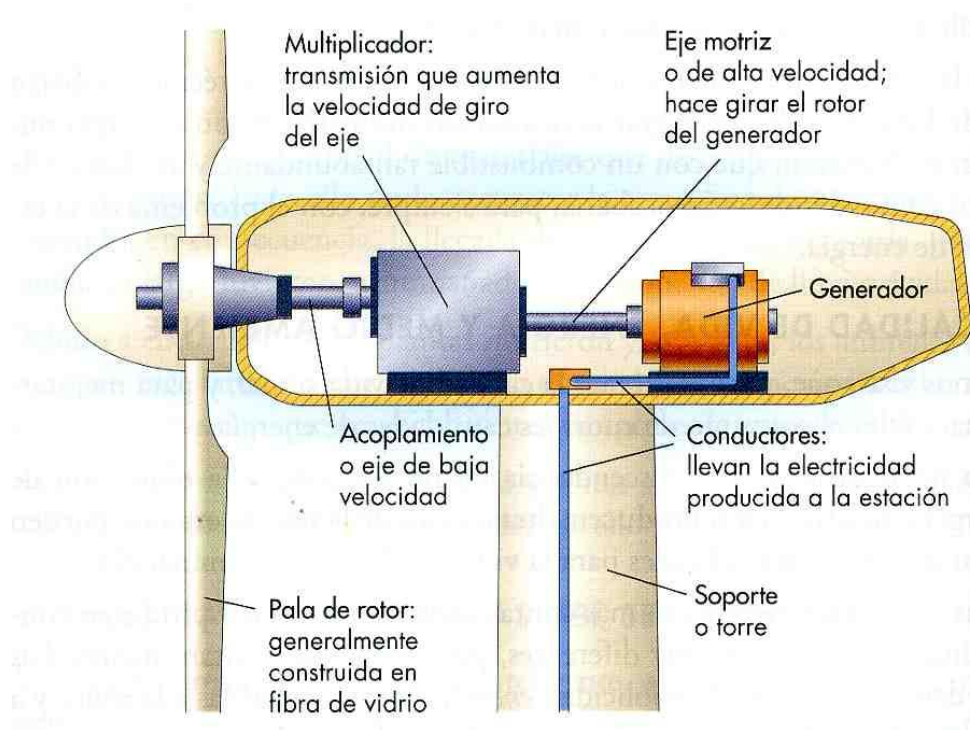
Un aerogenerador es un dispositivo creado para generar electricidad a partir de una turbina impulsada por el viento, también conocida como turbina eólica, cuyo origen se remonta a los antiguos molinos de viento utilizados para moler grano (Guanuchi, 2024). Este sistema electromecánico captura la energía cinética del viento por medio de la turbina y la convierte en energía mecánica rotacional, la cual es transmitida desde el eje de baja velocidad al eje de alta velocidad mediante una caja multiplicadora, para al final transformarse en energía eléctrica a través del generador (Freire, 2022).

2.2.1 Funcionamiento del aerogenerador

El aerogenerador inicia su puesta en marcha cuando al pasar un periodo de monitoreo, la velocidad promedio del viento supera el umbral necesario para arrancar; estos dispositivos operan bajo diferentes modos, ajustándose tanto a las condiciones variables del viento como a las demandas cambiantes de generación energética (Guanuchi, 2024). Entre los modos de operación más comunes se encuentran el funcionamiento normal, el funcionamiento a carga parcial, el funcionamiento en vacío y la parada del aerogenerador, cada uno diseñado para optimizar el rendimiento y proteger los componentes del sistema (Adebayo, 2025).

Figura 1

Funcionamiento de un aerogenerador



Nota. Funcionamiento de un aerogenerador. Fuente: Guanuchi (2024).

2.2.2 Componentes principales del aerogenerador

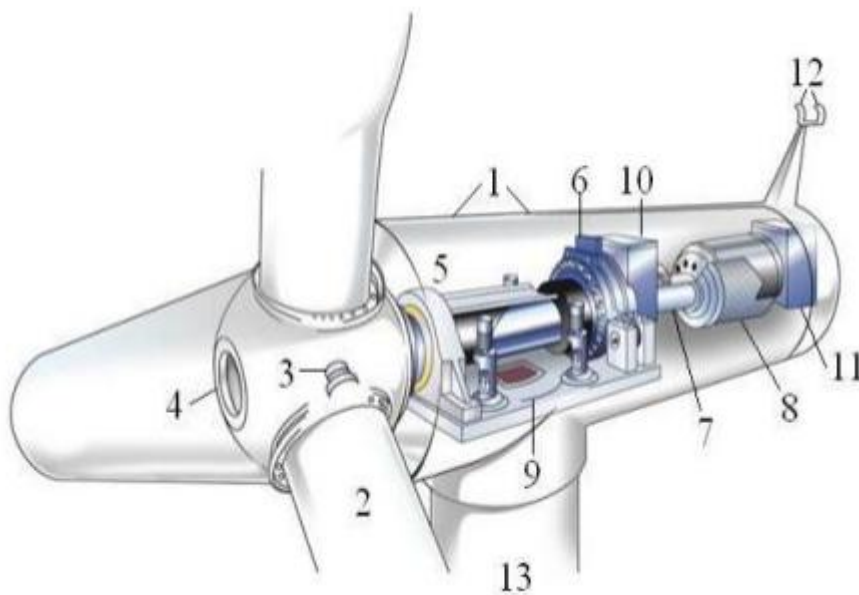
Los sistemas de conversión de energía eólica (WECS, por sus siglas en inglés), también conocidos como aerogeneradores o generadores eólicos, transforman la energía cinética del viento en energía mecánica que luego se usa para producir electricidad (Castillo, 2024). Un WECS típico está compuesto principalmente por la turbina eólica, el generador, los sistemas de control y los sistemas de interconexión, que juntos ayudan a su funcionamiento eficiente y seguro (Méndez, 2023); los componentes que forman parte de un sistema de conversión de energía eólica (WECS) tal como se muestran en la Figura 2, incluyen los siguientes elementos:

- Góndola
- Álabes (aspa)
- Actuador sistema de paso

- Buje
- Eje de baja velocidad
- Multiplicador
- Eje de alta velocidad con freno mecánico
- Generador
- Sistema de orientación
- Sistema de control
- Anemómetro y veleta
- Torre

Figura 2

Componentes de un aerogenerador



Nota. Componentes de un aerogenerador. Fuente: Castillo (2024).

Los aerogeneradores están compuestos por elementos que trabajan en conjunto para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica; entre los componentes se encuentran las palas o álabes, que capturan el viento y generan el movimiento rotacional (Reyes, 2022). Asimismo, el rotor, que gira gracias a las palas; y el buje, que conecta las palas con el eje principal;

la góndola, que aloja el generador, la caja multiplicadora y otros sistemas mecánicos, protege y soporta estos elementos, permitiendo su funcionamiento óptimo bajo condiciones ambientales variables (Lamas, 2024).

De igual manera, el aerogenerador cuenta con sistemas auxiliares como la caja multiplicadora, que aumenta la velocidad de rotación para adecuarla al generador eléctrico, y el sistema de control que regula parámetros críticos como el ángulo de paso de las palas y la velocidad del rotor para mantener la operación segura y eficiente (Vera, 2022). La torre sostiene la góndola y el rotor a una altura que maximiza la captura del viento, mientras que sensores como el anemómetro y la veleta miden la velocidad y dirección del viento para optimizar el control (Kovalnogov, 2022).

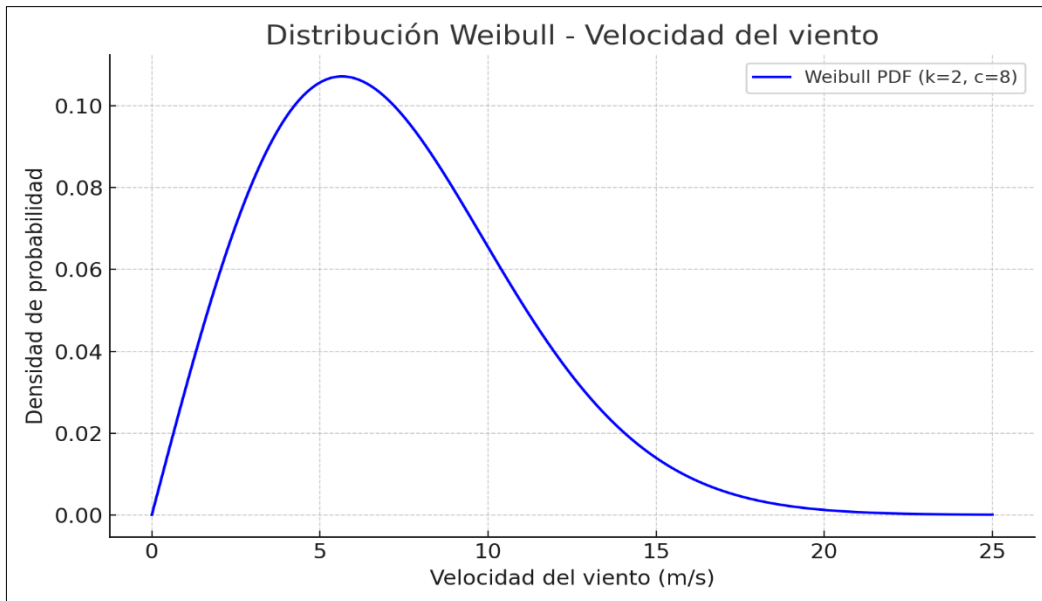
2.3. Análisis de parámetros del aerogenerador

2.3.1 Distribución de Weibull

El análisis estadístico asociado a los recursos eólicos son alternativas destacadas para impulsar el control de potencia de los aerogeneradores, entre las herramientas más utilizadas, que son empleadas en el manejo de modelado de la variabilidad del viento está la distribución de Weibull (Constante et al., 2021). La distribución de Weibull como se muestra en la Figura 3, se determina con dos parámetros. K (parámetro forma), e (parámetro de escala), ambos aportan con el cálculo de la densidad de probabilidad de las velocidades del viento y por lo tanto determinar cuanta energía podría extraer un aerogenerador (Pino, 2023).

Figura 3

Distribución Weibull para la velocidad del viento



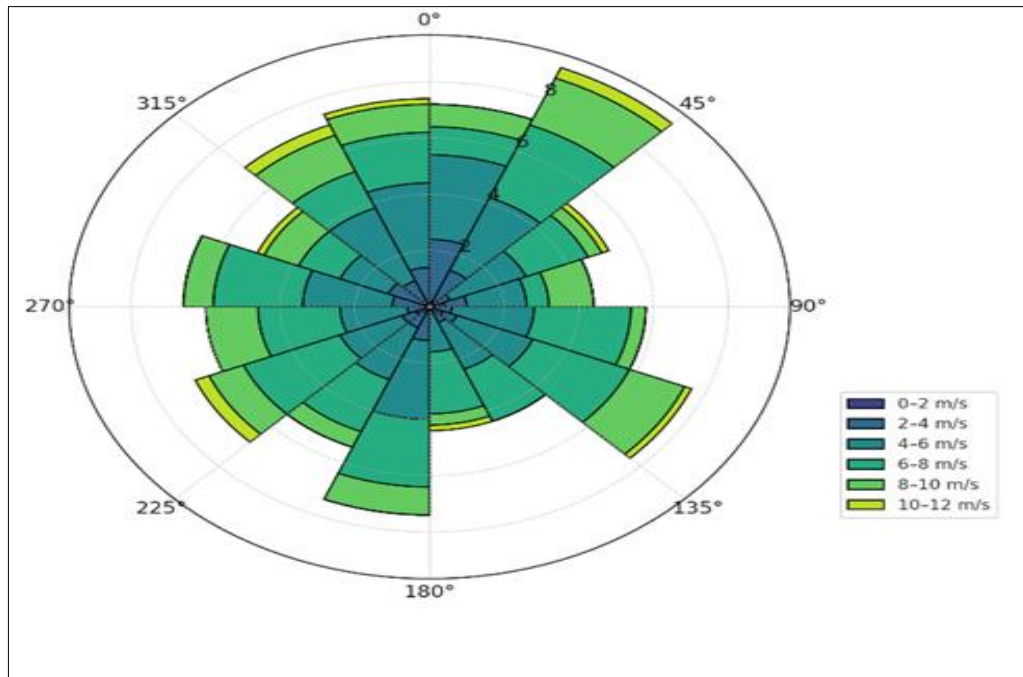
Nota. Se indica la distribución de Weibull, parámetros: (forma $k = 2$, escala $c = 8$ m/s), (Fuente. Tomado de (Constante, 2021)).

2.3.2 Rosa de vientos

La Rosa de los vientos, es una representación de tipo gráfico, con la que se puede observar la dirección y frecuencia del viento, en un lugar escogido y durante un periodo d de tiempo, desempeña un rol importante en la planificación y control de los aerogeneradores (Porras, et al., 2023) Con la rosa de los vientos, se puede establecer la dirección predominante del viento, ajustar el ángulo del rotor para ampliar la captación de energía, y sobre todo mejorar la ubicación del aerogenerador en el entorno limitado de un laboratorio o directamente del parque eólico simulado (Smith, 2024).

Figura 4

Rosa del viento para cálculo de la energía



Nota. Representación de rosa de los vientos, Fuente. Tomado del estudio de (Smith, 2024).

En los cálculos de energía de la rosa de los vientos como se muestra en la Figura 4 en un laboratorio, se manejan instrumentos como anemómetros y veletas, se conectan a sistemas de adquisición de información, se pasa al registro de velocidad y dirección del viento, conectados al sistema de datos, generando la rosa de los vientos. (Cabrera et al., 2024). Con la información generada a través de la rosa de los vientos, se puede calibrar el sistema de control de orientación de rotor (yaw), representar en condiciones climáticas reales, las pruebas de optimización y mejorar los algoritmos de control de potencias (Smith, 2024).

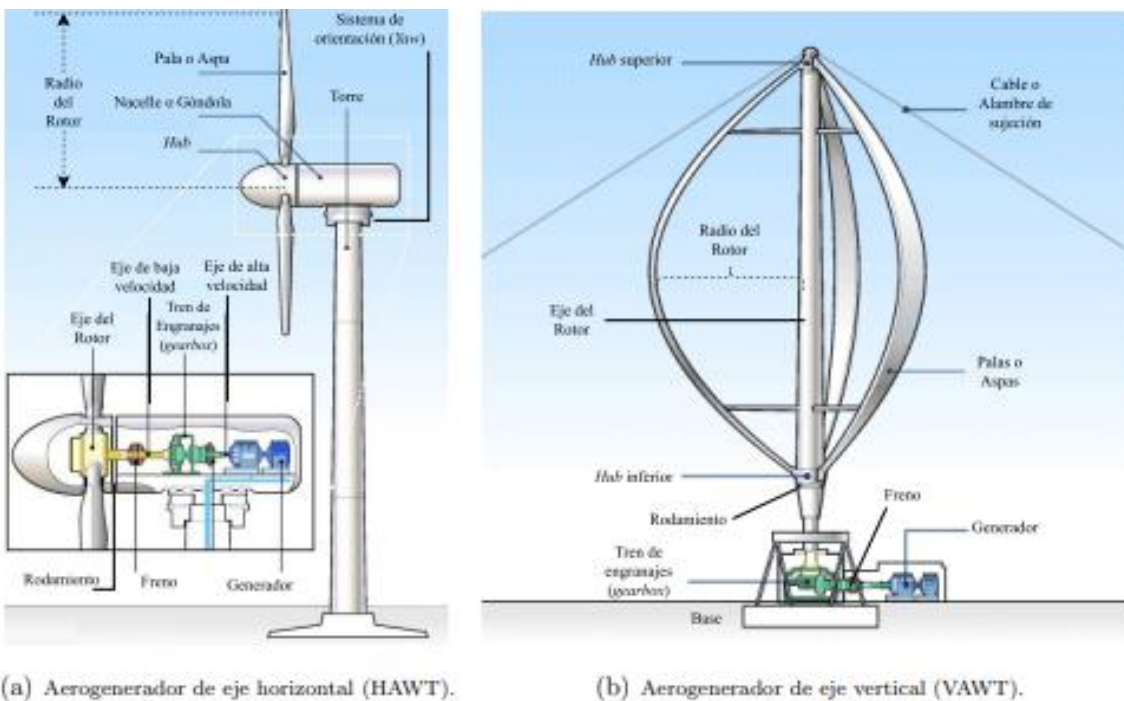
2.4. Tipos de aerogeneradores

Los aerogeneradores convierten la energía cinética del viento en energía mecánica, y se clasifican principalmente en dos tipos según la orientación de su eje: eje horizontal y eje vertical, ambos basados en el mismo principio fundamental (Solano, 2023). En los aerogeneradores de eje

horizontal como se muestra en la Figura 5, el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento, lo que los convierte en los más comunes para la generación eléctrica debido a su eficiencia y diseño probado, mientras, los aerogeneradores de eje vertical tienen su eje perpendicular a la dirección del viento (Palma, 2024).

Figura 5

Aerogenerador de eje horizontal y vertical



Nota. Funcionamiento de un aerogenerador. Fuente: Malo (2022).

Los aerogeneradores de eje horizontal son los más utilizados en la industria debido a su alta eficiencia y capacidad para aprovechar mejor la energía del viento; estos sistemas cuentan con un mayor coeficiente de potencia (C_p), convirtiendo una mayor proporción de la energía cinética del viento en energía eléctrica (Malo, 2022). Además, su diseño permite barrer áreas más amplias con sus palas, aumentando la captura de viento y la generación de potencia; esta capacidad se ve favorecida por la posibilidad de aprovechar el incremento de velocidad del viento a mayor altura (Rodríguez, 2023).

Por otro lado, los aerogeneradores de eje vertical pueden capturar el viento desde cualquier dirección sin perder eficiencia; esta característica facilita el mantenimiento, dado que sus componentes son más accesibles y no requieren mecanismos para ajustar el ángulo de las palas (Burton, 2021). Aunque su coeficiente de potencia es usualmente menor que el de los aerogeneradores de eje horizontal, su simplicidad mecánica y versatilidad los transforman en una opción atractiva para proyectos de menor escala o en espacios confinados (Palma, 2024).

Escoger el tipo de aerogenerador adecuado para emplear en la generación de energía renovable es importante y se logra con la investigación, la práctica y conocimiento de sus características, es de utilidad escoger el adecuado para emplear según las características medioambientales del lugar (Salazar, 2024), son varios los tipos de aerogeneradores que se emplean en la generación de energía eólica, pero son cuatro los modelos más importantes y considerados adecuados para estos procesos, por sus características, ventaja y aplicaciones que se detallan en la Tabla 1 (Matos, 2024).

Tabla 1

Tipos de aerogeneradores - Características

Tipo de Aerogenerador	Características
HAWT (Eje Horizontal)	Consiste en un eje paralelo a nivel del suelo, demanda una orientación al viento y puede integrar entre 2 y 3 aspas largas.
VAWT (Eje Vertical)	Se conforma de un eje perpendicular al suelo, sin orientación, el tipo es Darrieus y Savonius.
Baja Potencia	Necesita una potencia < 100 kW. Se puede escoger entre HAWT o VAWT, como ventaja, el tamaño es pequeño.

Offshore (Marinos)

Son específicamente para ser ubicados en el mar, de eje horizontal, anclados o flotantes.

Nota. Características de tipos de aerogeneradores. Fuente. Información recopilada en (Matos, 2024).

2.4.1 Aerogeneradores HAWT (Eje Horizontal)

El tipo de aerogenerador Hawt, como se muestra en la Figura 6, son de eje horizontal, por sus particularidades de alta eficiencia y madurez tecnológica es uno de los más aplicados en el mundo. El tipo de turbinas, tiene un eje de rotación al nivel de suelo, mientras que la palas giran perpendicularmente al viento (Chilán, 2024). Se destaca el excelente rendimiento, tienen dos o tres aspas, generalmente se instalan en partes altas (torres), con el propósito de mejorar la captación del viento, se precisa un sistema de orientación yaw que dirige las palas en función de la dirección del viento (Matos, 2024).

Figura 6

Aerogeneradores HAWT



Nota. Plataforma eólica de eje horizontal (HAWT) Fuente. Tomado de (Iribar, 2022).

Las palas giran con la fuerza del viento y captan la energía cinética, estas palas, son de considerable longitud y giran incluso con poco viento, en este proceso hacen girar la turbina a una velocidad lenta, y al mismo tiempo se aumenta con un multiplicador, de ahí un generador convierte la energía mecánica en eléctrica (Iribar, 2022). A partir de los parques eólicos, se transfiere la energía a una subestación que distribuye por medio de líneas eléctricas hasta llegar al consumidor final. Son similares los aerogeneradores marinos y terrestres, a diferencia de las palas más grandes de las marinas (Mendoza, 2024).

2.4.2 Aerogenerador VAWT de eje vertical

Los aerogeneradores de eje vertical, son de rotación perpendicular al suelo, esto les permite funcionar de manera independiente a la dirección del viento, es una distinción especial que le otorga gran utilidad en contextos urbanos o áreas donde el viento cambia inesperadamente de dirección (Didane, 2024). Hay dos tipos más reconocidos; Darrieus de estructura curva y el Savonius, de palas semicirculares. El Vawt indicado en la Figura 7, muestra menor eficiencia en comparación con los de eje horizontal, aunque presentan ventajas en la facilidad de mantenimiento e instalación a menor altura (Canul, 2025).

Figura 7

Aerogeneradores VAWT



Nota. Plataforma eólica de eje vertical (VAWT) Fuente. Tomado de (Canul, 2025).

2.4.3 Aerogenerador de baja potencia

Los aerogeneradores de baja potencia como se observa en la Figura 8, tienen una clase de diseño destinados a ser aplicados a escala pequeña, puede ser para la provisión de energía en hogares, emprendimientos como granjas, escuelas rurales o como un sistema independiente de la red eléctrica (Méndez, 2023). Los aerogeneradores de este tipo pueden tener ejes verticales u horizontales, con una potencia de menos de 100 kW, tienen como ventajas su bajo costo de instalación, mantenimiento sencillo y se adaptan fácilmente a diferentes espacios, especialmente en zonas rurales. (Salazar, 2024).

Figura 8

Aerogeneradores de baja potencia



Nota. Aerogeneradores de baja potencia. Fuente. Tomado de (Méndez, 2023).

2.4.4 Aerogenerador offshore en ambientes marinos

Esta clase de aerogenerador marino como se muestra en la Figura 9, se conoce como *offshore*, se los instala en océanos, se aprovecha la velocidad y constancia del viento marino, la mayor parte, tienen ejes horizontales y son anclados al fondo marino con estructuras, en aguas profundas, las plataformas son flotantes (Jiang, 2021). Tienen grandes ventajas, como la generación de enormes cantidades de energía, no presentan daños colaterales como los visuales o acústicos, a diferencia de los terrestres, su instalación tiene costos elevados, y complejidad en la instalación y operatividad en áreas marinas (Pryor, 2024).

Figura 9

Aerogeneradores offshore



Nota. Aerogeneradores marinos *offshore*. Fuente. Tomado de (Jiang, 2021).

2.5. Control de Potencia en Aerogeneradores

2.5.1 Función del control de potencia en el aerogenerador

El control de potencia en un aerogenerador es importante para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro, ajustando la generación de energía según las variaciones del viento, además, un sistema de control adecuado evita la sobrecarga y la subutilización del equipo, mejorando su rendimiento (Thaker, 2024). Mediante técnicas como el control por pitch, velocidad variable y freno aerodinámico, se mantiene el generador dentro de límites operativos seguros y eficientes, maximizando así la captación de energía eólica sin comprometer la estructura (Haiying, 2020).

El control de potencia también cumple una función clave en la protección del aerogenerador, al evitar el sobrecalentamiento de componentes eléctricos y disminuir el desgaste mecánico prematuro; este sistema actúa frente a condiciones extremas de viento (Hegazy, 2025).

En efecto, activa mecanismos de seguridad cuando se superan ciertos umbrales de velocidad; en el caso de vientos fuertes, se puede disminuir o detener la generación para proteger al generador y a la red eléctrica, contribuyendo a un funcionamiento seguro y prolongando la vida útil del equipo (López, 2024).

2.5.2 Técnicas convencionales de control

Las técnicas convencionales de control en aerogeneradores ayudan a mantener la eficiencia y estabilidad operativa ante las variaciones del viento; una de las más usadas es el control por pitch, el cual ajusta el ángulo de las palas para regular la cantidad de viento que incide sobre ellas (Alves, 2025). A su vez, el control por velocidad variable adapta la rotación del rotor según las condiciones del viento, optimizando la captación de energía; gracias a esta estrategia se mejora el rendimiento general y se prolonga la vida útil de los componentes eléctricos y mecánicos del aerogenerador (Benzaou, 2025).

Existen técnicas como el stall control, que modifica el perfil aerodinámico de las palas para limitar la potencia generada cuando el viento alcanza niveles críticos, sin requerir mecanismos móviles, lo que lo hace más económico, aunque menos preciso (Adebayo, 2025). De igual forma, el freno aerodinámico se usa como medida de seguridad en condiciones extremas, permitiendo detener rápidamente el rotor para proteger la turbina de posibles daños; estas estrategias convencionales forman la base del control en los sistemas eólicos modernos (Farah, 2025).

2.5.3 Impacto de las condiciones ambientales en el control de potencia

Las condiciones ambientales pueden afectar los componentes mecánicos, eléctricos y de control; elementos como la humedad, el calor extremo y la presencia de polvo o salitre pueden alterar las propiedades de aislamiento, disminuyendo la vida útil del sistema, lo cual puede ocasionar fallas en sensores y circuitos críticos (Castillo, 2022). En este sentido, los sensores que

miden la velocidad del viento, la posición del rotor o el torque son vulnerables a errores por cambios climáticos abruptos; estos fallos afectan directamente la precisión y estabilidad del control de potencia (Merahi, 2024).

Asimismo, la presencia de contaminantes atmosféricos como partículas en suspensión, óxidos de azufre o compuestos salinos puede acelerar los procesos de corrosión en componentes estructurales y eléctricos de los aerogeneradores (Abdalkareem, 2022). Cuando estos efectos no son controlados, aumenta la probabilidad de sobrecargas e incluso fallos permanentes en los equipos, principalmente en los sistemas de conversión y transmisión de energía cuya confiabilidad es importante para el funcionamiento continuo del aerogenerador (Zahra, 2025).

2.6. Optimización del Control de Potencia

La optimización del control de potencia en aerogeneradores busca mejorar la eficiencia del sistema considerando factores como la velocidad del viento, el ángulo de ataque y la desalineación de guiñada (Urosa, 2020). Ajustes mínimos en estos parámetros pueden aumentar la producción energética, especialmente en parques eólicos donde las turbinas interactúan entre sí; este proceso se apoya en modelos computacionales que ayudan a simular diferentes escenarios operativos y evaluar su impacto respecto a la generación eléctrica (Abdalkareem, 2022).

2.6.1 Tecnologías avanzadas para el control

El control de potencia en los sistemas eólicos está diseñado para regular la generación de energía y evitar sobrecargas, en situaciones de viento fuerte, se utiliza un sistema de control para limitar la cantidad de energía captada, protegiendo los componentes del aerogenerador y evitando fallas mecánicas (Garcés, 2020); esto se realiza a través de técnicas como el control de paso, donde las palas del rotor ajustan su ángulo para disminuir la fuerza del viento, o el control de par que regula la velocidad del rotor (Mukund, 2021).

Un sistema de control de potencia optimizado garantiza la protección del sistema en condiciones adversas; esto incluye la capacidad de disminuir la velocidad del rotor en caso de ráfagas de viento que superen los límites operativos seguros (Conrado, 2021). La optimización de estos controles es importante para aumentar la vida útil de los aerogeneradores, reducir los costos de mantenimiento y minimizar las interrupciones operativas al asegurar que el sistema funcione dentro de los parámetros óptimos en todo momento (Sosa, 2020).

Una de las estrategias es el uso del control de velocidad variable, el cual sirve para operar los aerogeneradores en su punto de máxima eficiencia; en este sistema el convertidor de frecuencia ajusta continuamente la velocidad del rotor para mantener una relación de velocidad óptima entre el viento y las palas (Sosa, 2020). Asimismo, permite que el sistema opere en su coeficiente de potencia máxima, resultando en un incremento significativo en la energía generada anualmente, a menudo entre un 20 y 30% más (Mukund, 2021).

Además del control de velocidad variable, el control activo de paso es una de las tecnologías más confiables, dado que el ángulo de las palas se ajusta para regular la potencia generada, protegiendo al generador en condiciones de vientos fuertes y evitando la desconexión prematura del sistema (Conrado, 2021). La precisión de este sistema permite una operación continua incluso en condiciones meteorológicas cambiantes, debido a que las turbinas pueden adaptarse de forma rápida a los cambios de velocidad del viento, manteniendo un flujo constante de energía hacia la red (Álvarez, 2022).

El seguimiento de picos de potencia es otra tecnología avanzada que se usa para mantener el aerogenerador operando en su punto de máxima potencia; este esquema ajusta la velocidad del rotor en pequeños incrementos para evaluar continuamente la relación entre la potencia generada y la velocidad del viento (González, 2022). Al optimizar esta relación de forma continua, el

aerogenerador puede adaptarse eficientemente a distintas velocidades del viento, asegurando que siempre se encuentre cerca de su punto de máxima eficiencia energética (Garcés, 2020).

2.6.2 Estrategias de control dinámico

La estrategia clave es el control de velocidad variable, el cual permite ajustar la velocidad del rotor de acuerdo con las fluctuaciones del viento, maximizando el rendimiento energético; este sistema adapta la velocidad de rotación del generador, manteniéndolo en su punto de máxima eficiencia (Garcés, 2020). La capacidad de variar la velocidad permite al aerogenerador operar en un rango más amplio de velocidades de viento sin comprometer su estabilidad o su capacidad de generar energía de manera eficiente (Sosa, 2020).

2.6.3 Integración con sistemas eléctricos existentes

La integración del sistema de control de potencia de los aerogeneradores con sistemas eléctricos existentes ayuda a optimizar tanto la generación como la transmisión de energía, uno de los principales desafíos es la adaptación de los aerogeneradores, que operan a velocidad variable, con las redes eléctricas que funcionan a frecuencias fijas (Álvarez, 2022). Esto se soluciona a través de convertidores de potencia que ajustan la frecuencia y tensión de salida del generador eólico antes de conectarlo a la red; los convertidores, usualmente de tipo CA/CC o CC/CA permiten un acoplamiento eficiente y estable entre el sistema eólico y la red (Mukund, 2021).

La integración de los sistemas de control de potencia también requiere un enfoque en la coordinación con la red eléctrica mediante sistemas avanzados de control supervisor, los cuales ajustan la generación de potencia de cada aerogenerador en función de las condiciones del viento y los requerimientos de la red (Álvarez, 2022). La coordinación asegura que los aerogeneradores funcionen de manera eficiente sin sobrecargar o desestabilizar la red a la que están conectados, lo

que contribuye a una mayor estabilidad del sistema eléctrico en su conjunto, disminuyendo el riesgo de fallos y mejorando la confiabilidad del suministro (Conrado, 2021).

2.7 Simulación y Entorno de Laboratorio

El Dinamómetro o Fuente de Alimentación de Cuatro Cuadrantes reproduce con precisión el efecto del viento en el rotor de un aerogenerador a pequeña escala, emulando la característica torque-velocidad típica que se presenta cuando el viento sopla a determinada velocidad en un aerogenerador real (Palma, 2024). Además, permite al usuario controlar variables como la velocidad del viento simulada y la densidad del aire, mientras, el emulador eólico simula el comportamiento del viento que impulsa las aspas del aerogenerador a través de la integración de equipamiento físico y software especializado (Zeel, 2023).

El sistema LVDAC-EMS se consolida como una herramienta importante en entornos de simulación orientados a las energías renovables, al integrar dispositivos como osciloscopios virtuales, analizador de fasores y analizador de armónicos; estas funciones ayudan al monitoreo detallado y en tiempo real de parámetros eléctricos y mecánicos primordiales en la operación de aerogeneradores (Lab-Volt Systems., 2025). Igualmente, su interfaz de adquisición de datos aporta al análisis en tiempo real, favoreciendo el diseño y validación de estrategias de control más robustas y eficientes para sistemas de generación eólica (Torres, 2022).

El uso del software LVDAC-EMS en conjunto con el emulador de turbina eólica ayuda a la creación de escenarios experimentales representativos, permitiendo analizar el comportamiento dinámico de aerogeneradores bajo distintas condiciones de viento; esto contribuye al desarrollo y validación de técnicas avanzadas de control (Méndez, 2023). Asimismo, se pueden reproducir condiciones extremas o inusuales de operación, que serían difíciles de replicar en campo; esto

implica que la integración de hardware y software en el laboratorio ofrezca una plataforma integral para optimizar el rendimiento y la confiabilidad de los sistemas eólicos (Garcés, 2020).

Por otro lado, una red neuronal es capaz de ajustar sus pesos internos y disminuir errores incluyendo a contextos con alta variabilidad y ruidos, actualmente se plantean redes neuronales profundas y convolucionales empeladas en los controles predictivos de aerogeneradores, logrando obtener eficiencia energética (Zhao et al., 2022). Las redes neuronales han demostrado ser competentes, mantienen gran capacidad para adaptarse de forma continuada; esto facilita que las RNA sean idóneas para ser aplicadas en sistemas de control avanzados en laboratorios de potencia y en escenarios reales (Chacón, 2023).

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL PROYECTO, MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Metodología

El proyecto se enmarca dentro de una investigación de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, dirigido a analizar el comportamiento del sistema aerogenerador-emulador bajo condiciones controladas de laboratorio. La investigación se desarrolla mediante una simulación y emulación, usando herramientas específicas para el monitoreo y adquisición de variables eléctricas y mecánicas, con el fin de evaluar la efectividad de un sistema de control de potencia optimizado.

El procedimiento se realiza en un entorno de laboratorio, donde se emplea el software LVDAC-EMS, el cual permite la adquisición de datos en tiempo real a través de instrumentos como el osciloscopio, el analizador de fasores y el analizador de armónicos. La unidad de análisis está compuesta por el sistema aerogenerador-emulador, el cual es sometido a muestras experimentales definidas por distintos escenarios de viento simulados. El proceso metodológico está conformado de las siguientes partes:

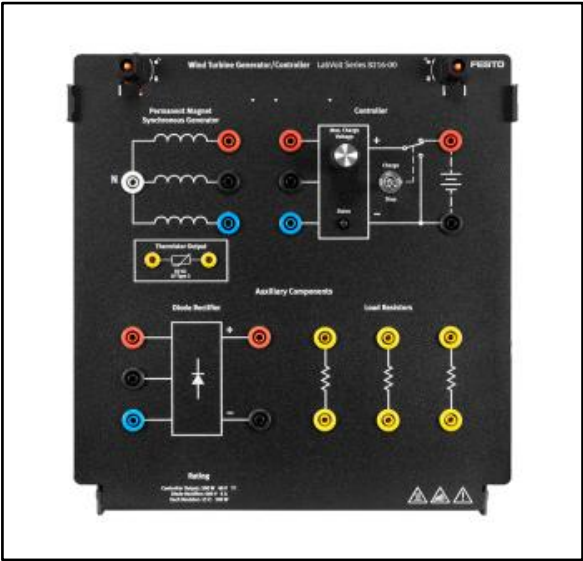
- Revisión de antecedentes técnicos y bases teóricas del control de potencia en sistemas eólicos.
- Configuración del aerogenerador en el entorno de simulación, incluyendo el modelado del viento, el ajuste del generador, la conexión al electrodinamómetro y la integración con el software.
- Ejecución de prácticas experimentales, en las que se someten los sistemas a diferentes condiciones de viento y carga.
- Monitoreo y registro de datos, donde se recolectan variables como velocidad, corriente, voltaje y potencia generada.

- Análisis de resultados, mediante tablas y gráficos generados por el software.
- Formulación de conclusiones que ayudan a valorar el impacto del sistema propuesto.

3.2. Alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02)

Figura 10

Alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02)



Fuente: FESTO (2024).

Tabla 2

Características del alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02)

Parámetro	Valor
Tipo de aerogenerador	Accionamiento directo, rotor de tres palas de paso fijo
Salida del controlador	
Potencia	200 W a una velocidad del viento de 12,5 m/s (28 mph)
Rango de tensión de carga	54.4-68.0 V

Tensión de batería recomendada	48 V
Diodo rectificador	600 V – 6 A
Resistencias de potencia	
Valores	15 Ω – 100 W (cada resistencia)
Cantidad	3
Características físicas	
Dimensiones (H x W x D)	308 x 291 x 440 mm (2.1 x 11.5 x 17.3 pulg.)
Peso neto	12.0 kg (26.4 lb)

Fuente: FESTO (2024).

El del alternador/Controlador de aerogenerador (8216-02) representado en la Figura 10, en la Tabla 2 se indican las características de fábrica del módulo a tomar en cuenta para no pasar los límites y prolongar una sobrecarga (FESTO, 2024). En este contexto, el módulo fue relevante en cuanto a la implementación en el laboratorio de potencia de la carrera de electricidad en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

3.3. Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32

Figura 11

Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32



Fuente: FESTO (2024).

Tabla 3

Características del dinamómetro de cuatro cuadrantes 8960-32

Parámetro	Valor
Modo Dinamómetro	
Par magnético	0 to 3 N·m (0 to 27 lbf·in)
Sentido de rotación	CW / CCW
Velocidad	0 to 2500 r/min
Potencia nominal	350 W
Modo de alimentación	
Tensión CC	0 a ± 150 V
Tensión CA (RMS)	0 a 105 V (sin carga)
Corriente CC	0 a ± 5 A

Corriente alterna (RMS)	0 a 3.5 A
Potencia máxima de salida	500 W
Frecuencia CA	10 a 120 Hz
Funciones de control	
Conjuntos activados	Funciones estándar (control manual), modelo 8968-1
	Funciones estándar (control por ordenador), modelo 8968-2
	Cargador de baterías de plomo-ácido, modelo 8968-4
Pantalla de cristal líquido (LCD)	76 mm (3 in), monocromo, fondo iluminado, 240 x 160 puntos
Entradas de control	
Entrada de mando	0 a ± 10 V
Entrada de termistor	10 k Ω , tipo 1
Salidas de control	
Codificador del eje	Codificador en cuadratura (A-B) - 360 impulsos/revolución - Compatible
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 de alimentación	120 V - 6 A - 60 Hz, debe incluir cables de corriente, neutro y tierra

Requisitos del ordenador	Un ordenador personal actualmente disponible con puertos USB 2.0, que funcione con uno de los siguientes sistemas operativos: Windows® 7 o Windows® 8.
Características físicas	
Dimensiones (H x W x D)	308 x 287 x 490 mm (12.1 x 11.3 x 19.3 pulg.)
Peso neto	19.5 kg (43.0 lb)

Fuente: FESTO (2024).

El Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32 detallado en la tabla 3 y representado en la Figura 11, es útil para sistemas de entrenamiento de tecnología de energía eléctrica, principalmente en energía renovable, como fotoeléctricos, viento e hidrógeno, y 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, 2024). El módulo está disponible en el laboratorio de potencia de la carrera de Ingeniería en electricidad en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

3.4. Módulo de carga resistiva

Figura 12

Módulo de carga resistiva



Fuente: FESTO (2024).

Tabla 4

Características del Módulo de carga resistiva

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

Fuente: Festo (2024).

El Módulo de carga resistiva caracterizado en la Tabla 4 y representado en la Figura 12 contiene nueve resistencias de potencia de devanado colocadas en tres bancos idénticos, cada banco consta de tres resistencias conectadas en paralelo para obtener distintos valores de resistencia; esto gradualmente le permite aumentar o disminuir la resistencia total de cada banco (FESTO, 2025). Además, tres bancos de resistencia pueden conectarse por separado con el trabajo en circuitos de tres fases y también pueden conectarse entre sí para trabajar en esquemas de una sola fase.

3.5. Conectores tipo banana

Figura 13

Conectores tipo banana



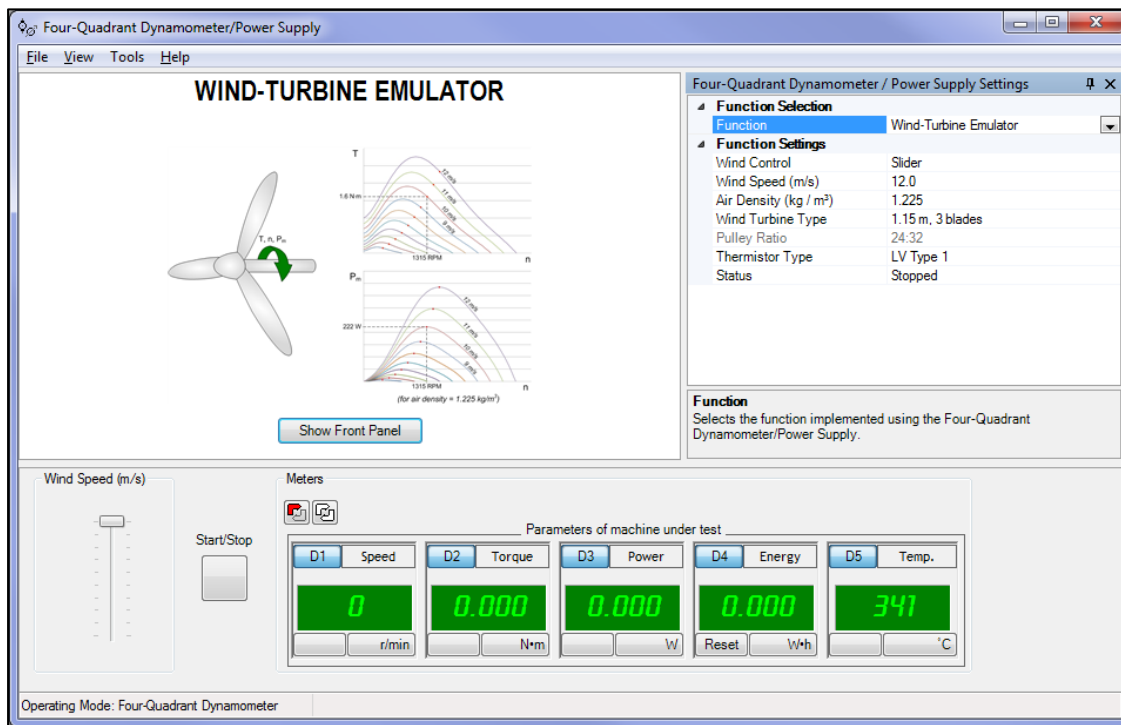
Fuente: SEIPE (n.d).

Los cables tipo banana representados en la Figura 13 se usaron para la conexión entre los equipos, lo cuales ayudaron con la conexión rápida y apta para la conexión en los módulos descritos (SEIPE, n.d); esta herramienta se encuentra en el laboratorio de potencia de la carrera de electricidad en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

3.6. Software LVDAC-EMS

Figura 14

Software LVDAC-EMS



Fuente: FESTO (2024).

Tabla 5*Software LVDAC-EMS*

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)

Fuente: FESTO (2024).

El software LVDAC-EMS indicado en la Figura 14 es una herramienta de fácil manejo que facilita el uso de las distintas funciones que pueden implementarse con periféricos USB como la Interfaz de Control y Adquisición de Datos (DACI), modelo 9063, y el Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32 (FESTO, 2024). En la Tabla 5 se describen las características del software, lo cual ayuda a que el motor de CC de imán permanente del Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32 pueda generar con precisión el efecto del viento en el rotor de palas de un aerogenerador de poco tamaño.

3.7. Pinza amperimétrica Fluke 301D/ESP, 600A AC/DC

Figura 15

Pinza amperimétrica Fluke 301D/ESP, 600A AC/DC



Fuente: Fluke 301D/ESP Palm-Sized AC/DC. (2025).

La pinza amperímetros 600 A, representada en la Figura 15, cuenta con un sistema versátil para realizar medidas, lo cual es gracias a su pantalla LCD de fácil lectura y con su función AC/DC, se puede usar para una amplia gama de aplicaciones, incluidas aquellas que requieren pruebas de CC, como energía eólica obteniendo mediciones de corriente alterna, continua, tensión, resistencia, frecuencia y continuidad.

3.8 Multímetro digital

Figura 16

Multímetro digital



Fuente: Multímetro Industrial Fluke 87V | Fluke (2025).

El Multímetro digital como se muestra en la Figura 16, cuenta con una innovadora tecnología, que ayuda a realizar medidas precisas de voltaje, corriente, frecuencia y resistencia. Además, su alta precisión y tecnología resultan útiles al momento de realizar mediciones en equipos sensibles de laboratorio; para este estudio nos ayuda mucho debido a que se cuenta con la medición de Corriente Continua (DC) por su gran sensibilidad (Fluke, 2025).

3.7. Análisis de Resultados (Prácticas)

3.7.1 Práctica <<TS.4.03-01>>: Caracterización del generador eólico a distintas velocidades del viento

En la práctica representada en la Tabla 6 se analizó el comportamiento del generador síncrono de imanes permanentes frente a variaciones de velocidad del viento simulada mediante el sistema LABVOLT FESTO 8010-30 (LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine

Generator/Controller (8216-00), s. f.). Se evidenció una relación aproximadamente lineal entre la velocidad del viento y el voltaje generado, lo cual confirma una elevada eficiencia en el rango operativo. El sistema respondió correctamente desde los 5 m/s, demostrando sensibilidad incluso a velocidades bajas. No obstante, a partir de los 12 m/s se observó una proximidad al límite operativo del controlador, indicando la necesidad de ajustes para evitar sobrecargas.

Tabla 6

Caracterización del generador eólico a distintas velocidades del viento

Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (rpm)	Voltaje Generado V (DC)
5	1284	67.7
7	1821	97.2
9	2363	124.5
11	2893	154.2
12	3001	160.7

3.7.2 Práctica <<TS.4.03-02>>: Curva de potencia del aerogenerador en función del viento simulado

La potencia generada por un aerogenerador depende fundamentalmente de la velocidad del viento, siendo esta relación cúbica en aerogeneradores reales; esta práctica busca identificar empíricamente esa relación mediante el uso del emulador del viento del dinamómetro. (datasheet_579487(50-8216) en_120V_60Hz.pdf, s. f.) A partir de datos obtenidos de voltaje y corriente a diferentes velocidades simuladas de viento, tal y como se muestra en la Tabla 7, se determina la curva de potencia vs velocidad del viento, que es fundamental para diseñar estrategias

de control eficientes como MPP (*Maximum Power Point*). (LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00), s. f.).

Tabla 7

Curva de potencia del aerogenerador en función del viento simulado

Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Potencia (W)
5	10.2	0.66	6.73
7	25.9	1.7	44.03
9	41.4	2.74	113.43
11	57.01	3.76	214.35

3.7.3 Práctica <<TS.4.03-03>>: Optimización de variación energética mediante carga resistiva

La potencia entregada por un aerogenerador depende no solo de la velocidad del viento sino también de la carga conectada; esta práctica representada en la Tabla 8 busca determinar cuál configuración de carga resistiva permite obtener la mayor potencia generada (óptima transferencia de energía), ajustando manualmente la resistencia conectada al sistema se observará cómo varía la potencia generada y la eficiencia del sistema, acercándose al concepto de máximo punto de potencia. (MPP el sistema real) (LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00), s. f.).

Tabla 8*Optimización de variación energética mediante carga resistiva*

Resistencia			
conectada (ohms)	Voltaje (DC)	Corriente (DC)	Potencia (W)
300	112	0.36	40.32
150	100.5	0.66	66.33
100	92.2	0.92	84.82
75	84.5	1.12	94.64
57	78.1	1.35	105.43
30	61.2	2.3	124.24

3.7.4 Práctica <<TS.4.03-04>>: Análisis del comportamiento de la tensión de salida ante las variaciones de la densidad del aire

La potencia del viento disponible para un generador no solo depende de la velocidad del viento sino también de la densidad del aire. A mayor densidad mayor energía cinética disponible; este parámetro varía con la altitud, la temperatura y la presión atmosférica, y es un factor importante en el diseño y operación de los generadores. (*datasheet_579669(50-8960-F0)_en.pdf*, s. f.). El software LVDAC-EMS permite modificar la densidad del aire en el Módulo Pequeña Turbina Alternador/controlador de aerogenerador Labvolt series (8216-02); esta práctica representada en la Tabla 9 evalúa cómo la variación de este parámetro afecta la tensión de salida del aerogenerador para una velocidad de viento constante (*LabVolt Series by Festo Didactic - Data Acquisition and Control Interface (9063-00)*, s. f.).

Tabla 9*Tensión de salida ante las variaciones de la densidad del aire*

Velocidad	Densidad	Corriente	Voltaje	Potencia
(m/seg)	(Kg/m³)	(A)	(V)	Medida
				(W)
9 m/s	1,12	0,35	110,1	38,54
9 m/s	1,20	0,36	111,7	40,21
9 m/s	1,30	0,36	111,9	40,28
9 m/s	1,44	0,37	113,5	41,99

3.7.5 Práctica <<TS.4.03-05>>: Comparación del rendimiento de diferentes configuraciones de aerogeneradores simulados

La práctica observada en la Tabla 10 evaluó el rendimiento energético de distintas configuraciones de aerogeneradores simulados, considerando variables como el área de barrido del rotor, el uso de cajas de engranaje y el tipo de control de paso (pitch control). Se utilizó la fórmula $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p$, ajustando el coeficiente de potencia C_p según los elementos incorporados. Se observó que el control de paso mejora significativamente la captación de energía, y que las cajas de engranaje permiten operar al generador cerca de su punto óptimo. En efecto, los sistemas con gestión pasiva mostraron menor rendimiento, aunque siguen siendo útiles en aplicaciones simples.

Tabla 10*Rendimiento de diferentes configuraciones de aerogeneradores simulados*

Tipo de aerogenerador	Velocidad (m/sg)	Diámetro (m)	Resistencia (ohms)	Potencia Generada (Pw)
3 Álabes	6	1,15	150	15,048
3 Álabes	8	1,15	150	29,946
3 Álabes	10	1,15	150	50,28
3 Álabes con caja de engranaje	6	1,15	150	15,312
3 Álabes con caja de engranaje	8	1,5	150	30,194
3 Álabes con caja de engranaje	10	1,5	150	50,12
3Alabes con bloqueo pasivo	6	0,72	150	0,542
3Alabes con bloqueo pasivo	8	0,72	150	0,2823
3Alabes con bloqueo pasivo	10	0,72	150	0,632
3 Álabes con engranaje y control de paso	6	1,15	150	1,561
3 Álabes con engranaje y control de paso	8	1,15	150	0,608
3 Álabes con engranaje y control de paso	10	1,15	150	1,561

3.7.6 Práctica <<TS.4.03.06 >>: Evaluación Integral del sistema con perfil de viento variable estrategia MPPT (curva de máxima potencia)

En la operación real de aerogeneradores las condiciones cambian constantemente, y para maximizar la energía captada se implementan estrategias de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT); esta práctica indicada en la Tabla 11 permite simular el flujo dinámico del viento mediante el software LVDAC-EMS y analizar la capacidad del sistema para adaptarse en tiempo real a estas variaciones. De acuerdo con el entorno real que el controlador intenta mantener la operación del aerogenerador cerca de su punto óptimo de eficiencia, el sistema respondió adecuadamente a las variaciones del tiempo simulado mostrando un comportamiento coherente con la estrategia del punto de máxima potencia implementada.

Tabla 11

Evaluación Integral del sistema con perfil de viento variable estrategia MPPT

Tiempo	Velocidad	Tensión	Corriente	Potencia
(seg)	(m/s)	(V)	(A)	(W)
10	5,5	48.42	0.30	14.53
20	6	55.07	0.35	19.27
30	6,5	60.9	0.40	24.36
40	7	66.7	0.43	28.68
50	7,5	74.3	0.48	35.66
60	8	81.4	0.53	43.14
70	8,5	87.3	0.56	48.89
80	9	93.8	0.61	57.22
90	9,5	100.7	0.66	66.46

100	10	107.4	0.69	74.11
110	10,5	113.5	0.74	83.99
120	11	120.1	0.79	94.88
130	11,5	127.6	0.84	107.84
140	12	133.2	0.87	115.88

3.7.7 Práctica <<TS.4.03.07>>: Característica de la tensión en función de la velocidad en el alternador de un aerogenerador

A través de la práctica indicada en la Tabla 12 se comprobó que tanto la magnitud como la frecuencia de la tensión alterna (CA) generada por un alternador están directamente influenciadas por la velocidad de rotación del rotor. Al aumentar la velocidad de rotación, se incrementa la frecuencia con la que los imanes del rotor cruzan las bobinas del estátor, lo que induce una frecuencia eléctrica proporcionalmente mayor en la tensión generada. Asimismo, se observó que una mayor velocidad de rotación también genera una tensión de mayor amplitud; estos resultados permiten comprender la importancia de controlar la velocidad del rotor en sistemas como los aerogeneradores, especialmente cuando se requiere mantener estable la frecuencia de salida en aplicaciones conectadas a la red eléctrica ya que es crítico mantener la frecuencia de salida dentro de márgenes normativos.

Tabla 12*Tensión en función de la velocidad en el alternador de un aerogenerador*

Velocidad (r/min)	Tensión del Alternador Eg (V)	Frecuencia del alternador Fg (Hz)
535	16.06	52.2
548	17.04	54.36
567	18.01	56.7
593	18.09	59
608	19.03	60.69
638	20.02	64.44
650	21	66.30
681	21.08	68.24
716	23.02	72.77
733	23.2	73.04
755	24	75.37
859	27.2	85.39
963	30.9	96.29
1069	33.9	106.8
1172	37.1	117.2
1259	40.2	125.4
1380	44	137.3
1423	45.1	141.2
1440	46.1	143.6
1486	47	148.1
1500	48	150

Nota. Datos obtenidos en el Software LVDAC-EMS.

3.7.8 Práctica <<TS.4.03.08>>: Influencia del viento en intervalos de parámetros temporales

En la práctica representada en la Tabla 13 se analiza cómo la variabilidad afecta el rendimiento del aerogenerador en diferentes lapsos de tiempo, donde se encuentra una relación entre velocidad y tensión, la velocidad es proporcional al aumento de la velocidad del viento. Además, se observa un incremento lineal.

Tabla 13

Valores velocidad del viento

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
----	--------	------	-------

3.7.9 Práctica <<TS.4.03-09>>: Potencia en función de la velocidad del viento

Tabla 14

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 15

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 16

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

En la práctica representada en la Tabla 16 se encontró que el rendimiento del aerogenerador depende de la velocidad del viento y de la resistencia de carga aplicada, donde a velocidades altas (10 m/s) se alcanzaron los mayores valores de torque y potencia mecánica, con un punto óptimo en resistencias medias donde la conversión eléctrica fue más eficiente, mientras, en condiciones de viento medio (7 m/s) la potencia generada disminuyó de manera proporcional, manteniendo un comportamiento estable hasta un límite en el cual las pérdidas superan la ganancia energética. Para vientos bajos (4 m/s) la producción de energía fue mínima, confirmando que el sistema no opera de forma eficiente en este rango. Además, el vínculo entre velocidad del rotor y torque reveló un incremento hasta un punto de saturación, donde el rendimiento decrece; estos resultados ayudaron a identificar las condiciones óptimas de operación y respaldan la necesidad de un control de carga adaptativo para optimizar el aprovechamiento energético.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

En cuanto al diseño y optimización del control de potencia en el aerogenerador, este ayudó a mejorar su eficiencia energética a través de la integración de estrategias de regulación adaptadas a las variaciones del viento. La simulación y emulación en el laboratorio evidenciaron que un control ajustado disminuye pérdidas energéticas y reduce el desgaste mecánico y eléctrico. El uso del software LVDAC-EMS permitió el monitoreo y análisis de variables críticas en tiempo real, facilitando ajustes precisos; este enfoque permitió mantener el aerogenerador dentro de su rango óptimo de operación, aún ante cambios bruscos en las condiciones simuladas.

El análisis del comportamiento del generador bajo distintas condiciones de viento reflejó un vínculo entre la velocidad, la variabilidad y la eficiencia de conversión energética. Las pruebas en diferentes entornos simulados permitieron identificar puntos de máxima captación y zonas críticas de sobrecarga, donde el registro de parámetros eléctricos y mecánicos ayudó a comparar el rendimiento del sistema antes y después de los ajustes en el control de potencia. Además, se observó que la respuesta del generador es más óptima cuando las estrategias de regulación se adecuan dinámicamente a la velocidad del viento.

La implementación de estrategias de control dirigidas a maximizar la captación de energía resultó efectiva, dado que se pudo realizar un aumento en la potencia generada en los escenarios de viento óptimo. La combinación de control por pitch y control de velocidad variable ayudó a mantener la operación del aerogenerador dentro de los parámetros seguros y eficientes. Las simulaciones evidenciaron que estas técnicas disminuyen pérdidas por inestabilidad y sobrecarga. Además, se encontró una respuesta más estable frente a fluctuaciones rápidas del viento, donde el

análisis de datos reveló que la potencia media producida aumentó respecto a la configuración inicial.

En cuanto a la evaluación de la estabilidad del sistema de control en condiciones extremas, se encontró que un diseño optimizado puede mantener la operación segura del aerogenerador, aún ante ráfagas de viento intensas o caídas de velocidad. Se verificó que el sistema puede adaptarse sin relacionar la integridad estructural con la conexión a la red simulada. Además, la capacidad de respuesta ante cambios bruscos redujo pérdidas energéticas y periodos de inactividad. Por ende, los resultados demuestran que la estabilidad operacional es un factor crítico en el control de potencia, lo cual prolonga la vida útil del sistema y garantiza un funcionamiento seguro.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdalkareem, S., Mireya, P., Salam, Y., Mahdi, A., Jade, O., Fakhriddinovich, K., Thaeer, A. (2024). Optimization of doubly-fed induction generator (DFIG) based wind turbine to achieve maximum power generation with imperialist competitive algorithm (ICA). *Sci Prog*, 105(3):368504221113193. doi: 10.1177/00368504221113193. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10450475/>
- Adebayo, O., & Maurizio, A. (2025). Geometric design parameterization and optimization of spar floating offshore wind turbine substructure, *Ocean Engineering, Volume 332*, 121378. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.121378>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801825010911>
- Alave, E., Orellana, R., & Sempértégui, D. (2022). Estado del arte sobre aerogeneradores de eje vertical. *Investigación & Desarrollo*, 22(1), 161-172. <https://doi.org/10.23881/idupbo.022.1-13i>
- Álvarez, L. (2022). *Situación y perspectivas de las Energías Renovables y de las medidas de Eficiencia Energética en la República del Ecuador*. Universidad Técnica del Norte. p. 86.
- Alves, J., Ribeiro, B., Francisco, S., Tavares, J., & Faez, A. (2025). Offshore wind turbine tower design and optimization: A review and AI-driven future directions. *Applied Energy, Volume 397*, 126294. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.126294>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261925010244>
- Atiaja, J., Arroyo, F., Hidalgo, V., Erazo, J., Remache, A., & Bravo, D. (2024). Dynamic Simulation of Energy Scenarios in the Transition to Sustainable Mobility in the Ecuadorian Transport Sector. *Sustainability*, 16(15), 6640. <https://doi.org/10.3390/su16156640> DOI: <https://doi.org/10.3390/su16156640>

- Ayala, K. (2023). *Estudio técnico-económico para la generación eléctrica de baja potencia mediante la conversión de la energía eólica en zonas rurales altas de Ecuador. Caso de estudio comunidad de Yuracruz*. Universidad Técnica del Norte.
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13596>
- Burton, T., Jenkins, N., Bossanyi, E., Sharpe, D., & Graham, M. (2021). Wind energy handbook. (Third edition). Wiley, p. 642.
https://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind_Energy_Handbook.pdf
- Cabrera, C., Vera, R., & León, V. (2024). Estudio del comportamiento del viento en zonas Altoandinas, Chimborazo - Ecuador. *Revista de la Universidad del Zulia*, 15(8)1-42.
doi:DOI: <https://doi.org/10.46925//rdluz.42.15>
- Canul, F., Becerra, N., & Rosado, H. (2025). Diseño de un rotor Darrieus tipo Phi para aerogeneradores de baja potencia. *Ingeniería Investigación y tecnología*, XXV(4), 1-12.
<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2024.25.4.028>
- Cárdenas, J. (2023). *Evaluación de mini - aerogeneradores para el suministro de energía en zonas urbanas*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9404/T010_47162162_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castillo, V. (2024). *Optimización de la extracción de potencia eólica basada en un controlador híbrido inteligente*. Instituto Tecnológico de ciudad Madero, p. 114.
https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/8210/2/G15070962_donacion_tesis_bib.pdf
- Castillo, W., & Castro, M. (2022). Análisis del posible impacto de la contaminación ambiental sobre las redes eléctricas de la región Manta-Montecristi. *Revista Universidad y Sociedad*,

- 14(4), 531-539. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000400531&lng=es&tlng=es.
- Castro, C., & Ibarra, A. (2023). Understanding the link between energy poverty and economic growth in Latin America. *Contaduría y Administración*, 68(2). <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2023.4629>
- Cenace. (2024). Información Operativa. Operador Nacional de Electricidad CENACE. <https://www.cenace.gob.ec/>
- Chacón, A. M., Ramírez, I. S., & Márquez, F. P. (2023). Detección de falsas alarmas en aerogeneradores mediante modelos de clasificación. *Avances en software de ingeniería*, 177(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2023.103409>
- Chilán, U., Breffe, O., & Rodríguez, E. (2024). Una mirada matemática dentro de los Aerogeneradores de baja potencia. *Ingeniería Energética*, 45(2), 60-70. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012024000200060
- Chiriboga, G., Chamba, R., Garcia, A., Heredia-Fonseca, R., & Montero-Calderón, C. (2023). Useful energy is a meaningful approach to building the decarbonization: A case of study of the Ecuadorian transport sector. *Transport Policy*, 132, 76-87. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.12.019>
- Conrado, F. (2021). *Fuentes renovables de energía*. Unión Eléctrica del Ministerio de Energía y Minas de la República de Cuba. Tecnología y Aplicaciones. Editorial Cutasolar, p. 698.
- Constante, J., Cuesta, A., & Jijón, D. (2021). Métodos de ajuste de Weibull de dos parámetros en series de viento y estimación del Potencial Eolo-eléctrico. *Revista Técnica energía*, 17(2), PP. 74–82. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v17.n2.2021.424>

- Corporación Eléctrica del Ecuador. (2024). *Central Eólica Villonaco cumple 11 años generando energía gracias al viento*. CELEC EP. <https://www.celec.gob.ec/noticias/central-eolica-villonaco-cumple-11-anos-generando-energia-gracias-al-viento/>
- Díaz, M., Llumigusin, D., Quiñonez, L., Méndez, E., Ordoñez, O., & Quiñonez, M. (2023). Análisis de factibilidad de un aerogenerador para satisfacer la demanda de energía eléctrica en la parroquia Galera del Cantón Muisne, Esmeraldas-Ecuador. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), p. 342-348. <https://tech.iberojournals.com/index.php/IBEROTECS/article/view/607>
- Didane, D., Behery, M., & Al, M. (2024). Recent Progress in Design and Performance Analysis of Vertical-Axis Wind Turbines A Comprehensive Review. *Processes*, 12(6), 1094. <https://doi.org/10.3390/pr12061094>
- Farah, B., Ismail, E., Kafazi, B., Abdelhamid, N., Anton, S. (2025). Experimental evaluation of an advanced predictive control technique for variable-speed wind turbine systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 168, 110668. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2025.110668>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061525002194>
- Festo. (2024). *LabVolt Series by Festo Didactic - Resistive Load (8311-00)*. Festo.com. https://labvolt.festo.com/Website/solutions/50-8311-00_resistive_load
- Fluke 301D/ESP Palm-Sized AC/DC. (2025). *Clamp Meter with slim body and thin jaw arm, 600 A*. Fluke-Direct.com. <https://www.fluke-direct.com/product/fluke-301d-esp-palm-sized-ac-dc-clamp-meter>
- Fluke 87-5 CAL Industrial True-RMS. (2020). *Multimeter with calibration certificate, 1000 V, 10 A*. Fluke-Direct.com. <https://www.fluke-direct.com/product/fluke-87-5-cal-industrial-true-rms-multimeter>

- Freire, A., Toapanta, L., & Quinatoa, C. (2022). Control orientado de voltaje del sistema de generación de energía eólica conectado a la red. *Revista técnica energía*, 19(1), 61–70. doi:<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.517>
- Garcés, A. (2020). *Optimización convexa. Aplicaciones en operación y dinámica de sistemas de potencia*. Universidad Tecnológica de Pereira. Editorial UTP, p. 274. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4c8af0a3-0988-450c-9618-0bb9d8a04a27/content>
- Garrido, A., Santos, M., Ahmad, I., & Garrido, I. (2022). *Innovación y Docencia sobre los Avances en Sistemas de Energía Renovable*. Universidad del País Vasco, p. 102. <https://addi.ehu.es/handle/10810/60066>
- Gil, I., Fernández, A., & Montes, A. (2024). Innovation in clean energy from man-made wind and small-wind generation. *Scientific Reports*, 14(22932). <https://www.nature.com/articles/s41598-024-74141-w#citeas>
- Godfrid, D. (2023). *La dimensión local de la transición energética: sistematización y análisis de la planificación climática de 49 municipios argentinos*. Universidad en Buenos Aires, Argentina (FLACSO-Argentina). <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/19138/2/TLACSO-2023%20DG.pdf>
- González, N., Martínez, L., Torres, V., Salgado, N., & Rodríguez, J. (2022). Método eficiente para integrar los costos de la generación eólica en el modelado de la expansión de la capacidad de generación. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 23(4). <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.4.029>

- Guanuchi, J., & Uguña, J. (2024). *Evaluación de la confiabilidad de equipos eléctricos y mecánicos de aerogeneradores en parques eólicos: caso aplicado a una torre de la central de Huascachaca*. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28992/1/UPS-CT011761.pdf>
- Haiying, C., Qiu, L., Xiaoxia, G., Jian, C., & Hongxing, Y. (2020) Wind turbine power modelling and optimization using artificial neural network with wind field experimental data. *Applied Energy*, Volume 280, 115880. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115880>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261920313519>
- Hegazy, A., Tabbi, E., & Taha, S. (2025). A multi-faceted review of wind turbine optimization techniques: Metaheuristics and related issues. *International Journal of Thermofluids*, Volume 26, 101077, ISSN 2666-2027, <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2025.101077>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666202725000254>
- Hoxha, B., Igor, S., Risto, F. (2024). Optimización del diseño del parque eólico para maximizar el rendimiento energético. *Conversión y Gestión de Energía: X. Vol. 24*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174524001788>
- Iribar, U. (2022). Diseño de un parque eólico offshore. Universidad Politécnica de Cartagena. *Máster en Ingeniería Naval y Oceánica*, (1)1.88.
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/11569/tfm-odr-dis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jahantigh, R., Esmailifar, S., & Sina, S. (2023). Wind farm control and power curve optimization using induction-based wake model. *Measurement and Control*, 56(9-10):1751-1763.
[doi:10.1177/00202940231180624](https://doi.org/10.1177/00202940231180624)
<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/00202940231180624>

- Jaramillo, C., Benítez, J., Echeverria, D., Cepeda, J., & Arcos, H. (2022). Análisis del impacto de las energías renovables no convencionales en la planificación operativa de largo plazo del Sistema Nacional Interconectado utilizando la plataforma SimSEE. *Revista Técnica energía*, 19(1), 42-52. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.526>
- Jiang, Z. (2021). Instalación de turbinas eólicas marinas: una revisión técnica. *Reseñas de energía renovable y sostenible*, (1)1-280. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110576>
- Kovalnogov, V., Fedorov, R. V., Chukalin, A. V., Tsvetova, E. V., & Kornilova, M. I. (2022). Modeling and Investigation of the Effect of a Wind Turbine on the Atmospheric Boundary Layer. *Energies*, 15(21), 8196. <https://doi.org/10.3390/en15218196>. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/8196>
- Lab-Volt Systems, Inc. (2025). LVDAC-EMS. Software Informer. <https://lvdac-ems.software.informer.com/>
- Lamas, M., Barros, C., Orosa, J., & Rodríguez, A. (2024). Introduction to Wind Turbines. *Encyclopedia of Renewable Energy, Sustainability and the Environment, Volume 3*, pp. 331-342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-93940-9.00054-2>.
- León, L., & Zoria, J. (2024). *Estudio de factibilidad para el uso de un sistema híbrido con energía eólica, solar fv, generadores diésel y baterías en el área de irquis - sector Tarqui*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27578/1/UPS-CT011367.pdf>
- López, J. (2023). *Energía renovable y crecimiento económico en el Ecuador*. Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11441>
- López, J., Jugo, J., Tena, A., Robles, E., & Sotomayor, E. (2024). Floating offshore wind turbine nonlinear model predictive control optimisation method. *Ocean Engineering, Volume 314*,

- Part 1, 119754. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119754>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801824030920>
- Malo, G., & Rivas, C. (2022). *Sistema de control auto-optimizable (SOC) para maximizar la extracción de potencia y minimizar las cargas en las aspas de un aerogenerador de pequeña escala*. Universidad de Cuenca. P. 89. <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39656?locale=es>
- Marasco, D., Domingo, R., Monte, G., Scarone, N., & Agnello, A. (2023). Propuesta de electrónica de potencia para la protección y optimización del desempeño de una turbina eólica de baja potencia conectada a la red eléctrica de baja tensión. *Ingenio Tecnológico. Revista de Ingeniería, Vol. 5*. <https://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2663842009/html/>
- Matos, E., & Lobaina, A. (2024). Selección de un aerogenerador a partir de prototipos considerando el comportamiento estadístico del viento. *Minería y Geología, 40*(4):323-342.
https://www.researchgate.net/publication/386292598_Seleccion_de_un_aerogenerador_a_partir_de_prototipos_considerando_el_comportamiento_estadistico_
- Méndez, M., & Sausedo, J. (2023). Metodología para el cálculo numérico y simulación de generadores eólicos de baja velocidad. *Publicación Semestral Pádi Vol. 11, No. Especial 3*, pp. 143-150. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10158578.pdf>
- Mendoza, E., & Tobar, L. (2024). Desarrollo tecnológico y cadena de valor de la energía eólica en México. *Economía, sociedad y territorio, 24*(75): e2030.
<http://dx.doi.org/10.22136/est20242030>
- Merahi, F., Mernache, H., & Aouzelag, D. (2024). Power control of an autonomous wind energy conversion system based on a permanent magnet synchronous generator with integrated

- pumping storage. *Sci Rep* 14, 29776 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81522-8>.
<https://www.nature.com/articles/s41598-024-81522-8#citeas>
- Ministerio de Energía y Minas. (2022). *Central Eólica “Villonaco”*. Villonaco, Proyectos de Generación. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/central-eolica-villonaco/>
- Ministerio de Energía y Minas. (2023). *Proyecto Eólico Huascachaca presenta un 98% de avance. Boletín de Prensa*. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/proyecto-eolico-huascachaca-presenta-un-98-de-avance/>
- Mukund R., & Omid., B, (2021). *Eólica y solar. Sistemas de energía*. Taylor & Francis Group. Boca Ratón. Tercera edición, p. 249.
- Pacheco, G. (2023). *Estudio de la factibilidad técnico económica para la generación de energía eólica. Caso de estudio parque eólico Minas de Huascachaca*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/21201/1/T-UCSG-POS-MELE-16.pdf>
- Palma, L. (2024). *Simulación de aerogenerador mediante la implementación de dinamómetro de cuatro cuadrantes en laboratorio de electricidad*. Universidad Laica Eloy Alfaro, p. 212. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/5803/1/ULEAM-ELECT-007.pdf>
- Pino, J. M. (2023). La distribución de Weibull. *Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España*, (1)1-11. https://cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20331%20-%20Fiabilidad%20la%20distribucion%20de%20Weibull.pdf
- Porras, J., Navarrete, L., Ramírez, J., & Paredes, S. (2023). Diseño de una turbina eólica espiral de Arquímedes. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(3)1-954. doi:DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i3.1125>

- Pryor, S., & Barthelmie, R. (2024). Wind shadows impact planning of large offshore wind farms. *Applied Energy*, 364(1), 2-3041. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924001387>
- Quesada, J., Vallin, M., & Fuentefria, A. (2024). Análisis de la desviación de frecuencia en un sistema eléctrico aislado con parques eólicos distribuidos. *Ingeniería Energética*, XLV(1), 43-52. <https://www.redalyc.org/journal/3291/329177474005/329177474005.pdf>
- Quiñones, E., Delgado, M., & Alvarino, J. (2023). *Energías renovables y su impacto en la eficiencia energética en el distrito de Talara, Piura - 2023*. Universidad Nacional del Callao. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8418/TESIS%20-%20DELGADO-QUI%C3%91ONES-ALVARI%C3%91O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, E., Llerena, R., Flores, M., Rivas, B., & Cornejo, J. (2025). La importancia del consumo energético en el desarrollo económico de Ecuador: The importance of energy consumption in the economic development of Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 6(2), 877 – 892. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3671>
- Reinoso, G. (2023). *Obstáculos a la transición energética en Ecuador: el caso de la generación eléctrica a partir de fuentes fotovoltaicas*. 110 p. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/9311>
- Reyes, I., & Díaz, J. (2022). *Libro de la Industria Eólica Marina en España*. Asociación Empresarial Eólica (AEE). Depósito legal, M-17258-2022.
- Rocano, J., & Nieves, B. (2024). *Simulación y estimación de la producción energética de un aerogenerador sin ASPAS mediante un análisis computacional*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27749/1/UPS-CT011390.pdf>

- Rodríguez, W. (2023). *Sistema de adquisición de datos para un aerogenerador eólico de eje horizontal para la Universidad Francisco de Paula Santander*. Universidad Francisco de Paula Santander. <https://catalogobiblioteca.ufps.edu.co/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=490e39bacc4b549c21e82f078e4e79ef>
- Roque, A., Ferrer, A., & Sierra, M. (2022). Pronóstico numérico a corto plazo de la rapidez del viento para los parques eólicos de Gibara I y II. *Revista Cubana De Meteorología*, 28(2). <https://www.redalyc.org/journal/7019/701977558002/>
- Salazar, S., Castillo, B., & Paredes, B. (2024). Diseño y Fabricación de un Generador Eólico de Baja Capacidad para Sectores. *Polo de conocimientos*, 9(7),2304-2324. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i7.7628>
- Sánchez, Y., & Rodríguez, P. (2021). Evaluación técnico-económica de pequeñas turbinas eólicas en localidades de poco potencial eólico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(3), 16-26. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586267422003/586267422003.pdf>
- SEIPE. (n.d).*Terminales y Conectores*. SEIPE. <https://www.seipe.com/terminales-y-conectores/>
- Silva, L., Pinilla, H., & Fernandes, J. (2023). *Contexto institucional de la energía eólica y sus impactos en comunidades tradicionales en la zona costera del noreste de Brasil, entre 2000-2020*. Mercator (fortaleza), 22. <https://doi.org/10.4215/rm2023.e22016>
- Solano, A., Cruz, B., Ramos, C., Solís, K., Núñez, Ó., & Pérez Mora, A. (2021). Metodología FMECA para un aerogenerador doblemente alimentado. Ingeniería. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 31(2), 112-125. <https://doi.org/10.15517/ri.v31i2.46100>
- Sosa, A., Llenera, M., Coello, F., Miranda, C., & Suclupe, A. (2020). *Energías Renovables*. Experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética. Osinergmin, p. 143.

- https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Thaker, K., & Martin, G. (2024). Multi objectives optimization of wind turbines' power and fatigue loads using perturbation free extremum seeking control. *Results in Control and Optimization, Volume 16*, 100438, <https://doi.org/10.1016/j.rico.2024.100438>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666720724000687>
- Torres, A. (2022). *Operación del sistema de potencia a escala del laboratorio físico de sistemas eléctricos de potencia. Operación en paralelo del generador fotovoltaico con la red eléctrica de la EEQ*. Escuela Politécnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23369/1/CD%2012784.pdf>
- Urosa, P. (2020). *Aplicaciones del control de convertidores tipo fuente de tensión en sistemas eléctricos de baja inercia*. Universidad Pontificia ICAI. Madrid, p. 86.
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/42296/TFM-Urosa%20Sanchez%20Pablo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Uvidia, L., Masaquiza, J., Paladines, J., & Moyano, M. (2024). 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
- Vera, R., & Lizana, E. (2022). *Diseño de un aerogenerador para suministro de energía eléctrica al sector el pongo, de la ciudad de Jaén - Perú, 2020*. Universidad Nacional de Jaén.
https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/455/1/Vera_BRV_Lizana_PEP.pdf
- Vergara, M. (2020). *Control coordinado v-f y p-q de generadores eólicos, considerando MPPT y conexión a la red*. Universidad de Tarapacá.
<http://sb.uta.cl/CargadorTesis/TesisDigitalesARI/79166-Vergara%20Manuel.pdf>

- Zahra, A., Shawket, S., Hassan, D. (2025). Overview improving the efficiency of a wind turbine by using a nozzle and solar radiation. *Unconventional Resources, Volume 7*, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100191>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666519025000573>
- Zeel, M., Kamgang, K., Omkar, B. (2023). A comprehensive review on wind turbine emulators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 180*, 2023, 113297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113297>.
- Zhao, X., Shen, D., Duley, W. W., Tan, C., & Zhou, Y. N. (2022). Generación de electricidad a partir del agua: una perspectiva. *Investigación avanzada en energía y sostenibilidad*, 3(4)21-196. <https://doi.org/10.1002/aesr.202100196>

ANEXOS

Anexo 1 Recursos Humanos

Nombre	Función o cargo	Aporte al proyecto
Ing. Vladimir jaramillo garcía, PhD	Docente	Tutor del proyecto
García Santana Danny Lenin	Estudiante	Autor
Zambrano Bailón Salvador Emilio	Estudiante	Autor

Anexo 2 Recursos económicos

Descripción	Cantidad	Valor
Generador/Control de aerogenerador	1	\$7.017,31
Total		\$7.017,31

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

Anexo 3. Cronograma de actividades - Fase 1

Meses Actividades	Año 2025															
	Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Socialización del 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

Meses Actividades	Año 2025																			
	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
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 tres, caracterización del generador eólico a distintas velocidades del viento																				

[illegible]

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 94 de 158

Anexo 5

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<< Caracterización del generador eólico a distintas velocidades del viento>>	No. PRÁCTICA: TS.4.03-01
------------------------------	--	---------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO
FECHA:	10 DE JULIO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	SALVADOR ZAMBRANO BAILON DANNY GARCÍA SANTANA
DOCENTE RESPONSABLE	ING. FERNANDO JARAMILLO GARCÍA, Phd

2. FUNDAMENTACIÓN
En esta práctica se estudia el comportamiento eléctrico de un aerogenerador de imanes permanentes en condiciones controladas de laboratorio utilizando, el sistema de LABVOLT FESTO 8010-30. Se analiza la relación entre la velocidad del viento simulado (usando el modelo dinamométrico) y la tensión generada, lo cual permite entender la eficiencia del sistema en función de la velocidad angular. (<i>LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00)</i>, s. f.) Conceptos Claves: ● Generador Síncronos de imanes permanentes: Produce energía eléctrica a partir de un eje rotativo, impulsado por el viento simulado. ● Velocidad angular ω: Determina la frecuencia y magnitud del voltaje generado. ● Curva Voltaje vs Velocidad: Permite identificar la zona de operación óptima. Fórmulas Relevantes: ● Voltaje (V): Es directamente proporcional a la velocidad angular (relación proporcional en los generadores de imanes permanentes ideales). $Potencia = V * I$

3. OBJETIVOS

- Medir el voltaje generado por el aerogenerador a diferentes velocidades del viento simulados.
- Representar la curva característica voltaje vs velocidad.
- Analizar el comportamiento del generador bajo condiciones de baja, media y alta velocidades

4. MATERIALES E INSUMOS

- Alternador/Controlador de aerogenerador 8216-02.
- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32.
- LVD-EMS Software
- Módulo de carga resistiva
- Juegos de cables tipo banana
- Multímetro digital
- Cronómetro (opcional)
- Computador

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Configurar el sistema con el generador eólico conectado al dinamómetro	Verificar conexiones seguras
2	Seleccionar el modo wind turbine emulator en el software LVDAC-EMS	Ajustamiento simulado de 3 m/s a 12 m/s
3	Registrar voltajes de salida a distintas velocidades (3,5,7,9,11 y 12 m/s)	Usar multímetro para lectura directa
4	Completar tabla de resultados y construir la curva voltaje vs velocidad	Verificar linealidad y comportamiento.
5	Desconectar el sistema y asegurar el equipo	Fin de práctica.

6. CUADRO DE RESULTADOS

DATOS OBTENIDOS:

Velocidad del viento (m/s)	Velocidad angular (rpm)	Voltaje Generado V (DC)
5	1284	67.7
7	1821	97.2
9	2363	124.5
11	2893	154.2

	12	3001	160.7	
--	----	------	-------	--

7. CONCLUSIONES

- Se observó una relación casi lineal entre la velocidad del viento simulado y el voltaje generado.
- El generador síncrono de imanes permanentes responde eficazmente a velocidades bajas de los 5 m/s.
- A velocidades superiores a 12 m/s se aproxima al límite operativo del controlador.

8. RECOMENDACIONES

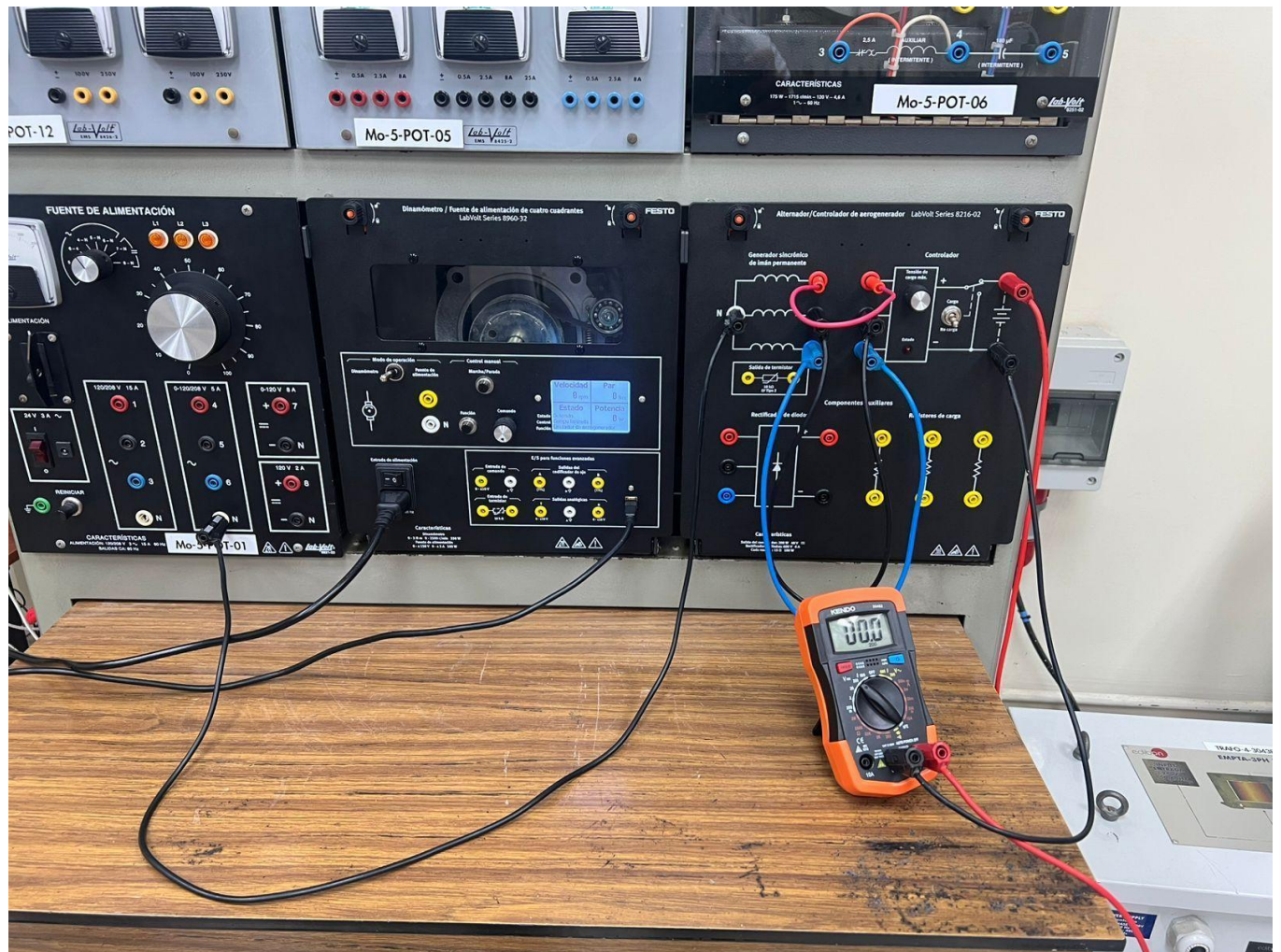
- No exceder los valores máximos de velocidad del sistema para evitar sobrecarga.
- Realizar la práctica con al menos 2 estudiantes para el control simultáneo en el software.
- Verificar el estado de los cables y las conexiones antes de cada práctica.

9. BIBLIOGRAFÍA

LabVolt Series by Festo Didactic—Wind Turbine Generator/Controller (8216-00). (s. f.).

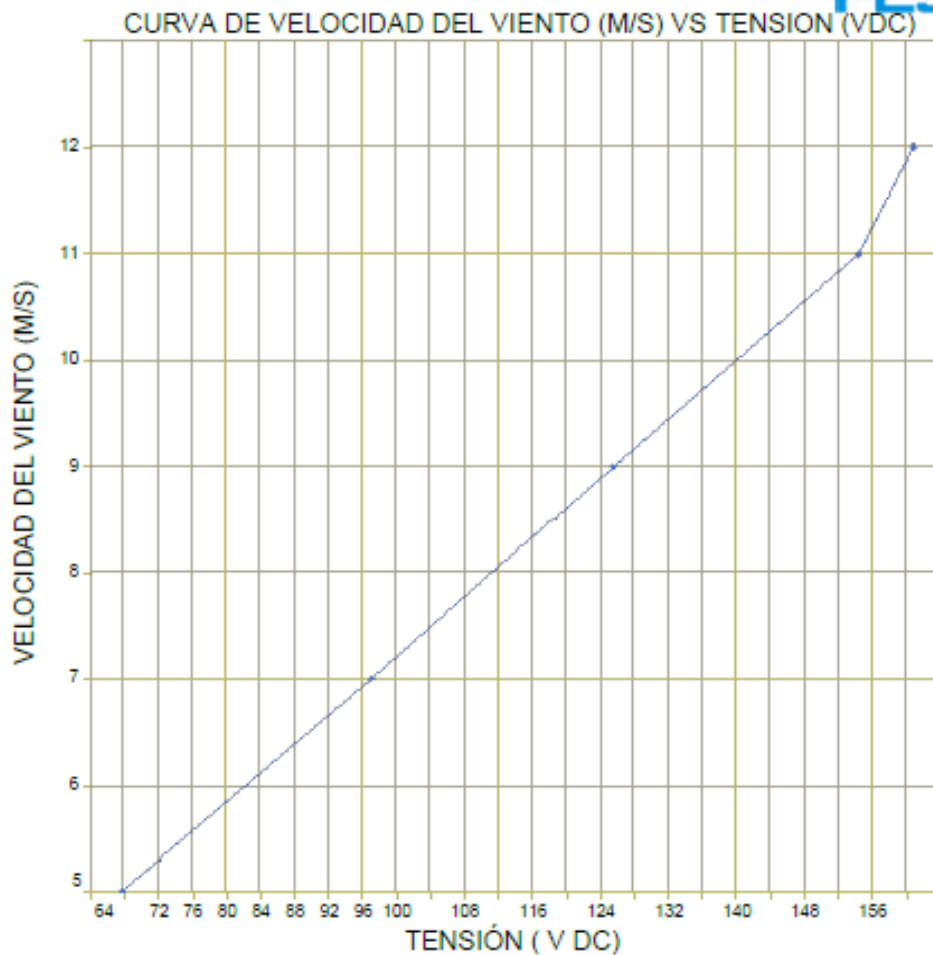
Recuperado 3 de julio de 2025, de https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller

10. ANEXOS



CUADRO DE RESULTADOS

Índice de la fila	Velocidad del viento (m/s)	Velocidad (r/min)	Tension generada (DC)
1	5	1284	67.7
2	7	1821	97.2
3	9	2363	125.5
4	11	2893	154.2
5	12	3001	160.7



Fecha de Elaboración: 15 de julio del 2025

Elaborado por: Salvador Zambrano Bailón y Danny García Santana

REVISADO POR:
Ing. Fernando Jaramillo García, Phd.
FECHA: 15 de Julio del 2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<< Curva de potencia del aerogenerador en función del viento simulado>>	No. PRÁCTICA: <<TS.4.03-02>>
------------------------------	---	-------------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO
FECHA:	15 DE JULIO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	SALVADOR ZAMBRANO BAILON DANNY GARCÍA SANTA
DOCENTE RESPONSABLE	ING. FERNANDO JARAMILLO GARCÍA, Phd

2. FUNDAMENTACIÓN
La potencia generada por un aerogenerador depende fundamentalmente de la velocidad del viento, siendo esta relación cúbica en aerogeneradores reales. Esta práctica busca identificar empíricamente esa relación mediante el uso del emulador del viento del dinamómetro. (<i>datasheet_579487(50-8216)_en_120V_60Hz.pdf</i>, s. f.) A partir de datos obtenidos de voltaje y corriente a diferentes velocidades simuladas de viento, se determina la curva de potencia vs velocidad del viento, que es fundamental para diseñar estrategias de control eficientes como (MPP). (<i>LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00)</i>, s. f.) Conceptos Claves: • Potencia eléctrica: potencia es igual a tensión por corriente. • Curva de potencia: Representa la eficiencia de captación energética del generador antes distintas velocidades del viento. (PEREZ, 2023)

- **Máxima Potencia:** Valor de viento para el cual se tiene el máximo aprovechamiento energético.

3. OBJETIVOS

- Medir la potencia eléctrica generada por el aerogenerador a diferentes velocidades de viento.
- Determinar la curva característica Potencia vs Velocidad del viento.
- Identificar la velocidad óptima para máxima generación.

4. MATERIALES E INSUMOS

- Alternador/Controlador de aerogenerador 8216-02.
- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32.
- LVD-EMS Software
- Módulo de carga resistiva
- Multímetro
- Cables banana
- Computador con LVDAC-EMS

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Configurar el sistema con cargas resistivas constante, carga de 15 ohm.	
2	Activar el modo wind turbine emulator en LVDAC-EMS	Ajustar parámetros en el software.
3	Simular velocidades del viento de 3 m/s hasta 11 m/s, en intervalos de (5, 7, 9 y 11 m/s)	Ejemplo 5, 7, 9, 11 m/s.
4	Registrar voltaje y corriente generados en cada caso.	Mantener constante la carga.
5	Calcular la potencia que es igual a voltaje por corriente	Use la tabla de datos.
6	Graficar potencia vs velocidad del viento.	Curva tipo campana esperada.
7	Apagar el sistema y desconectar con seguridad.	Fin de la práctica.

6. CUADRO DE RESULTADOS

DATOS OBTENIDOS:

Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Potencia (W)
5	10.2	0.66	6.73
7	25.9	1.7	44.03
9	41.4	2.74	113.43
11	57.01	3.76	214.35

7. CONCLUSIONES

- Se Observó que la potencia generada aumenta conforme incrementa la velocidad del viento simulado.
- A velocidades superiores a 11 m/s la curva comienza a estabilizarse el límite de capacidad del controlador, aproximadamente 214.35 W
- La velocidad óptima para máxima potencia fue 11 m/s

8. RECOMENDACIONES

- No operar el sistema por encima de 12 m/s sin identificar el estado de los controladores
- Evaluar esta curva con diferentes tipos de carga para comparar su efecto en el punto de máxima potencia.

9. BIBLIOGRAFÍA

Datasheet_579487(50-8216)_en_120V_60Hz.pdf. (s. f.). Recuperado 15 de julio de 2025, de https://media.festo.com/assets/attachment-files/74dc93ad8785930a8939ccb366bf8b886ef44a2888a8d862d515968c07729235407aede486738ad2c7782d35e194159e1266889f310ff238667087ac33886d6d/datasheet_579487%2850-8216%29_en_120V_60Hz.pdf?sv=2024-08-04&se=2025-07-17T03%3A31%3A05Z&sr=b&sp=r&rsd=inline%3B+fil

ename%3Ddatasheet_579487(50-

8216)_en_120V_60Hz.pdf&rsct=application%2Fpdf&sig=69CfY

n1OTBDIopVH6fmj%2B7Zt3Rzjdp9YKZRDlZLfMBU%3D

LabVolt Series by Festo Didactic—Wind Turbine Generator/Controller (8216-00). (s. f.).

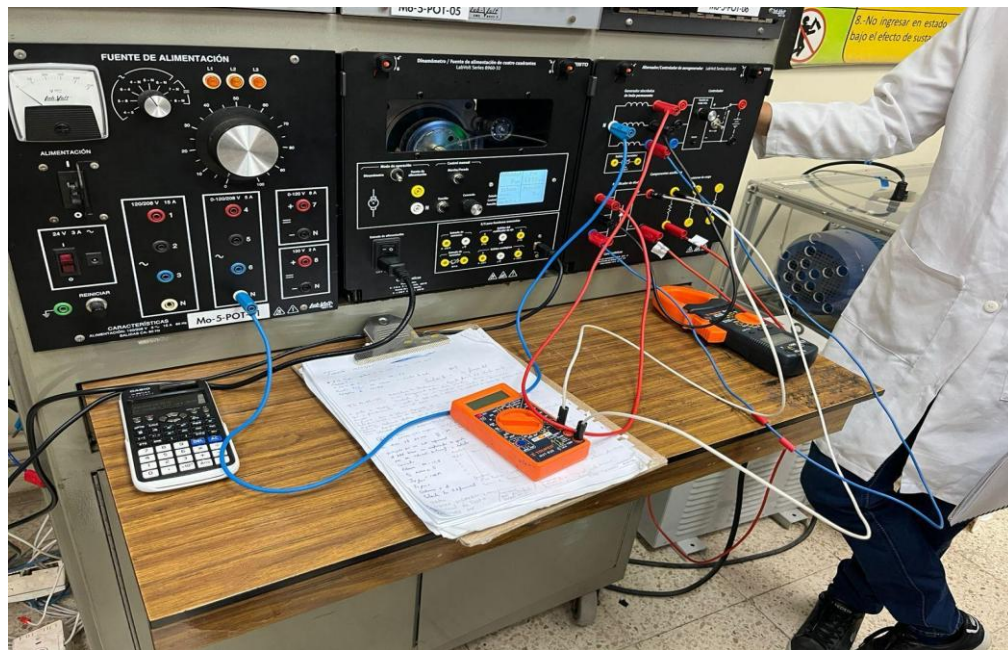
Recuperado 3 de julio de 2025, de https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine

[_generator_controller](#)

PEREZ, D. (2023). *Energía eólica. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones.*

Marcombo. https://www.google.com.ec/books/edition/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica_Fundamentos_tecnolog%C3%ADa/J7fWEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=1&dq=curva+de+potencia+del+aerogenerador+en+funcion+del+viento&pg=PT115&printsec=frontcover

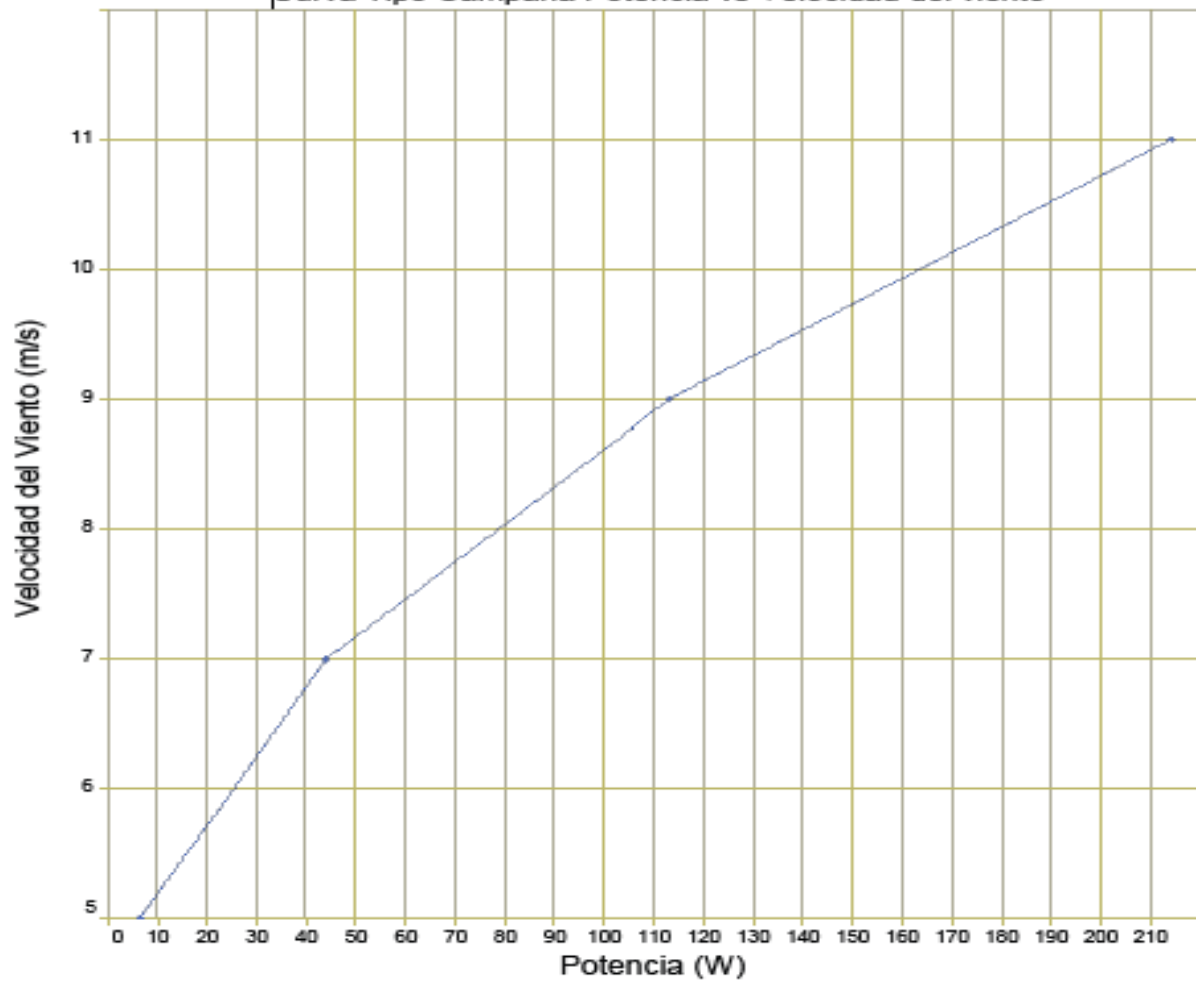
10. ANEXOS



Documento1

Índice de la fila	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Potencia (W)
1	5.0	10.2	0.66	6.73
2	7.0	25.9	1.7	44.03
3	9.0	41.4	2.74	113.43
4	11.0	57.01	3.76	214.35
5				

Curva Tipo Campana Potencia vs Velocidad del viento



Fecha de Elaboración: 15 de julio del 2025

Elaborado por: Salvador Zambrano Bailón y Danny García Santana

REVISADO POR:
Ing. Fernando Jaramillo García, Phd.
FECHA: 15 de Julio del 2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<< Optimización de variación energética mediante carga resistiva. >>	No. PRÁCTICA: <<TS 4.03-03>>
------------------------------	--	-------------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO
FECHA:	15 DE JULIO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	GARCÍA SANTANA DANNY LENIN ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE	ING. FERNANDO VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA. Phd

2. FUNDAMENTACIÓN
La potencia entregada por un aerogenerador depende no solo de la velocidad del viento sino también de la carga conectada. Esta práctica busca determinar cuál configuración de carga resistiva permite obtener la mayor potencia generada (optima trasferencia de energía), ajustando

manualmente la resistencia conectada al sistema se observará como varía la potencia generada y la eficiencia del sistema, acercándose al consejo de máximo punto de potencia (NPP el sistema real)(*LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00)*, s. f.)

Conceptos claves:

Carga resistiva: Consume potencia activa y permite controlar la demanda del sistema.(Obidat, 2021)

Eficiencia de transferencia: se maximiza cuando la carga coincide con la impedancia del generador (teoría de máximo poder transferido).

Potencia generada: La potencia generada es igual a $P = V * I$

3. OBJETIVOS

- Observar como la variación de la carga resistiva afecta la potencia entregada por el generador Eólico.
- Identificar la configuración de carga que produce la mayor potencia útil.
- Comprender la Importancia del control de carga en sistema de generación distribuida.

4. MATERIALES E INSUMOS

1. Alternador/Controlador de aerogenerador 8216-02.
2. Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32.
3. Módulo de carga resistiva (8311-02)
4. LVDAC-EMS Software
5. Multímetro digital
6. Juego de cables banana.
7. Computadora con software LVDAC-EMS

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
----	-------------	---------------

1	Manipular el sistema con el emulador conectado a carga resistiva variables.	Confirmar conexiones seguras.
2	Establecer velocidad de viento fija en 9 m/seg usando el emulador.	Mantener constante durante todas las mediciones.
3	Seleccionar y conectar resistencias de 300 ohm, 150 ohm, 100 ohm, 75 ohm, 50 ohm y 30 ohm.	Utilizar conmutadores en el módulo de carga.
4	Registrar los datos en la tabla correspondiente.	Verificar la estabilidad antes de cada lectura.
5	Graficar la potencia versus resistencia conectada.	La potencia debe tener un punto máximo.
6	Apagar el sistema y desconectar con seguridad.	Fin de la práctica.

6. CUADRO DE RESULTADOS

Resistencia conectada (ohms)	Voltaje (DC)	Corriente (DC)	Potencia (W)
300	112	0.36	40.32
150	100.5	0.66	66.33
100	92.2	0.92	84.82
75	84.5	1.12	94.64
57	78.1	1.35	105.43
30	61.2	2.3	124.24

7. CONCLUSIONES

- La potencia generada por el aerogenerador varía significativamente según la carga resistiva conectada.
- La máxima potencia se logró aproximadamente con una resistencia de 30 Ohms, dicha potencia es 124.24 W

- Esta práctica evidencia la importancia de conectar la carga controlar electrónicamente su efecto para maximizar las relaciones de sistemas reales.

8. RECOMENDACIONES

- Ajustar cuidadosamente la carga para evitar sobre cargas o desajustes del controlador
- Repetir esta prueba para diferentes velocidades de viento para construir una carga completa de carga óptima.
- Implementar esta lógica en un sistema de control automático como parte de estrategias del LVDAC.

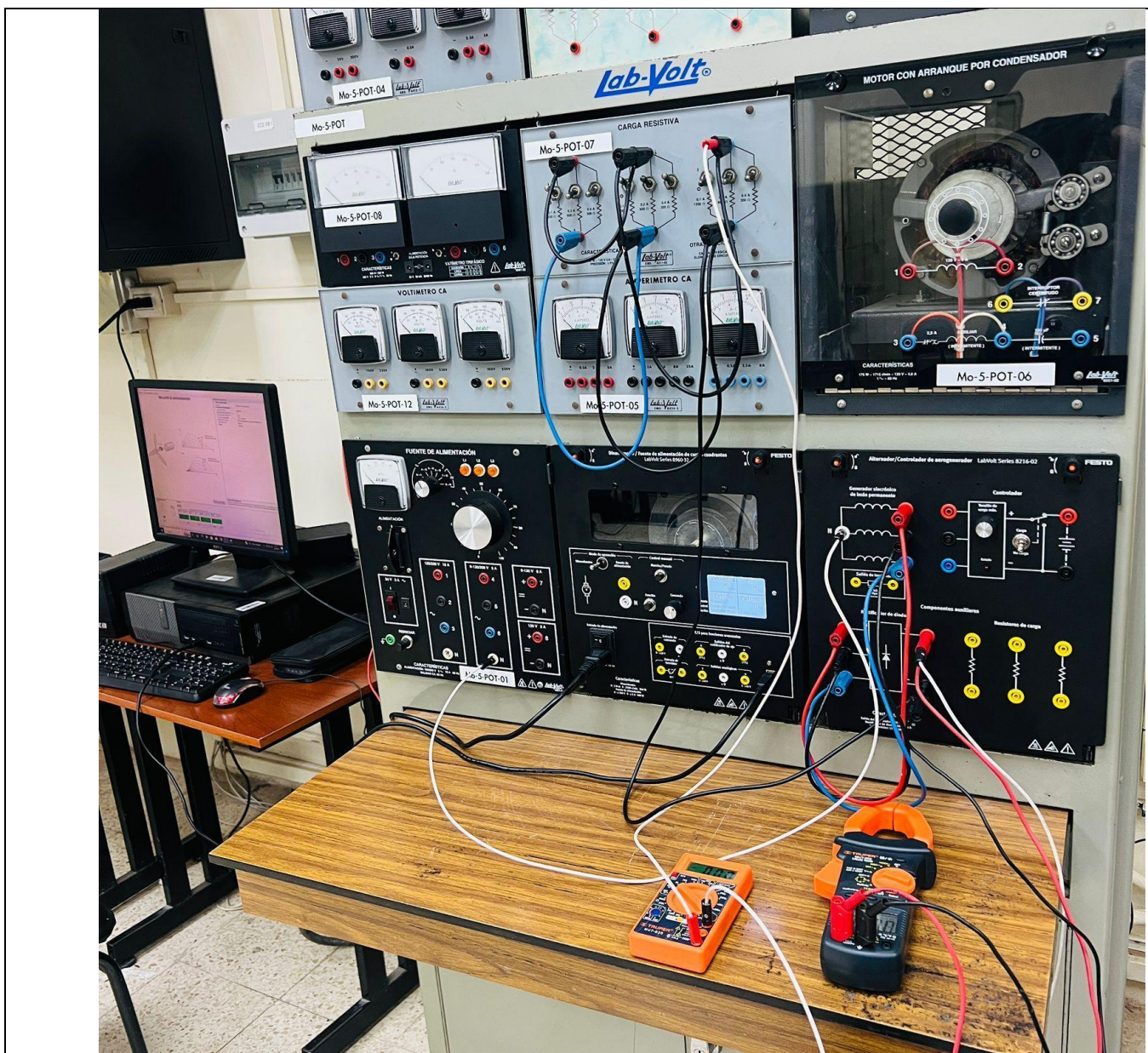
9. BIBLIOGRAFÍA

LabVolt Series by Festo Didactic—Wind Turbine Generator/Controller (8216-00). (s. f.).

Recuperado 3 de julio de 2025, de https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller

Obidat, A. (2021). *Designing a Motorized Resistive Load*.

10. ANEXOS

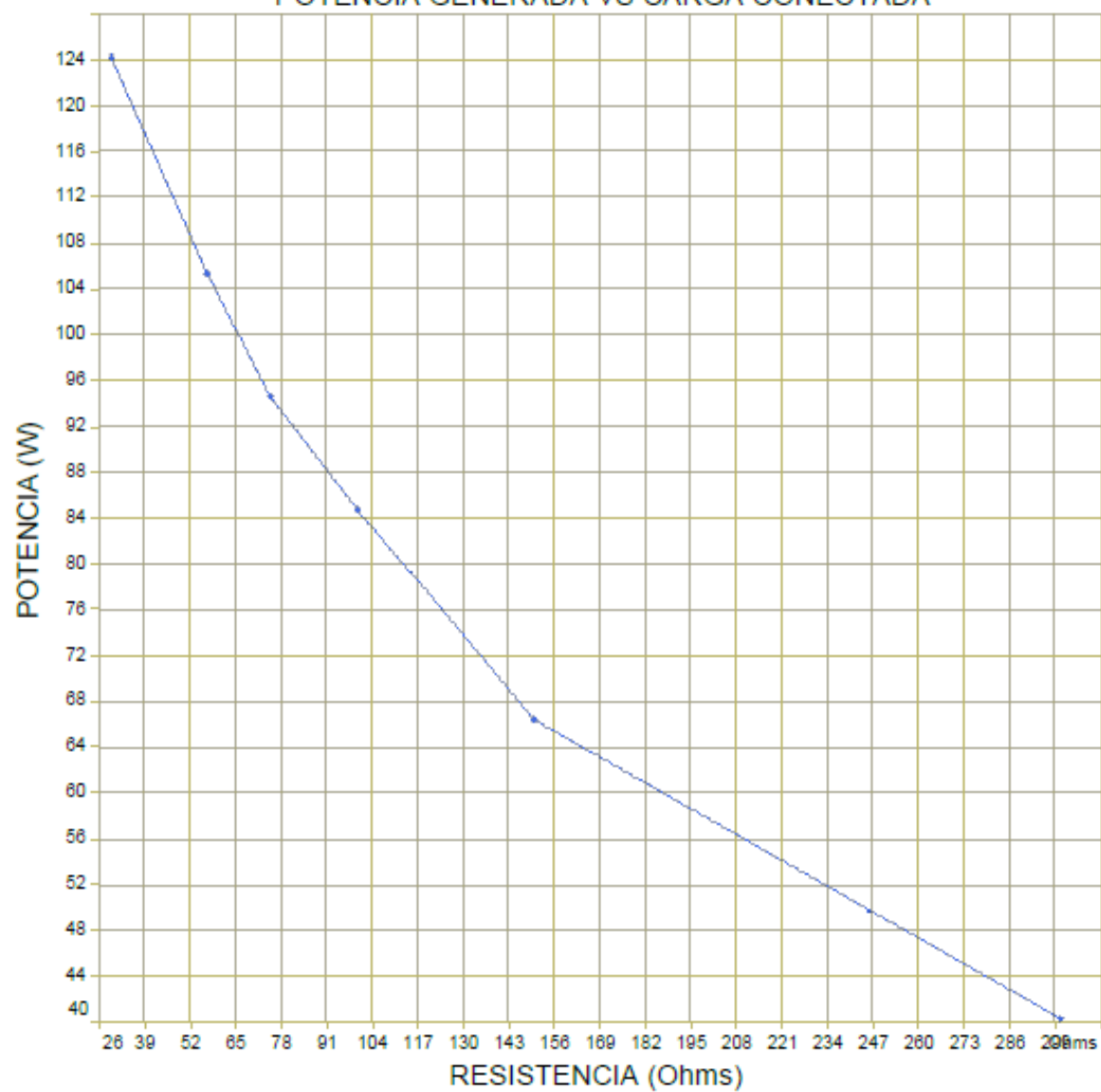


FESTO

Documento1

Índice de la fila	Resistencia conectada (Ohms)	Voltaje (DC) (V)	Corriente (DC) (A)	Potencia (W)
1	300	112	0.36	40.32
2	150	100.5	0.66	66.33
3	100	92.2	0.92	84.82
4	75	84.5	1.12	94.64
5	57	78.1	1.35	105.43
6	30	61.2	2.3	124.24

POTENCIA GENERADA VS CARGA CONECTADA



Fecha de Elaboración: 17/07/2025

Elaborado por: García Santana Danny Lenin y Salvador Zambrano Bailón

REVISADO POR: PhD. Fernando Vladimir Jaramillo García.
FECHA: 17 de Julio de 2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<<Análisis del comportamiento de la tensión de salida ante las variaciones de la densidad del aire>>	No. PRÁCTICA: <<TS.4.03-04>>
--------------------------------------	--	-------------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO
FECHA:	25 DE JULIO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	GARCÍA SANTANA DANNY LENIN ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE	ING. FERNANDO VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA. PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

La potencia del viento disponible para un generador no solo depende de la velocidad del viento sino también de la densidad del aire. A mayor densidad mayor energía cinética disponible. Este

parámetro varía con la altitud, temperatura, presión atmosférica y es un factor importante en el diseño y operación de los generadores. (*datasheet_579669(50-8960-F0)_en.pdf*, s. f.). El software LVDAC-EMS permite modificar la densidad del aire entre el módulo pequeña turbina Alternador/controlador de aerogenerador Labvolt series (8216-02). Esta practica evalúa como la variación de este parámetro afecta la tensión de la salida del aerogenerador para una velocidad de viento constante. (*LabVolt Series by Festo Didactic - Data Acquisition and Control Interface (9063-00)*, s. f.)

Conceptos Claves:

$$P = \frac{1}{2} * \delta * A * V^3$$

Donde:

δ = Es la densidad del Aire (Kg/m^3)

A = Es igual al área del rotor (m^2)

V = Es la velocidad del viento (m/s)

La tensión generada está directamente relacionada con la potencia disponible y el rendimiento existente. (Benito, 2013)

3. OBJETIVOS

Medir la tensión de salida del aerogenerador para diferentes valores de densidad del aire.

Evaluar la relación entre la densidad del aire y el rendimiento eléctrico del sistema.

Comprender cómo este parámetro influye en el diseño de estrategias del control en zonas de diferentes condiciones atmosféricas.

4. MATERIALES E INSUMOS

1. Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes 8960-32.
2. Alternador/Controlador de aerogenerador 8216-02.
3. LVDAC-EMS Software.
4. Módulo de carga resistiva (8311-02).
5. Computadora con software LVDAC-EMS instalado.
6. Juego de cables banana.
7. Multímetro Digital

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Proyectar el sistema Generador, carga resistiva y dinamómetro	Confirmar polaridad y seguridad.
2	Configurar el LVDAC-EMS en modo emulador de aerogenerador	Fijar viento constante a 9 m/s.
3	Registrar la tensión generada para valores de densidad del aire 1,12; 1,20; 1,30 y 1,44 Kg/m^3	Mantener constante el resto de los parámetros
4	Asegurarse de que la carga y las condiciones de operación sean iguales en cada ensayo	Verificar con el multímetro si es necesario.
5	Registrar valores y calcular potencia entregada en cada paso.	
6	Determinar la operación al finalizar y guardar los datos	Proceder a graficar

6. CUADRO DE RESULTADOS

Velocidad (m/seg)	Densidad (Kg/m ³)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia Medida (W)
9 m/s	1,12	0,35	110,1	38,54
9 m/s	1,20	0,36	111,7	40,21
9 m/s	1,30	0,36	111,9	40,28
9 m/s	1,44	0,37	113,5	41,99

La grafica T y Potencia vs DENSIDAD del aire dos ejes en la misma grafica para observar la correlación la tendencia debe ser creciente.

7. CONCLUSIONES

A mayor densidad del aire, se obtuvo mayor tensión y potencia de salida incluso con velocidad de vientos constantes.

Se verificó experimentalmente que la densidad del aire influye directamente en la captación energética

Este parámetro debe considerarse en sistemas eólicos instalados en zonas de gran altitud con alta variabilidad térmica.

8. RECOMENDACIONES

Repetir esta práctica con otras densidades del viento para observar si el efecto es proporcional.

Incluir el parámetro de densidad de variable de entrada en algoritmos de control adaptativo.

Considerar esta práctica como base para estudios de sitios de instalación de aerogeneradores.

9. BIBLIOGRAFÍA

Benito, T. P. (2013). *El universo de las energías renovables*. Marcombo.

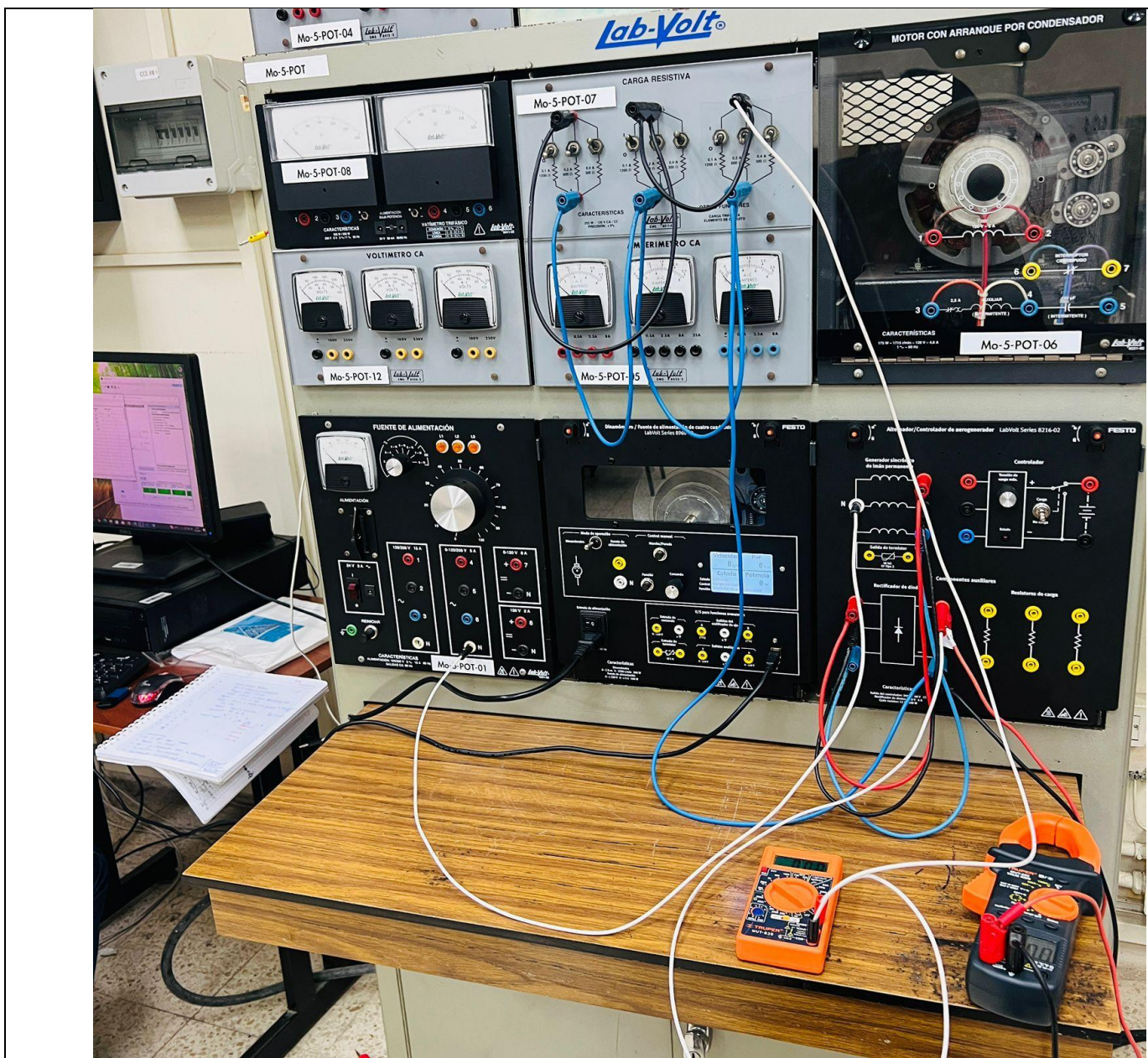
https://www.google.com.ec/books/edition/El_universo_de_las_energ%C3%ADas_renovables

[/C5gMzmnrD1YC?hl=es&gbpv=1&dq=DENSIDAD+DEL+AIRE+EN+AEROGENERADORES+LIBRO&pg=PT106&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/El_universo_de_las_energ%C3%ADas_renovables/C5gMzmnrD1YC?hl=es&gbpv=1&dq=DENSIDAD+DEL+AIRE+EN+AEROGENERADORES+LIBRO&pg=PT106&printsec=frontcover)

Datasheet_579669(50-8960-F0)_en.pdf. (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2025, de [https://www.festo.com/net/en_corp/SupportPortal/Files/774885/datasheet_579669\(50-8960-F0\)_en.pdf](https://www.festo.com/net/en_corp/SupportPortal/Files/774885/datasheet_579669(50-8960-F0)_en.pdf)

LabVolt Series by Festo Didactic—Data Acquisition and Control Interface (9063-00). (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2025, de https://labvolt.festo.com/solutions/6_power_energy/98-9063-00_data_acquisition_and_control_interface

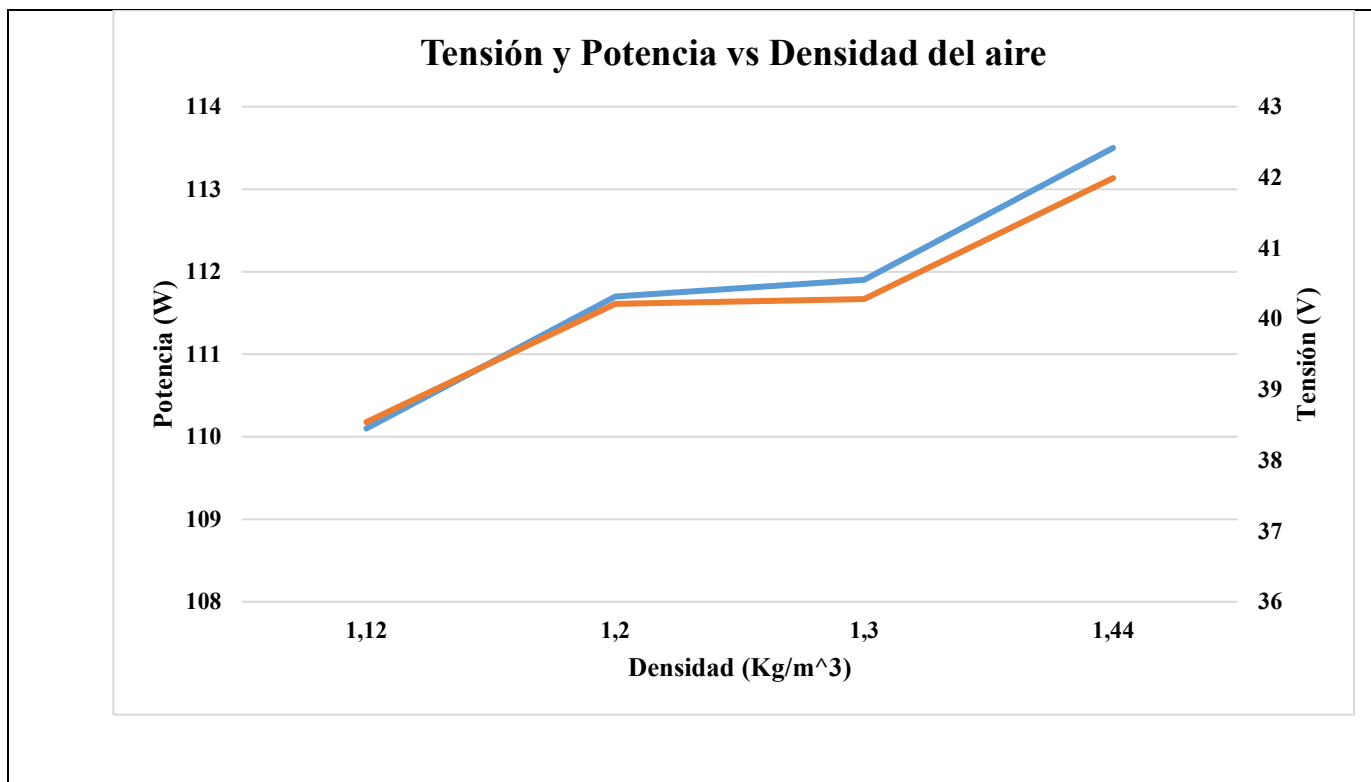
10. ANEXOS



FESTO

Documento1

Índice de la fila	Velocidad (m/s)	Densidad (Kg/m)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
1	9	1.12	0.35	110.1	38.54
2	9	1.20	0.36	111.7	40.21
3	9	1.30	0.36	111.9	40.28
4	9	1.44	0.37	113.5	41.99



Fecha de Elaboración: 18 de Julio del 2025

Elaborado por: Danny García Santana y Salvador Zambrano Bailón

REVISADO POR:
Ing. Fernando Jaramillo García, Phd.
FECHA: 18 de Julio del 2025

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<<Comparación del rendimiento de diferentes configuraciones de aerogeneradores simulados.>>	No.PRÁCTICA:<<TS 4.03– 05>>
------------------------------	---	--

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	9NO SEMESTRE
FECHA:	25 DE JULIO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	GARCÍA SANTANA DANNY LENIN ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE:	ING. FERNANDO VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA. Phd

2. FUNDAMENTACIÓN
Los aerogeneradores de tres álabes representan uno de los diseños más eficientes y estables para la conversión de energía eólica en electricidad. El modelo con dimensión característica de 1,15 m destaca por su sencillez y adaptabilidad a entornos de baja y media potencia. Aquellos equipados con caja de engranajes incrementan la velocidad del eje para optimizar el rendimiento del generador, mientras que las versiones con bloqueo pasivo incorporan un sistema de seguridad aerodinámico que detiene o limita el giro ante vientos excesivos, protegiendo la estructura sin necesidad de controles electrónicos complejos (Festo, 2025). Finalmente, los aerogeneradores con caja de engranajes y control de paso integran regulación activa del ángulo de los álabes, lo que permite maximizar la captación energética y, al mismo tiempo, salvaguardar los componentes en condiciones extremas, logrando así un equilibrio entre eficiencia, durabilidad y control operativo (Obidat, 2021).

3. OBJETIVOS
● Comparar la potencia generada con diferentes aerogeneradores por diferentes configuraciones de aerogeneradores en el sistema labvolt a diferentes condiciones de velocidades de viento. ● Evaluar como el diámetro del motor afecta el rendimiento energético

- Determinar el efecto de caja de engranaje y el control de paso sobre la potencia
- Interpretar los resultados y seleccionar la configuración óptima para la máxima captación de energía

4. MATERIALES E INSUMOS

8. Wind Turbine Alternator/Controller Module
9. Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply Module
10. Módulo de carga resistiva
11. LVDAC-EMS Software
12. Multímetro digital
13. Juego de cables banana.
14. Computadora con software LVDAC-EMS
15. Manual técnico del Sistema

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Encender el sistema labVolt y verificar que todos los módulos estén correctamente conectados	Asegurar que el módulo de energía Eólica este identificado por el software
2	Abrir el LVDAC-EMS y seleccionar el módulo de simulación de energía eólica	Comprobar que la interfaz muestre correctamente el generador eólico indicado
3	Configurar las velocidades del viento para 6, 8, y 10 m/s para cada aerogenerador	Usar esas velocidades para todos los ensayos que sean comparables
4	Seleccionar la primera configuración de aerogenerador 1,15m 3Alabes	Se observará la potencia base anotar el valor generado

5	Segundo seleccionar la configuración 1,15 m 3 Alabes con caja de engranaje	Evaluar si hay mejora de eficiencia respecto al tipo uno
6	Seleccionar el tipo tres 0,72 m 3 Alabes con bloqueo pasivo	Notar la reducción de potencia por menor diálisis y por camino de reducción
7	Seleccionar la configuración tipo cuatro 1,15 m 3 Alabes con engranaje y control de paso (pitch)	Comparar con todos los anteriores. Sera la configuración más eficiente
8	Para cada caso registrar la potencia generada (Kw) mostrada por el software	Utilizar captura o tal vez para el informe
9	Guardar y organizar los datos obtenidos. Compara el grafico comparativo de potencia generada	Usar software y el grafico generado por LVDAC-EMS

6. CUADRO DE RESULTADOS

Tipo de aerogenerador	Velocidad (m/sg)	Diámetro (m)	Resistencia (omhs)	Potencia Generada (Pw)
3 Alabes	6	1,15	150	15,048
3 Álabes	8	1,15	150	29,946
3 Álabes	10	1,15	150	50,28

Tipo de aerogenerador	Velocidad (m/sg)	Diámetro (m)	Resistencia (omhs)	Potencia Generada (Pw)
3 Álabes con caja de engranaje	6	1,15	150	15,312
3 Álabes con caja de engranaje	8	1,5	150	30,194
3 Álabes con caja de engranaje	10	1,5	150	50,12

Tipo de aerogenerador	Velocidad (m/sg)	Diámetro (m)	Resistencia (omhs)	Potencia Generada (Pw)
3Alabes con bloqueo pasivo	6	0,72	150	0,542
3Alabes con bloqueo pasivo	8	0,72	150	0,2823

3Álabes con bloqueo pasivo	10	0,72	150	0,632
----------------------------	----	------	-----	-------

Tipo de aerogenerador	Velocidad (m/sg)	Diámetro (m)	Resistencia (omhs)	Potencia Generada (Pw)
3 Álabes con engranaje y control de paso	6	1,15	150	1,561
3 Álabes con engranaje y control de paso	8	1,15	150	0,608
3 Álabes con engranaje y control de paso	10	1,15	150	1,561

7. CONCLUSIONES

- La potencia generada depende del área de barrido del rotor del (diálisis)
- El uso de control de paso mejora notablemente la captación de energía utilizando el Cp.
- Las cajas de engranaje ayudan a mantener el generador operando más cerca de su punto ideal.
- Los sistemas con gestor pasivo tienen menor eficiencia, pero son útiles para producir
-

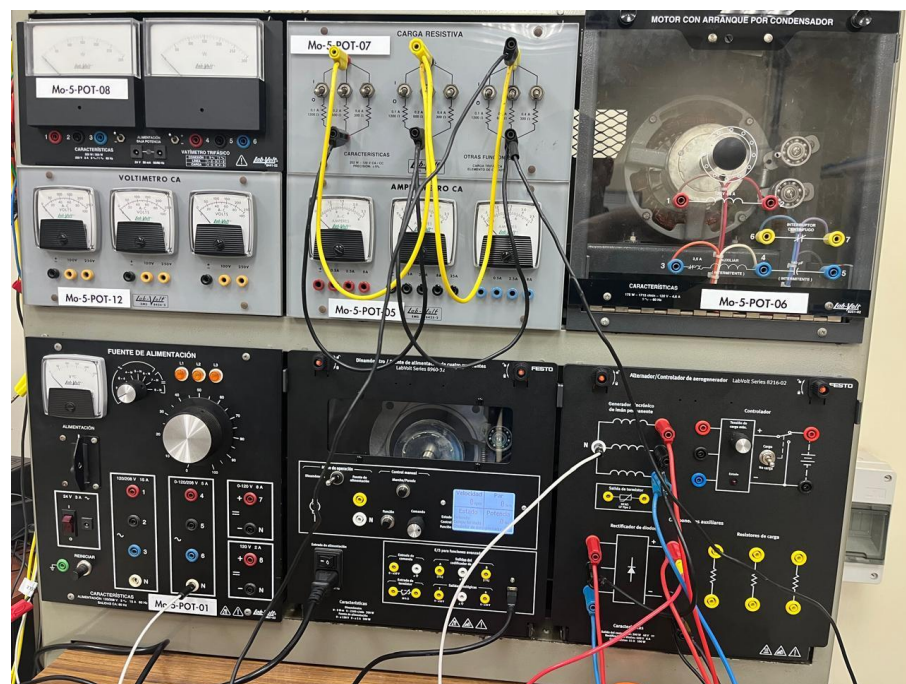
8. RECOMENDACIONES

- Utilizar configuraciones con control de paso en función del sistema de viento variable considerando el diámetro del rotor como parámetro principal para el diseño
- Evitar el uso de turbina de pequeño diámetro para generación de zonas de bajo rendimiento repetir la práctica con diferentes velocidades para validar la robustez del sistema

9. BIBLIOGRAFÍA

LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00).
Accessed July 3, 2025. https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller
Obidat, A. (2021). *Designing a Motorized Resistive Load* (Application Report). Texas Instruments.

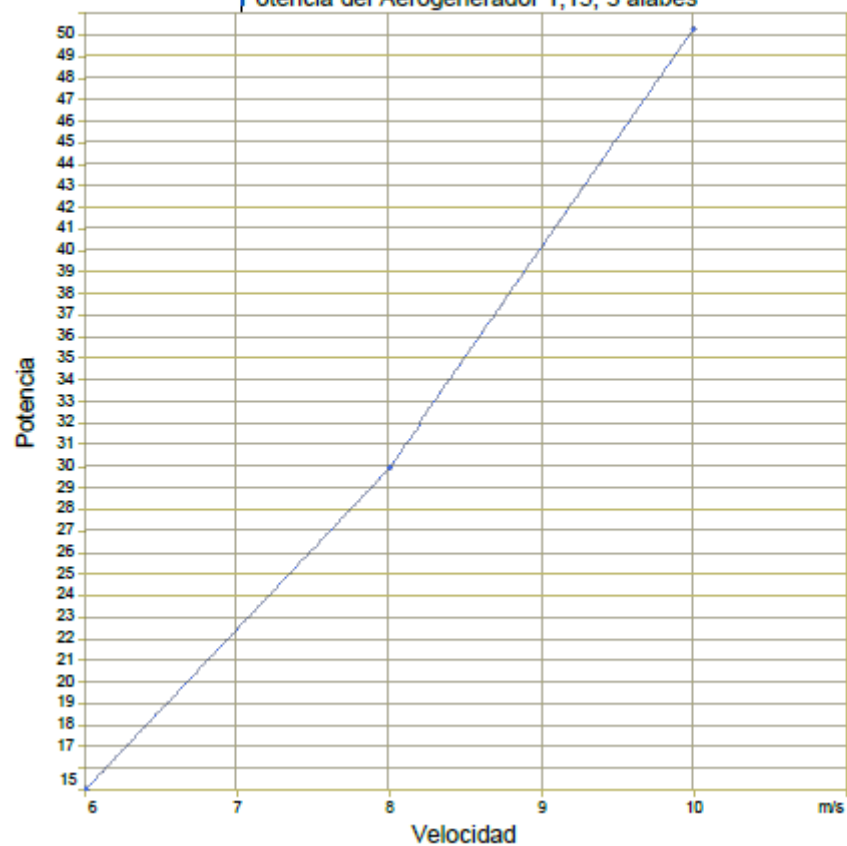
10. ANEXOS



1,15. 3 Álabes

Índice de la fila	Velocidad (m/s)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia (W)
1	6	0.22	68.4	15.05
2	8	0.31	96.6	29.95
3	10	0.40	125.7	50.28
4				
5				

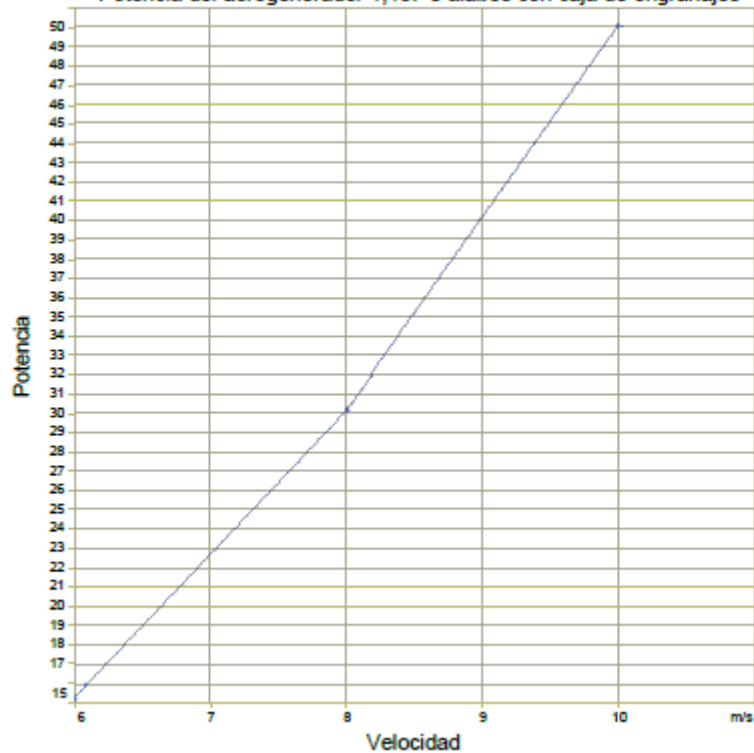
Potencia del Aerogenerador 1,15, 3 álabes



1,15. 3 Álabes con caja de engranajes

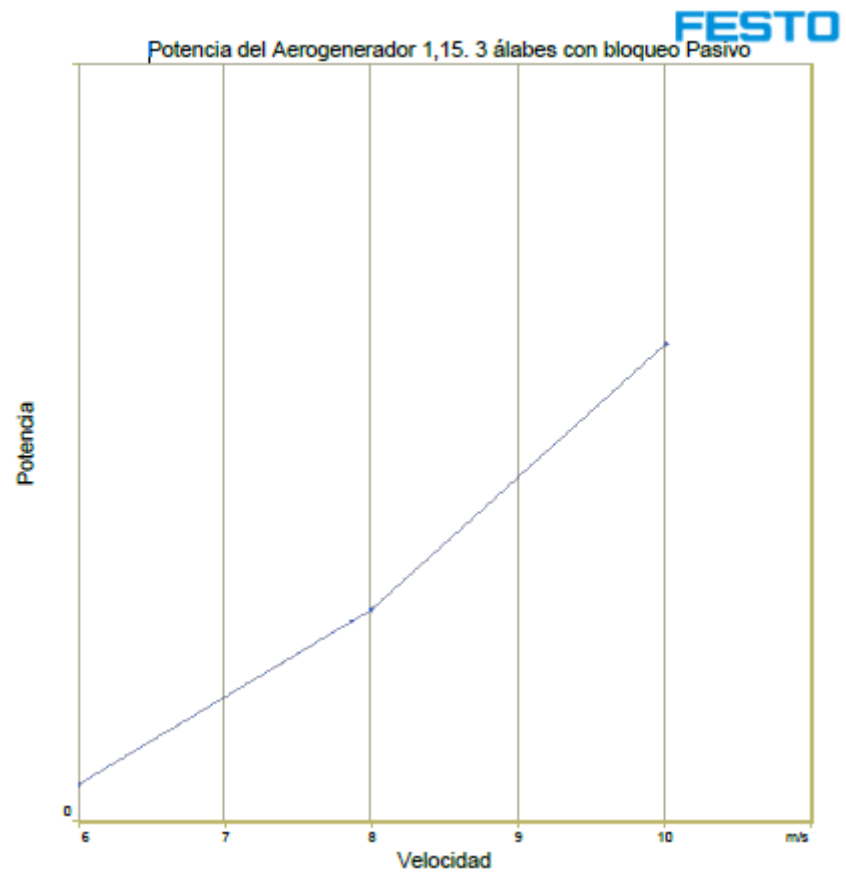
Índice de la fila	Velocidad (m/s)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia (W)
1	6	0.22	69.6	15.31
2	8	0.31	97.4	30.19
3	10	0.40	125.3	50.12
4				
5				

Potencia del aerogenerador 1,15. 3 álabes con caja de engranajes



1,15. 3 Álabes con bloqueo pasivo

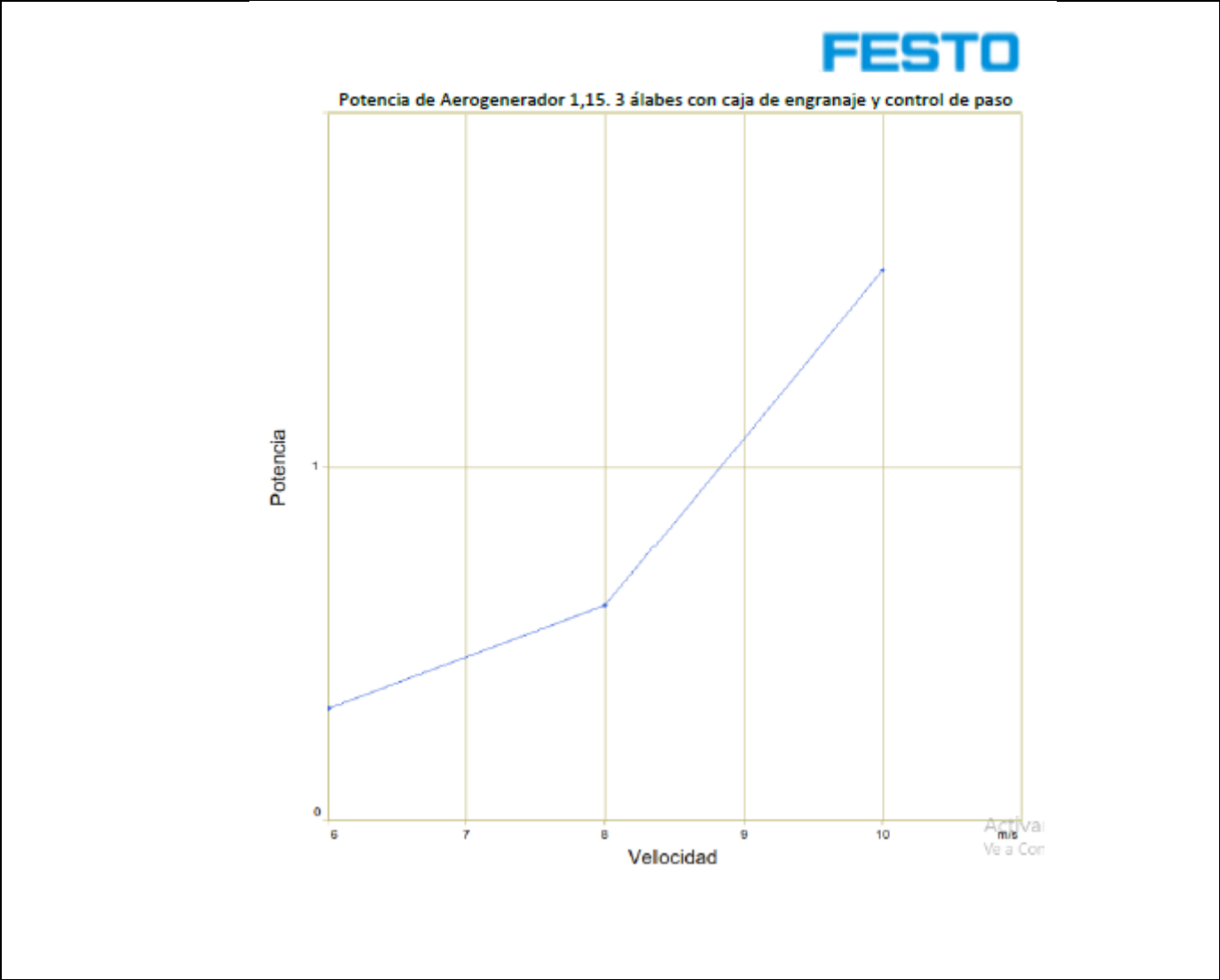
Índice de la fila	Velocidad (m/s)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia (W)
1	6	0.01	5.42	0.05
2	8	0.03	9.41	0.28
3	10	0.04	15.8	0.63



FESTO

1,15. 3 álabes con caja de engranaje y control de paso datos

Índice de la fila	Velocidad (m/s)	Corriente (A)	Tensión (V)	Potencia (W)
1	6	0.03	10.5	0.32
2	8	0.04	15.2	0.61
3	10	0.07	22.3	1.56



Fecha de Elaboración: 25/07/2025

Elaborado por: García Santana Danny Lenin y Salvador Zambrano Bailón

REVISADO POR: PhD. Fernando Vladimir Jaramillo García.
FECHA: 25 de Julio de 2025

TAREAS INTRA-CLASE: GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<< Evaluación Integral del sistema con perfil de viento variable estrategia MPPT (curva de máxima potencia) >>	No. PRÁCTICA: <<TS.4.03.06 >>
------------------------------	--	--------------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO
FECHA:	15 DE JULIO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	GARCÍA SANTANA DANNY LENIN ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE:	ING. FERNANDO VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA. Phd

2. FUNDAMENTACIÓN

En la operación real de aerogeneradores las condiciones cambian constantemente, y para maximizar la energía adaptada se implementan estrategias de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Esta práctica permite simular el flujo dinámico del viento mediante el software LVDAC-EMS y analizar la capacidad del sistema para adaptarse en tiempo real a estas variaciones. Según el entorno real que el controlador intenta mantener la operación del aerogenerador cerca de su punto óptimo de eficiencia.

Conceptos Claves:

MPPT (Maximum Power Point Tracker o punto de máxima potencia) es el algoritmo que ajusta las condiciones del sistema para obtener la máxima potencia posible. (Fula & Vilorio, 2015)

Perfil de viento variable: secuencia simulada de cambios del viento que requieren adaptación constante y el otro seguimiento dinámico que es la respuesta del controlador para mantener la operación cerca del punto óptimo

3. OBJETIVOS

- Simular el perfil dinámico de velocidad del viento y evaluar la respuesta del sistema.
- Analizar la capacidad del sistema de control para comprender la máxima potencia entregada
- Validar el comportamiento de aerogenerador frente a condiciones reales fluctuantes.

4. MATERIALES E INSUMOS

- Dinamómetro/ fuente de alimentación de cuatri cuadrantes (Labvolt series 8960-32)
- Alternador/controlador de aerogenerador (Labvolt Series 8216-02)
- Banco de Carga Resistiva
- LVDAC-EMS Software
- Computadora con el software
- Juego de cables tipo bananas
- Multímetro

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Configurar el sistema el Aerogenerador a una carga fija en el banco de resistores	Confirmar estado de inicio en condiciones correctas
2	Activar el LVDAC-EMS en el emulador de viento	Configurar un perfil: Para (5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 10,5; 11; 11,5; 12) m/s cada paso en 10 segundos.
3	Registrar tensión, corriente y potencia	Asegurar que la carga permanezca constante.
4	Observar si el sistema se adapta manteniendo la potencia en el punto de máxima potencia	Anotar respuesta y estabilidad
5	Comparar la curva de potencia simplemente con las practicas anteriores	Evaluar si el sistema “persigue la potencia máxima esperada”
6	Exportar los datos del LVDAC-EMS registrados	Detener el sistema al expotar los datos.

6. CUADRO DE RESULTADOS

Tiempo (seg)	Velocidad (m/s)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
10	5,5	48.42	0.30	14.53
20	6	55.07	0.35	19.27
30	6,5	60.9	0.40	24.36
40	7	66.7	0.43	28.68
50	7,5	74.3	0.48	35.66

60	8	81.4	0.53	43.14
70	8,5	87.3	0.56	48.89
80	9	93.8	0.61	57.22
90	9,5	100.7	0.66	66.46
100	10	107.4	0.69	74.11
110	10,5	113.5	0.74	83.99
120	11	120.1	0.79	94.88
130	11,5	127.6	0.84	107.84
140	12	133.2	0.87	115.88

7. CONCLUSIONES

- El sistema respondió adecuadamente a las variaciones del tiempo simulado mostrando un comportamiento coherente con la estrategia del punto de máxima potencia base.
- Se mantuvo cerca del punto de máxima potencia en la mayoría de las velocidades evaluadas.
- La variación rápida del viento puede dificultar el seguimiento óptimo, si no hay un controlador avanzado programado.

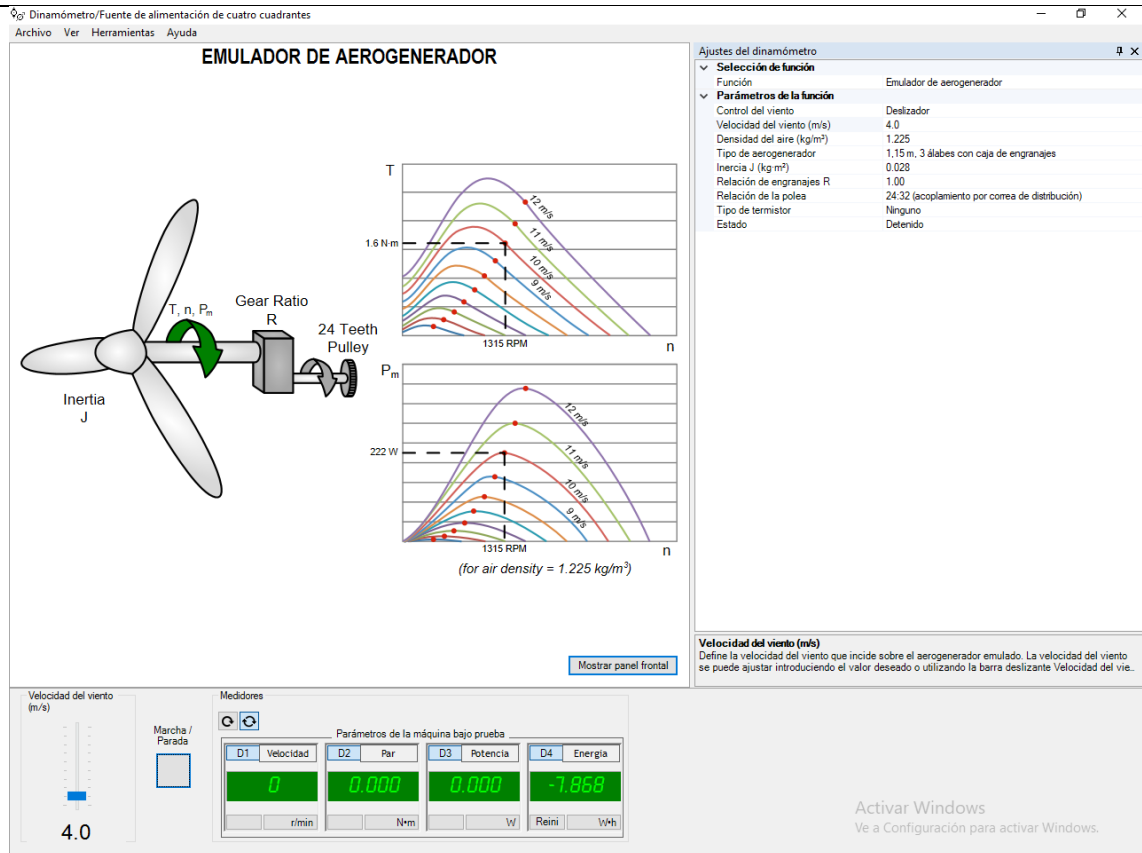
8. RECOMENDACIONES

Implementar un controlador con algoritmo de punto de máxima potencia.
 Repetir la práctica con diferentes perfiles de barrido más rápido o más lentos para preparar resultados.
 Utilizar esta práctica como base para proyectos de investigación con controladores inteligentes

9. BIBLIOGRAFÍA

LabVolt Series by Festo Didactic - Wind Turbine Generator/Controller (8216-00).
 Accessed July 3, 2025. https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller.
 Fula, J. G., & Vilorio, A. (2015). Estudio Sobre el Abastecimiento Constante de Energía Eólica. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 3(2). <https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2028>

10. ANEXOS

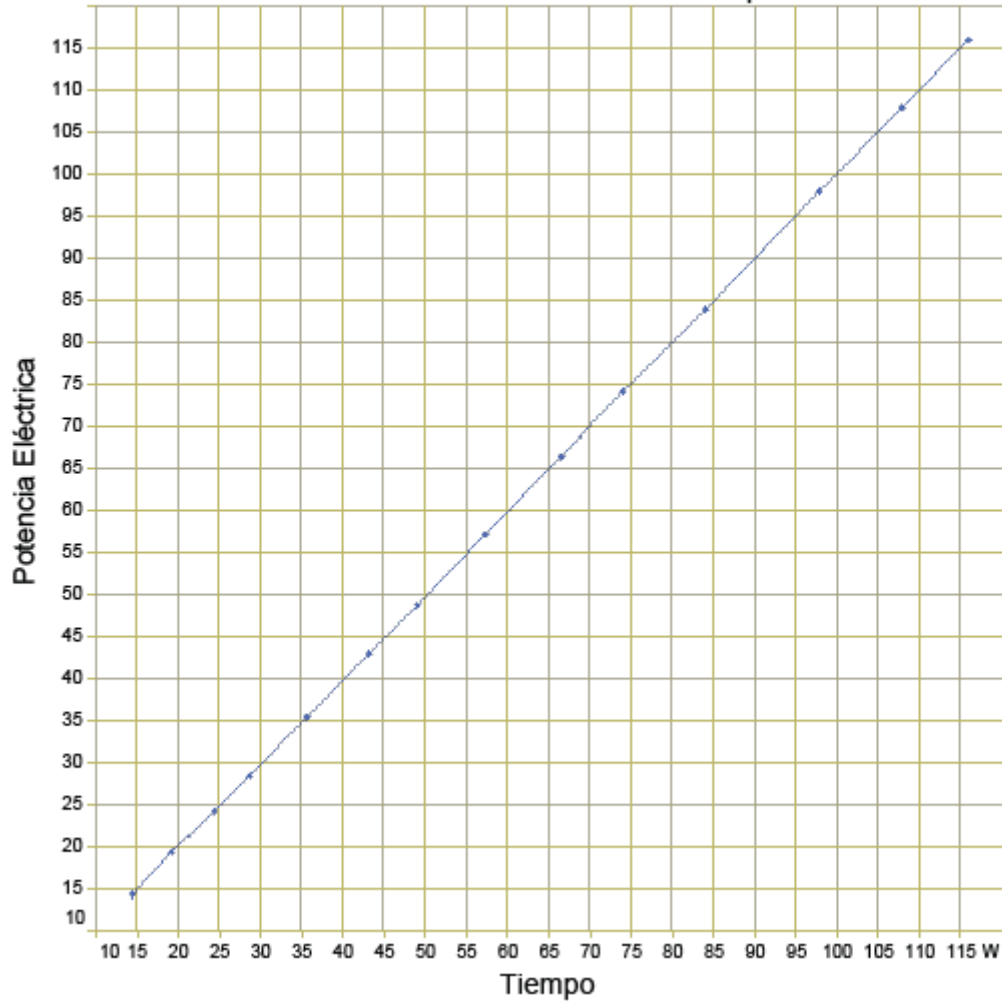


FESTO

Documento1

Índice de la fila	Tiempo (seg)	Velocidad (m/s)	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
1	10	5.5	48.42	0.30	14.53
2	20	6	55.07	0.35	19.27
3	30	6.5	60.9	0.40	24.36
4	40	7	66.7	0.43	28.68
5	50	7.5	74.3	0.48	35.66
6	60	8	81.4	0.53	43.14
7	70	8.5	87.3	0.56	48.89
8	80	9	93.8	0.61	57.22
9	90	9.5	100.7	0.66	66.46
10	100	10	107.4	0.69	74.11
11	110	10.5	113.5	0.74	83.99
12	120	11	120.1	0.79	97.88
13	130	11.5	127.6	0.84	107.84
14	140	12	133.2	0.87	115.88

Curva Potencia Eléctrica vs Tiempo



Fecha de Elaboración: 25 de Julio del 2025

Elaborado por: Danny García Santana y Salvador Zambrano Bailón

REVISADO POR: Ing. Fernando Jaramillo García, Phd. FECHA: 25 de Julio del 2025

TAREAS INTRA-CLASE: 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: <<TS.1.01 -07 >>
------------------------------	--	---------------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

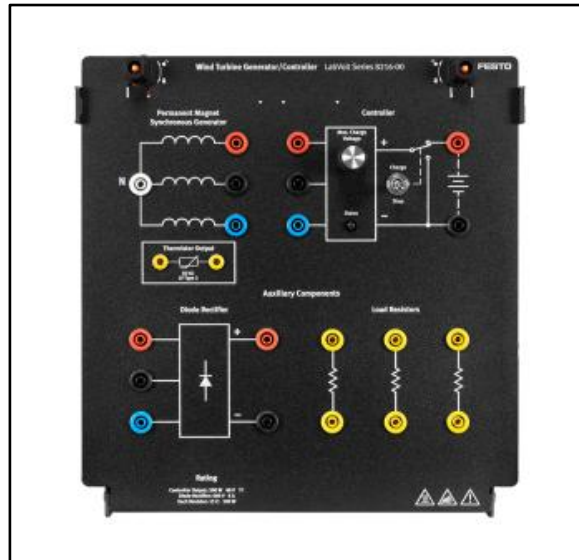
CARRERA:	INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO SEMESTRE
FECHA:	VIERNES, 23 DE MAYO DEL 2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	GARCÍA SANTANA DANNY ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE:	ING. VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA, Phd.

2. FUNDAMENTACIÓN

Aerogenerador

Un aerogenerador es un dispositivo mecánico diseñado para transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica. Este proceso se realiza mediante un conjunto de palas o aspas conectadas a un rotor, el cual gira cuando el viento sopla. Este movimiento rotatorio se transmite a un generador eléctrico que convierte la energía mecánica en electricidad utilizable. Los aerogeneradores forman parte esencial de los sistemas de generación de energía eólica, una fuente de energía renovable limpia y sostenible que contribuye significativamente a la reducción del uso de combustibles fósiles y a la disminución de emisiones contaminantes. (Twidell & Weir, s. f.)

Figura 1 Alternador/Controlador de aerogenerador



Fuente: FESTO 2024

Dinamómetro

Un dinamómetro de cuatro cuadrantes es un dispositivo de medición y prueba utilizado para simular cargas y medir el comportamiento de máquinas rotativas, como motores y generadores, en las cuatro posibles combinaciones de torque y velocidad: sentido positivo y negativo de rotación, tanto en modo motor como en modo generador. Este dinamómetro permite analizar el rendimiento de una máquina en todos sus modos de operación, incluyendo la aceleración, frenado, y recuperación de energía.(Ehsani et al., s. f.)

Figura 2 Dinamómetro/ Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes

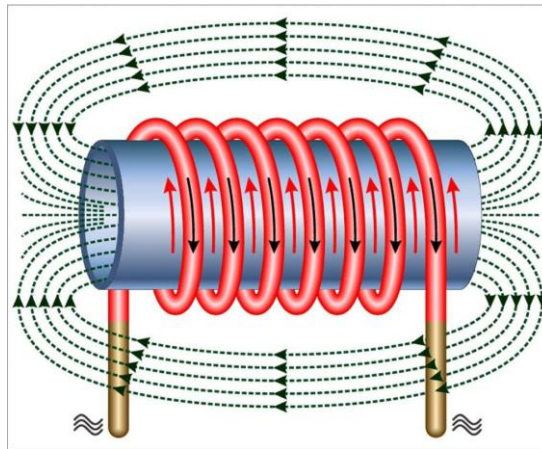


Fuente: FESTO 2024

Inducción Electromagnética

La inducción electromagnética es el fenómeno físico mediante el cual se genera una corriente eléctrica en un conductor cuando este se encuentra expuesto a un campo magnético variable, este principio de funcionamiento es la base de numerosos dispositivos eléctricos, como generadores, transformadores, motores eléctricos e inductores. En los generadores, por ejemplo, la rotación de un conductor dentro de un campo magnético produce electricidad. (FÍSICA Para Ciencias E Ingeniería Volumen 1 Séptima Edición Raymond A. Serway Emérito, James Madison University John W. Jewett, Jr. California State Polytechnic University, Pomona, s. f.)

Figura 3 Inducción Electromagnética



Fuente: («Inducción electromagnética», 2021)

Frecuencia

La frecuencia eléctrica generada por un aerogenerador está relacionada con la velocidad del viento, ya que esta es la última en determinar la velocidad de rotación del rotor, y por ende, la frecuencia de la corriente alterna generada. La frecuencia eléctrica generada depende directamente de la velocidad angular del generador y el número de pares de polos magnéticos del alternador, cuando la velocidad del viento aumenta, el rotor gira más rápido, aumentando la frecuencia si no se regula electrónicamente, en muchos sistemas modernos, especialmente los conectados a red, se usa electrónica de potencia para mantener la frecuencia constante (por ejemplo, 50 o 60 Hz), aunque varíe la velocidad del viento. («Wind Energy Power Plants», 2014)

Velocidad

La velocidad del viento es un factor determinante en la generación de energía eólica, ya que de ella depende cuánta energía cinética se puede transformar en electricidad. La potencia generada por un aerogenerador es proporcional al cubo de la velocidad del viento, por lo que un pequeño incremento en la velocidad produce un aumento significativo en la energía obtenida. Los aerogeneradores funcionan dentro de un rango específico: comienzan a generar energía a partir de los 3 m/s (velocidad de arranque), alcanzan su máxima eficiencia entre los 12 y 15 m/s (velocidad nominal) y se detienen por seguridad cuando el viento supera los 25 m/s (velocidad de corte). Este comportamiento permite proteger los equipos de daños por exceso de viento. Por ello, realizar un estudio previo de las condiciones del viento en una zona es fundamental para garantizar la viabilidad y eficiencia de un parque eólico. («Wind Energy Systems», 2009)

Tensión

La tensión obtenida de un aerogenerador es el voltaje generado cuando el viento hace girar las aspas, moviendo el rotor del generador. Este movimiento convierte la energía mecánica en energía

eléctrica mediante el principio de inducción electromagnética. La magnitud de la tensión depende principalmente de la velocidad de rotación del rotor, del número de espiras en el generador y del flujo magnético presente. A mayor velocidad del viento, mayor será la velocidad de giro, y, por tanto, mayor la tensión generada. En aerogeneradores de velocidad variable, la tensión no es constante, por lo que se utilizan convertidores electrónicos para regularla antes de conectarla a la red eléctrica. Este control permite mantener una salida estable, independientemente de las variaciones del viento. La tensión típica en sistemas pequeños puede variar entre 12 y 48 V (corriente continua), mientras que en sistemas grandes se puede generar tensión alterna de cientos o miles de voltios.(«Wind Energy Conversion Systems», 2014)

3. OBJETIVOS

Aprender cómo resultan afectadas la magnitud y frecuencia de la tensión ca generada cuando se produce un cambio en la velocidad de rotación del alternador.

4. MATERIALES E INSUMOS

- Computador
- Software LVDAC-EMS
- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
- Alternador/Controlador de aerogenerador (8216)
- Multímetro
- Puerto USB

5. PROCEDIMIENTO

Nº	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Colocar el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes en la posición Izquierda del tablero Lavbolt.	La Polea del Dinamómetro debe ser menos dientes (24 dientes)
2	Colocar del lado derecho el módulo Alternador/Controlador de aerogenerador (8216).	La polea debe ser de (32 dientes)
3	Instalar los equipos en el puesto de trabajo, se procede a colocar la banda en la Polea de ambos módulos.	Acoplar en la posición correcta.
4	Conectar el monitor/Computador a tomacorriente y posteriormente encender el equipo.	
5	Ejecutar el software LVDAC-EMS	Debe conectar el puerto USB del monitor al Dinamómetro
6	Conectar el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes al tomacorriente	Se conecta primero el puerto USB del dinamómetro y luego la alimentación eléctrica. El equipo se enciende correctamente.

7	Fijar en el software la función: Emulador de aerogenerador”	
8	Configurar la densidad del aire 1,225 (kg/m ³)	
9	Configurar el tipo de aerogenerador en “1,15m, 3 álabes)	
10	Configurar el Parámetro “Relación de la polea en 24:32 (acoplamiento por correa de distribución”	La velocidad del viento (m/s) irá variando de acuerdo con la práctica donde el resultado se obtiene en RPM. Hacer que la velocidad de rotación del aerogenerador pase de 0 a 1500 r/min, ajustando el parámetro Velocidad
11	Registrar la velocidad de rotación del alternador en una tabla elaborada en el mismo “software LVDAC-EMS”.	
12	Medir y registrar la tensión del alternador	Mediante un multímetro, (midiendo en los bornes del Neutro y fase del Aerogenerador)
13	Medir la frecuencia del alternador, y registrarla	Así mismo con el multímetro que se está utilizando
14	Graficar los datos obtenidos en dicha medición	Los datos obtenidos son: Velocidad de rotación del alternador (r/min), Tensión del alternador (V), Frecuencia del alternador (Hz).
15	Cerrar el software LVDAC-EMS y luego apague todo el equipo.	Al finalizar la práctica, se apaga el dinamómetro antes de retirar el puerto USB.
16	Retirar del tablero Lavbolt, los equipos utilizados	Tener precaución al momento de manipular los equipos.

6. CUADRO DE RESULTADOS

Velocidad (r/min)	Tensión del Alternador Eg (V)	Frecuencia del alternador Fg (Hz)
535	16.06	52.2
548	17.04	54.36
567	18.01	56.7
593	18.09	59
608	19.03	60.69
638	20.02	64.44

650	21	66.30
681	21.08	68.24
716	23.02	72.77
733	23.2	73.04
755	24	75.37
859	27.2	85.39
963	30.9	96.29
1069	33.9	106.8
1172	37.1	117.2
1259	40.2	125.4
1380	44	137.3
1423	45.1	141.2
1440	46.1	143.6
1486	47	148.1
1500	48	150

Tabla de Datos obtenidos en el Software LVDAC-EMS

7. CONCLUSION

A través de esta práctica se comprobó que tanto la magnitud como la frecuencia de la tensión alterna (ca) generada por un alternador están directamente influenciadas por la velocidad de rotación del rotor. Al aumentar la velocidad de rotación, se incrementa la frecuencia con la que los imanes del rotor cruzan las bobinas del estátor, lo que induce una mayor frecuencia en la tensión generada. Asimismo, se observó que una mayor velocidad de rotación también genera una tensión de mayor magnitud. Estos resultados permiten comprender la importancia de controlar la velocidad del rotor en sistemas como los aerogeneradores, especialmente cuando se requiere mantener estable la frecuencia de salida en aplicaciones conectadas a la red eléctrica.

8. RECOMENDACIONES

9. BIBLIOGRAFÍA

Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (s. f.). *Vehículos eléctricos modernos, híbridos eléctricos y de pila de combustible: Fundamentos, Teoría y Diseño, Segunda Edición*. <https://doi.org/10.1201/9781420054002>

Física Para Ciencias E Ingeniería Volumen 1 Séptima Edición Raymond A. Serway Emérito, James Madison University John W. Jewett, Jr. California State Polytechnic University, Pomona. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2025, de <http://archive.org/details/FSICAParaCienciasEIngenieraVolumen1SptimaEdicinRaymondA.SerwayEmritoJamesMadison>

Inducción electromagnética: Qué es, aplicaciones, ejemplos. (2021, noviembre 23). *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/induccin-electromagnetica/>

Twidell, J., & Weir, T. (s. f.). *Recursos de energía renovable*. <https://doi.org/10.4324/9781315766416>

Wind Energy Conversion Systems. (2014). En *Grid Integration of Wind Energy* (pp. 31-117). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118703274.ch2>

Wind Energy Power Plants. (2014). En *Grid Integration of Wind Energy* (pp. 1-30). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118703274.ch1>

Wind Energy Systems: Environmental Aspects and Impacts. (2009). En *Wind Energy Explained* (pp. 547-591). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119994367.ch12>

10. ANEXOS





A partir de los resultados obtenidos que se visualizan en la Figura 1, se procede a graficar la curva de Tensión E_g del aerogenerador en función de la velocidad de rotación del mismo n_g .

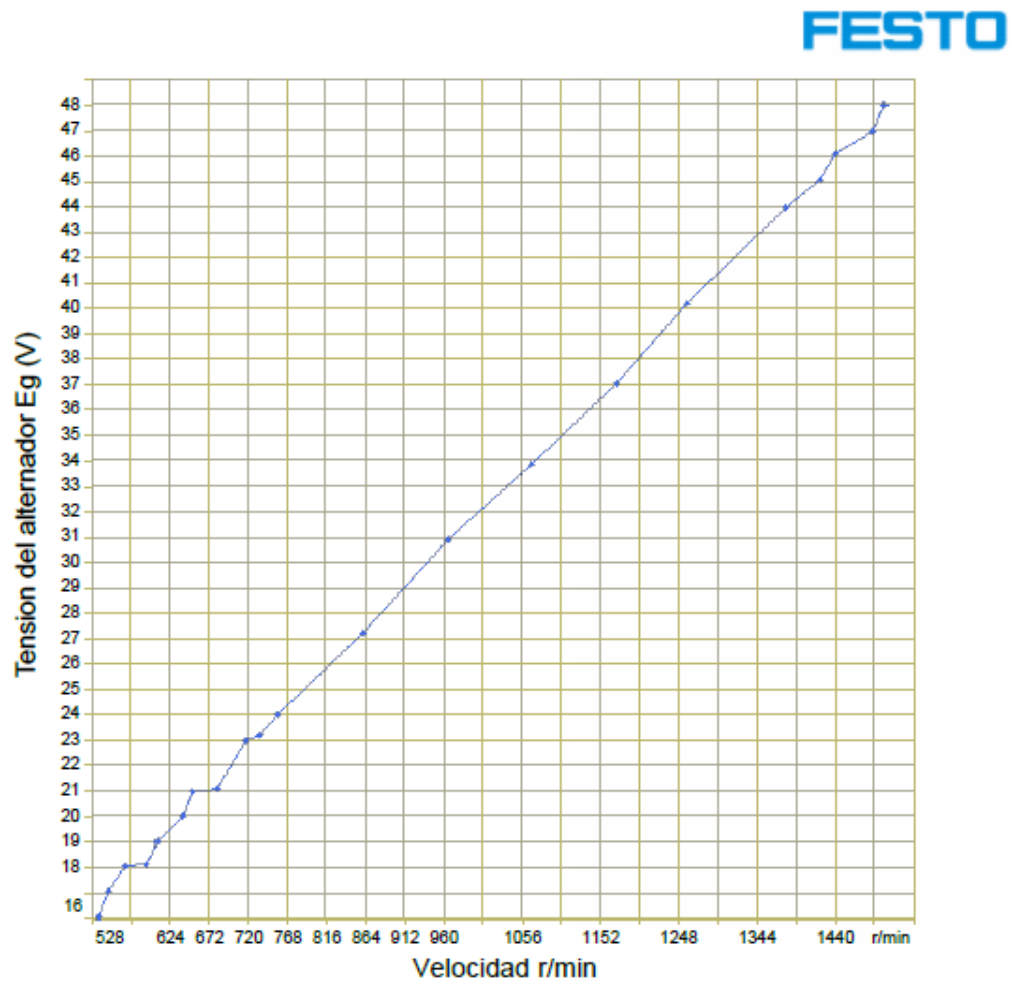


Figura 5 Variación de la tensión del aerogenerador es directamente proporcional a la velocidad de rotación del alternador.

De acuerdo con los datos registrados de la frecuencia del alternador, se grafica la curva de la frecuencia f_g del aerogenerador en función de la velocidad de rotación del mismo n_g

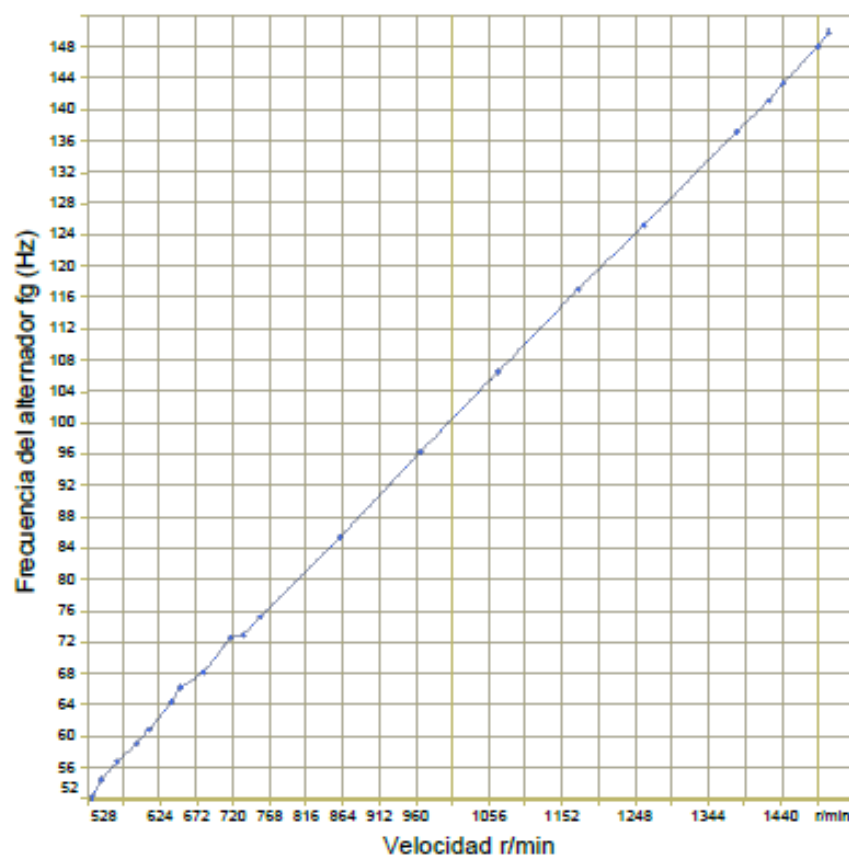


Figura 6 Variación de la frecuencia del aerogenerador es directamente proporcional a la velocidad de rotación del alternador.

Fecha de Elaboración: Martes, 20 de Mayo del 2025

Elaborado por: Danny García Santa y Salvador Zambrano Bailón

REVISADO POR:

Ing. Vladimir Jaramillo García, Phd.

FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

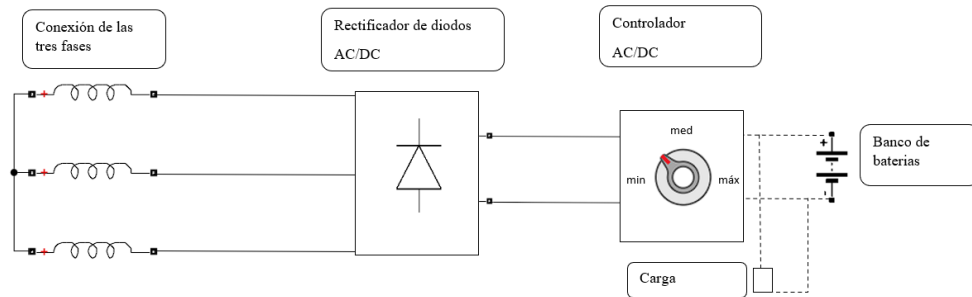
GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<<Influencia del viento en intervalos de parámetros temporales>>	No. PRÁCTICA: <<TS 4.03- 08>>
------------------------------	--	--------------------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	9NO
FECHA:	16/05/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	GARCÍA SANTANA DANNY ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE	ING. VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA, Phd.

2. FUNDAMENTACIÓN
El Generador/Controlador de Aerogenerador consiste principalmente en el generador y el controlador de un aerogenerador de pequeña escala real, montado en un módulo EMS de tamaño completo. El módulo también incluye componentes auxiliares (un rectificador de diodos trifásico y un conjunto de tres resistencias de potencia) que se pueden utilizar para aplicar una carga eléctrica variable al generador. Los conectores de seguridad tipo banana de 4 mm codificados por colores montados en el panel frontal del módulo permiten el acceso a los devanados del generador, la entrada y salida del controlador, el rectificador de diodos y las resistencias de potencia. El generador en el Generador/Controlador de Aerogenerador es un generador sincrónico de imán permanente trifásico. El controlador es un dispositivo de electrónica de potencia que convierte la energía trifásica producida por el generador en energía de corriente continua y asegura que el generador produzca la máxima cantidad de energía posible a cualquier velocidad del viento dentro del rango operativo. El controlador también realiza la regulación de voltaje para mantener una salida de voltaje de corriente continua constante y previene la sobrecarga. (<i>LabVolt Series Por Festo Didactic - Alternador/Controlador de Aerogenerador (8216-00)</i>, n.d.)



Sistema de Conexión de un aerogenerador.

3. OBJETIVOS

- Analizar como la variabilidad afecta el rendimiento del aerogenerador en diferentes lapsos de tiempo.

4. MATERIALES E INSUMOS

1. Módulo Controlador/ Generador Turbina Eólica 8216
2. Módulo Electrodinamómetro de 4 cuadrantes 8960
3. Módulo de cargas resistivas
4. Multímetro
5. Cables tipo Bananas
6. Pc
7. Banda
8. software LVDAC-EMS (Lab-Volt Festo)

5. 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 Controlador/ Generador Turbina Eólica 8216 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, 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
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 y velocidad-frecuencia	Se puede evidenciar como aumenta la tensión y frecuencia cuando hay mayor velocidad

6. 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

7. 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

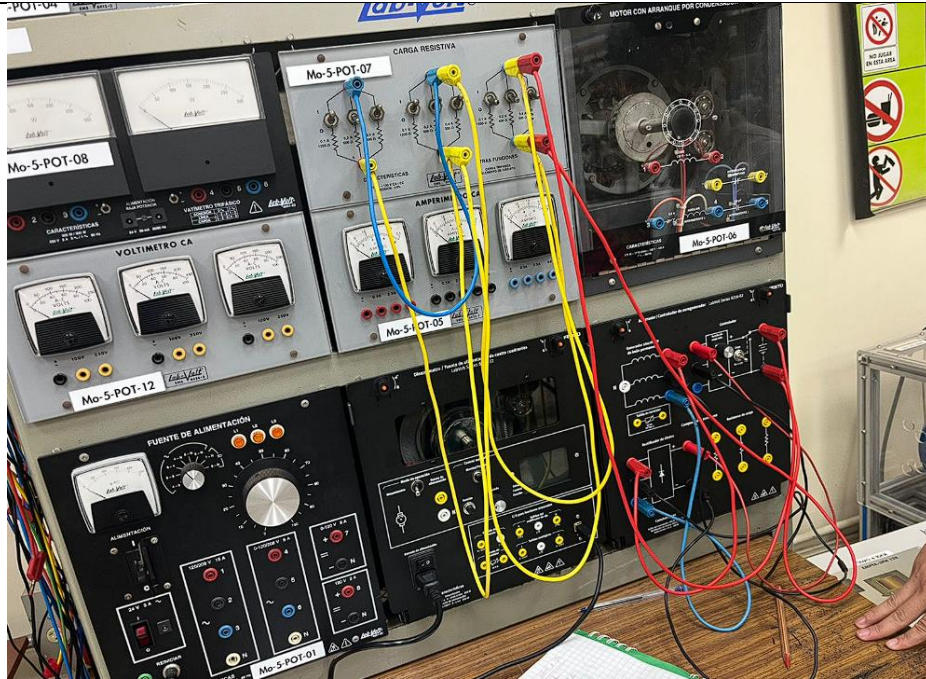
8. RECOMENDACIONES

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

9. BIBLIOGRAFÍA

Volt Series por Festo Didactic - Alternador/controlador de aerogenerador (8216-00). (n.d.). Retrieved June 27, 2025, from https://labvolt.festo.com/solutions/50-8216-00_wind_turbine_generator_controller

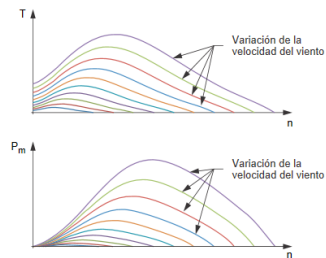
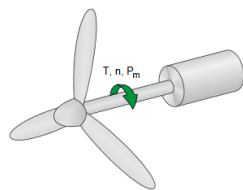
10. ANEXOS



Ø 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	Reint	Wh

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.

Fecha de Elaboración: 16/05/2025

Elaborado por: Danny García Santa y Salvador Zambrano Bailón

REVISADO POR: Ing. Vladimir Jaramillo García, Phd.
FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

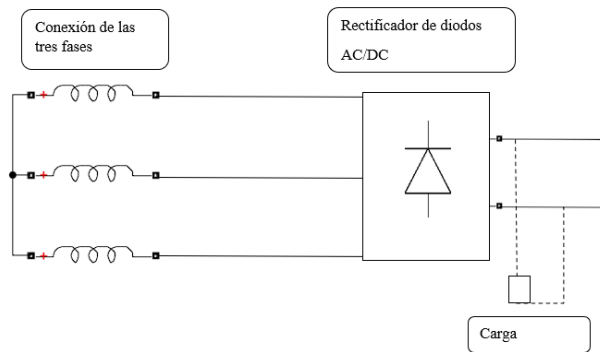
GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA
INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	<<Potencia en función de la velocidad del viento.>>	No.PRÁCTICA: <<TS.4.03-09>>
------------------------------	---	---

1. DATOS INFORMATIVOS	
CARRERA:	ELECTRICIDAD
CICLO/NIVEL:	NOVENO
FECHA:	1/08/2025
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	SANTANA GARCÍA DANNY ZAMBRANO BAILÓN SALVADOR
DOCENTE RESPONSABLE	ING. VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA, Phd.

2. 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).



Esquema de conexión a conectar en el módulo

3. 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

4. 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

5. PROCEDIMIENTO

5. 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 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	

6. 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

7. CONCLUSIONES

- El sistema mostró un rendimiento mayor en la velocidad del viento de 10 m/s
- La energía generada del régimen variable representó aproximadamente cuánto de la energía generada del régimen de viento de 10 m/s de eficiencia de 65,405%
- 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.

8. RECOMENDACIONES

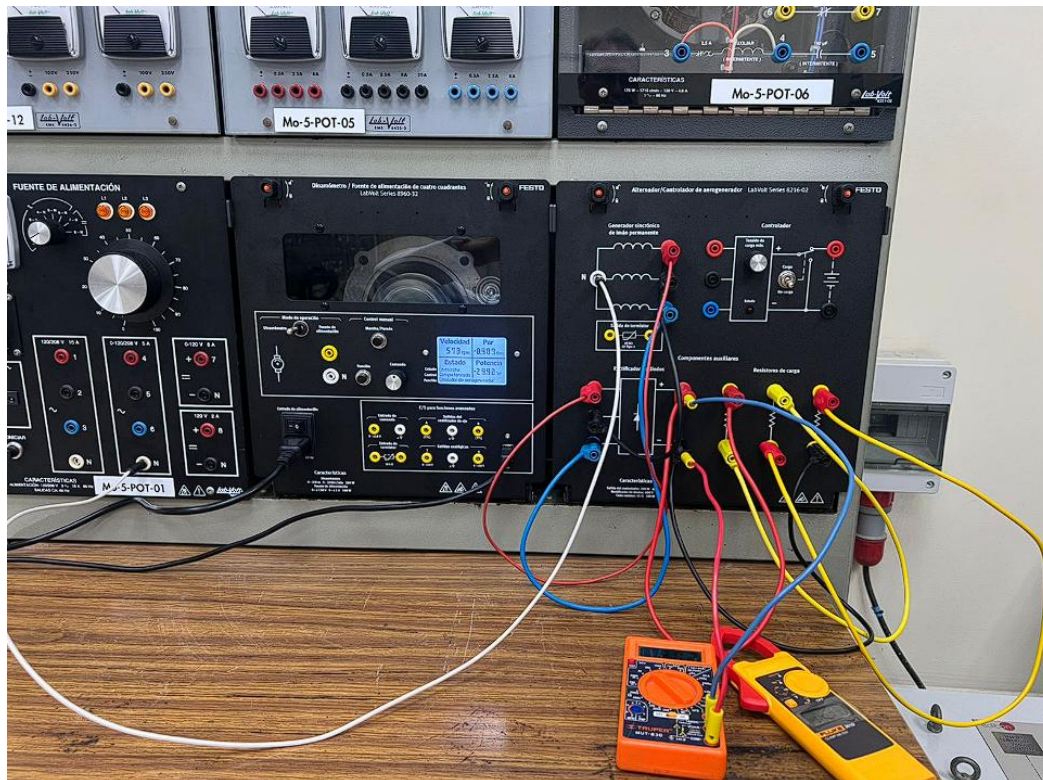
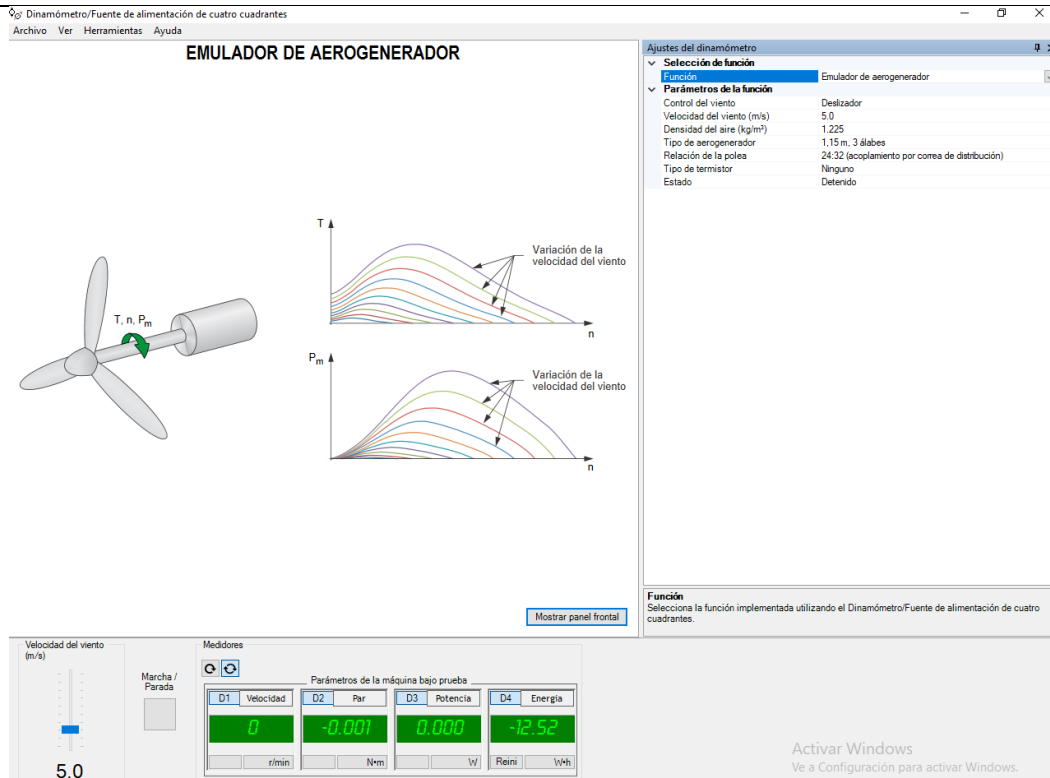
- Considerar una duración mayor de simulación para observar tendencias sostenidas y utilizar banco de baterías
- Incluir condiciones ambientales reales de temperatura o humedad, si es posible, para validar la simulación
- Repetir pruebas en diferentes ramos de tiempo para ampliar la base de comparación

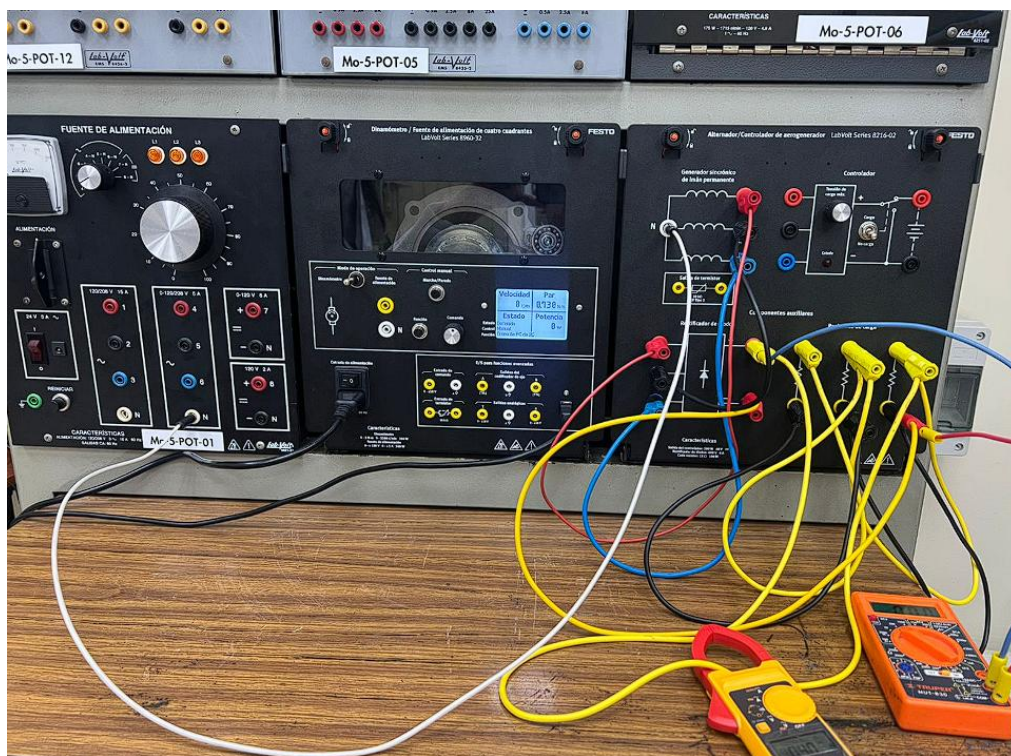
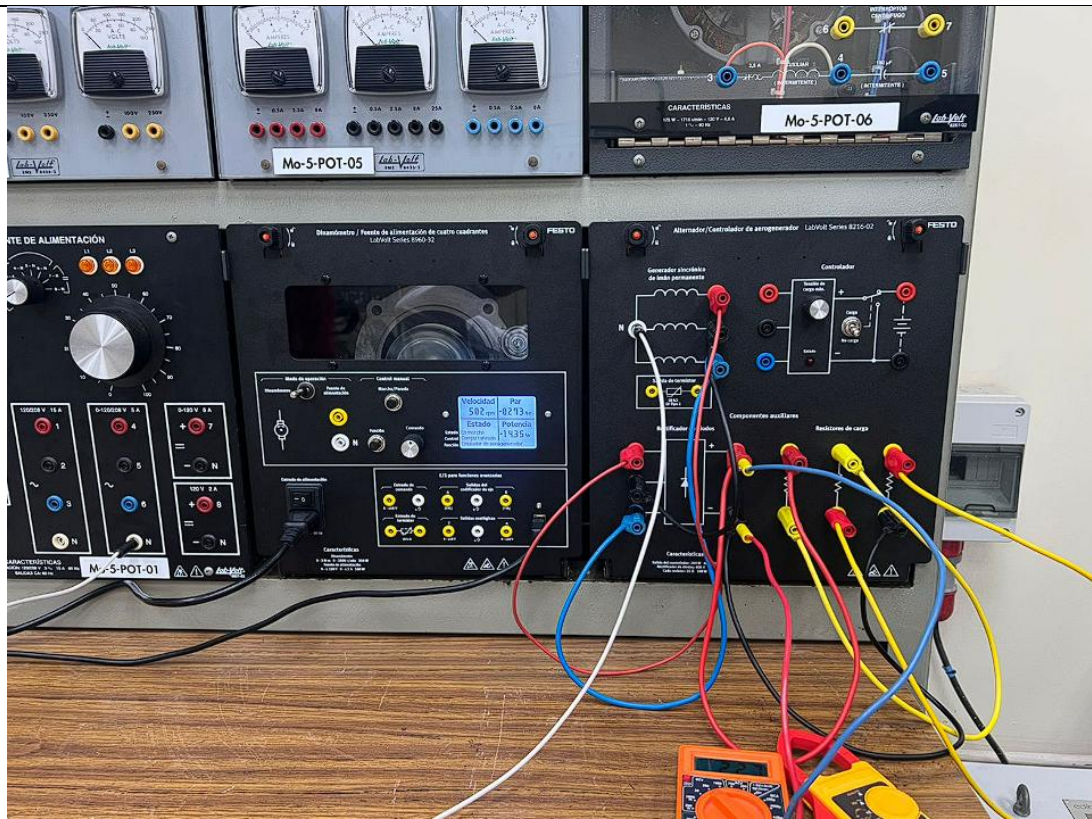
9. BIBLIOGRAFÍA

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

Manual técnico LVDAC-EMS Instructor Guide 579353

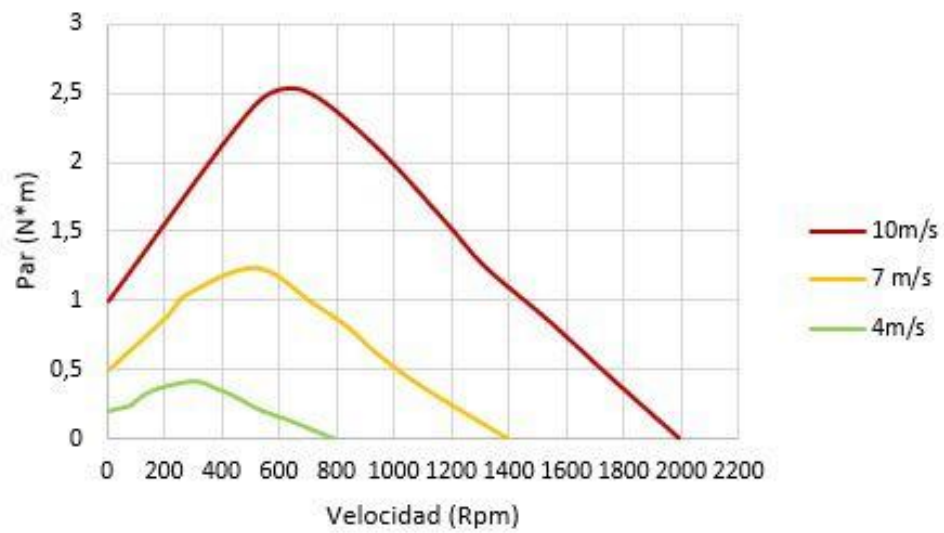
10. ANEXOS



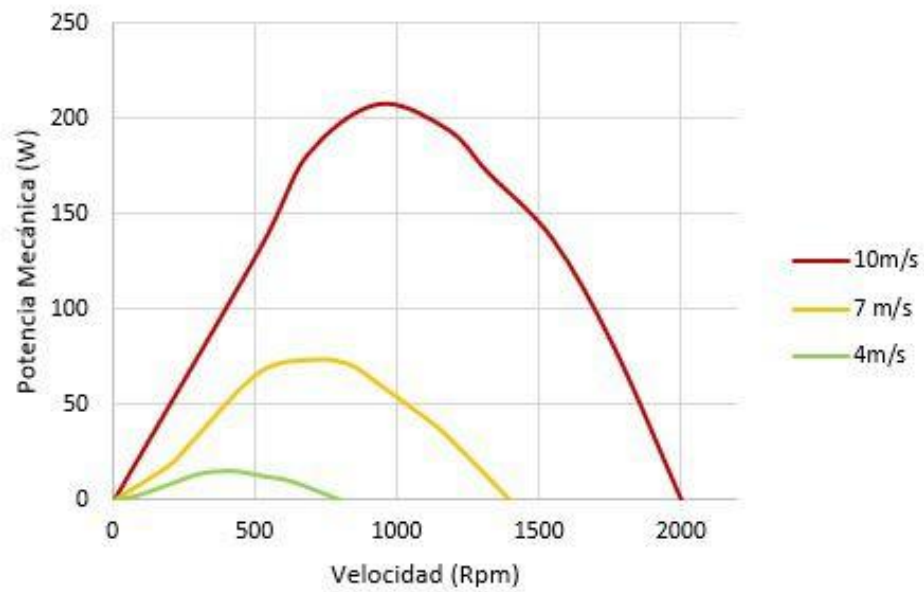




Gráfica Par vs Velocidad



Gráfica Potencia Mecánica vs Velocidad



Fecha de Elaboración: 1/8/2025

Elaborado por: Santana García Danny Lenín, Zambrano Bailón Salvador Emilio

REVISADO POR: Ing. Vladimir Jaramillo García, Phd.
FECHA: 1/8/2025