



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Modelo híbrido de aprendizaje automático y conocimiento físico para la predicción  
semanal de producción eólica. Caso de estudio: central eólica Huascachaca.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autores:**

**Hernández Jimenez Christian Alexander**

**Hurtado Astudillo Juan José**

**Director:**

**Juan Carlos Sarmiento Vintimilla**

**CUENCA, ECUADOR**

**2026**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo, y todo el esfuerzo que representa, a mi mamá Cristina, quien, a pesar de las dificultades y de nuestras diferencias, siempre estuvo ahí para apoyarme e impulsarme a seguir adelante y cumplir cada una de las metas que me proponía.

A mi papá Jaime, quien confió en mí incluso en los momentos en los que yo dudaba, brindándome su apoyo en cada etapa de este camino.

Y, de manera muy especial, a mi abuela Angelita, quien jamás me dejó solo, quien siempre me dio la mano cuando más la necesitaba y un corazón dispuesto a sostenerme incluso cuando todo parecía imposible.

Gracias de todo corazón por creer en mí y en lo que puedo llegar a ser, porque este logro no es solo mío, sino también de ustedes; este es apenas un pequeño paso de todo lo que está por venir.

**Christian Alexander Hernández Jimenez**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Marianela, por ser quien me brindo su apoyo incondicional durante toda mi vida sin importar lo duro que fuera; gracias por ser la persona mas importante de mi vida, por nunca soltar mi mano y por estar a mi lado en cada batalla, este logro es para usted. A mi hermano Alexander y mi abuela Maria, por su presencia constante, por estar ahí en las buenas y en las malas, y por tener siempre la palabra precisa o la broma necesaria para animarme y hacerme reír cuando más lo necesitaba.

A mi familia en general, por mantener la fe en mí en aquellos momentos en los que ni yo mismo creía en mis capacidades; su confianza y animos fue lo que me permitió llegar a esta meta.

De manera especial, a mi esposa Lesley, quien cuando era solo mi novia me motivo a retomar mis estudios. Gracias por impulsarme y por animarme a buscar esta oportunidad cuando pensaba que la había perdido.

**Juan José Hurtado Astudillo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a ELECAUSTRO S.A. por la confianza brindada al facilitar el acceso a los datos del parque eólico Huascachaca, los cuales constituyeron la base para el desarrollo de la presente investigación.

Asimismo, agradecemos a nuestro tutor de tesis por su guía, dedicación y apoyo constante, los cuales fueron fundamentales durante todo el proceso; su disposición y compromiso no solo enriquecieron este trabajo, sino que también fortalecieron nuestro crecimiento académico y personal.

Finalmente, agradecemos a nuestras familias, parejas, docentes y tutor, por su apoyo incondicional, por acompañarnos en cada etapa y por brindarnos la fortaleza necesaria para seguir adelante incluso cuando todo parecía imposible; este logro también es parte de ustedes.

# MODELO HÍBRIDO DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO Y CONOCIMIENTO FÍSICO PARA LA PREDICCIÓN SEMANAL DE PRODUCCIÓN EÓLICA. CASO DE ESTUDIO: CENTRAL EÓLICA HUASCACHACA.

El crecimiento de la generación eólica en el sistema eléctrico ecuatoriano ha incrementado la necesidad de herramientas de pronóstico precisas para la planificación operativa semanal. En este trabajo se propone un modelo híbrido para la central Huascachaca, que combina un enfoque físico basado en la curva de potencia de la turbina con un modelo Long Short-Term Memory para modelar residuos y dependencias temporales. Se emplearon datos históricos horarios estructurados en secuencias temporales para predicciones de 168 horas. Los resultados muestran que el modelo híbrido supera al modelo físico, al LSTM individual y al método tradicional utilizado en la central, alcanzando un MAE de 428.90 kWh, un RMSE de 703.14 kWh y un  $R^2$  de 0.556, evidenciando una mejora en la precisión del pronóstico. Se concluye que la integración de modelos físicos y aprendizaje automático permite obtener pronósticos más precisos y robustos, incluso con información meteorológica limitada.

**Palabras clave:** Aprendizaje automático; modelos híbridos; planificación de generación; predicción de generación eólica; series temporales energéticas.

# HYBRID MACHINE LEARNING AND PHYSICS-BASED MODEL FOR WEEKLY WIND POWER FORECASTING: CASE STUDY OF THE HUASCACHACA WIND FARM.

The growth of wind power generation in the Ecuadorian electrical system has increased the need for accurate forecasting tools for weekly operational planning. This work proposes a hybrid model for the Huascachaca power plant, which combines a physical approach based on the turbine power curve with a Long Short-Term Memory model to capture residuals and temporal dependencies. Historical hourly data structured in temporal sequences were used for 168-hour predictions. The results show that the hybrid model outperforms the physical model, the standalone LSTM model, and the traditional forecasting method used at the plant, achieving an MAE of 428.90 kWh, an RMSE of 703.14 kWh, and an  $R^2$  of 0.556, demonstrating an improvement in forecasting accuracy. It is concluded that the integration of physical models and machine learning enables more accurate and robust forecasts, even under limited meteorological information.

**Keywords:** Generation planning; hybrid models; machine learning; wind power forecasting; wind power time series.