

## Evaluación Energética en Motores de Inducción en el Accionamiento de Ventiladores Centrifugos

M. Pilatásig L. Mena E. Pruna I. Escobar

Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE

### Resumen

El propósito del trabajo de investigación es presentar alternativas para reducir el consumo de energía eléctrica en los motores de inducción, en accionamiento de ventiladores centrifugos controlados por Damper. Para ello se dispone de un banco de pruebas que contiene: un motor trifásico de 210W, un ventilador centrifugo de álabes curvados hacia adelante, un tubo de acrílico, un DAMPER y los variadores de frecuencia a ser analizados. Inicialmente se procedió a determinar el punto de trabajo del banco de pruebas a partir de las curvas características experimentales obtenidas, las mismas que sirven de base para conocer la potencia eléctrica que consume el motor trifásico, cuando se regula el flujo de aire a través del Damper.

Los variadores de frecuencia 1 y 2 tienen varios modos de control, los mismos que fueron analizados para determinar cuál de ellos está enfocado al ahorro de consumo eléctrico, resultando el modo de control V/f (voltaje/frecuencia) cuadrático que tiene el variador de frecuencia 2, el que permite un ahorro de potencia de aproximadamente un 77%, a diferencia de los demás.

**Palabras clave**—Ventilador centrifugo, variador de frecuencia, Damper, ahorro energético

### Abstract

The purpose of this study is to quantify the reduction in energy consumption by implementing a variable frequency drive (VDF) to induction motors used to power centrifugal fans controlled by Damper. A three-phase induction motor of 210W, a centrifugal fan with forward-curved blades, an acrylic pipe, a Damper and two VDFs were used in this study. A baseline was established for the operating point of the three-phase motor using the speed-torque curves obtained during testing. This baseline provided means to calculate the electrical potency consumed by the three-phase engine when the air flow is regulated through the Damper. Then, the reduction in energy potency was determined by comparing the different control platforms of each VDF. Testing showed that implementing a VDF with a V/f (voltage/frequency) control platforms yields a 77% reduction in energy potency.

**Index terms**—Variable frequency drive, centrifugal fan, three-phase induction motor, energy potency, energy savings.

Recibido: 19-09-2014, Aprobado tras revisión: 21-11-2014.

Forma sugerida de citación: Pilatásig, M.; Mena, L.; Pruna, E.; Escobar, I. (2015). "Evaluación Energética en Motores de Inducción en el Accionamiento de Ventiladores Centrifugos". Revista Técnica "energía". N° 11, Pp. 85-91.

ISSN 1390-5074.

## 1. INTRODUCCIÓN

El motor de inducción es una de las máquinas eléctricas más utilizadas en aplicaciones industriales por su simplicidad, fiabilidad, bajo costo y porque prácticamente no requiere mantenimiento. Existen dos tipos de rotor para un motor de inducción, el rotor jaula de ardilla y el rotor bobinado, siendo el primero el más utilizado a nivel industrial. El auge en la utilización del motor de inducción en nuevos campos se debe al avance en la electrónica de potencia y al desarrollo de los algoritmos de control [1].

Las aplicaciones de los ventiladores son muy variadas y extensas en el campo de la minería, en el transporte neumático de materiales, acondicionamiento de aire, climatización, entre otros. E igualmente son extensos los límites de su empleo, ya que pueden lograrse presiones de hasta unos 2600 mm de columna de agua y caudales desde unos 0,010 hasta 1000  $m^3/s$  con grandes ventiladores de hasta ocho metros de diámetro empleados en torres de refrigeración de agua o en centros de ensayos aerodinámicos [2]

Los ventiladores son elementos indispensables en muchas aplicaciones técnicas, es por ello que existen diversos tipos de ventiladores según la aplicación deseada. Se pueden clasificar los ventiladores según su función o sus características y la elección de un ventilador adecuado implica conocer además dos variables concretas: caudal que se desea mover y aumento de presión que se quiere generar [3]

Cuando los ventiladores son operados a velocidad constante y el flujo de aire es controlado por dampers, el motor opera cerca de la carga máxima todo el tiempo al margen de salida suministrado. Provocando que gran cantidad de energía sea disipada por estos dampers

Como definición un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia). [4]

La técnica del control escalar, aplicada a los motores de inducción, permite alcanzar niveles de prestaciones dinámicas similares a las obtenidas en los motores de corriente continua. Para lograr trabajar a flujo constante se puede ajustar para cada condición de operación dos parámetros controlables, que son la amplitud y frecuencia del voltaje de alimentación. [5]

## 2. BANCO DE PRUEBAS

El esquema del banco de pruebas con los componentes respectivos que se utilizó para el trabajo de investigación se muestra en la Fig.1

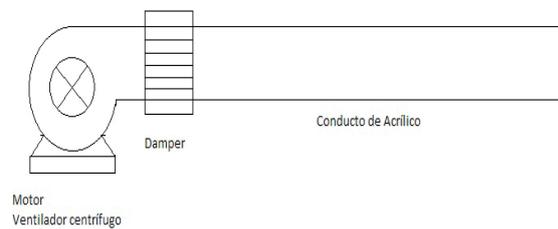


Figura 1: Esquema del banco de pruebas

Las características eléctricas del motor trifásico se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Características del Motor Trifásico

Motor trifásico A.C.	1LA3063 - 4AB 90 – ZA11
IEC	63
IP	44
V - Y	220/380
Corriente (A)	1.23/0.71
Potencia (kW)	0.21
CosØ	0.73
Frecuencia (Hz)	60
Velocidad (RPM)	1.630

### 2.1. Curva característica del ventilador

Con la ayuda del manómetro en forma de U, se obtuvo los datos de Presión estática ( $P_e$ ) obtenidos a la salida del ventilador, a distintos porcentajes de apertura del Damper y considerando 5 ensayos para verificar que las mediciones no cambien notablemente, en la Fig. 2 se ilustra la forma de medición de las presiones.

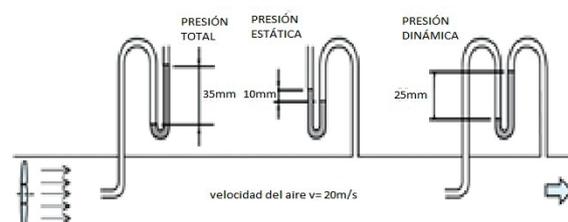


Figura 2: Medición de Presión

El Caudal se determina con la siguiente fórmula:

$$Q = 3600 * V * S \quad [m^3/h] \quad (1)$$

Donde V es la velocidad del aire y se determina con la fórmula:

$$V = 4\sqrt{P_d} \text{ [m/s]} \quad (2)$$

Pd: es la Presión dinámica y se determina con la siguiente equivalencia:

$$1\text{mm c. d. a} = 10\text{Pa}$$

mm c.d.a= Milímetros de columna de agua.  
Pa= Pascales.

S: es la sección del conducto y se determina con:

$$S = \pi r^2 \quad (3)$$

Como el diámetro del conducto es de 74 mm, entonces el radio es 37mm. La Tabla 2, muestra la Presión estática (Pe), dinámica (Pd) y total (Pt), así como el caudal expresado en m<sup>3</sup>/h.

Tabla 2: Presión estática a la salida del ventilador

APERTURA DEL DAMPER	PRESION (Pa)			Caudal m <sup>3</sup> /h Q
	Pt	Pe	Pd	
100%	30	10	120	630,98
80%	40	24	108	598,60
60%	60	48	84	527,91
40%	88	84	44	382,08
20%	100	98	18	244,38
0%	102	102	0	0,00

La Fig. 3 muestra la curva característica del ventilador centrífugo.

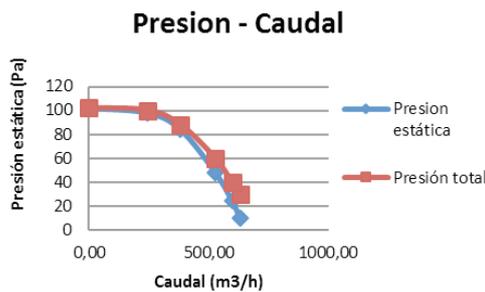


Figura 3: Curva Característica del ventilador

## 2.2. Curva Característica del Sistema

En la Tabla 3 se presenta el promedio de las mediciones de la presión dinámica considerando 3 puntos del conducto de acrílico (extremos y centro) y cinco ensayos para distintos valores de caudal.

Tabla 3: Presión dinámica a la salida del sistema

APERTURA DEL DAMPER	PRESION (Pa)			Caudal m <sup>3</sup> /h Q
	Pt	Pe	Pd	
A	118	10	108	598,60
80%	86	10	76	502,15
60%	68	10	58	438,67
40%	48	10	38	355,07
20%	28	10	18	244,38
0%	10	10	0	0,00

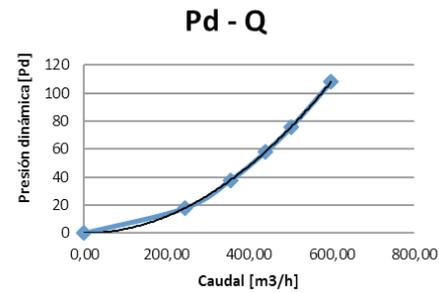


Figura 4: Curva Característica del sistema

## 2.3. Punto de Trabajo

El punto de operación o trabajo de un ventilador se puede encontrar fácilmente si se superponen en una misma gráfica las curvas características del ventilador y del sistema. La intersección entre estas dos curvas produce el punto de trabajo del ventilador.

Utilizando Matlab se ingresa los datos de las presiones estática y dinámica obtenidos en el numeral 2.1 y 2.2 respectivamente, para obtener el punto de trabajo, como muestra la Fig. 5

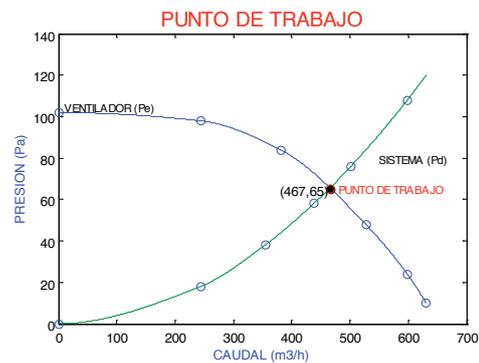


Figura 5: Punto de trabajo del ventilador

## 3. POTENCIA ELÉCTRICA

Para la determinación de la potencia eléctrica que consume el motor, cuando está conectado el ventilador centrífugo, damper y conducto de acrílico, se mide la corriente en una de las fases y el voltaje entre las dos fases, para luego aplicar la fórmula:

$$Potencia = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi \quad (4)$$

Donde  $\cos\phi$  representa el factor de potencia (FP) y es igual a 0.73, se realiza cinco ensayos para 20, 40, 60, 80 y 100% de salida del Damper, el promedio de los datos obtenidos se almacenan en la Tabla 4.

Tabla 4: Potencia eléctrica que consume el motor con Dampe.

Caudal (m³/h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
598,6	0,58	216	158,22
502,15	0,53	216	144,58
438,67	0,5	216	136,39
355,07	0,47	216	128,21
244,38	0,45	216	122,75
0	0,42	216	114,57

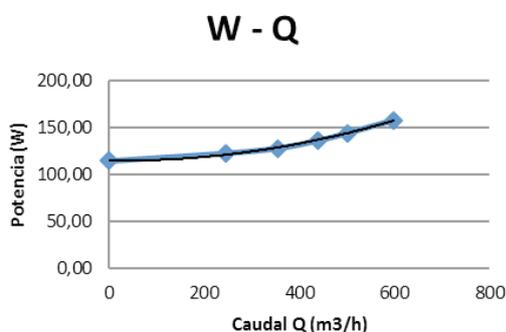


Figura 6: Curva de potencia

### 3.1. Potencia eléctrica utilizando variador de frecuencia 1

El variador de frecuencia 1 sólo cuenta con el modo de control V/f lineal, o conocido como control Escalar, que permite variar la frecuencia de 0 a 60 Hz, en función de la variación del voltaje de entrada de 0 a 10V.

Se realizaron cinco ensayos para 2, 4, 6, 8 y 10V a la entrada del variador de frecuencia, el promedio de los datos de potencia eléctrica se almacenan en la Tabla 5.

Tabla 5: Potencia eléctrica que consume el motor con variador de frecuencia 1

Caudal (m³/h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
598,6	0,56	216	152,76
502,15	0,47	180	106,84
438,67	0,38	170	81,58
355,07	0,34	120	51,53
244,38	0,28	80	28,29
0	0	40	0,00

### W - Q

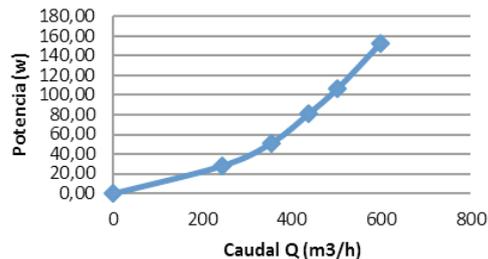


Figura 7: Curva de potencia con variador de frecuencia 1

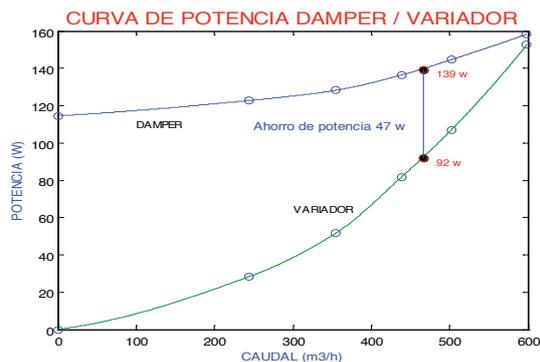


Figura 8: Ahorro de potencia eléctrica utilizando variador de frecuencia 1

### 3.2. Potencia eléctrica utilizando variador de frecuencia 2

Con el variador de frecuencia 2 se realiza 4 pruebas, cada una de ellas con cinco ensayos, debido a que el mismo tiene distintos modos de control que son:

- Control V/f lineal
- Control V/f lineal con FCC
- Control V/f lineal cuadrático
- Control V/f lineal con modo ECO

Tabla 6: Potencia eléctrica que consume el motor en modo de control V/f lineal

Caudal (m³/h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
598,6	0,28	216	76,93
502,15	0,28	180	63,65
438,67	0,27	138	47,06
355,07	0,26	95	30,95
244,38	0,26	55	17,92
0	0	0	0,00

Tabla 7: Potencia eléctrica que consume el motor en modo de control V/f con control de flujo de corriente

Caudal (m³/h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
598,6	0,25	200	63,15
502,15	0,25	159	50,20
438,67	0,24	121	36,67
355,07	0,24	84	25,46
244,38	0,23	46	13,36
0	0,00	0	0,00

Tabla 8: Potencia eléctrica que consume el motor en modo de control V/f cuadrático

Caudal (m³/h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
598,6	0,27	216	73,65
502,15	0,25	160	50,52
438,67	0,21	109	28,91
355,07	0,18	66	15,00
244,38	0,15	32	6,06
0	0,00	0	0,00

Tabla 9: Potencia eléctrica que consume el motor en modo de control V/f economizador

Caudal (m³/h)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
598,6	0,27	212	72,29
502,15	0,25	162	51,15
438,67	0,21	109	28,91
355,07	0,18	64	14,55
244,38	0,15	32	6,06
0	0,00	0	0,00

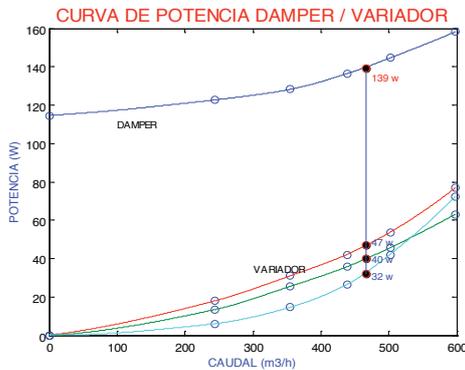


Figura 9: Ahorro de potencia eléctrica utilizando variador de frecuencia 2 con los respectivos modos de control

### 3.3. Rendimiento

Para la determinación del rendimiento se utiliza los datos que se obtienen en los ítems 2 y 3, luego se aplica la siguiente fórmula:

$$\eta_v = \frac{Pt \cdot Q}{Pot_v} \quad (5)$$

Donde Pt: representa la Presión total  
Q: el caudal.

Pot<sub>v</sub>: Potencia que consume el ventilador

Tabla 10: Porcentaje de rendimiento

Caudal (m³/h)	η(%)
598,6	27.14
502,15	28.56
438,67	31.87
355,07	32.54
244,38	31.37
0	0

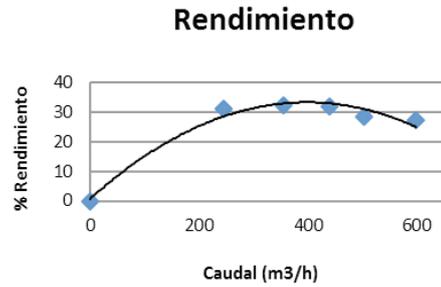


Figura 10: Curva de Rendimiento del ventilador centrífugo

### 3.4. Estudio de una aplicación industrial

Para la aplicación industrial se considera un sistema de ventilación en el cual existe el conjunto motor ventilador centrífugo, las características del motor eléctrico se muestra en la Tabla 11.

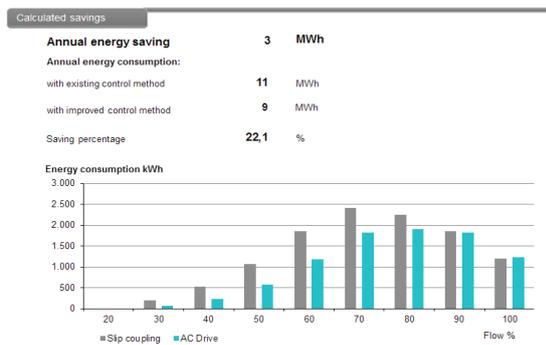
Tabla 11: Características eléctricas motor de SHP

Motor	B 100 L2/EC
Potencia (kW)	3.7
Potencia (Hp)	5
IP	55
Peso (Kg)	32
Rendimiento (η)	84.5
Factor de Potencia	0.88
Velocidad (rpm)	3470
Voltaje (V)	220
Corriente (I)	13

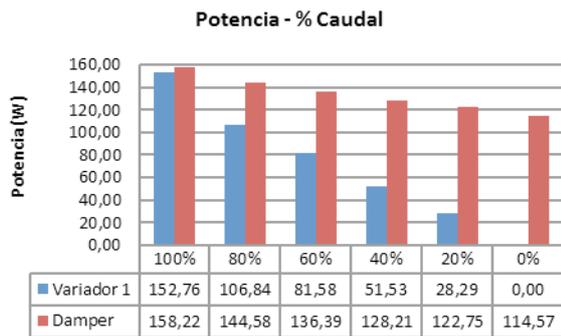
Tabla 12: Características eléctricas ventilador

Ventilador Centrífugo	
Caudal (Q)	0.66m³/s
Velocidad (RPM)	3480
Potencia(Hp)	5

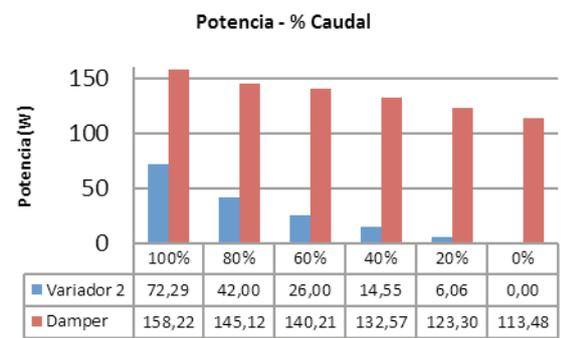
Para realizar una extrapolación con los datos de las Tablas 8 y 9, se utilizó el software de ABB denominado FanSave, que permite calcular el ahorro energético del ventilador centrífugo, como muestra la Figura.



#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS



En el banco de pruebas del ventilador centrífugo al reemplazar el Damper por el Variador de Frecuencia 1, presenta un ahorro de potencia de 47W, es decir, el 33,8%, considerando el punto de trabajo.



Cuando se reemplaza el variador 1 por el variador 2 el ahorro de potencia es de 107W, es decir, 77%.

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El ventilador centrífugo es una turbo máquina capaz de generar flujo de aire en función de la velocidad de giro del motor que se encuentra conectado al mismo, la curva característica permitió encontrar el punto de operación del ventilador que es de 467  $m^3/h$  a una presión de 65 Pascales.

Cuando se regula el flujo de aire del ventilador centrífugo mediante el Damper, consume una potencia de 139W considerando el punto de trabajo y conectando el variador de frecuencia 1, se consume 92W, presentando un ahorro de potencia de 47W.

Después de haber analizado los cuatro tipos de control que tiene el variador de frecuencia 2, en función del ahorro energético, se propone el modo de control V/f cuadrático, ya que es el que menos potencia consume a diferencia de los demás, presentando un ahorro de 107W.

El motor que se encuentra en el banco de pruebas tiene un rendimiento máximo de 32% cuando el caudal es aproximadamente 400  $m^3/h$ , si el caudal aumenta o disminuye en gran cantidad el rendimiento decrece.

Se recomienda cambiar en el banco de pruebas el motor trifásico, por uno de alta eficiencia y evaluar el ahorro de consumo eléctrico

#### AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la revista de energías y sus autoridades, por permitirnos la difusión de los resultados de la presente investigación, mostrando esta revista su compromiso por fortalecer la investigación en el campo eléctrico.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bocker Joachim, State of Art of Induction Motor Control, Electric Machines & Drives Conference, IEEE, May 2007.
- [2] Jesús LahidalgaSerna, Ventiladores Centrífugos, Autores Científicos-Técnicos y Académicos, 20011, pp 95
- [3] Ecodia, S. (2010). Manual Práctico de Ventilación, pp 12. Barcelona: Roselio.
- [4] Fraile, J. (2013 de Diciembre de 2013). wikipedia. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Variador\\_de\\_frecuencia](http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia)
- [5] Alzate, A. (2011). Control de velocidad mediante relación voltaje frecuencia. Scientia et Technica , pp 19-24.
- [6] Pilatásig M., "Evaluación energética del banco de pruebas motor ventilador centrífugo, para la reducción de consumo de energía eléctrica en los laboratorios del ITSA", Ecuador, 2013.

1 ABB, es una empresa dedicada a la producción de equipos para la automatización de procesos industriales



**Marco Pilatásig Panchi.-** Nació en Latacunga, Ecuador en 1980. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE Extensión Latacunga en 2005; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Desempeña las funciones de Docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



**Luis Enrique Mena Mena.-** Nació en Quevedo. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército ESPE Extensión Latacunga en 2009. Actualmente, se encuentra cursando sus estudios de Maestría en la Universidad Técnica de Cotopaxi, y su campo de investigación se encuentra relacionado con la gestión energética de los Sistemas de energía alternativas. Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.



**Edwin Patricio Pruna Panchi.-** Nació en Latacunga; Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniero Electrónico e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE Extensión Latacunga en 2007; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga



**Ivón Patricia Escobar Anchaguano.-** Nació en Latacunga; Ecuador en 1983. Recibió su título de Ingeniera Electrónica e Instrumentación en la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE Extensión Latacunga en 2008; de Master en Gestión de Energías, de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador en 2013. Actualmente desempeña las funciones de docente del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga.