



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE
LA ALTURA DE PUNO EN LA EFICIENCIA DE UN MOTOR
ELÉCTRICO DE 1 KW PARA ESTABLECER CRITERIOS
TÉCNICOS DE SELECCIÓN Y OPERACIÓN DE MOTORES
ELÉCTRICOS EN LA ALTURA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. KENYO ALEJANDRO MAMANI CCAMA

Bach. HENOJ FERMIN AURELIO CCASA MAMANI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

El siguiente trabajo de tesis es dedicado a Dios que siempre ilumina mi camino por haberme dado salud y vida. También quiero dedicarle a mi madre Alberta quien por el apoyo y sacrificio incesante y consejos que me brindo en los momentos más difíciles en mi camino profesional y cumplir esta meta.

A mis hermanas Dianeth, Karen, shiomara, Yanina, gracias por su gran apoyo en todo momento de mi etapa profesional.

A mis familiares que estuvieron siempre presente en todo momento de esta etapa haberme ayudado y motivarme a seguir creciendo profesionalmente.

A mis amigos, por sus consejos, compañía y amistad.

Atte. Kenyo Alejandro Mamani Ccama



DEDICATORIA

Dedico esta Tesis a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no caer en los obstáculos que se presentaban y dándome valor para encarar las adversidades.

Dedico este proyecto a aquellas personas quienes me acompañaron en este proceso para poder concluirlo satisfactoriamente, a mis familiares quienes brindaron su apoyo en todo momento.

Y, por último, pero no menos importante, a mis Familiares quienes me apoyaron en todo momento y ayudaron a formarme tanto personal como profesionalmente.

Atte. Henoj Ccasa Mamani



AGRADECIMIENTOS

Al haber culminado un trabajo tan duro y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis profesional, por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial y sincera a nuestro asesor **M.SC. ROBERTO JAIME QUIROZ SOSA** y a nuestros jurados **MG. OLGER ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA**, **M.SC. OMAR CHAYÑA VELASQUEZ** y, por último, pero no menos importante **ING. FELIPE CONDORI CHAMBILLA** por su apoyo y paciencia. El apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiarnos con sus ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como profesionales. Les agradecemos también el habernos facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias y esperamos verlos pronto.

Y, por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo culminar con el proyecto de tesis, por ellos y para ellos.

Finalmente, debo agradecer a nuestra alma mater **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO** que permitió formarnos profesionalmente y aportar con el conocimiento aprendido en sus instalaciones y así poder desenvolvemos en los distintos ámbitos profesionales.

Atte. Henoj Ccasa Mamani



AGRADECIMIENTO

Hago extensivo mi agradecimiento a todos los catedráticos de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano por brindarme los conocimientos necesarios para la realización de esta tesis y también quienes intercedieron en mi desarrollo profesional.

Atte. Kenyo Alejandro Mamani Ccama



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 14

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.3 HIPOTESIS 15

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 15

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 16

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO 18

2.2 MARCO CONCEPTUAL..... 19

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES..... 36

3.2 PROCEDIMIENTO 40



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS	47
4.2 DISCUSIÓN.....	62
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. RECOMENDACIONES	68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	71

Área : Mecánica Eléctrica.

Tema: Determinación Experimental de la Eficiencia

Fecha de sustentación: 10 de enero 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de un motor eléctrico	20
Figura 2.2: Bobinado o devanado.....	21
Figura 2.3: Motor eléctrico:.....	22
Figura 2.4: Experimento de Faraday	23
Figura 2.5: Inducción de motor	24
Figura 2.6: Motores asíncronos trifásicos.	26
Figura 2.7: Campo magnético giratorio creado por una corriente trifásica.....	28
Figura 2.8: Motor síncrono trifásico.....	29
Figura 2.9: Motor de corriente alterna trifásico.....	30
Figura 2.10: Curva Par - Velocidad Motor Monofásico.....	31
Figura 2.11: Curva real de un motor monofásico.....	32
Figura 2.12: Motor monofásico	33
Figura 2.13: Rotor de un motor eléctrico	34
Figura 2.14: Partes de un Motor Eléctrico.....	35
Figura 3.1: Motor eléctrico.....	36
Figura 3.2: Barómetro Leybold	37
Figura 3.3: Psicrómetro	38
Figura 3.4: Termocupla	39
Figura 3.5: Dinamómetro	39
Figura 3.6: Tacómetro óptico	40
Figura 4.1: Determinación de la humedad relativa	50



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Correcciones de temperatura para barómetros y columnas de mercurio.....	41
Tabla 3.2: Correcciones de gravedad para barómetros y columnas de mercurio.	42
Tabla 3.3: Correcciones para barómetros y manómetros en mm de Hg.....	43
Tabla 3.4: Datos experimentales para el cálculo de la potencia al eje.	46
Tabla 3.5: Datos experimentales para el cálculo de la potencia eléctrica.	46
Tabla 4.1: Determinación de parámetros experimentales para el cálculo de la potencia al eje.....	54
Tabla 4.2: Cálculos de las potencias al eje (P_{eje})	55
Tabla 4.3: Datos experimentales para cálculo de la potencia eléctrica.....	57
Tabla 4.4: Determinación de la Potencia eléctrica de entrada.	58
Tabla 4.5: Determinación de la eficiencia del motor eléctrico	59
Tabla 4.6: Relación entre altitud y potencia nominal del motor.....	61
Tabla 4.7: Temperatura de ambientes máximos.	63
Tabla 4.8: Factores HP de Ratign	63



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

IEC	:	Comisión Electrónica Internacional de Europa
NEMA	:	Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos de Estados Unidos.
ANSI	:	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
ASME	:	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
UNA	:	Universidad Nacional del Altiplano de Puno
EPIME	:	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica



RESUMEN

En el desarrollo profesional los egresados de Ingeniería Mecánica Eléctrica deben tratar con sistemas electromecánicos que son operados en su mayor parte por motores eléctricos y, considerando que la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) de Europa y la Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos (NEMA) de Estados Unidos diseñan y fabrican los motores eléctricos para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40°C y a una altitud no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar; cuyo objetivo fue determinar experimentalmente la influencia de la altitud de Puno en la eficiencia de un motor eléctrico, para establecer una adecuada selección y operación a 3827 metros sobre el nivel del mar. La metodología empleada para la determinación experimental de la eficiencia del motor eléctrico fue la establecida por la norma IEC 60034-2-1; la metodología empleada para la caracterización de la presión atmosférica en Puno fue la normada por la American Society of Mechanical Engineers (ASME). Los resultados a los que se arribaron fueron para la presión atmosférica y densidad del aire en Puno de 483,942 mm Hg y 0,795 Kg/m³ respectivamente, la eficiencia del motor eléctrico variando su velocidad a diferentes revoluciones por minuto se calcularon en el rango de 65 – 77% con una eficiencia promedio de 67,765%, eficiencia aproximada que debe tener el motor eléctrico en Puno según las normas NEMA. Concluyéndose que la altitud de Puno influye en que la composición del aire no sea homogénea debido a la presión atmosférica que va disminuyendo con la altitud, también la altitud juega un papel importante en sus características de potencia y operación debido a que a medida que aumenta la altitud la densidad del aire disminuye con lo cual la transferencia de calor es insuficiente entre el motor y el aire circundante.

Palabras clave: altitud, densidad, eficiencia, motor eléctrico, potencia y presión atmosférica.



ABSTRACT

In professional development, Electrical Mechanical Engineering graduates must deal with electromechanical systems that are operated for the most part by electric motors and, considering that the International Electrotechnical Commission (IEC) of Europe and the National Association of Electrical Equipment Manufacturers (NEMA) from the United States design and manufacture electric motors to operate in an environment with a temperature not exceeding 40°C and at an altitude not exceeding 1000 meters above sea level; whose objective was to experimentally determine the influence of the altitude of Puno on the efficiency of an electric motor, to establish an adequate selection and operation at 3827 meters above sea level. The methodology used for the experimental determination of the efficiency of the electric motor was established by the standard IEC 60034-2-1; The methodology used for the characterization of atmospheric pressure in Puno was that regulated by the American Society of Mechanical Engineers (ASME). The results that were reached were for the atmospheric pressure and air density in Puno of 483.942 mm Hg and 0.795 Kg / m³ respectively, the efficiency of the electric motor varying its speed at different revolutions per minute were calculated in the range of 65 - 77% with an average efficiency of 67.765%, approximate efficiency that the electric motor should have in Puno according to NEMA standards. Concluding that the altitude of Puno influences that the composition of the air is not homogeneous due to the atmospheric pressure that decreases with altitude, the altitude also plays an important role in its power and operation characteristics because as the altitude, the density of the air decreases so that the heat transfer is insufficient between the engine and the surrounding air.

Keywords: altitude, density, efficiency, electric motor, power and atmospheric pressure.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a dos de las normas más importantes a nivel mundial, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) de Europa y la Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos (NEMA) de Estados Unidos, los motores eléctricos se diseñan y fabrican para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40°C y en una altura no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar. En el Perú en la cordillera de los Andes se encuentran ciudades, plantas industriales y mineras a alturas muy superiores a los 1000 m, como es el caso de Puno ubicado a 3827 metros sobre el nivel del mar. Al nivel del mar la presión atmosférica es de 760 mm Hg y en Puno aproximadamente 480 mm Hg.

Cuando un motor eléctrico opera en una elevación por sobre los 1000 m.s.n.m. existe el efecto de disminución de presión atmosférica por menor peso de la columna de aire, esto produce la disminución de la tensión de ruptura de un aislante gaseoso y la disminución de la densidad del aire (Guevara, 2009); aspecto que analizaremos en la investigación en el decremento de la potencia nominal del motor eléctrico. En la selección de un motor en instalaciones por encima de los 1000 m.s.n.m. se deben analizar aspectos ligados a las condiciones ambientales de operación. Para la adecuada selección del motor, una selección incorrecta se traduce en sobrecostos económicos para la empresa. La altitud en un motor instalado juega un papel importante en sus características de potencia y operación. A medida que aumenta la altitud la densidad del aire disminuye, por lo cual la cantidad de transferencia del calor del motor se reduce por consiguiente su sistema de refrigeración disminuye. La vida útil de un motor está principalmente en su devanado. Si la refrigeración es insuficiente, el devanado se debilita y sufre daños severos. En cuanto



a la temperatura ambiente es necesario garantizar que el motor no tendrá una elevación de temperatura tal que lo haga tener un calentamiento por encima de su límite térmico.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de Puno se encuentra a una altitud cercana a 4000 metros sobre el nivel del mar, 3000 metros por encima del límite de 1000 m.s.n.m. para los que fueron diseñados y fabricados los motores eléctricos. En ese contexto es indudable que investigaciones sobre el funcionamiento de motores en altitud son importantes, porque solo se dispone en la bibliografía información técnica respecto a este aspecto y, verificar o aportar información es importante, considerando que nuestra Universidad está localizado en Puno y nuestros ingenieros tienen que contar con estos conocimientos de ingeniería de altura, para un desenvolvimiento profesional eficiente.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En este contexto y los argumentos respecto al tema tan importante para nosotros del funcionamiento de motores eléctricos sobre los 1000 m.s.n.m. y considerando las limitaciones en cuanto a laboratorios de investigación nos planteamos y formulamos preguntas que serán las directrices de la investigación en cuanto al aspecto de la disminución de la densidad del aire en Puno y su influencia en la disminución de la potencia nominal del motor eléctrico:

- ¿Es factible determinar experimentalmente los parámetros meteorológicos que caracterizan a la presión atmosférica y la densidad del aire en Puno?
- ¿Es factible determinar experimentalmente la influencia de la altitud de Puno en la eficiencia de un motor eléctrico?
- ¿Es factible establecer criterios técnicos para la adecuada selección y operación de un motor eléctrico instalado en altura?



1.3 HIPOTESIS

1.3.1 Hipótesis general

- La investigación experimental de la determinación de la influencia de la altura de Puno en la eficiencia de un motor eléctrico, será una referencia para la adecuada selección y operación de motores eléctricos en altura.

1.3.2 Hipótesis específicas

- El clima es un punto importante para el desempeño de un motor eléctrico.
- Los motores tienen distinto desempeño, de acuerdo al lugar donde será utilizado.
- El mercado que requiere el uso de motores eléctricos requiere una guía de referencia para la utilización correcta de un motor eléctrico.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Por normas europeas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y Normas de Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos de Estados Unidos (NEMA), los motores eléctricos se diseñan y fabrican para operar en un ambiente con temperatura no superior a 40°C y en una altura no superior a 1000 metros sobre el nivel del mar y, en Puno las condiciones de operación son muy diferentes a las estandarizadas, los parámetros eléctricos de funcionamiento del motor se ven afectados por la altitud (3827 m.s.n.m.) de operación debido a la reducción de la densidad del aire y por ende al sistema de refrigeración que determinará un decremento en la eficiencia y potencia nominal del motor eléctrico. Las consideraciones técnicas expuestas justifican el proyecto de investigación que se desarrolló, porque nuestra Universidad se encuentra casi a 4000



m.s.n.m. y es una obligación analizar e investigar estos aspectos de ingeniería para la adecuada selección del motor, una selección incorrecta se traduce en sobrecostos.

Por la geografía del Perú muchas industrias y plantas de explotación minera se encuentran a alturas superiores a los 1000 metros sobre el nivel del mar y su contribución económica al Producto Bruto Interno del presupuesto de la nación es muy importante y los resultados y conclusiones de la tesis serán un marco referencial técnico que se aplicará a la selección y operación de los motores eléctricos en la altura; su aplicación eficiente repercutirá económicamente en la administración de las empresas de este rubro.

La investigación realizada servirá para motivar que se impulse el aspecto de investigación en nuestra Escuela Profesional y la Universidad en general; como a la implementación de laboratorios de investigación.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

- Determinar experimentalmente la influencia de la altura de Puno en la eficiencia de un motor eléctrico, para la adecuada selección y operación de un motor instalado en la altura.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar y determinar los parámetros meteorológicos que caracterizan a la altura de Puno.
- Determinar experimentalmente la influencia de la altura de Puno en la eficiencia de un motor eléctrico.



- Establecer los criterios técnicos para la adecuada selección y operación de un motor eléctrico instalado en altura.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Antecedentes del estudio

Para Canala y Echevarria (1995) El objetivo de su tesis fue determinar el efecto de la altura de ecuador situada a 2850 metros sobre el nivel del mar sobre la potencia nominal de un generador, estableciendo que pierde aproximadamente un 28% de su potencia nominal de placa a esta altura. En definitiva, no se puede decir cuánto es lo que pierden en potencia, pero los fabricantes especifican que la reducción se realiza en el orden de 1,6% por cada 1200 metros sobre el nivel del mar.

Huamán (2012) muestra y compara los factores de corrección en los rangos eléctricos por efectos de altitud de operación en los tableros de media tensión aislados en aire que son fabricados considerando en su mayoría de normas importantes: IEC y ANSI. El artículo pretende ser una referencia para la adecuada selección en el tipo de tableros de altitud se servicio, una selección incorrecta se traduce en sobre costos.

Para Guerrero (2010) en la selección de un motor, se deben analizar, aspectos ligados a las condiciones ambientales de operación como la altura sobre el nivel del mar. La temperatura de trabajo es la temperatura ambiente máxima (°C) a la cual el motor puede desarrollar su potencia nominal sin peligro. Se debe considerar la disminución de la densidad del aire para instalaciones ubicadas a más de 1000 metros sobre el nivel del mar, donde la eficiencia de funcionamiento del motor eléctrico disminuye.

Para Ticona (2012) su objetivo es determinar cualitativamente qué parámetros influyen



en la disminución de un motor de combustión interna en la altura y, en las conclusiones se determinan qué es la presión atmosférica la que influye en la disminución de la potencia y no la creencia general que en la altura de Puno el aire tiene menor oxígeno.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Motor Eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias. Transforman una energía eléctrica en energía mecánica de rotación en un eje. Tienen múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico a reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar.

Su funcionamiento se basa en las fuerzas de atracción y repulsión establecidas entre un imán y un hilo (bobina) por donde hacemos circular una corriente eléctrica. Entonces solo sería necesario una bobina (espiras con un principio y un final) un imán y una pila (para hacer pasar la corriente eléctrica por las espiras) para construir un motor eléctrico,

Tanto los motores de corriente continua (c.c) como los de corriente alterna (c.a) funcionan por inducción electromagnética, o lo que es lo mismo, un campo magnético induce o produce una fuerza rotatoria por un conductor que lleva corriente eléctrica.

Aunque el principio de funcionamiento sea el mismo, las causas que producen la rotación en los de c.c y los de c.a., no son los mismos.

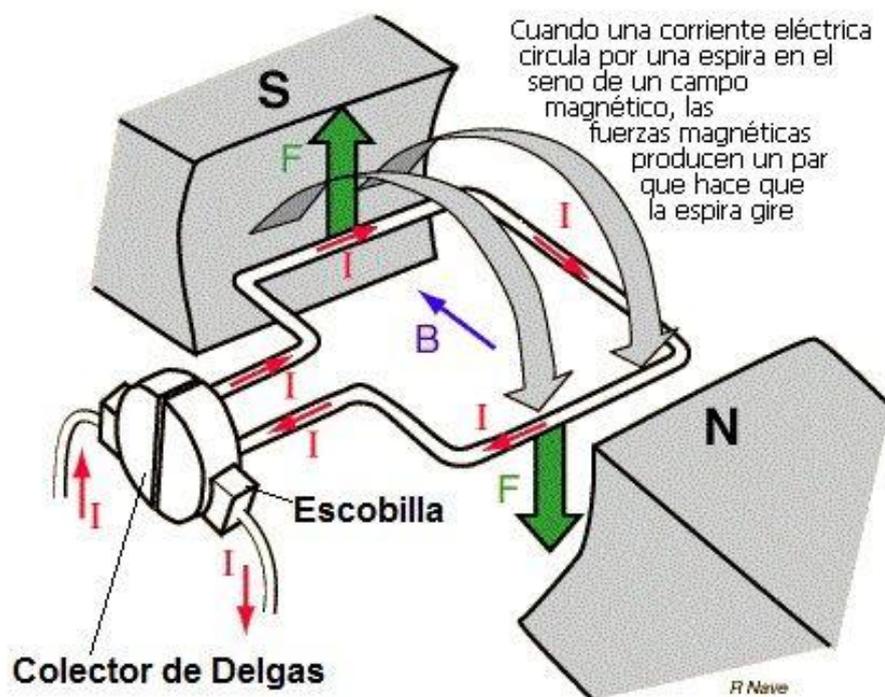
2.2.1.1 Motor de Corriente Continua

En un motor de corriente continua, un cable con corriente eléctrica que se mueve dentro de un campo lo convertiremos en una espira (cable enrollado).

Al introducir la corriente por la espira, es como si tenemos dos conductores enfrentados (por uno entra la corriente y por el otro sale), un lado de la espira subirá y el otro bajará, ya que por un lado la corriente entra y por el otro lado de la espira la corriente sale. ¿Y esto qué produce? Pues produce un giro de la espira, un par de fuerzas con sentido contrario. Hemos conseguido hacer girar una espira por medio de la corriente eléctrica. ¡Ya tenemos nuestro motor! Hemos convertido la energía eléctrica en energía mecánica en el movimiento del eje.

Se observa en la figura 2.1 que el sentido de la corriente I a un lado y al otro de la espira es contrario, esto hace que se produzcan fuerzas opuestas a cada lado de la espira = Par de Fuerzas = Giro.

Figura 2.1: Esquema de un motor eléctrico



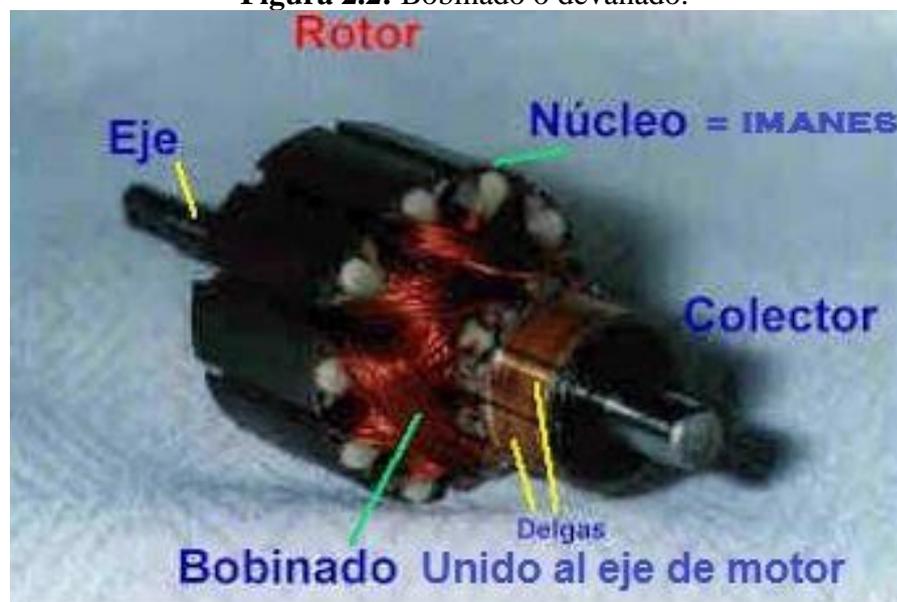
Fuente: www.areatecnología.com

La entrada y salida de la corriente, **si es corriente continua** (motor de corriente continua), tiene siempre el mismo sentido, es por eso que debemos colocar lo que se llama

el **colector de delgas**, un anillo cortado por el medio que es el encargado de recoger la corriente desde las escobillas y hacer que **la corriente siempre entre y salga por el mismo lado**, está partido en dos y gira con espira, por eso al girar posibilita que siempre entre la corriente por el mismo sitio respecto a la espira en el caso de la figura la corriente siempre entra por la parte de la espira que está a la izquierda (frente el polo sur del imán fijo) y siempre sale por la parte que está a la derecha (frente al polo Norte del imán fijo) independientemente de la posición de la espira. El par de fuerzas sobre la espira siempre hace que gire hacia el mismo lado.

Este sería el motor más sencillo, pero lógicamente para que tenga más par (fuerza) lo que haremos será colocar muchas espiras formando una **bobina** o **bobinado** o también llamado **devanado**.

Figura 2.2: Bobinado o devanado.



Fuente: www.areatecnologia.com

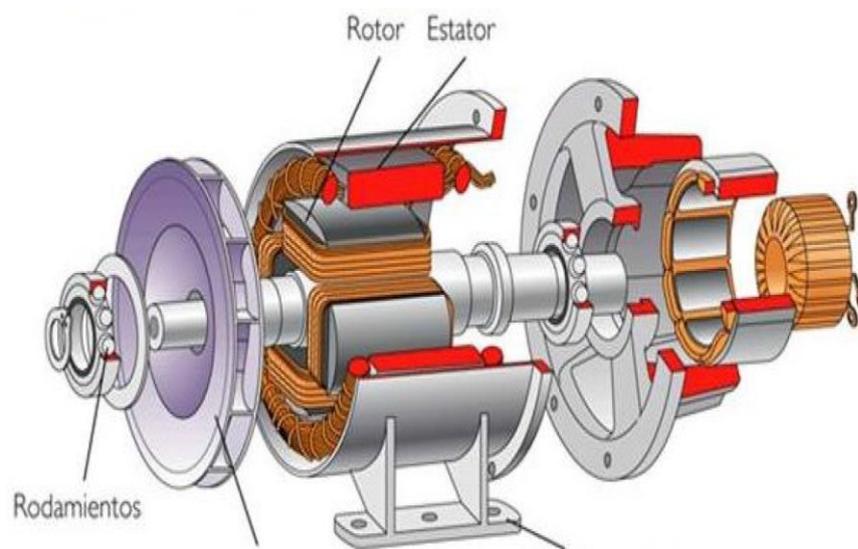
Si sobre el imán fijo enrollamos una bobina de cable eléctrico y hacemos pasar por la bobina una corriente eléctrica, entonces tenemos un electroimán que es capaz de generar un campo magnético mayor y por lo tanto mayor par en la espira o bobinado interior. Lo más común en los motores de c.c. es alimentar el electroimán con la misma

corriente de la espira o bobina interna que gira.

Según lo explicado tenemos **dos partes principales** en nuestro motor:

- **Parte Fija:** Es un electroimán que produce un campo magnético que induce una fuerza sobre la espira o parte móvil. **Se llama Estator** (estático) o **Inductor** (induce la fuerza en la parte giratoria).
- **Parte Móvil:** Compuesto por muchas espiras de cable enrolladas o bobina. **Se llama Rotor** (rotación) o **Inducido** (se induce sobre él una fuerza).

Figura 2.3: Motor eléctrico:



Fuente: www.areatecnología.com

Si ahora por el rotor la corriente que introducimos es **corriente alterna**, no será necesario poner colector de delgas ya que **la corriente cambia de sentido cada ciclo o vuelta** a la vez que gira el motor. Este tipo de motor **no se utiliza** en la vida real, aunque si se utiliza con el efecto contrario, como alternador eléctrico para obtener corriente alterna,

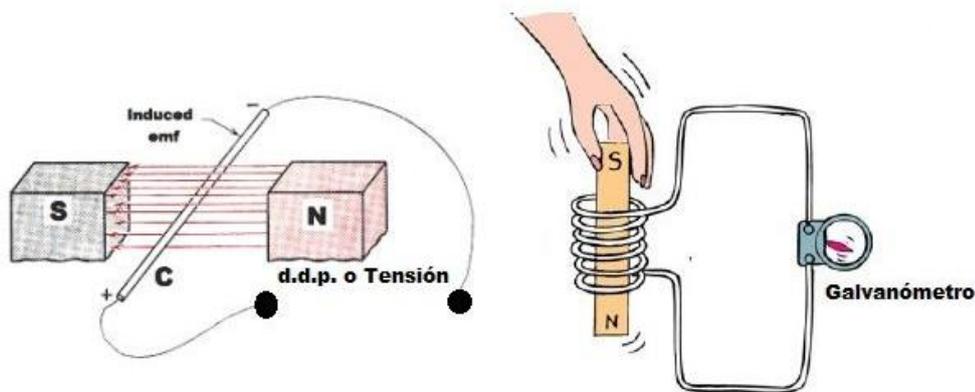
Los motores eléctricos de corriente alternan que se utilizan en la vida real son los **asíncronos**.

2.2.1.2 Motor de Corriente Alterna

El principio de funcionamiento de estos motores **se basa en el campo magnético giratorio** que crea una corriente alterna trifásica (3 fases) descubierto por Tesla y en el descubrimiento de las corrientes inducidas de Faraday.

Michael Faraday descubrió que un conductor eléctrico moviéndose dentro de un campo magnético (imán) generaba una tensión o diferencial de potencial (d.d.p) entre sus dos extremos (igual que la pila tiene tensión entre sus dos extremos). También ocurre lo mismo si el imán se mueve y el conductor está fijo. En cualquier caso, **si el conductor corta las líneas del campo magnético del imán se crea en él una tensión**. Si unimos los extremos, por ejemplo, en cortocircuito o con una bombilla, circulará una corriente por el conductor.

Figura 2.4: Experimento de Faraday



Galvanómetro mide el sentido y la cantidad de corriente eléctrica (intensidad)

Fuente: www.areatecnología.com

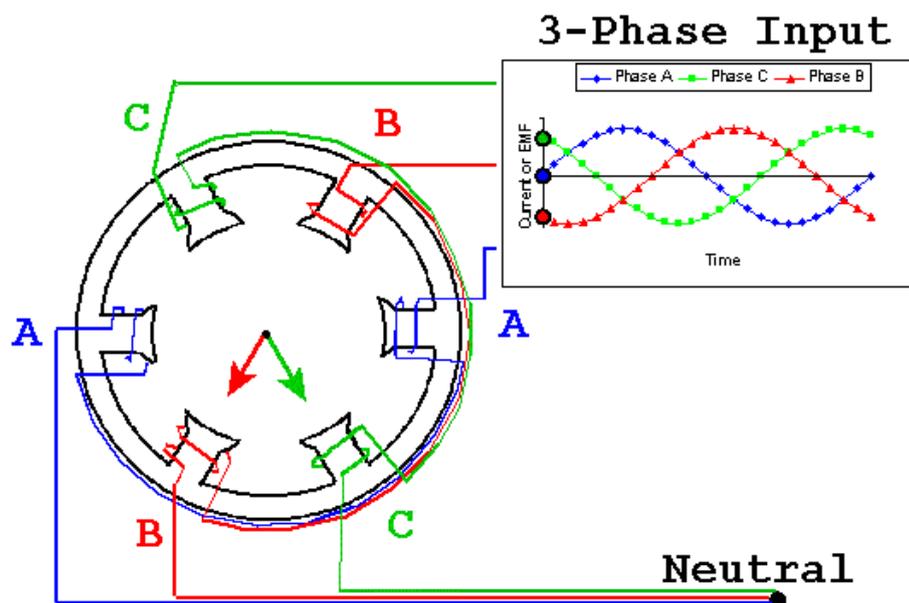
Si la que se mueve dentro del campo es una espira, si esa espira (los 2 conductores) cortan las líneas del campo magnético, es decir, se mueve dentro del campo, en los extremos de la espira se produce (induce) una tensión o diferencia de potencial inducida, de tal forma que si cuando está en movimiento conectamos un receptor en los extremos de la bobina, por ejemplo una bombilla, al cerrar el circuito con la bombilla, comenzará a circular por

la espira una corriente eléctrica (intensidad) inducida y debido a esa tensión inducida, la bombilla luce.

Esta tensión generada en la espira al ser inducida se conoce como fuerza electromotriz inducida (fem), pero simplemente es una tensión entre dos puntos. Si cortocircuitamos las espiras, se generará por la espira una corriente inducida (corriente de cortocircuito).

Nikola Tesla descubrió que una corriente alterna trifásica genera un campo magnético giratorio al circular la corriente de cada una de las 3 fases por una bobina de un electroimán diferente (imán con bobina enrollada = electroimán).

Figura 2.5: Inducción de motor



Fuente: www.areatecnología.com

Cuando la corriente es de valor 0 no hay campo en esa fase, luego va aumentando y cada medio ciclo de la onda el campo cambia de sentido.

Además, si tenemos un campo magnético estático dentro de otro campo magnético giratorio, el campo estático girará siguiendo al campo giratorio.



Imagina 2 imanes enfrentados, uno de ellos sujetándolo en nuestras manos y el otro con un eje que lo atraviere y que pueda girar. Al enfrentarlos con polos opuestos el del eje gira. Si movemos el que tenemos en nuestras manos (el giratorio), podemos seguir moviendo el del eje (estático), es decir podemos hacer que siga girando. Si los campos enfrentados son opuestos se repelen y por eso se mueve el campo estático. También si los polos enfrentados fueran distintos el que gira seguiría al giratorio externo girando por atracción.

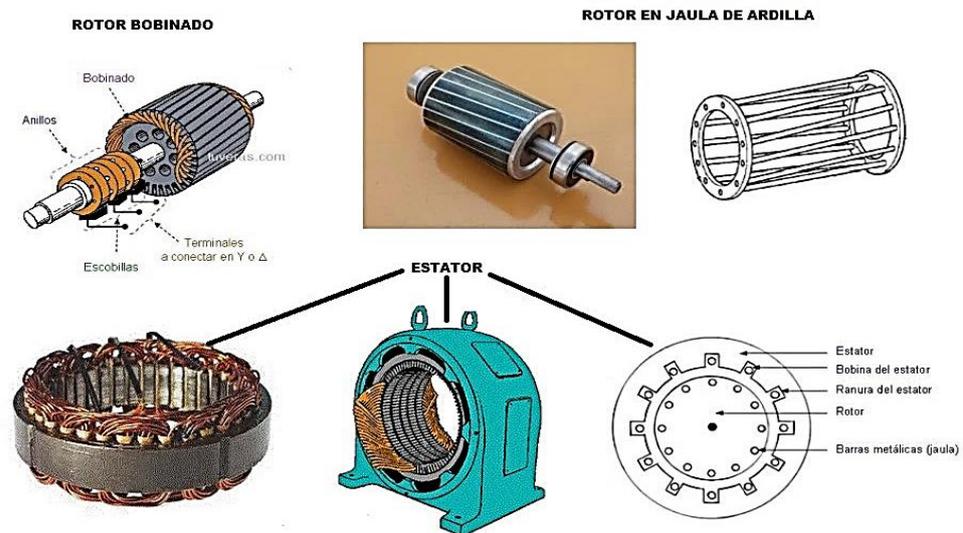
2.2.1.3 Motores de Corriente Alterna Asíncronos

Todos los motores de corriente alternan asíncronos, ya sean monofásicos o trifásicos, tienen **dos partes** diferenciadas:

- **El estator:** Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina. En los motores trifásicos 3 bobinas y circuitos diferentes (un circuito por bobina), pero en lo monofásicos necesitamos 2 en lugar de uno por el problema del arranque del motor como luego veremos. Esta parte es la que creará el campo magnético giratorio, por eso se llama Inductor, ya que inducirá una corriente en la otra parte, o lo que es lo mismo inducirá el movimiento.
- **El rotor:** Es la parte móvil del motor. Está situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son: Rotor de jaula de ardilla y Rotor bobinado. También se llama inducido porque es donde se inducirá las tensiones, corrientes y por lo tanto el movimiento de nuestro motor.

El rotor en jaula de ardilla es rotor con una serie de barras de aluminio o cobre (conductores) a su alrededor y unidas en cortocircuito por dos anillos en sus extremos. El de rotor bobinado es un rotor con bobinas a su alrededor.

Figura 2.6: Motores asíncronos trifásicos.



Fuente: www.areatecnología.com

2.2.1.4 Motor Trifásico

Son motores eléctricos alimentados por un sistema trifásico de corrientes (3 fases). Son los motores más usados, ya que en estos motores no tenemos el problema del arranque como en los monofásicos.

Según lo estudiado al principio para los motores en alterna, si creamos un campo giratorio en el estator, y en el rotor creamos otro campo magnético, el campo magnético del rotor seguirá al campo giratorio del estator, girando el rotor y por lo tanto el motor.

Si tuviéramos un motor con un estator con solo 3 espiras y cada espira la alimentamos con una fase diferente, resulta que tendremos 3 campos generados diferentes en cada momento y variables con el tiempo. Recuerda que las fases están desfasadas 120° , como muestra la imagen de más abajo. La interacción de los 3 campos que producen las 3 fases



crea un campo magnético giratorio en el estator del motor.

En la figura 2.7, el movimiento o punto¹, habrá tres campos creados, dos negativos creados por L2 y L3 y uno positivo creado por L1 y que al tener la corriente el valor máximo será el campo máximo que puede crear L1. La suma vectorial de los 3 campos nos da el vector de color negro dentro del motor.

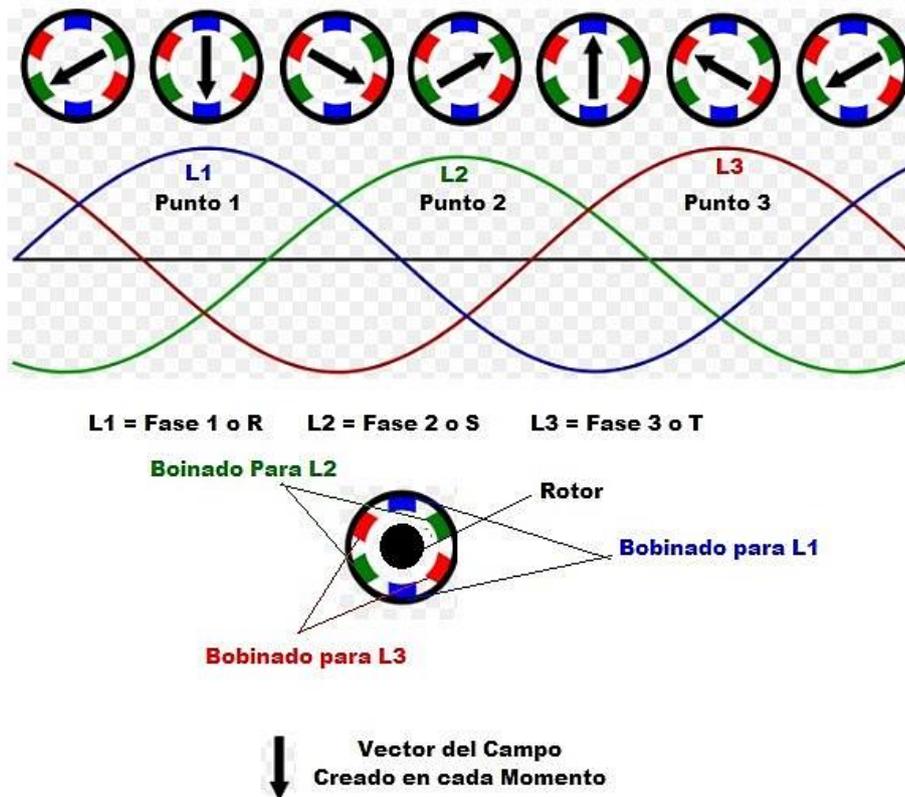
En el punto 2 ahora será L2 la que crea el campo máximo y los otros dos serán negativos. La suma de los 3 dan como resultado el vector en esa posición. Se puede comprobar cómo ha girado.

En la posición 3 el máximo campo lo crea L3 y los otros dos son negativos. El vector del campo y el campo sigue girando.

Ya tenemos nuestro campo giratorio creado por las corrientes trifásicas.

¹ Campo magnético giratorio creado por una corriente trifásica. www.areatecnología.com

Figura 2.7: Campo magnético giratorio creado por una corriente trifásica.



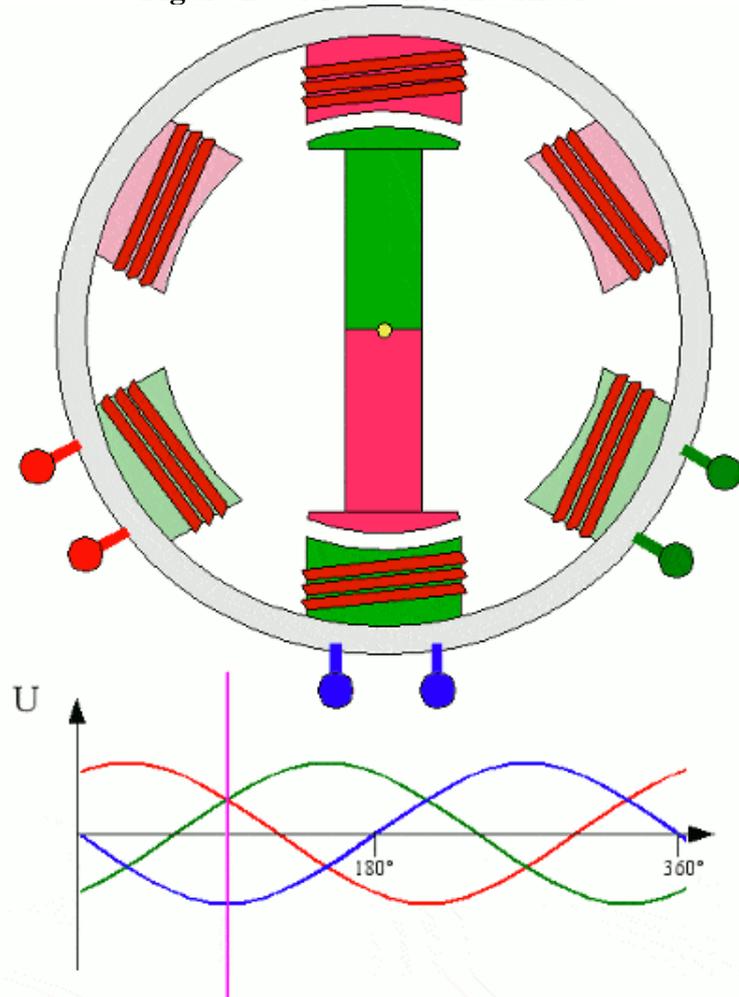
Fuente: www.areatecnología.com

Este campo giratorio, además cortará las bobinas del rotor produciendo en ellas una corriente inducida ya que están en cortocircuito y esta corriente a su vez generarán otro campo magnético en el rotor. El campo magnético creado en el rotor seguirá al campo giratorio del estator. El campo del rotor es contrario al del estator, ya que según un físico llamado "Lenz" en su ley dice:

Ley de Lenz: Las fuerzas electromotrices (tensiones) inducidas, como las que se inducen en el rotor y luego producen corrientes, tienen un sentido tal que sus efectos tienden a oponerse a la causa que las produce, es decir se oponen a que les corte el campo giratorio, por eso le siguen, para intentar que no le corten líneas de este campo. Además, serán el campo giratorio externo tendrá los polos opuestos que el interno del rotor, por lo que se verá rechazado "empujado" y girará.

Gira el rotor porque es algo parecido a como anteriormente explicamos con dos imanes, uno en nuestras manos y otro con un eje que puede girar. Recuerda que son 2 campos magnéticos, uno dentro de otro, uno giratorio y el otro creado fijo pero sobre un rotor que puede girar.

Figura 2.8: Motor síncrono trifásico



Fuente: www.areatecnología.com

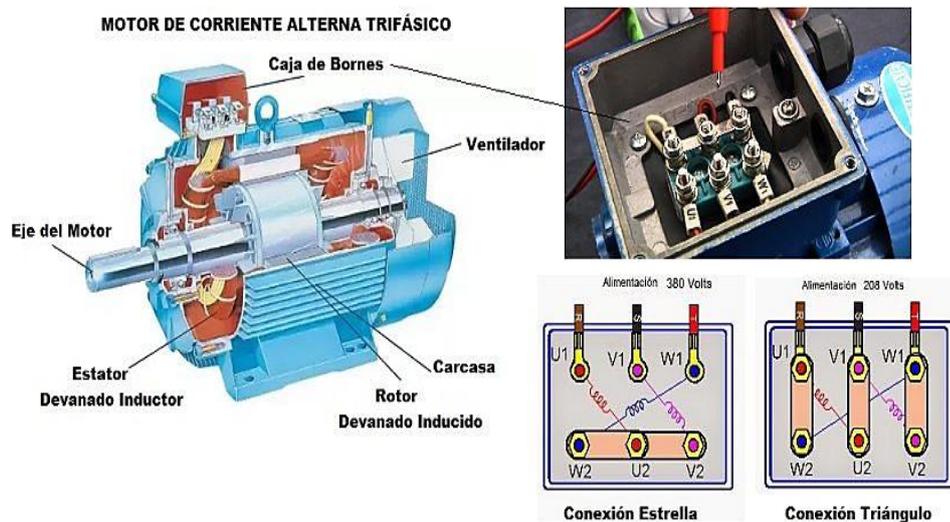
Es mejor tener el rotor bobinado (espiras) para que se creen en él unas corrientes inducidas al cortar las líneas de campo del estator y el campo producido sea mayor y el motor tenga más fuerza. Este sería el motor asíncrono trifásico.

Se llaman Motores Asíncronos porque la velocidad de giro del campo del estator es un poco mayor que la del campo generado en el rotor, tienen lo que se conoce por

deslizamiento, debido a las pérdidas por rozamiento y que además, si las velocidades fueran iguales no se produciría corrientes inducidas en el rotor, ya que las líneas de campo magnético generadas en el estator no cortarían las bobinas del rotor.

Estos motores asíncronos arrancan sin ayuda, pero es necesario controlar la corriente y tensiones producidas en el rotor en el arranque ya que pueden ser muy elevadas. Recuerda que están en cortocircuito, por eso suele hacerse el arranque con las conexiones estrella-triángulo.

Figura 2.9: Motor de corriente alterna trifásico.

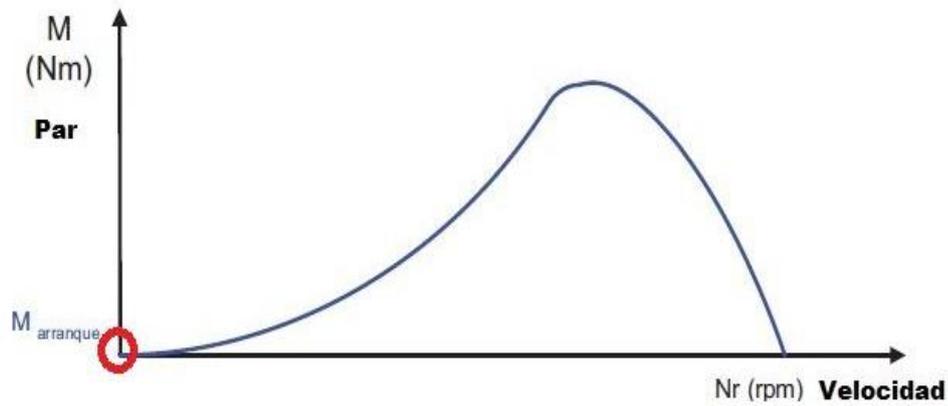


Fuente: www.areatecnología.com

2.2.1.5 Motor Monofásico

Los motores monofásicos son alimentados por una corriente alterna senoidal de una sola fase y el neutro, lo que provoca que el campo creado por la bobina del estator sea variable, pero de una sola dirección. Al no ser un campo giratorio el creado por una sola fase, el motor no gira al intentarlo arrancar. Fíjate en la curva Par-Velocidad de un motor monofásico.

Figura 2.10: Curva Par - Velocidad Motor Monofásico



M = Par en Newtons x metro

Nr = Velocidad en revoluciones por minuto (rpm)

Marranque = Par en el arranque = 0

Fuente: www.areatecnología.com

Resulta evidente que el motor no tiene par de arranque y por tanto no podría vencer en vacío ni sus propios rozamientos. Esto es lógico porque un devanado monofásico recorrido por una corriente alterna monofásica, no produce el campo giratorio necesario.

Para provocar un campo giratorio se crean unas corrientes bifásicas en el estator (dos fases) desfasadas 90° . Esto se consigue añadiendo un devanado (bobinado) auxiliar alimentado con la misma fase, pero con un condensador en serie. El condensador desfasa la fase 90° en el devanado auxiliar.

El devanado auxiliar se coloca en otro par de polos, con lo estos motores suelen tener 4 polos.

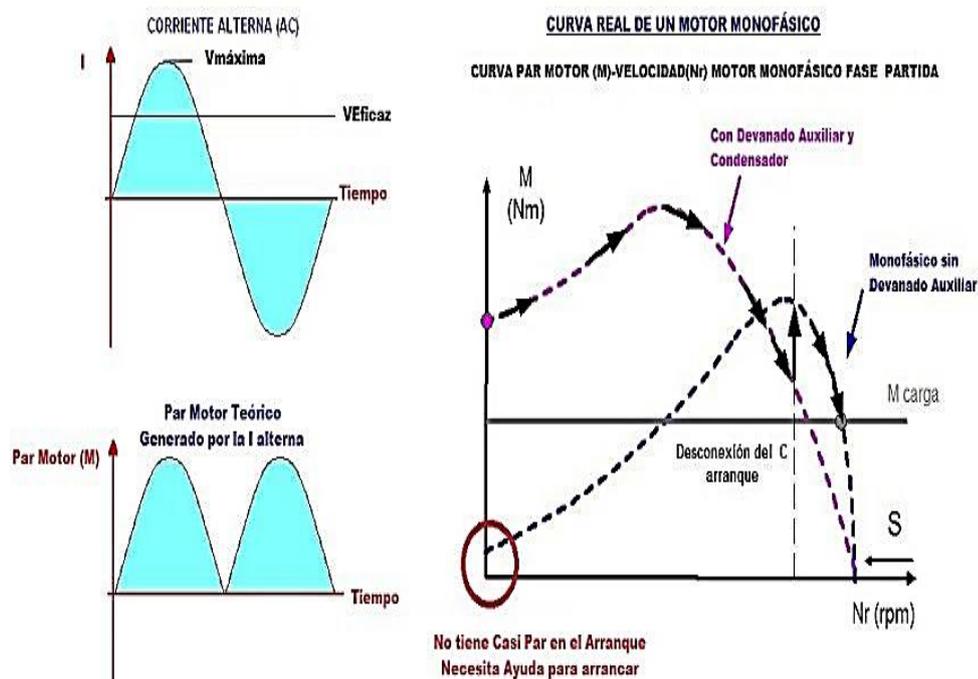
Ahora imagina que el motor esté ya girando a sus revoluciones por minuto (rpm) nominales, por ejemplo 1.000 rpm. Si desconectamos el devanado auxiliar y el condensador el motor sigue girando sin problemas a sus 1.000 rpm y no se para. Esto es porque el rotor, como está girando y por inercia, el campo creado le ayuda a seguir girando sin pararse. La desconexión del devanado auxiliar u el condensador se hace con

un interruptor centrífugo.

Conclusión: los motores monofásicos de corriente alterna, necesitan una ayuda para arrancar, pero una vez arrancado ya no necesita la ayuda inicial.

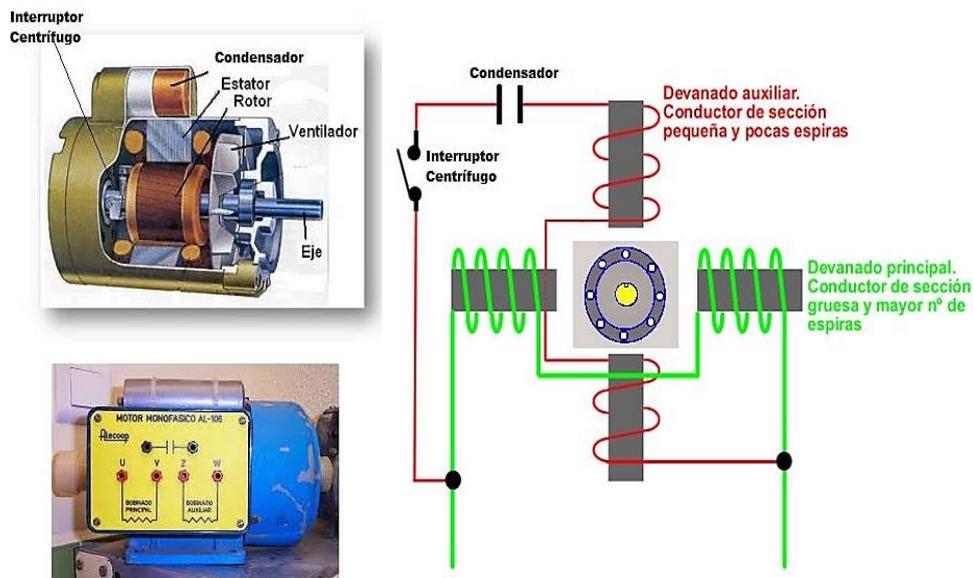
Fíjate en la curva par velocidad como aumenta el par en el motor cuando ponemos el devanado auxiliar con el condensador. Este tipo de motores se llaman "**Motores de Fase Partida**".

Figura 2.11: Curva real de un motor monofásico



Fuente: www.areatecnología.com

Figura 2.12: Motor monofásico



Fuente: www.areatecnología.com

Un motor eléctrico también se puede llamar motor electromagnético, ya que mezcla la electricidad con el magnetismo y también motores de inducción electromagnética, ya que un campo electromagnético produce o induce un movimiento del rotor.

Faraday descubrió el efecto contrario y construyó el primer generador de corriente.

2.2.1.6 Partes de un Motor Eléctrico

Lógicamente cuantas más espiras y más imanes tengan nuestro motor, mayor será su fuerza, ya que se sumarían todas las fuerzas de todas las espiras e imanes.

Si colocamos las espiras sobre (enganchadas) un eje, las espiras al girar harán que gire el eje. Esta parte móvil, el eje con las espiras, es lo que se llama el Rotor del motor. Estas espiras se llaman bobinado del motor, tiene un principio, en la primera espira, y un final en la última espira. En definitiva es un solo cable que lo enrollamos en muchas espiras. Por el principio de este bobinado será por donde entre (metamos) la corriente eléctrica y saldrá por el final.

Si ahora colocamos varios imanes fijos alrededor de este rotor, tendremos una parte fija que se llama el **Estator**.

Todo este bloque, rotor y estator, irá colocado sobre una base para que pueda girar el rotor (sobre rodamientos) y que además cubrirá todo el bloque para que no se vea. Este bloque es lo que se llama la Carcasa del motor.

Además, todos los motores eléctricos tienen escobillas por donde entra y sale la corriente al bobinado y además los de c.c. (corriente continua) tienen delgas.

En la figura 2.13 y 2.14, se puede ver todas las partes de un motor eléctrico.

Figura 2.13: Rotor de un motor eléctrico



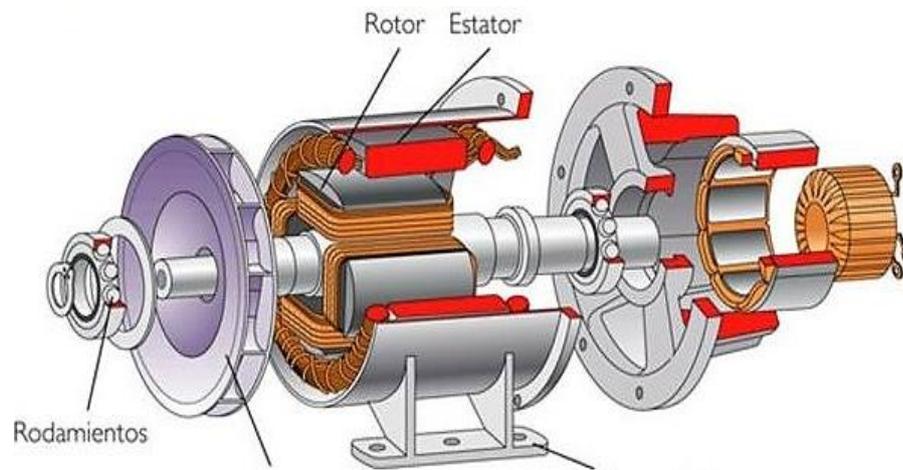
Rotor = Eje unido a las
espiras y que gira,

Estator= Parte fija donde
están los imanes. No Gira.

www.areatecnologia.com

Fuente: www.areatecnología.com

Figura 2.14: Partes de un Motor Eléctrico



Fuente: www.areatecnología.com

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Los materiales experimentales utilizados en la investigación son:

3.1.1 Motor Eléctrico

Por consideraciones económicas se utilizó el motor eléctrico del módulo de ventilador centrífugo del Laboratorio de Ingeniería Mecánica en la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, además el módulo tiene un dinamómetro que nos permitió determinar la potencia al eje del motor para calcular su eficiencia de funcionamiento. Sus especificaciones técnicas **son:**

Figura 3.1: Motor eléctrico.



Elaborado por el equipo de trabajo

3.1.2 Barómetro

Para la medición de la presión atmosférica de la ciudad de Puno se utilizó el barómetro del Laboratorio de la Escuela Profesional de Físico Matemáticas, cuyas especificaciones técnicas son las siguientes:

Figura 3.2: Barómetro Leybold



Elaborado por el equipo de trabajo

3.1.3 Psicrómetro

El psicrómetro empleado fue el del Laboratorio de Ingeniería Mecánica en el que se obtiene lecturas referentes a la temperatura de bulbo seco (temperatura ambiente) y temperatura de bulbo húmedo; las cuales nos permiten determinar la humedad relativa en

el diagrama psicrométrico. Las condiciones ambientales del laboratorio son importantes como la presión atmosférica y la humedad relativa.

Figura 3.3: Psicrómetro



Elaborado por el equipo de trabajo

3.1.4 Termocupla

La termocupla utilizada fue la del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Escuela Profesional, se utilizó para medir la Temperatura de la Superficie del motor eléctrico en funcionamiento. Sus características técnicas son:

Figura 3.4: Termocupla



Elaborado por el equipo de trabajo

3.1.5 Dinamómetro

El dinamómetro utilizado en la investigación fue la que está montada en el módulo del ventilador centrífugo. Sus características técnicas son:

Figura 3.5: Dinamómetro



Elaborado por el equipo de trabajo

3.1.6 Tacómetro Óptico

Este instrumento se utilizó para medir las revoluciones por minuto a la que está girando el eje del motor. Sus características son:

Figura 3.6: Tacómetro óptico



Elaborado por el equipo de trabajo

3.2 PROCEDIMIENTO

3.2.1 Metodología para Determinar la Presión Atmosférica en Puno

Se determinará la presión atmosférica en el laboratorio de Física, cuya lectura en mm Hg deberá corregirse por condiciones ambientales (ASME Power Test Codes).

- **Corrección por temperatura**

En la tabla 3.1 se dan las correcciones que hay que aplicar a las columnas barométricas y

otras columnas mercuriales para corregir los efectos de la temperatura. Estas correcciones reducen la altura de la columna de mercurio observada a la altura de una columna de mercurio a la temperatura de 0°C. dado que el mercurio tiene un peso específico de 13,595 g/cm³ a 0°C y aceleración de la gravedad normal; el producto de la verdadera altura de la columna mercurial a 0°C en mm por 0,0013595 da la presión en Kg/cm², siempre que la corrección por gravedad sea nula.

- **Corrección por gravedad**

En la tabla 3.2 se dan las correcciones por efecto de la gravedad que deben aplicarse a las columnas barométricas y otras columnas mercuriales. Estas correcciones deben sumarse algebraicamente a las alturas corregidas a 0°C para obtener las alturas corregidas al nivel del mar y 45°N de latitud donde la aceleración de la gravedad es 9,80665 m/s².

Tabla 3.1: Correcciones de temperatura para barómetros y columnas de mercurio.

Temperatura de la columna, °C	Lecturas observadas de la columna, mm de Hg									
	400	450	500	550	600	650	700	730	850	
	Sumar									
-20	1,2	1,4	1,3	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	
-15	0,9	1,0	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	
-10	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	
-5	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Restar									
5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	
10	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
15	1,2	1,3	1,4	1,3	1,6	1,7	1,9	2,0	2,2	
20	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	3,0	
25	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8	3,0	3,2	3,3	3,7	
30	2,0	2,2	2,5	2,8	3,2	3,3	3,7	4,0	4,2	
35	2,3	2,5	2,9	3,2	3,3	3,8	4,2	4,2	4,8	

Nota: En esta tabla se muestra las distintas alturas de Hg alcanzadas a diferentes temperaturas.

Fuente: ASME Power Test Codes



Tabla 3.2: Correcciones de gravedad para barómetros y columnas de mercurio.

Altitud, m	0		600		1200		1800		2400		3000	
Altura de la columna mm Hg	76 0	70 0	70 0	65 0	65 0	60 0	60 0	55 0	55 0	50 0	50 0	45 0
Latitud grados	Corrección											
25	- 1,2	- 1,2	- 1,2	- 1,2	- 1,2	- 1,2	- 1,5	- 1,2	- 1,5	- 1,2	- 1,2	- 1,2
30	- 1,0	- 1,0	- 1,0	- 1,0	- 1,2	- 1,0	- 1,2	- 1,0	- 1,2	- 1,0	- 1,2	- 1,0
35	- 0,7	- 0,7	- 0,7	- 0,7	- 0,7	- 0,7	- 1,0	- 0,7	- 1,0	- 0,7	- 1,0	- 0,7
40	- 0,5	- 0,5	- 0,5	- 0,5	- 0,5	- 0,5	- 0,7	- 0,3	- 0,7	- 0,7	- 0,7	- 0,7
45	- 0,0	- 0,0	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,5	- 0,5	- 0,5	- 0,5
50	+0, 2	+0, 2	+0, 2	- 0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	- 0,2	- 0,2	- 0,2	- 0,2

Nota: En esta tabla se muestra las alturas de Hg con respecto a la altura en metros.
Fuente: ASME Power Test Codes

- **Corrección por Altitud**

La corrección por altitud se da en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Correcciones para barómetros y manómetros en mm de Hg.

Altitud media m	Temperatura media de la atmósfera, °C						
	-30	-20	-10	0	10	20	30
0	11	10	10	9	9	9	8
300	10	10	9	9	9	8	8
600	10	9	9	8	8	8	8
900	9	9	8	8	8	8	7
1200	9	8	8	8	7	7	7
1500	8	8	8	7	7	7	7
1800	8	8	7	7	7	7	7
2100	8	7	7	7	7	7	7
3000	7	7	7	7	7	7	7
3827	7	7	7	7	7	7	7

Nota: En esta tabla se muestra la altura de Hg respecto a la temperatura y altura.

Fuente: ASME Power Test Codes.

3.2.2 Metodología para Determinar la Densidad del Aire

De la Ecuación Universal de los gases, ecuación de Clapeyron:

$$PV = nRT$$

El peso específico del aire se puede expresar por:

$$\gamma_{\text{aire}} = \frac{P}{RT}$$

Donde: P : Presión atmosférica en Kgf/m^2

R : Constante Universal de los Gases ($29,264 \text{ m}^3/\text{°K}$)

T : Temperatura ambiente, igual a la temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{K}$)

Sabemos que el peso específico es igual a:

$$\gamma_{\text{aire}} = \rho \cdot g$$

Donde: ρ : densidad del aire.

3.2.3 Metodología para Determinar la Potencia y Eficacia del Motor Eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia energía mecánica en el eje. La potencia eléctrica obedece a la siguiente relación:

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Donde: P_e : Potencia en Kw

V : Voltaje o tensión en voltios

I : Corriente en amperios

$\cos \varphi$: Factor de potencia

La potencia mecánica obedece a la siguiente relación:

$$P_{eje} = \frac{T \cdot n}{9550}$$

Donde: P : Potencia en Kw.

T : Torque en N.m. El torque es la capacidad del motor de hacer girar cargas.

n : Velocidad en RPM

Toda máquina consume más potencia de la que entrega, por lo que es importante que consideremos el término de eficiencia. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas. La eficiencia o rendimiento es una medida de qué tanto desperdicia una máquina.

La eficiencia se calcula según la ecuación:



$$\eta = \frac{P_{eje}}{P_e}$$

Donde: P_{eje} : Potencia de salida o potencia en el eje.

P_e : Potencia de entrada o potencia eléctrica.

De esta forma, entre mayor eficiencia, menores pérdidas y consecuentemente menores costos de operación.

3.2.4 Metodología para Determinar la Potencia en el Eje del Motor Eléctrico

Para la determinación experimental de la potencia en el eje del motor eléctrico se diseñó un ensayo técnico en función a los parámetros a medir; considerando que la potencia al eje está dada por la expresión:

$$P_{eje} = \frac{T \cdot n}{9550} \text{ (Kw)}$$

La velocidad “n” en revoluciones por minuto (RPM) se hizo variar siete veces, para cada una de las cuales se midió con el dinamómetro instalado en el módulo de Fuerza reactiva (F) que tiene la capacidad de hacer girar el eje en Newton, para determinar el torque que es igual a:

$$T = F \cdot b$$

Donde: T : Torque en N.m

b : brazo de palanca en m, que es de dimensión constante en el dispositivo del dinamómetro.

F : Fuerza reactiva medida en el dinamómetro en N.

La hoja de toma de datos experimentales fue la siguiente:

Tabla 3.4: Datos experimentales para el cálculo de la potencia al eje.

Nº	Velocidad: m (RPM)	Fuerza ()	Brazo de palanca ()
1			
:			
7			

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.5 Metodología para Determinar la Potencia de Entrada o Potencia Eléctrica

En el módulo del ventilador centrífugo existe un tablero donde se encuentra el variador de frecuencia que nos permite variar la velocidad (RPM), al igual tiene instalado un voltímetro y amperímetro; que nos permitieron la toma de datos experimentales para cada velocidad. La hoja de datos experimentales fue la siguiente:

Tabla 3.5: Datos experimentales para el cálculo de la potencia eléctrica.

Nº	Velocidad: m (RPM)	Voltaje ()	Amperaje ()
1			
:			
7			

Fuente: Elaboración propia.

La potencia de entrada o potencia eléctrica se calculó a través de la ecuación:

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Para cada una de las velocidades consideradas.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Determinación de las condiciones ambientales del laboratorio de ingeniería mecánica

4.1.1.1 Presión Atmosférica

La presión atmosférica se midió el día 7 de diciembre del 2018. La lectura del barómetro fue de 479 mm Hg y en el termómetro adjunto la lectura de 10°C, medidas en el Laboratorio de Física de la Escuela Profesional de Físico – Matemáticas – UNA. Por normas de la ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) esta lectura debe corregirse por condiciones ambientales, detallados en el acápite 3.1.

- Corrección por temperatura (C_T)

$$P_{\text{atm}} = 479 \text{ mm Hg}$$

$$T = 12^\circ\text{C}$$

Determinamos la corrección por temperatura (C_T) utilizamos la tabla 3.1:

T°	Columna de mm Hg		
	450	479	500
10°	0,8	X	0,9

Interpolando:

$$\frac{X - 0,8}{0,1} = \frac{29}{50}$$

Operando:



$$X = 0,858$$

Por consiguiente, la corrección por temperatura será de:

$$X = CT = 0,858 \text{ mm Hg}$$

Que debe restarse de la $P_{at} = 479 \text{ mm Hg}$.

Entonces: $P_{at} = 479 - 0,858$

$$P_{at} = 478.142 \text{ mm Hg}$$

- Corrección por gravedad (C_g)

Empleando tabla 3.2:

Valores necesarios:

Altitud de Puno : 3827 m.s.n.m. \approx 3000 m.s.n.m.

Latitud de Puno : 15,84°

Altura de la columna de Hg = 479 mm Hg

Aproximando:

		Altitud (m) 3000	
Columna mm Hg →	500	479	450
Latitud →	15,84	-1,2°	

Aproximadamente: $C_T = -1,2$

Entonces la presión atmosférica con la segunda corrección por gravedad será:

$$P_{at} = 478,142 - 1,2$$

$$P_{at} = 476,942 \text{ mm Hg}$$

- Corrección por Altitud (C_h)



Utilizando la tabla 3.3, considerando una altitud media de 3827 m.s.n.m. y la temperatura de la atmósfera:

$$T = 12^{\circ}\text{C}$$

Temperatura mayor que la temperatura del laboratorio:

Altitud media (m)	Temperatura atmósfera		
	10°C	12°C	20°C
⋮		↓	
3827	7	7	7

Por consiguiente, la corrección por altitud:

$$C_h = 7 \text{ mm Hg}$$

Finalmente, la presión atmosférica medida y corregida por las condiciones ambientales.

$$P_{at} = 476,942 + 7$$

$$P_{at} = 483,942 \text{ mm Hg}$$

4.1.2 Determinación de la Humedad Relativa

La humedad relativa en el laboratorio de Ingeniería Mecánica se midió indirectamente utilizando el Psicrómetro, cuyas lecturas medidas fueron:

- Temperatura de bulbo seco (TBS): 10°C
- Temperatura de bulbo húmedo (TBH): 7°C

Para la determinación de la humedad relativa se utiliza el diagrama Psicrométrico, donde se ubican las dos temperaturas y obtenemos la humedad relativa en %. El procedimiento se muestra en la figura 4.1, obteniéndose una humedad relativa de:

Humedad Relativa : 65%



4.1.3 Determinación de la Densidad del Aire

La metodología del acápite 3.2 está basado en la Ecuación Universal de los gases de Clapeyron:

$$PV = nRT$$

De donde el peso específico del aire se puede calcular por:

$$\gamma_{aire} = \frac{P}{RT}$$

Donde: P : Presión atmosférica en Kgf/m²

Entonces:

$$P = 483,492 \text{ mm Hg}$$

$$P = 0,658 \text{ Kgf/cm}^2$$

R: constante universal de los gases

$$R = 29,264 \text{ m}^{\circ}\text{K}$$

T: temperatura ambiente

$$T = 10^{\circ}\text{C} = 283^{\circ}\text{K}$$

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$\gamma_{aire} = \frac{0,658 \text{ Kgf/cm}^2 \times \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)}{29,264 \text{ m}^{\circ}\text{K} (283^{\circ}\text{K})}$$

$$\gamma_{aire} = 0,795 \frac{\text{Kg-f}}{\text{m}^3}$$

Sabemos que:



$$\gamma_{aire} = \rho_{aire} \cdot g$$

Donde: ρ_{aire} : densidad del aire

g : aceleración de la gravedad

$$g : 9,81 \text{ m/s}^2$$

γ_{aire} : peso específico del aire

$$\gamma_{aire} : 0,795 \text{ Kgf/m}^3$$

Operando:

$$0,795 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} = \rho_{aire} (9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$0,795 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \left(\frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ Kgf}} \right) \left(\frac{1 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}}{1 \text{ N}} \right) = \rho_{aire} \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

Entonces:

$$\rho_{aire} = 0,795 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

4.1.4 Determinación de la potencia en el eje del motor eléctrico

En base a la metodología del acápite 3.4 determinamos la potencia del eje en base a la ecuación:

$$P_{eje} = \frac{T \cdot n}{9550} \quad (\text{Kw})$$

Para determinar experimentalmente la potencia al eje, se hizo variar la velocidad del eje, medido en revoluciones por minuto (RPM) a través del variador de frecuencia, siguiendo el siguiente procedimiento:

Se montó el dinamómetro en el eje del motor para medir la fuerza reactiva del torque en (Nm) para obtener el torque respectivo.

$$T = F \cdot b$$

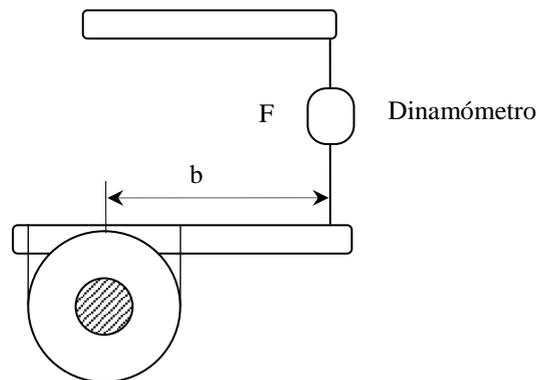
Donde: $T : \text{N} - \text{m}$

$F : \text{N}$

b : brazo de palanca en el dinamómetro (es constante)

$b : 0,18 \text{ m}$

En el esquema, se observa, la medida de los parámetros.



El dinamómetro mide la fuerza reactiva del torque que tiende a frenar el eje del motor.

Para medir los datos experimentales necesarios se preparó el ensayo para medir los parámetros:

- Se prendió el motor eléctrico, se esperó 5 minutos para estabilizar su operación.
- Se hizo ensayos preliminares para verificar que el motor, los instrumentos y los tesisas estén en condiciones óptimas.
- Se decidió cómo medir convenientemente la fuerza, la velocidad, voltaje y amperaje; y con qué instrumentos se realizaron.



- Se tomó la precaución para la obtención de todos los datos razonablemente necesarios.
- Se verificó las lecturas a medida que se las toma para comprobar si son coherentes.

Los resultados de la toma de datos experimentales se tabularon en la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Determinación de parámetros experimentales para el cálculo de la potencia al eje.

Nº	Velocidad: (RPM)	m	Fuerza (N)	Brazo de palanca (m)
1	500		3,35	0,18
2	900		2,22	0,18
3	1300		1,62	0,18
4	1700		1,30	0,18
5	2100		1,10	0,18
6	2500		0,97	0,18

Nota: En esta tabla se muestra las variaciones de potencia respecto a la velocidad.
Elaborado por el equipo de trabajo

Aplicando la ecuación para determinar la P_{eje} ; se hace el cálculo respectivo para la velocidad de 500 RPM.

$$P_{eje} = \frac{T \cdot n}{9550}$$

Donde: $T : F \cdot b$

$$F : 3,35 \text{ Kgf} = 32,89 \text{ N}$$

$$b = 0,18 \text{ m}$$

$$n = 500 \text{ RPM}$$

$$P_{eje} = \text{en Kw}$$



Reemplazando datos:

$$P_{eje} = \frac{(32,89 \text{ N}) \cdot (0,18 \text{ m}) 500 \text{ RPM}}{9550}$$

$$P_{eje} = 0,31 \text{ Kw}$$

Análogamente se realizan los cálculos para las otras velocidades; cuyos resultados se tabulan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Cálculos de las potencias al eje (P_{eje})

Nº	Velocidad: n (RPM)	Fuerza F (N)	Brazo de Palanca b (m)	Potencia al eje P_{eje} (Kw)
1	500	32,89	0,18	0,31
2	900	21,81	0,18	0,37
3	1300	15,92	0,18	0,39
4	1700	12,80	0,18	0,41
5	2100	10,86	0,18	0,43
6	2500	9,55	0,18	0,45

Nota: En esta tabla se muestran los valores de velocidad, Fuerza Brazo de Palanca
Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.5 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA ELÉCTRICA DE ENTRADA

Considerando que la eficiencia de un motor eléctrico es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada, concepto importante desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico. La eficiencia la podemos expresar también como:

$$Eficiencia = \frac{\text{Potencia eléctrica que entra} - \text{Pérdidas}}{\text{Potencia eléctrica que entra}}$$



Si las pérdidas fueron cero, la eficiencia sería 100%, por ello los fabricantes de motores eléctricos están haciendo innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible.

Un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica tomada de la red en potencia mecánica en el eje.

La potencia eléctrica se calcula por la siguiente ecuación:

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Experimentalmente se calculó la potencia en Kw; para diferentes velocidades del eje rotación en RPM. La velocidad del motor se varió con un variador de frecuencia, variando la velocidad se espera que el motor se estabilice en sus parámetros de funcionamiento durante 5 minutos después de los cuales se midió el voltaje o tensión en voltios (V) y la corriente en amperios (I), respectivamente. Los datos experimentales se tabulan a continuación:

Tabla 4.3: Datos experimentales para cálculo de la potencia eléctrica.

Nº	Velocidad: m (RPM)	Voltaje (V)	Corriente (A)
1	500	218	0,0012
2	900	219	0,0015
3	1300	217	0,0016
4	1700	220	0,0016
5	2100	218	0,0017
6	2500	219	0,0018

Nota: En esta tabla se muestra los valores de velocidad, voltaje y corriente para realizar los cálculos de potencia.

Elaborado por el equipo de trabajo

En función a los datos experimentales de la tabla 4.3, calculamos la potencia eléctrica de entrada aplicando la fórmula:

$$P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (\text{Kw})$$

Calculando para la velocidad de 500 RPM:

$$V = 218 \text{ V}$$

$$I = 0,0012 \text{ A}$$

Asumimos el factor de potencia igual a:

$$\cos \phi = 0,9$$

Entonces:

$$P_e = \sqrt{3} \cdot (218 \text{ V}) \cdot (0,0012 \text{ A}) \cdot 0,9$$



$$P_e = 0,40Kw$$

Análogamente procedemos para las otras velocidades en RPM. Los resultados se tabulan en la tabla siguiente:

Tabla 4.4: Determinación de la Potencia eléctrica de entrada.

Nº	Velocidad (m) (RPM)	Potencia Eléctrica de entrada (P_e) (V)
1	500	0,407
2	900	0,568
3	1300	0,601
4	1700	0,609
5	2100	0,641
6	2500	0,682

Nota: En esta Tabla se muestra la potencia calculada respecto a la velocidad.
Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.6 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

Toda máquina consume más potencia de la que entrega, por lo que es importante que consideremos el término de eficiencia. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas; por ello los fabricantes de motores están haciendo innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible y lo están logrando con un diseño mejorado empleando materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación.

La eficiencia la calculamos empleando la ecuación:

$$\eta = \frac{P_{eje}}{P_e} \times 100$$

Calculando la eficiencia para la primera velocidad de 500 RPM, para lo cual:

$$P_{eje} = 0,310 \text{ Kw}$$

$$P_e = 0,407 \text{ Kw}$$

Entonces:

$$\eta = \frac{0,310}{0,407} \times 100$$

$$\eta = 76,167\%$$

Análogamente procedemos con los cálculos de las eficiencias para las demás velocidades.

Tabla 4.5: Determinación de la eficiencia del motor eléctrico

Nº	Velocidad (m) (RPM)	Potencia al eje (P_{eje}) (Kw)	Potencia Eléctrica (P_e) (V)	Eficiencia η (%)
1	500	0,310	0,407	76,167
2	900	0,370	0,568	65,141
3	1300	0,390	0,601	64,892
4	1700	0,410	0,609	67,323
5	2100	0,430	0,641	67,083
6	2500	0,450	0,682	65,982
Eficiencia expresada en porcentaje				67,765% m = 66

Nota: En esta Tabla se muestran el valor de la eficiencia respecto a las potencias.

Elaborado por el equipo de trabajo



La determinación de la eficiencia o rendimiento del motor eléctrico se realizó según norma IEC 60034-2-1 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) de Europa a través del Método directo con medida del par, en el ensayo debe medirse la potencia eléctrica de entrada (P_e); el par de salida (T) y la velocidad (n) que nos permiten calcular la potencia útil o potencia en el eje (P_{eje}) y finalmente la eficiencia y el rendimiento (η).

Los motores eléctricos, en la industria consumen gran parte de la energía eléctrica en el mundo, por lo que pequeñas mejoras en su eficiencia pueden generar un ahorro importante en costos de energía; de ahí la importancia de determinar la eficiencia en la altura, porque su decremento implicará al contrario mayores costos de energía.

4.1.7 INFLUENCIA DE LA ALTURA DE PUNO EN LA EFICIENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

La altitud de Puno (3827 m.s.n.m.) implica una disminución significativa de la presión atmosférica. Se calculó una presión atmosférica corregida por aspectos ambientales como la temperatura, la gravedad y la altitud en base a normas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), obteniéndose 483,942 mm Hg, la cual con respecto a la presión atmosférica respecto al mar que es de 760 mm Hg es significativamente menor; aproximadamente una disminución de la presión atmosférica de 10% por cada 1000 metros de altura.

Esta menor presión atmosférica hace que la densidad del aire en Puno disminuye a 0,795 Kg/m^3 respecto a la del nivel del mar que es 1,204 Kg/m^3 .

Al disminuir la presión atmosférica y consecuentemente la densidad del aire en Puno, el aire disminuye sus propiedades refrigerantes y el sistema de refrigeración del motor disminuye, aumentando la temperatura de operación del motor por encima de 40°C

que es la temperatura límite de diseño, lo que se traduce en la disminución de la eficiencia del motor. La vida útil de un motor eléctrico está principalmente en su devanado. Si la refrigeración es insuficiente, el devanado se debilita y sufre daños severos. Por consiguiente, a mayor altitud sobre el nivel del mar, el aire tiene una menor densidad y a una misma velocidad, se tendrá menor flujo de aire. Una transferencia es insuficiente de calor entre el motor y el aire circundante, lleva a la exigencia de reducción de pérdidas, lo que significa también la reducción de la potencia.

El otro efecto que causa la disminución de la presión atmosférica y densidad del aire es la disminución de la tensión de ruptura de un aislante gaseoso, por efecto de la ley de Parthen, es decir una disminución del aislamiento eléctrico del aire y puede que éste no soporte el nivel de voltaje especificado al nivel del mar, incrementando el riesgo que se produzca en un arco eléctrico.

Estos dos factores que analizamos, determinarán que las eficiencias experimentales calculadas estén en un rango de 64-77% de eficiencia con un promedio de 67,765% para las seis velocidades (RPM) consideradas en el trabajo desarrollado. Que son eficiencias aceptables, comparados con las investigaciones realizadas por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia, España.

Tabla 4.6: Relación entre altitud y potencia nominal del motor

Altitud (m)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Potencia admisible de la nominal (%)	100	97	94	90	86	82	77

Nota: En esta tabla se muestra el Porcentaje de la potencia respecto a la altura.

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia – Departamento de Ingeniería Eléctrica – España.



La norma NEMA MG1-22.40 dice lo siguiente: “La potencia entregada decrece en 1% por cada 101 m de altitud sobre el nivel del mar, a partir de los 1007 m.s.n.m.” Esta norma es válida para alturas entre los 1006 a los 3962 m.s.n.m.

Como Puno se encuentra a 3827 m.s.n.m., se tiene que:

$$3827 \text{ m} - 1007 \text{ m} = 2820 \text{ m}$$

Por consiguiente:

$$\frac{2820 \text{ m}}{101 \text{ m}} = 27,92\% \text{ de reducción de potencia.}$$

La pérdida de potencia promedio en la investigación es de 100% - 67,765% que es igual a 32,235%, porcentaje aceptable, por las limitaciones en cuanto al laboratorio de ensayo.

4.2 DISCUSIÓN

4.2.1 CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN Y OPERACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO INSTALADO EN ALTURA

- La altitud en un motor eléctrico instalado juega un papel importante en sus características de potencia y operación.
- A medida que aumenta la altitud, la densidad del aire disminuye por lo cual la cantidad de transferencia de calor del motor se reduce.
- Se debe disminuir la temperatura ambiente para mantener la misma elevación de temperatura y potencia del motor y, disminuir la elevación de temperatura del motor y potencia para mantener los mismos 40°C de temperatura ambiente.

- Para que el motor mantenga su potencia para altitudes por encima del nivel del mar las máximas temperaturas ambiente deben estar según la norma NEGMA MG-1 entre los siguientes valores:

Tabla 4.7: Temperatura de ambientes máximos.

Temperatura ambiente Máxima (°C)	Altitud Máxima (m)
40	1000
30	2000
20	3000

Nota: En esta tabla se muestra temperatura para una altura en m.

Fuente: NEMA

- Si la temperatura ambiente permanece 40°C en altitudes elevadas, NEMA recomienda para la selección del motor adecuado los siguientes factores:

Tabla 4.8: Factores HP de Ratign

Altitud (pies)	Altitud (m)	Factor de HP de rating
3300 - 5000	1006 – 1524	0,97
5001 – 6600	1525 – 1829	0,94
6001 – 8300	1830 – 2530	0,91
8301 – 9900	2531 - 3018	0,88
9901 – 11500	3019 - 3506	0,85
11501 – 13100	3507 - 3993	0,82
13101 – 14700	3994 - 4881	0,79
14701 – 16300	4482 - 4968	0,76

Nota: En esta tabla se muestra los rangos de alturas y sus respectivos factores.

Fuente: NEMA

Tabla 4.9: Tabla de Eficiencia hecha por MINEM

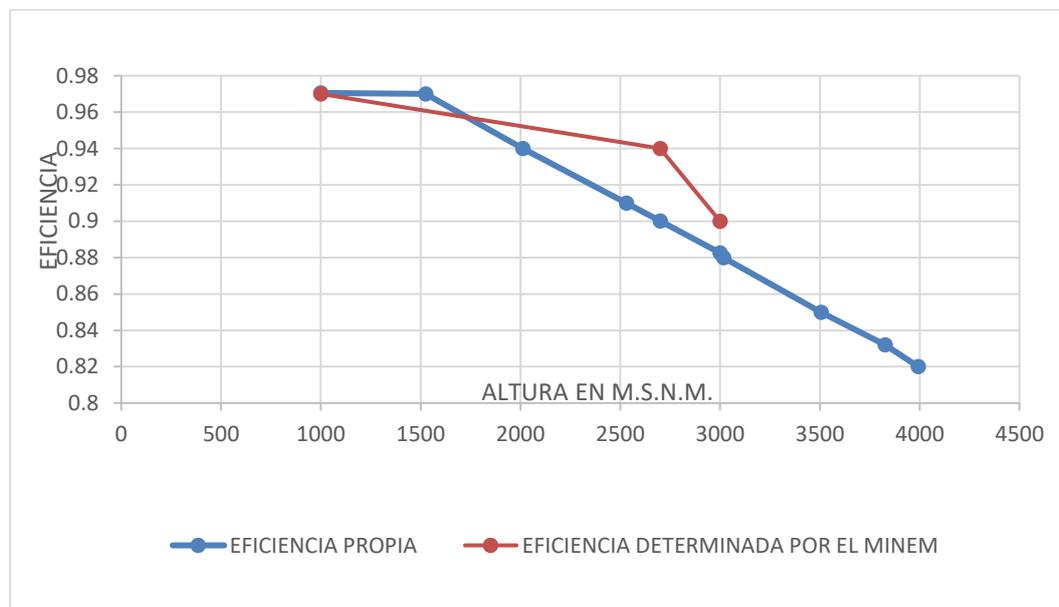
Altitud (m)	Factor de HP de rating
1000 - 2700	0,97
2700 – 3000	0,94
3000 – 4000	0,90
Por encima de los 4000	Escapa del Campo de aplicación de la presente fecha

Nota: En esta tabla se muestra los rangos de alturas y sus respectivos factores.

Fuente: <http://www.minem.gob.pe/>

GRAFICO 1

Curvas ajustadas de eficiencia



Nota: En el grafico se muestra la comparativa de las curvas obtenidas experimentalmente con la curva obtenida por el MINEM.

Elaborado por el equipo de trabajo



- Para que el motor cumpla su vida útil, es importante considerar las temperaturas de operación porque las averías y destrucción de la máquina es de carácter térmico, siendo los aislantes los que normalmente se deterioran.
- Es muy importante tener en cuenta en la selección del motor la altitud de su instalación considerando según la norma NEMA MG1-22.40 que la potencia entregada decrece en 1% por cada 101 metros de altitud sobre el nivel del mar, a partir de los 1007 m.s.n.m. Esta norma es válida para alturas entre los 1006 a los 3962 m.s.n.m.
- La instalación de un motor en altitudes por encima de 1000 metros puede ser realizada usándose material aislante de clase superior.
- Según la norma IEC 60034-1, la reducción necesaria en la temperatura ambiente debe ser de 1% de los límites de elevación de temperatura para cada 100 m de altitud por encima de 1000 m (hasta 4000).
- Se debe tener en cuenta en la operación que la disminución de la Rigidez Dieléctrica del aire trae como consecuencia que las distancias de aislación (distancias de fuga) se aumentan 1,25% por cada 100 m de aumento en la altura a partir de los 1000 m.s.n.m.



V. CONCLUSIONES

En el desarrollo del Proyecto de Investigación de la tesis se cumplieron satisfactoriamente los objetivos que nos planteamos, en base a los ensayos experimentales realizados en forma eficiente que nos permitieron capacitarnos en la investigación en el campo de la ingeniería, llegándose a las siguientes conclusiones:

- El Perú se caracteriza por sus condiciones geográficas de gran altitud; como es el caso del departamento de Puno, lo cual obliga a considerar la altura en el funcionamiento y selección de un motor eléctrico. En ese contexto se determinó experimentalmente en forma óptima la eficiencia promedio en 67.765%, disminuyendo en 32.235 % en comparación a cálculos por normas NEMA de 27.920 %; concluyéndose que un motor eléctrico cuando se utiliza a cierta altura geográfica por encima de los 1000 m.s.n.m. disminuye su eficiencia debido a la disminución de la presión atmosférica en 276.058 mmHg y a la densidad del aire en 0.409 Kg/m³. Concluyéndose que la primera causa una disminución de aislamiento eléctrico del aire y puede que este no soporte el nivel de voltaje específico al nivel del mar y lo segundo causa un mayor calentamiento del motor debido que el aire es menos denso y la masa de aire que ingresa como medio de refrigeración de las masas de hierro y cobre del motor será menor. Y estableciéndose en base a estos fundamentos y los criterios para la adecuada selección y operación de un motor instalado en la altura.
- Se determinó experimentalmente la influencia de la altura de Puno en la disminución de la eficiencia del motor, realizándose para ello un ensayo técnico en el módulo de Ventilador Centrífugo del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Escuela Profesional – EPIME; para lo cual se midieron la potencia eléctrica



absorbida por el motor, el par de salida y la velocidad en revoluciones por minuto, considerándose seis velocidades. La eficiencia calculada para las seis velocidades está en el rango de 64 – 77% con un promedio de 67,765%, porcentajes cuantitativos aceptables en el marco establecido por las normas NEMA e información técnica experimental de la Universidad Politécnica de Sevilla – España

- Se establecieron criterios técnicos de selección y operación para motores eléctricos que funcionan por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar a una temperatura máxima de 40°C; para seleccionar adecuadamente la potencia necesaria de un motor eléctrico que funcionará a una altitud mayor de 1000 m, como criterios respecto a las temperaturas de operación y del ambiente características térmicas que son las que limitan su funcionamiento y la vida útil del motor eléctrico. Los criterios técnicos están en base a investigaciones de la Comisión Electrónica Internacional (IEC) de Europa y la Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos (NEMA).



VI. RECOMENDACIONES

- La investigación realizada con el objetivo de determinar experimentalmente la influencia de la altura de Puno en la eficiencia de un motor eléctrico de 1 Kw, nos permite recomendar que la investigación continúe, la altitud de la ciudad hace que la presión atmosférica disminuya por menor peso de la columna de aire. Esto produce dos efectos: la disminución de la densidad del aire hace que la refrigeración del motor eléctrico disminuya, este efecto es analizado en el desarrollo de la tesis. El segundo efecto es la disminución de la tensión de ruptura de un aislante gaseoso, por efecto de la Ley de Parchen, también se dice que este efecto produce la disminución de la rigidez dieléctrica, por lo que se recomienda investigar este efecto, para lo cual es necesario un laboratorio equipado convenientemente para este objetivo.
- Es importante recomendar que una investigación ulterior podría determinar cuantitativamente qué decremento produce la altura de la ciudad de Puno en dos motores, uno eléctrico y el otro de combustión interna de la misma potencia.
- Los resultados y conclusiones a los que se ha llegado, nos permitirán comparar con la información técnica disponible, porque mucha de esa información se obtiene en laboratorios donde se simula la presión atmosférica. Esta comparación nos permitirá tener criterios más objetivos para dimensionar y seleccionar motores en instalaciones de mucha altitud considerando el decremento de potencia.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canala, T. y Echevarria, G. (1995). *Especificación y selección de generadores para uso industrial*. (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Quito, Ecuador.
- Cengel, Y. y Ghajar, A. (2012). *Transferencia de Calor y masa*. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Guerrero, C. (2010). Prevención de los fallos de los motores trifásicos de inducción mediante una adecuada selección. *Revista Tecnológico En Marcha*, 23(1), 78-93.
- Guevara, C. (2009). Efecto de la altura en el funcionamiento de un motor eléctrico. *Revista Electroindustria*, 2-5.
- Holman, J. (2011). *Métodos experimentales para ingenieros*. México D.F.: McGraw Hill.
- Huaman, D. (2012). Factores de corrección de los rangos eléctricos para tableros de media tensión aislados en aire por altitud de operación. *Programa Digital de Especificación de la General Electric*.
- Huaman, D. (2017). *Desclasificación por efectos de altura*. España: Publicación General Electric.
- Ivanov, A. (2009). *Máquinas eléctricas*. Moscú: Mir Moscú.
- Kasatkin, A. (2013). *Fundamentos de electrotecnia*. Moscú: MIR Moscú.
- Pérez, J. y Pineda, M. (2016). *Influencia de la temperatura en la potencia mecánica desarrollada por un motor de inducción*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Quispe, E. (2010). *Mantenimiento de motores eléctricos*. Lima: División de Ingeniería. Delcrosa S.A.
- Rosales, J. (2018). *Motores Eléctricos para la Industria*. México D.F.: Veritas Liberabitt.



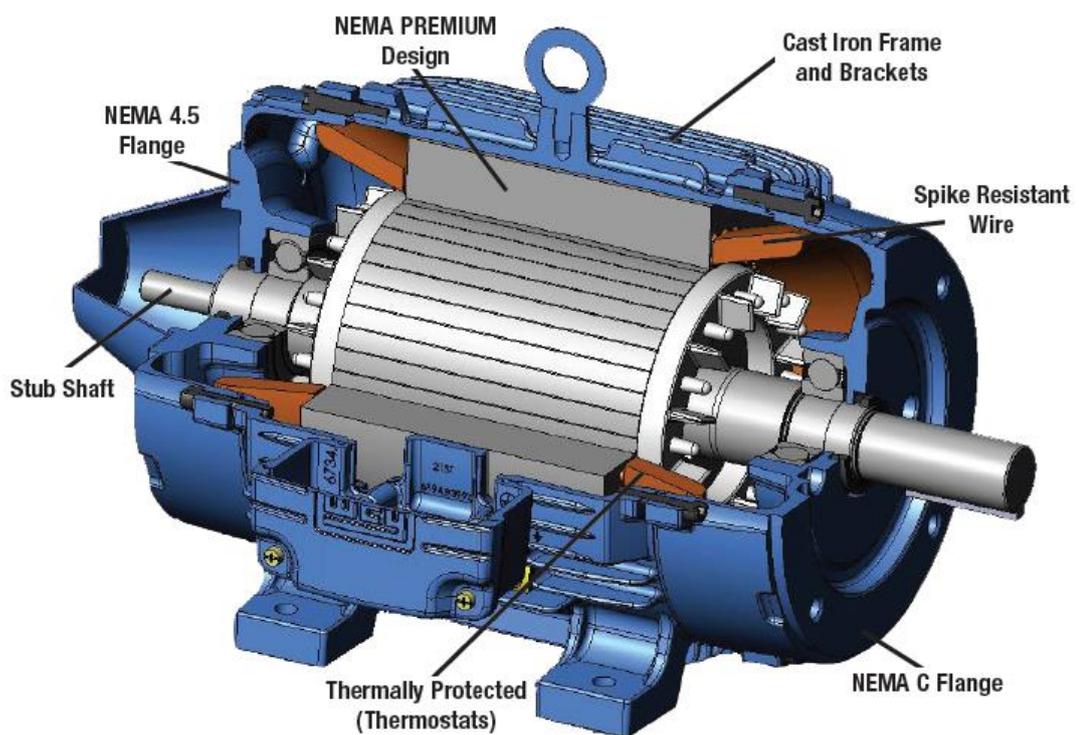
Teco Westinghouse (2015). *Derrateo de motores en grandes altitudes*. México: Teco-Westinghouse Motor Company.

Ticona, W. (2012). *Disminución de la potencia de motores de combustión interna por la altura de Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú.

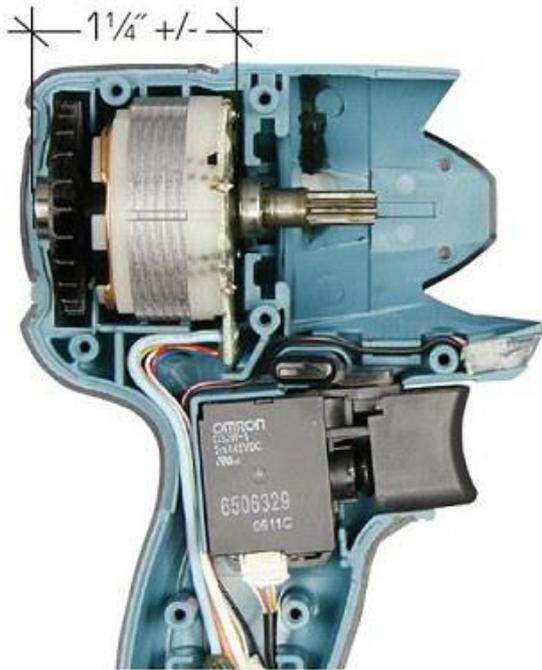
Ticona, W. (2012). *Disminución de la potencia de motores de combustión interna por la altura de Puno*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú.

ANEXOS

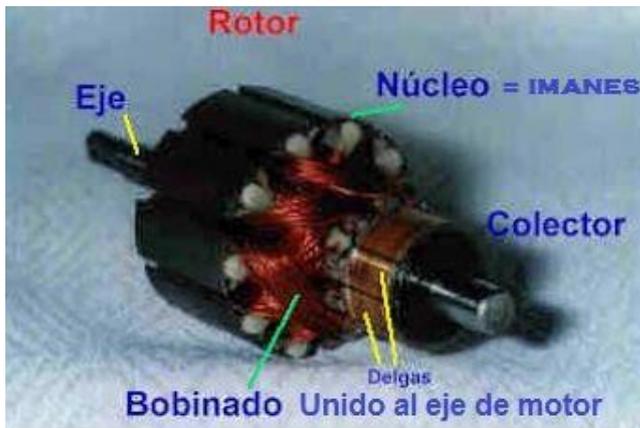
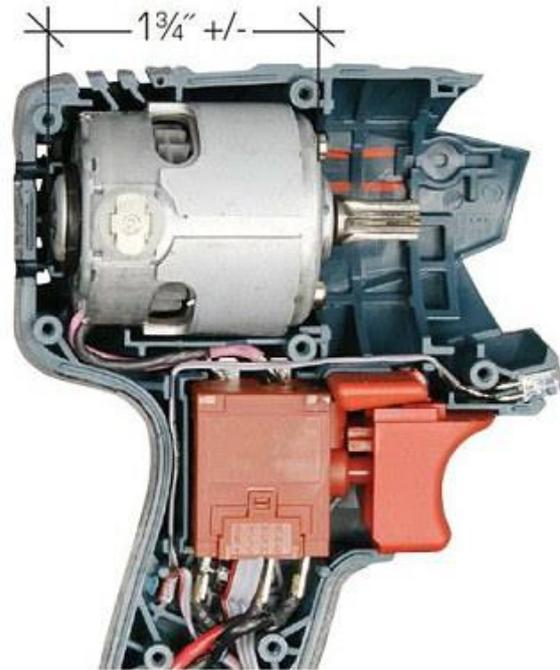
Anexo A. Motores Eléctricos



MOTOR SIN ESCOBILLAS



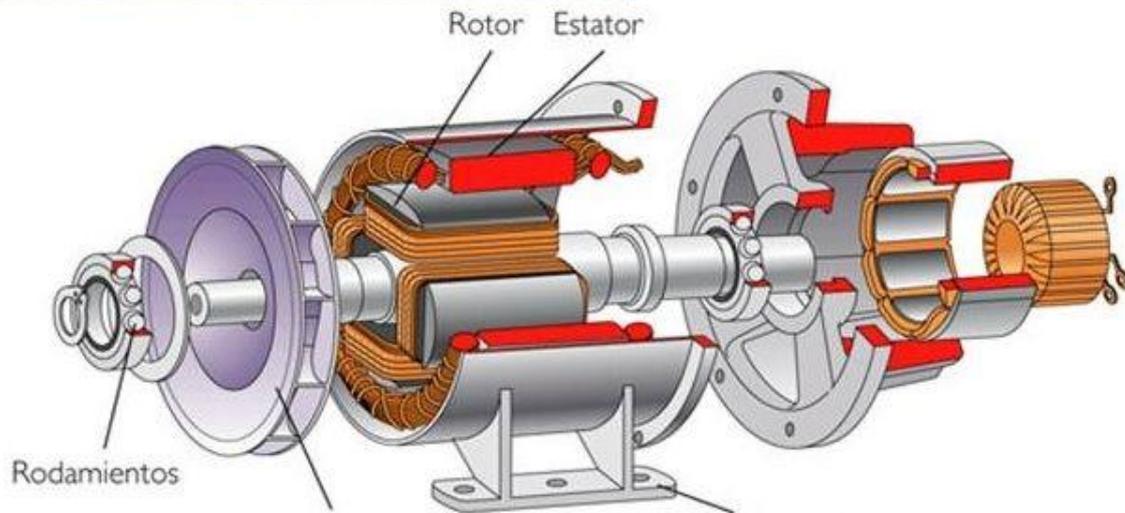
MOTOR CON ESCOBILLAS



Rotor = Eje unido a las espiras y que gira,

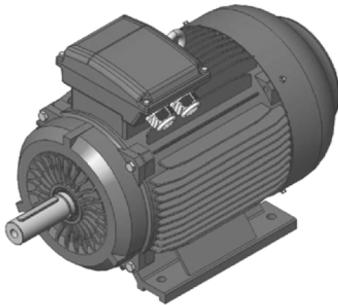
Estator = Parte fija donde están los imanes. No Gira.

www.areatecnologia.com



MOTORES DE 4 POLOS (1500 RPM/50Hz, 1800 RPM/60Hz) 400 V 50Hz

TIPO	POTENCIA		RPM	CORRIENTE	Eff	cosφ	PAR	CORR	PAR	NIVEL SONORO LwdB(A)	PESO
	kW	HP		400V	%		ARR/PAR NOM	ARR/COR NOM	MAX/PAR NOM		kg
SG-80M-4	0.75	1	1430	1.75	82.5	0.75	2.3	6.6	2.3	56	13,9
SG-90S-4	1.1	1,5	1440	2.48	84.1	0.76	2.3	6.8	2.3	59	15,1
SG-90L-4	1.5	2	1440	3.3	85.3	0.77	2.3	7.0	2.3	59	17,7
SG-100L1-4	2.2	3	1455	4.52	86.7	0.81	2.3	7.6	2.3	64	28,9
SG-100L2-4	3	4	1455	6.02	87.7	0.82	2.3	7.6	2.3	64	31,5
SG-112M-4	4	5,5	1460	7.95	88.6	0.82	2.2	7.8	2.3	65	36,5
SG-132S-4	5.5	7,5	1470	10.7	89.6	0.83	2.0	7.9	2.3	71	54
SG-132M-4	7.5	10	1470	14.3	90.4	0.84	2.0	7.5	2.3	71	69,1
SG-160M-4	11	15	1470	20.4	91.4	0.85	2.2	7.7	2.3	73	138
SG-160L-4	15	20	1470	27.3	92.1	0.86	2.2	7.8	2.3	73	161,9
SG-180M-4	18.5	25	1475	33.5	92.6	0.86	2.0	7.8	2.3	76	200,7
SG-180L-4	22	30	1475	39.7	93.0	0.86	2.0	7.8	2.3	76	223,4
SG-200L-4	30	40	1480	53.8	93.6	0.86	2.0	7.8	2.3	76	286,1
SG-225S-4	37	50	1485	66.1	93.9	0.86	2.0	7.4	2.3	78	361,4
SG-225M-4	45	60	1485	80.2	94.2	0.86	2.0	7.4	2.3	78	392,7
SG-250M-4	55	75	1485	97.6	94.6	0.86	2.0	7.4	2.3	79	471,7
SG-280S-4	75	100	1485	129	95.0	0.88	2.0	6.9	2.3	80	637,3
SG-280M-4	90	90	1485	155	95.2	0.88	2.0	6.9	2.3	80	728,9
SG-315S-4	110	150	1485	187	95.4	0.89	2.0	7.0	2.2	88	1061,2
SG-315M-4	132	180	1485	224	95.6	0.89	2.0	7.0	2.2	88	1179,1
SG-315L1-4	160	220	1485	270	95.8	0.89	2.0	7.1	2.2	88	1309,6
SG-315L2-4	200	270	1485	334	96.0	0.90	2.0	7.1	2.2	88	1457,6
SG-355M-4	250	340	1490	418	96.0	0.90	2.0	7.1	2.2	95	2132,4
SG-355L-4	315	430	1490	526	96.0	0.90	2.0	7.1	2.2	95	2383,5



MOTORES DE 6 POLOS (1000 RPM/50Hz, 1200 RPM/60Hz) 400 V 50Hz

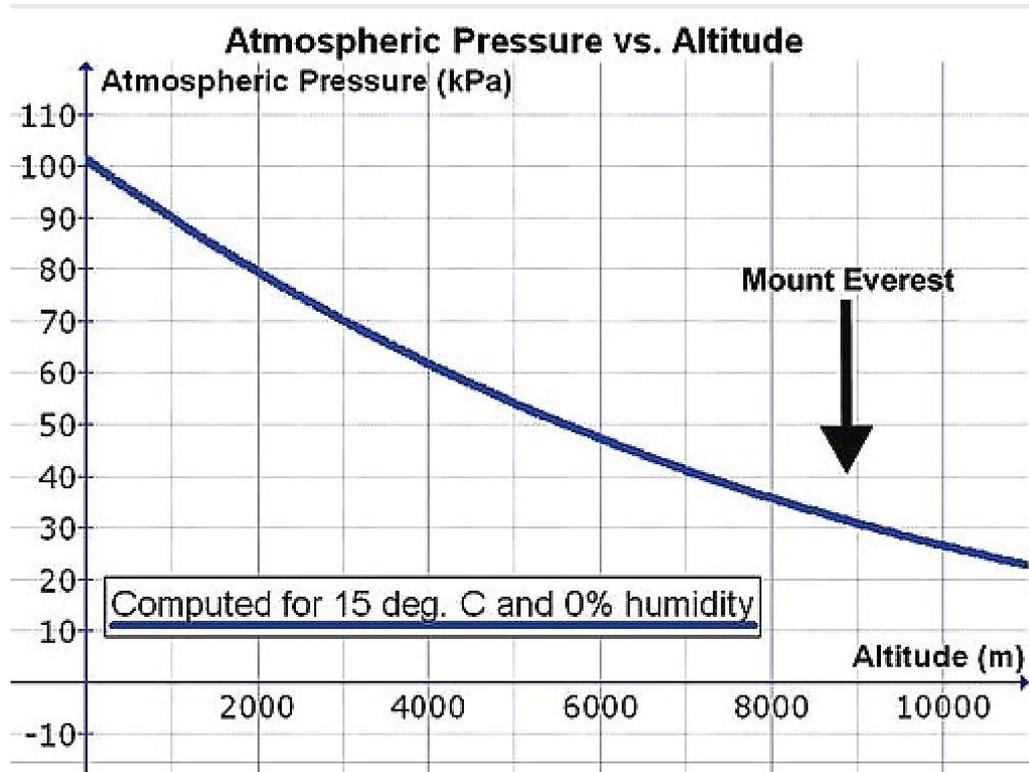
TIPO	POTENCIA		RPM	CORRIENTE	Eff	cos ϕ	PAR ARR/PAR NOM	CORR ARR/COR NOM	PAR MAX/PAR NOM	NIVEL SONORO LwdB(A)	PESO
	kW	HP		400V							%
SG-90S-6	0.75	1	955	1.93	78.9	0.71	2.0	6.0	2.1	57	16,4
SG-90L-6	1.1	1,5	955	2.69	81.0	0.73	2.0	6.0	2.1	57	17,7
SG-100L-6	1.5	2	955	3.6	82.5	0.73	2.0	6.5	2.1	61	28,9
SG-112M-6	2.2	3	970	5.09	84.3	0.74	2.0	6.6	2.1	65	35,2
SG-132S-6	3	4	970	6.84	85.6	0.74	2.0	6.8	2.1	69	47,8
SG-132M1-6	4	5,5	970	8.99	86.8	0.74	2.0	6.8	2.1	69	62,8
SG-132M2-6	5.5	7,5	970	12	88.0	0.75	2.0	7.0	2.1	69	71,6
SG-160M-6	7.5	10	980	15.4	89.1	0.79	2.0	7.0	2.1	73	133
SG-160L-6	11	15	980	22	90.3	0.80	2.0	7.2	2.1	73	153,1
SG-180L-6	15	20	980	29.3	91.2	0.81	2.0	7.3	2.1	73	209,6
SG-200L1-6	18.5	25	985	36	91.7	0.81	2.0	7.3	2.1	73	296,1
SG-200L2-6	22	30	985	42.5	92.2	0.81	2.0	7.4	2.1	73	310
SG-225M-6	30	40	985	56.2	92.9	0.83	2.0	6.9	2.1	74	360,1
SG-250M-6	37	50	990	68.1	93.3	0.84	2.0	7.1	2.1	76	445,4
SG-280S-6	45	60	990	81.6	93.7	0.85	2.0	7.3	2.0	78	557
SG-280M-6	55	75	990	98.1	94.1	0.86	2.0	7.3	2.0	78	624,8
SG-315S-6	75	100	990	133	94.6	0.84	2.0	6.6	2.0	83	1077,5
SG-315M-6	90	125	990	160	94.9	0.85	2.0	6.7	2.0	83	1191,6
SG-315L1-6	110	150	990	195	95.1	0.85	2.0	6.7	2.0	83	1293,3
SG-315L2-6	132	180	990	230	95.4	0.86	2.0	6.8	2.0	83	1388,7
SG-355M1-6	160	220	990	275	95.6	0.86	1.8	6.8	2.0	85	1944,2
SG-355M2-6	200	270	990	345	95.8	0.87	1.8	6.8	2.0	85	2006,9
SG-355L1-6	250	340	990	432	95.8	0.87	1.8	6.8	2.0	85	2132,4
SG-355L2-6	315	430	990	552	95.8	0.86	1.8	6.8	2.0	85	2354,5

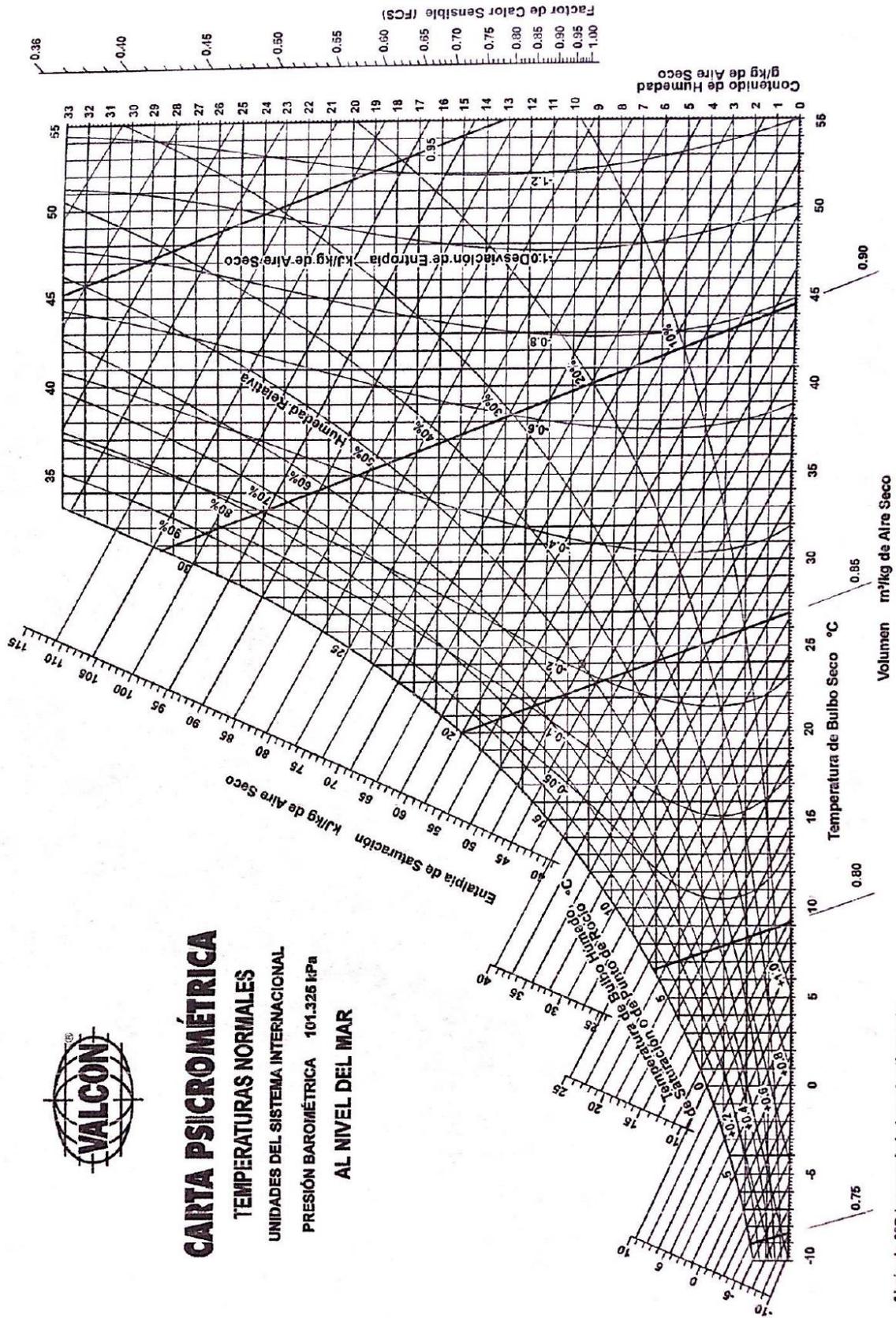


Anexo B. Presión Atmosférica

EQUIVALENCIAS DE PRESION ATMOSFERICA SEGÚN LA ALTITUD

Altitud Metros	Presion Milibares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica	Altitud Metros	Presion Milibares	Altura en mm de Hg	Presion Atmosferica
0	1013	760	1,000	3000	701	526	0,692
50	1007	756	0,994	3050	697	523	0,688
100	1001	751	0,988	3100	692	519	0,683
150	995	747	0,982	3150	688	516	0,679
200	989	742	0,977	3200	683	513	0,674
250	984	738	0,971	3250	679	509	0,670
300	978	733	0,965	3300	675	506	0,666
350	972	729	0,959	3350	670	503	0,662
400	966	725	0,953	3400	666	500	0,657
450	960	720	0,948	3450	662	496	0,653
500	955	716	0,942	3500	658	493	0,649
550	949	712	0,936	3550	653	490	0,645
600	943	707	0,931	3600	649	487	0,641
650	938	703	0,925	3650	645	484	0,637
700	932	699	0,920	3700	641	481	0,632
750	926	695	0,914	3750	637	478	0,628
800	921	691	0,909	3800	633	475	0,624
850	915	686	0,903	3850	629	471	0,620
900	910	682	0,898	3900	624	468	0,616
950	904	678	0,892	3950	620	465	0,612
1000	899	674	0,887	4000	616	462	0,608
1050	893	670	0,882	4050	612	459	0,604
1100	888	666	0,876	4100	608	456	0,600
1150	883	662	0,871	4150	604	453	0,597
1200	877	658	0,866	4200	600	450	0,593
1250	872	654	0,860	4250	597	447	0,589
1300	867	650	0,855	4300	593	445	0,585
1350	861	646	0,850	4350	589	442	0,581
1400	856	642	0,845	4400	585	439	0,577
1450	851	638	0,840	4450	581	436	0,573
1500	846	634	0,834	4500	577	433	0,570
1550	840	630	0,829	4550	573	430	0,566
1600	835	626	0,824	4600	570	427	0,562
1650	830	623	0,819	4650	566	424	0,559
1700	825	619	0,814	4700	562	422	0,555
1750	820	615	0,809	4750	558	419	0,551
1800	815	611	0,804	4800	555	416	0,548
1850	810	607	0,799	4850	551	413	0,544
1900	805	604	0,794	4900	547	411	0,540
1950	800	600	0,789	4950	544	408	0,537
2000	795	596	0,785	5000	540	405	0,533
2050	790	593	0,780	5050	537	402	0,530
2100	785	589	0,775	5100	533	400	0,526
2150	780	585	0,770	5150	529	397	0,523
2200	775	582	0,765	5200	526	394	0,519
2250	771	578	0,761	5250	522	392	0,516
2300	766	574	0,756	5300	519	389	0,512
2350	761	571	0,751	5350	515	387	0,509
2400	756	567	0,746	5400	512	384	0,505
2450	752	564	0,742	5450	508	381	0,502
2500	747	560	0,737	5500	505	379	0,498
2550	742	557	0,732	5550	502	376	0,495
2600	737	553	0,728	5600	498	374	0,492
2650	733	550	0,723	5650	495	371	0,488
2700	728	546	0,719	5700	492	369	0,485
2750	724	543	0,714	5750	488	366	0,482
2800	719	539	0,710	5800	485	364	0,479
2850	715	536	0,705	5850	482	361	0,475
2900	710	533	0,701	5900	478	359	0,472
2950	706	529	0,696	5950	475	356	0,469





Anexo C. Propiedades del Aire

TABLA C-6

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °F	Densidad ρ , lb _m /ft ³	Calor específico C _p , Btu/lb _m ·R	Conductividad térmica k, Btu/h·ft·R	Difusividad térmica α , ft ² /s	Viscosidad dinámica μ , lb _m /ft·s	Viscosidad cinemática ν , ft ² /s	Número de Prandtl Pr
-300	0,24844	0,5072	0,00508	1,119 x 10 ⁻⁵	4,039 x 10 ⁻⁶	1,625 x 10 ⁻⁵	1,4501
-200	0,15276	0,2247	0,00778	6,294 x 10 ⁻⁵	6,772 x 10 ⁻⁶	4,433 x 10 ⁻⁵	0,7042
-100	0,11029	0,2360	0,01037	1,106 x 10 ⁻⁴	9,042 x 10 ⁻⁶	8,197 x 10 ⁻⁵	0,7404
-50	0,09683	0,2389	0,01164	1,397 x 10 ⁻⁴	1,006 x 10 ⁻⁵	1,039 x 10 ⁻⁴	0,7439
0	0,08630	0,2401	0,01288	1,726 x 10 ⁻⁴	1,102 x 10 ⁻⁵	1,278 x 10 ⁻⁴	0,7403
10	0,08446	0,2402	0,01312	1,797 x 10 ⁻⁴	1,121 x 10 ⁻⁵	1,328 x 10 ⁻⁴	0,7391
20	0,08270	0,2403	0,01336	1,868 x 10 ⁻⁴	1,140 x 10 ⁻⁵	1,379 x 10 ⁻⁴	0,7378
30	0,08101	0,2403	0,01361	1,942 x 10 ⁻⁴	1,158 x 10 ⁻⁵	1,430 x 10 ⁻⁴	0,7365
40	0,07939	0,2404	0,01385	2,016 x 10 ⁻⁴	1,176 x 10 ⁻⁵	1,482 x 10 ⁻⁴	0,7350
50	0,07783	0,2404	0,01409	2,092 x 10 ⁻⁴	1,194 x 10 ⁻⁵	1,535 x 10 ⁻⁴	0,7336
60	0,07633	0,2404	0,01433	2,169 x 10 ⁻⁴	1,212 x 10 ⁻⁵	1,588 x 10 ⁻⁴	0,7321
70	0,07489	0,2404	0,01457	2,248 x 10 ⁻⁴	1,230 x 10 ⁻⁵	1,643 x 10 ⁻⁴	0,7306
80	0,07350	0,2404	0,01481	2,328 x 10 ⁻⁴	1,247 x 10 ⁻⁵	1,697 x 10 ⁻⁴	0,7290
90	0,07217	0,2404	0,01505	2,409 x 10 ⁻⁴	1,265 x 10 ⁻⁵	1,753 x 10 ⁻⁴	0,7275
100	0,07088	0,2405	0,01529	2,491 x 10 ⁻⁴	1,281 x 10 ⁻⁵	1,709 x 10 ⁻⁴	0,7260
110	0,06963	0,2405	0,01552	2,575 x 10 ⁻⁴	1,299 x 10 ⁻⁵	1,866 x 10 ⁻⁴	0,7245
120	0,06843	0,2405	0,01576	2,660 x 10 ⁻⁴	1,316 x 10 ⁻⁵	1,923 x 10 ⁻⁴	0,7230
130	0,06727	0,2405	0,01599	2,746 x 10 ⁻⁴	1,332 x 10 ⁻⁵	1,981 x 10 ⁻⁴	0,7216
140	0,06615	0,2406	0,01623	2,833 x 10 ⁻⁴	1,349 x 10 ⁻⁵	2,040 x 10 ⁻⁴	0,7202
150	0,06507	0,2406	0,01646	2,921 x 10 ⁻⁴	1,365 x 10 ⁻⁵	2,099 x 10 ⁻⁴	0,7188
160	0,06402	0,2406	0,01669	3,010 x 10 ⁻⁴	1,382 x 10 ⁻⁵	2,159 x 10 ⁻⁴	0,7174
170	0,06300	0,2407	0,01692	3,100 x 10 ⁻⁴	1,398 x 10 ⁻⁵	2,220 x 10 ⁻⁴	0,7161
180	0,06201	0,2408	0,01715	3,191 x 10 ⁻⁴	1,414 x 10 ⁻⁵	2,281 x 10 ⁻⁴	0,7148
190	0,06106	0,2408	0,01738	3,284 x 10 ⁻⁴	1,430 x 10 ⁻⁵	2,343 x 10 ⁻⁴	0,7136
200	0,06013	0,2409	0,01761	3,377 x 10 ⁻⁴	1,446 x 10 ⁻⁵	2,406 x 10 ⁻⁴	0,7124
250	0,05590	0,2415	0,01874	3,857 x 10 ⁻⁴	1,524 x 10 ⁻⁵	2,727 x 10 ⁻⁴	0,7071
300	0,05222	0,2423	0,01985	4,358 x 10 ⁻⁴	1,599 x 10 ⁻⁵	3,063 x 10 ⁻⁴	0,7028
350	0,04899	0,2433	0,02094	4,879 x 10 ⁻⁴	1,672 x 10 ⁻⁵	3,413 x 10 ⁻⁴	0,6995
400	0,04614	0,2445	0,02200	5,419 x 10 ⁻⁴	1,743 x 10 ⁻⁵	3,777 x 10 ⁻⁴	0,6971
450	0,04361	0,2458	0,02305	5,974 x 10 ⁻⁴	1,812 x 10 ⁻⁵	4,154 x 10 ⁻⁴	0,6953
500	0,04134	0,2472	0,02408	6,546 x 10 ⁻⁴	1,878 x 10 ⁻⁵	4,544 x 10 ⁻⁴	0,6942
600	0,03743	0,2503	0,02608	7,732 x 10 ⁻⁴	2,007 x 10 ⁻⁵	5,361 x 10 ⁻⁴	0,6934
700	0,03421	0,2535	0,02800	8,970 x 10 ⁻⁴	2,129 x 10 ⁻⁵	6,225 x 10 ⁻⁴	0,6940
800	0,03149	0,2568	0,02986	1,025 x 10 ⁻³	2,247 x 10 ⁻⁵	7,134 x 10 ⁻⁴	0,6956
900	0,02917	0,2599	0,03164	1,158 x 10 ⁻³	2,359 x 10 ⁻⁵	8,087 x 10 ⁻⁴	0,6978
1000	0,02718	0,2630	0,03336	1,296 x 10 ⁻³	2,467 x 10 ⁻⁵	9,080 x 10 ⁻⁴	0,7004
1500	0,02024	0,2761	0,04106	2,041 x 10 ⁻³	2,957 x 10 ⁻⁵	1,460 x 10 ⁻³	0,7158
2000	0,01613	0,2855	0,04752	2,867 x 10 ⁻³	3,379 x 10 ⁻⁵	2,095 x 10 ⁻³	0,7308
2500	0,01340	0,2922	0,05309	3,765 x 10 ⁻³	3,750 x 10 ⁻⁵	2,798 x 10 ⁻³	0,7432
3000	0,01147	0,2972	0,05811	4,737 x 10 ⁻³	4,082 x 10 ⁻⁵	3,560 x 10 ⁻³	0,7516
3500	0,01002	0,3010	0,06293	5,797 x 10 ⁻³	4,381 x 10 ⁻⁵	4,373 x 10 ⁻³	0,7543
4000	0,00889	0,3040	0,06789	6,975 x 10 ⁻³	4,651 x 10 ⁻⁵	5,229 x 10 ⁻³	0,7497

Nota: Para gases ideales, C_p, k, μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se divide ν y α entre P (en atm)

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Leley, S. C. Saxena, Vol. 11, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8



TABLA C-7

Propiedades de gases a 1 atm de presión

Temp. T, °F	Densidad ρ , lb _m /ft ³	Calor específico C _p , Btu/lb _m ·R	Conductividad térmica k, Btu/h·ft·R	Difusividad térmica α , ft ² /s	Viscosidad dinámica μ , lb _m /ft·s	Viscosidad cinemática ν , ft ² /s	Número de Prandtl Pr
<i>Dióxido de carbono, CO₂</i>							
-50	0,14712	0,1797	0,00628	6,600 x 10 ⁻⁵	7,739 x 10 ⁻⁶	5,261 x 10 ⁻⁵	0,7970
0	0,13111	0,1885	0,00758	8,522 x 10 ⁻⁵	8,661 x 10 ⁻⁶	6,606 x 10 ⁻⁵	0,7751
50	0,11825	0,1965	0,00888	1,061 x 10 ⁻⁴	9,564 x 10 ⁻⁶	8,086 x 10 ⁻⁵	0,7621
100	0,10769	0,2039	0,01017	1,286 x 10 ⁻⁴	1,045 x 10 ⁻⁵	9,703 x 10 ⁻⁵	0,7543
200	0,09136	0,2171	0,01273	1,784 x 10 ⁻⁴	1,217 x 10 ⁻⁵	1,332 x 10 ⁻⁴	0,7469
300	0,07934	0,2284	0,01528	2,341 x 10 ⁻⁴	1,382 x 10 ⁻⁵	1,743 x 10 ⁻⁴	0,7445
500	0,06280	0,2473	0,02027	3,626 x 10 ⁻⁴	1,696 x 10 ⁻⁵	2,700 x 10 ⁻⁴	0,7446
1000	0,04129	0,2796	0,03213	7,733 x 10 ⁻⁴	2,381 x 10 ⁻⁵	5,767 x 10 ⁻⁴	0,7458
1500	0,03075	0,2995	0,04281	1,290 x 10 ⁻³	2,956 x 10 ⁻⁵	9,610 x 10 ⁻⁴	0,7445
2000	0,02450	0,3124	0,05193	1,885 x 10 ⁻³	3,451 x 10 ⁻⁵	1,408 x 10 ⁻³	0,7474
<i>Monóxido de carbono, CO</i>							
-50	0,09363	0,2571	0,01118	1,290 x 10 ⁻⁴	9,419 x 10 ⁻⁶	1,005 x 10 ⁻⁴	0,7798
0	0,08345	0,2523	0,01240	1,636 x 10 ⁻⁴	1,036 x 10 ⁻⁵	1,242 x 10 ⁻⁴	0,7593
50	0,07526	0,2496	0,01359	2,009 x 10 ⁻⁴	1,127 x 10 ⁻⁵	1,498 x 10 ⁻⁴	0,7454
100	0,06854	0,2484	0,01476	2,408 x 10 ⁻⁴	1,214 x 10 ⁻⁵	1,772 x 10 ⁻⁴	0,7359
200	0,05815	0,2485	0,01702	3,273 x 10 ⁻⁴	1,379 x 10 ⁻⁵	2,372 x 10 ⁻⁴	0,7247
300	0,05049	0,2505	0,01920	4,217 x 10 ⁻⁴	1,531 x 10 ⁻⁵	3,032 x 10 ⁻⁴	0,7191
500	0,03997	0,2567	0,02331	6,311 x 10 ⁻⁴	1,802 x 10 ⁻⁵	4,508 x 10 ⁻⁴	0,7143
1000	0,02628	0,2732	0,03243	1,254 x 10 ⁻³	2,334 x 10 ⁻⁵	8,881 x 10 ⁻⁴	0,7078
1500	0,01957	0,2862	0,04049	2,008 x 10 ⁻³	2,766 x 10 ⁻⁵	1,413 x 10 ⁻³	0,7038
2000	0,01559	0,2958	0,04822	2,903 x 10 ⁻³	3,231 x 10 ⁻⁵	2,072 x 10 ⁻³	0,7136
<i>Metano, CH₄</i>							
-50	0,05363	0,5335	0,01401	1,360 x 10 ⁻⁴	5,861 x 10 ⁻⁶	1,092 x 10 ⁻⁴	0,8033
0	0,04779	0,5277	0,01616	1,780 x 10 ⁻⁴	6,506 x 10 ⁻⁶	1,361 x 10 ⁻⁴	0,7649
50	0,04311	0,5320	0,01839	2,228 x 10 ⁻⁴	7,133 x 10 ⁻⁶	1,655 x 10 ⁻⁴	0,7428
100	0,03925	0,5433	0,02071	2,698 x 10 ⁻⁴	7,742 x 10 ⁻⁶	1,972 x 10 ⁻⁴	0,7311
200	0,03330	0,5784	0,02559	3,690 x 10 ⁻⁴	8,906 x 10 ⁻⁶	2,674 x 10 ⁻⁴	0,7245
300	0,02892	0,6226	0,03077	4,748 x 10 ⁻⁴	1,000 x 10 ⁻⁵	3,457 x 10 ⁻⁴	0,7283
500	0,02289	0,7194	0,04195	7,075 x 10 ⁻⁴	1,200 x 10 ⁻⁵	5,244 x 10 ⁻⁴	0,7412
1000	0,01505	0,9438	0,07346	1,436 x 10 ⁻³	1,620 x 10 ⁻⁵	1,076 x 10 ⁻³	0,7491
1500	0,01121	1,1162	0,10766	2,390 x 10 ⁻³	1,974 x 10 ⁻⁵	1,760 x 10 ⁻³	0,7366
2000	0,00893	1,2419	0,14151	3,544 x 10 ⁻³	2,327 x 10 ⁻⁵	2,605 x 10 ⁻³	0,7353
<i>Hidrógeno, H₂</i>							
-50	0,00674	3,0603	0,08246	1,110 x 10 ⁻³	4,969 x 10 ⁻⁶	7,373 x 10 ⁻⁴	0,6638
0	0,00601	3,2508	0,09049	1,287 x 10 ⁻³	5,381 x 10 ⁻⁶	8,960 x 10 ⁻⁴	0,6960
50	0,00542	3,3553	0,09818	1,500 x 10 ⁻³	5,781 x 10 ⁻⁶	1,067 x 10 ⁻³	0,7112
100	0,00493	3,4119	0,10555	1,742 x 10 ⁻³	6,167 x 10 ⁻⁶	1,250 x 10 ⁻³	0,7177
200	0,00419	3,4549	0,11946	2,295 x 10 ⁻³	6,911 x 10 ⁻⁶	1,652 x 10 ⁻³	0,7197
300	0,00363	3,4613	0,13241	2,924 x 10 ⁻³	7,622 x 10 ⁻⁶	2,098 x 10 ⁻³	0,7174
500	0,00288	3,4572	0,15620	4,363 x 10 ⁻³	8,967 x 10 ⁻⁶	3,117 x 10 ⁻³	0,7146
1000	0,00189	3,5127	0,20989	8,776 x 10 ⁻³	1,201 x 10 ⁻⁵	6,354 x 10 ⁻³	0,7241
1500	0,00141	3,6317	0,26381	1,432 x 10 ⁻²	1,477 x 10 ⁻⁵	1,048 x 10 ⁻²	0,7323
2000	0,00112	3,7656	0,31923	2,098 x 10 ⁻²	1,734 x 10 ⁻⁵	1,544 x 10 ⁻²	0,7362

(Continúa)



TABLA C-7

Propiedades de gases a 1 atm de presión (continuación)

Temp. T, °F	Densidad ρ , lb _m /ft ³	Calor específico C _p , Btu/lb _m -R	Conductividad térmica k, Btu/h-ft-R	Difusividad térmica α , ft ² /s	Viscosidad dinámica μ , lb _m /ft-s	Viscosidad cinemática ν , ft ² /s	Número de Prandtl Pr
<i>Nitrógeno, N₂</i>							
-50	0,09364	0,2320	0,01176	1,504 x 10 ⁻⁴	9,500 x 10 ⁻⁶	1,014 x 10 ⁻⁴	0,6746
0	0,08346	0,2441	0,01300	1,773 x 10 ⁻⁴	1,043 x 10 ⁻⁵	1,251 x 10 ⁻⁴	0,7056
50	0,07527	0,2480	0,01420	2,113 x 10 ⁻⁴	1,134 x 10 ⁻⁵	1,507 x 10 ⁻⁴	0,7133
100	0,06854	0,2489	0,01537	2,502 x 10 ⁻⁴	1,221 x 10 ⁻⁵	1,783 x 10 ⁻⁴	0,7126
200	0,05815	0,2487	0,01760	3,379 x 10 ⁻⁴	1,388 x 10 ⁻⁵	2,387 x 10 ⁻⁴	0,7062
300	0,05050	0,2492	0,01970	4,349 x 10 ⁻⁴	1,543 x 10 ⁻⁵	3,055 x 10 ⁻⁴	0,7025
500	0,03997	0,2535	0,02359	6,466 x 10 ⁻⁴	1,823 x 10 ⁻⁵	4,559 x 10 ⁻⁴	0,7051
1000	0,02528	0,2697	0,03204	1,255 x 10 ⁻³	2,387 x 10 ⁻⁵	9,083 x 10 ⁻⁴	0,7232
1500	0,01958	0,2831	0,04002	2,006 x 10 ⁻³	2,829 x 10 ⁻⁵	1,445 x 10 ⁻³	0,7202
2000	0,01560	0,2927	0,04918	2,992 x 10 ⁻³	3,212 x 10 ⁻⁵	2,059 x 10 ⁻³	0,6882
<i>Oxígeno, O₂</i>							
-50	0,10697	0,2331	0,01216	1,355 x 10 ⁻⁴	1,104 x 10 ⁻⁵	1,032 x 10 ⁻⁴	0,7622
0	0,09533	0,2245	0,01346	1,747 x 10 ⁻⁴	1,218 x 10 ⁻⁵	1,277 x 10 ⁻⁴	0,7312
50	0,08598	0,2209	0,01475	2,157 x 10 ⁻⁴	1,326 x 10 ⁻⁵	1,543 x 10 ⁻⁴	0,7152
100	0,07830	0,2200	0,01601	2,582 x 10 ⁻⁴	1,429 x 10 ⁻⁵	1,826 x 10 ⁻⁴	0,7072
200	0,06643	0,2221	0,01851	3,484 x 10 ⁻⁴	1,625 x 10 ⁻⁵	2,446 x 10 ⁻⁴	0,7020
300	0,05768	0,2262	0,02096	4,463 x 10 ⁻⁴	1,806 x 10 ⁻⁵	3,132 x 10 ⁻⁴	0,7018
500	0,04566	0,2352	0,02577	6,665 x 10 ⁻⁴	2,139 x 10 ⁻⁵	4,685 x 10 ⁻⁴	0,7029
1000	0,03002	0,2520	0,03698	1,357 x 10 ⁻³	2,855 x 10 ⁻⁵	9,509 x 10 ⁻⁴	0,7005
1500	0,02236	0,2626	0,04701	2,224 x 10 ⁻³	3,474 x 10 ⁻⁵	1,553 x 10 ⁻³	0,6985
2000	0,01782	0,2701	0,05614	3,241 x 10 ⁻³	4,035 x 10 ⁻⁵	2,265 x 10 ⁻³	0,6988
<i>Vapor de agua, H₂O</i>							
-50	0,06022	0,4512	0,00797	8,153 x 10 ⁻⁵	4,933 x 10 ⁻⁶	8,192 x 10 ⁻⁵	1,0050
0	0,05367	0,4484	0,00898	1,036 x 10 ⁻⁴	5,592 x 10 ⁻⁶	1,041 x 10 ⁻⁴	1,0049
50	0,04841	0,4472	0,01006	1,291 x 10 ⁻⁴	6,261 x 10 ⁻⁶	1,293 x 10 ⁻⁴	1,0018
100	0,04408	0,4473	0,01121	1,579 x 10 ⁻⁴	6,942 x 10 ⁻⁶	1,574 x 10 ⁻⁴	0,9969
200	0,03740	0,4503	0,01372	2,263 x 10 ⁻⁴	8,333 x 10 ⁻⁶	2,228 x 10 ⁻⁴	0,9845
300	0,03248	0,4557	0,01648	3,093 x 10 ⁻⁴	9,756 x 10 ⁻⁶	3,004 x 10 ⁻⁴	0,9713
500	0,02571	0,4707	0,02267	5,204 x 10 ⁻⁴	1,267 x 10 ⁻⁵	4,931 x 10 ⁻⁴	0,9475
1000	0,01690	0,5167	0,04134	1,314 x 10 ⁻³	2,014 x 10 ⁻⁵	1,191 x 10 ⁻³	0,9063
1500	0,01259	0,5625	0,06315	2,477 x 10 ⁻³	2,742 x 10 ⁻⁵	2,178 x 10 ⁻³	0,8793
2000	0,01003	0,6034	0,08681	3,984 x 10 ⁻³	3,422 x 10 ⁻⁵	3,411 x 10 ⁻³	0,8563

Nota: Para gases ideales, C_p, k, μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se divide ν y α entre P (en atm)

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente con base en diversas fuentes.



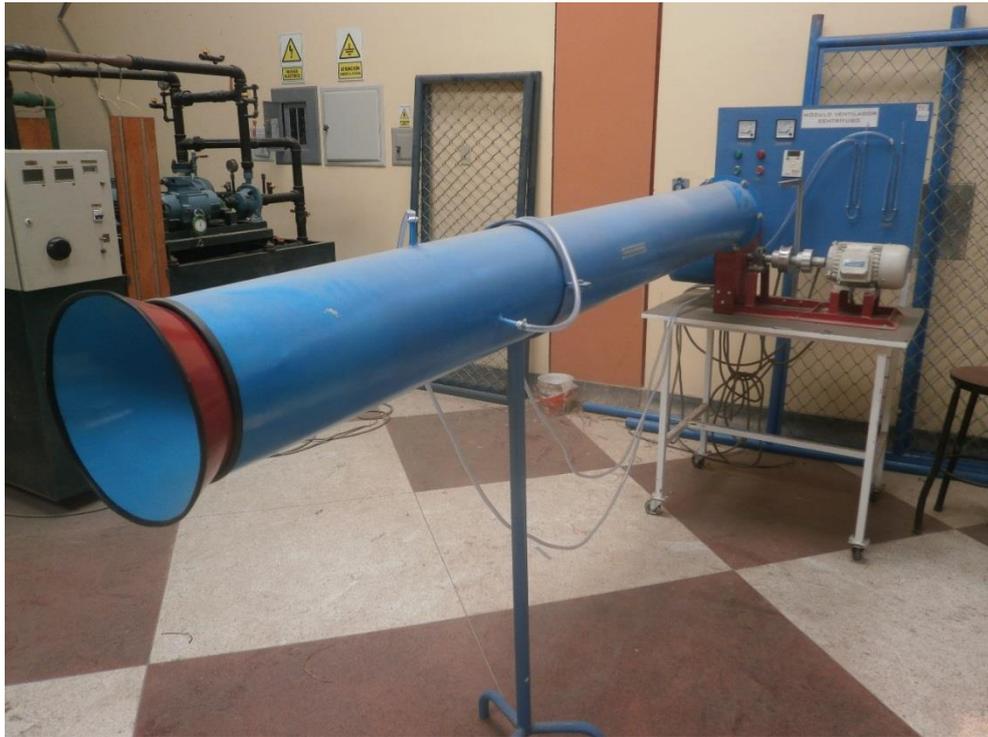
TABLA C-8

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, ft	Temperatura, °F	Presión, psia	Gravedad g, ft/s ²	Velocidad del sonido, ft/s	Densidad, lb _m /ft ³	Viscosidad μ, lb _m /ft·s	Conductividad térmica, Btu/h·ft·R
0	59,00	14,7	32,174	1116	0,07647	1,202 x 10 ⁻⁵	0,0146
500	57,22	14,4	32,173	1115	0,07536	1,199 x 10 ⁻⁵	0,0146
1000	55,43	14,2	32,171	1113	0,07426	1,196 x 10 ⁻⁵	0,0146
1500	53,65	13,9	32,169	1111	0,07317	1,193 x 10 ⁻⁵	0,0145
2000	51,87	13,7	32,168	1109	0,07210	1,190 x 10 ⁻⁵	0,0145
2500	50,09	13,4	32,166	1107	0,07104	1,186 x 10 ⁻⁵	0,0144
3000	48,30	13,2	32,165	1105	0,06998	1,183 x 10 ⁻⁵	0,0144
3500	46,52	12,9	32,163	1103	0,06985	1,180 x 10 ⁻⁵	0,0143
4000	44,74	12,7	32,162	1101	0,06792	1,177 x 10 ⁻⁵	0,0143
4500	42,96	12,5	32,160	1099	0,06690	1,173 x 10 ⁻⁵	0,0142
5000	41,17	12,2	32,159	1097	0,06590	1,170 x 10 ⁻⁵	0,0142
5500	39,39	12,0	32,157	1095	0,06491	1,167 x 10 ⁻⁵	0,0141
6000	37,61	11,8	32,156	1093	0,06393	1,164 x 10 ⁻⁵	0,0141
6500	35,83	11,6	32,154	1091	0,06296	1,160 x 10 ⁻⁵	0,0141
7000	34,05	11,3	32,152	1089	0,06200	1,157 x 10 ⁻⁵	0,0140
7500	32,26	11,1	32,151	1087	0,06105	1,154 x 10 ⁻⁵	0,0140
8000	30,48	10,9	32,149	1085	0,06012	1,150 x 10 ⁻⁵	0,0139
8500	28,70	10,7	32,148	1083	0,05919	1,147 x 10 ⁻⁵	0,0139
9000	26,92	10,5	32,146	1081	0,05828	1,144 x 10 ⁻⁵	0,0138
9500	25,14	10,3	32,145	1079	0,05738	1,140 x 10 ⁻⁵	0,0138
10000	23,36	10,1	32,145	1077	0,05648	1,137 x 10 ⁻⁵	0,0137
11000	19,79	9,72	32,140	1073	0,05473	1,130 x 10 ⁻⁵	0,0136
12000	16,23	9,34	32,137	1069	0,05302	1,124 x 10 ⁻⁵	0,0136
13000	12,67	8,99	32,134	1065	0,05135	1,117 x 10 ⁻⁵	0,0135
14000	9,12	8,63	32,131	1061	0,04973	1,110 x 10 ⁻⁵	0,0134
15000	5,55	8,29	32,128	1057	0,04814	1,104 x 10 ⁻⁵	0,0133
16000	1,99	7,97	32,125	1063	0,04659	1,097 x 10 ⁻⁵	0,0132
17000	-1,58	7,65	32,122	1049	0,04508	1,090 x 10 ⁻⁵	0,0132
18000	-5,14	7,34	32,119	1045	0,04361	1,083 x 10 ⁻⁵	0,0130
19000	-8,70	7,05	32,115	1041	0,04217	1,076 x 10 ⁻⁵	0,0129
20000	-12,2	6,76	32,112	1037	0,04077	1,070 x 10 ⁻⁵	0,0128
22000	-19,4	6,21	32,106	1029	0,03808	1,056 x 10 ⁻⁵	0,0126
24000	-26,5	5,70	32,100	1020	0,03553	1,042 x 10 ⁻⁵	0,0124
26000	-33,6	5,22	32,094	1012	0,03311	1,028 x 10 ⁻⁵	0,0122
28000	-40,7	4,78	32,088	1003	0,03082	1,014 x 10 ⁻⁵	0,0121
30000	-47,8	4,37	32,082	995	0,02866	1,000 x 10 ⁻⁵	0,0119
32000	-54,9	3,99	32,08	987	0,02661	0,986 x 10 ⁻⁵	0,0117
34000	-62,0	3,63	32,07	978	0,02468	0,971 x 10 ⁻⁵	0,0115
36000	-69,2	3,30	32,06	969	0,02285	0,956 x 10 ⁻⁵	0,0113
38000	-69,7	3,05	32,06	968	0,02079	0,955 x 10 ⁻⁵	0,0113
40000	-69,7	2,73	32,05	968	0,01890	0,955 x 10 ⁻⁵	0,0113
45000	-69,7	2,148	32,04	968	0,01487	0,955 x 10 ⁻⁵	0,0113
50000	-69,7	1,691	32,02	968	0,01171	0,955 x 10 ⁻⁵	0,0113
55000	-69,7	1,332	32,00	968	0,00922	0,955 x 10 ⁻⁵	0,0113
60000	-69,7	1,048	31,99	968	0,00726	0,955 x 10 ⁻⁵	0,0113

Fuente: U. S. Standard Atmosphere Supplementents, U. S. Government Printing Office, 1966. Con base en condiciones medidas todo el año a 45° de altitud y que varían con la época del año y los patrones del clima. Se considera que las condiciones a nivel del mar (z = 0) son P = 101.325 kPa, T = 15°C, ρ = 1.2250 kg/m³, g = 9.80665 m/s²

Anexo D. Módulo de Ensayo



Módulo de ensayo



Motor Eléctrico



Motor Eléctrico – Dinamómetro