



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
DE SISTEMAS**

Monitorización de los parámetros de un prototipo de motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario con su unidad de control computarizada de bajo nivel

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero de sistemas

AUTOR:

Br. Flores Jiménez Gustavo (ORCID: 0000-0001-9605-2451)

ASESORA:

MSc. Carmen Zulema Quito Rodríguez (ORCID: 0000-0003-0921-338X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas de información y comunicación

PIURA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mi abuelo Manuel Jiménez Orihuela un excelente mecánico de donde provienen mis genes para la investigación de los sistemas mecánicos, mis padres que hicieron de mí una persona sin vendas en los ojos, mis amigos que creían que merecía la pena esta investigación.

Dedico el producto de esta investigación hacia las personas que día a día sufren los estragos de la ambición desmesurada de la elite por el control monopolista de la energía que sumergen a la especie humana en la miseria desesperación guerra e ignorancia (el peor enemigo del ser humano),espero que el producto de esta investigación llegue a las porciones de territorio llamados países (yo no creo en países sino que lo veo a todo como un planeta dividido por intereses egoístas en países) de extrema pobreza como los que hay en África, Haití, Medio oriente, víctimas de ese monstruo llamado corporatocracia que consume la humanidad haciendo que unos atenten contra sus semejantes, para garantizar su poder.

Esta investigación no solo terminara aquí, sino que perdurara mientras que yo siga con vida, persiguiendo los altos valores humanos.

Dedicare toda mi vida a “liberar la energía y hacerla accesible a todas las personas del planeta azul”, para terminar con la mayor consecuencia de ignorancia de la especie, la guerra”.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Ernesto Flores Altamirano y Mercedes Victoria Jiménez Espinoza por apoyarme y creer que se puede hacer tecnología desde cero, agradezco a mi amigo y mentor Ing. Rubén Alexander More Valencia por creer desde que lo conozco en mi capacidad y apoyarme mucho e incondicionalmente en lograr esta investigación, agradezco a mi amigo José Luis García Zavala por haber plasmado en planos lo que estaba en mi mente; agradezco a la familia Cherres Ladynenko que cree en mi capacidad y es como mi familia, agradezco a la empresa Z Y M Ingenieros por su apoyo en la elaboración del disco rotor; agradezco mi amigo Carlos Eduardo Saavedra por creer en mi capacidad de hacer tecnología para mejorar la sociedad, ; agradezco a mi hermano Ernesto Flores Jiménez que me apoyo en armar el motor y además fue testigo de cómo la pasaba hasta no lograr hacer girar el motor; agradezco a la Mg. Silvia Viera por proporcionarme alguna vez un laboratorio en el fin de hacer tecnología ;agradezco a mi amigo Francisco Pablo Valentino Burgos Tello por proporcionar un taller de soldadura que cobro muy poco; agradezco al departamento de investigación por su apoyo.

Agradezco también a las personas que pensaban que era imposible porque me dieron más ganas de desafiar su errónea apreciación sobre lo que es capaz de hacer un ingeniero de verdad y que es verdadera Ingeniería de sistemas.

INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	IV
Índice de contenidos, tablas y figuras.....	VI
Resumen.....	XI
Abstract.....	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	33
3.1. Tipo y Diseño de investigación.....	34
3.2. Variables operacionalización.....	34
3.3. Población, muestra y muestreo.....	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.5. Procedimientos.....	40
3.6. Métodos de análisis de datos.....	40
3.7. Aspectos éticos.....	41
IV. RESULTADOS.....	42
V. DISCUSIÓN.....	65
VI. CONCLUSIÓN.....	68
VII. RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Operacionalización de variables	34
Tabla 2: Poblaciones según el indicador (parámetro físico a medir)	35
Tabla 3: Ficha de observación de parámetros	43
Tabla 4: Tabla de estadísticos de cada uno de los 5 parámetros físicos (magnitud física medible)	44
Tabla 5: Tabla de frecuencia del indicador Temperatura (°C)	55
Tabla 6: Tabla de frecuencia del indicador Frecuencia (Hz)	56
Tabla 7: Tabla de frecuencia del indicador Velocidad angular (rpm/min)	57
Tabla 8: Periodo (s).....	58
Tabla 9: Velocidad tangencial (m/s)	59
Tabla 10: Ficha de observación de parámetros.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Esquema de la distribución de flujo magnético en una máquina lineal.....	14
Figura 2: Figura 2: Inducido formado por las barras en una máquina lineal.....	17
Figura 3: Efecto longitudinal finita en las máquinas axiales.....	17
Figura 4: Cabeza de bocina en el motor de flujo axial.....	18
Figura 5: Aplanamiento de las líneas del campo magnético.	18
Figura 6: Aparición de la componente levitadora por el desfase de polos de ambos semiestatores.....	19
Figura 7: Comparación entre inducción al aire o en medio.....	20
Figura 8: Comparación entre campos en hierro y aire para densidades de corriente muy elevadas.....	21
Figura 9: Máquina axial con 2 rotores exteriores de imanes (AFPM).....	23
Figura 10: Desarrollo en radio medio de máquina axial de inducción (AFIM)...	23
Figura 11: Estator ranurado de una máquina axial.....	24
Figura 12: Máquina AFIM con estator sin ranuras y bobinado toroidal.....	25
Figura 13: Máquinas AFERM (izquierda) y AFIRM (derecha).....	26
Figura 14: Máquinas mono y multietapa.....	27
Figura 15: Máquina NN de rotores exteriores.....	28
Figura 16: Máquina NS de rotores exteriores.....	29
Figura 17: Clasificación de las máquinas axiales.....	30
Figura 18: Histograma del indicador temperatura.....	60
Figura 19: Histograma del indicador frecuencia.....	61
Figura 20: Histograma del indicador velocidad angular.....	62
Figura 21: Histograma del indicador periodo.....	63
Figura 22: Histograma del indicador velocidad tangencial.....	64
Figura 23: Preparando el molde.....	78

Figura 24: Midiendo la fibra de vidrio en el molde de madera.....	78
Figura 25: Extendiendo la fibra de vidrio tipo roving con los imanes neodimio....	79
Figura 26: separando el molde después de catalizado de la resina.....	79
Figura 27: Proceso de lavado en agua desionizada tibia.....	80
Figura 28: Mecanizado de la pieza de fibra de vidrio.....	80
Figura 29: Mecanizando el espesor.....	81
Figura 30: Mecanizando diámetro externo.....	81
Figura 31: Mecanizando nivel externo.....	82
Figura 32: Terminado el mecanizado por torno paralelo.....	82
Figura 33: Ingeniero Jorge Ma San Procediendo a fresar la pieza.....	83
Figura 34: Estructura del prototipo del Motor.....	84
Figura 35: Funcionamiento del motor, mostrando parámetros físicos en su pantalla LCD.....	85
Figura 36: El motor funcionando a velocidad baja, alimentado solo con la batería de supercondensadores.....	86
Figura 37: Armando el motor después de pintarlo y mejorar su electrónica.....	87
Figura 38: Conectando los paneles solares para que el motor funcione con energía solar, usando los paneles solares prestados generosamente por la CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, Lima.....	88
Figura 39: El motor funcionando con energía solar, usando los paneles solares prestados generosamente por la CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, Lima.....	88
Figura 40: Dando una ligera explicación de la tecnología del motor a los jóvenes científicos de CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, Lima.....	89

Figura 41: Final de la exposición en CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, sobre el tema del motor.....	89
Figura 42: Diagrama electrónico de la unidad de control del motor.....	90
Figura 43: Diagrama de conectividad de pistas de la unidad de control del motor.....	90
Figura 44: Modelo 3d de la unidad de control electrónica del motor.....	91

RESUMEN

La tesis consiste en describir los parámetros físicos de un motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario, con el fin de que sirva para fuente de información para posteriores investigaciones que conciernen al campo del electromagnetismo, programación de bajo nivel y mecánica, la investigación es de tipo descriptiva y fue realizada en casa el 11/10/2016 entre la 8:56:30 am y 9:06:30 am, anotando en una ficha de datos una población de 100 y de esta una muestra de 20 datos.

La conclusión a la que se llegó es que los parámetros describen el comportamiento del motor.

Palabras clave: Motor eléctrico trifásico, flujo axial, campo unitario, bobina, entrehierro, unidad de control.

ABSTRACT

The thesis is to describe the physical parameters of a three-phase motor axial flow and double unit field, so that it serves to source of information for further research concerning the field of electromagnetism, low-level programming and mechanics, research is descriptive and was performed at home on 08/10/2016 between 1:00 pm and 1:10 pm, scoring on a data sheet a population of 100 and is a sample of 20 data.

The conclusion was reached is that the parameters describe the behavior of the engine.

Keywords: Three-phase electric motor, axial flux, unit field, coil, iron gap, control unit.

I INTRODUCCIÓN

A nivel nacional y mundial, antes de darle nivel aplicativo una investigación tecnológica se emplea un modelo descriptivo para observar y describir su comportamiento al someterlo a determinadas pruebas donde casi no tenemos el control de las variables, después se procede a analizar sus parámetros, con esto se pueden obtener sus primeras especificaciones técnicas correctas a la vez que se mejora el producto tecnológico al solucionar problemas relacionados con la respectiva investigación tecnológica.

Los modelos descriptivos imprescindibles en la ingeniería, ya que de aquí es de donde salen las especificaciones técnicas (máximo y mínimos de tolerancia), para un producto tecnológico ya sea tangible o intangible.

No podemos obviar también el gran aporte tecnológico al haber confeccionado este motor del cual obtendremos los datos, ya que es un motor innovador, con marcadas ventajas sobre los demás motores eléctricos existentes.

El solo hecho de elaborar desde cero la unidad de control que comanda un motor eléctrico evidencia un conocimiento pleno en cómo funcionan dichos motores a nivel técnico científico.

Esta investigación debe responder a la interrogante general:

PG: ¿De qué manera se observan y describen los parámetros de un motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario?

A la vez también se deberá responder a las interrogantes específicas:

PE 1: ¿En qué medida se observan los de parámetros del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario?

PE 2: ¿En qué medida se describen los de parámetros del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario?

Desde el punto de vista medioambiental; es que un motor eléctrico (sea o no de flujo axial) que funciona solo con la energía fotovoltaica; ya que los motores de explosión y también los eléctricos de manera directa o indirecta respectivamente generan contaminación ya que son abastecidos por combustibles fósiles o desde las centrales energéticas eléctricas que funcionan en su mayoría con

combustibles fósiles; más aun tratándose de Piura cuyo recurso natural de la energía solar es abundante, pudiéndose emplear este motor con su interfaz en las necesidades industriales y del público en general como el Transporte (100% Ecológico), apoyado con la facilidad y flexibilidad que brinda la actualmente muy accesible tecnología de dispositivos móviles.

Desde el punto de vista tecnológico la tecnología de motores eléctricos asistidos por unidad de control es accesible siempre y cuando se importe del exterior, ya que nuestro país no desarrolla estas tecnologías, conformándose solo en ensamblar motores eléctricos importados a equipos que los requieran.

Nuestro país esta en seria desventaja tecnológica en materia de motores eléctricos, pues los motores y generadores eléctricos son la base de toda industria, y al no tener capacidad tecnológica para fabricarlos, obliga al país a pagar por la importación de estos, además en algunas aplicaciones donde se requieran motores y/o generadores más específicos tecnológicamente, deberemos pagar derechos de patentes y someternos a las clausulas impuestas.

Desde el punto de vista científico tenemos la Correlación de parámetros motor eléctrico de flujo axial; esta aportación en describir la correlación entre variables nos posibilita un punto de inicio para investigaciones posteriores de mayor nivel.

Actualmente las industrias de diferentes naciones compiten por acercarse a el motor/generador ideal que se aproxime a la eficiencia del 100%, para lograr esto se realizan investigaciones para mejorar los diseños y materiales, enfrentándose a desafíos técnicos y conceptuales que han prevalecido durante muchos años. La tecnología de la presente investigación se desarrollo tomando en cuenta varios desafíos como las corrientes parasitas de Foucault, fuerza contra electromotriz, torque máximo, etc.

La empresa Tesla Motors es conocida por el desarrollo de un motor eléctrico para sus coches eléctricos, este motor tiene una alta eficiencia en baja y altas velocidades, para lograr esto tuvo que hacer investigación en diferentes niveles hasta lograr vencer la mayoría de limitaciones mencionadas anteriormente.

Para el desarrollo de un motor/generador es necesario haber estudiado toda la teoría implicada en su funcionamiento, contar con la infraestructura adecuada

para hacer evaluación de parámetros y lo que siempre falta en países en vías de desarrollo, tener una entidad que promueva la venta de este producto tecnológico, para que de esta manera generar empresa y generar recursos para mas investigaciones.

Es imprescindible generar y demostrar la hipótesis general:

HG: Existe una relación entre los parámetros del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario.

OG: Observar y describir los parámetros de un motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario con su unidad de control.

OE1: Observar las variaciones que existe entre la medida de los parámetros motor eléctrico de flujo axial (medida real).

OE2: Describir los parámetros mostrados en la interfaz hombre máquina en un dispositivo móvil con los parámetros medidos en el motor eléctrico de flujo axial.

II Marco Teórico

En la presente investigación se consideró como antecedentes internacionales a las siguientes investigaciones:

Según el ingeniero Atanasi Jornet (2005) en su tesis titulada “Contribución al estudio de las ondas de campo armónico y las pérdidas adicionales que se originan en los motores eléctricos de inducción asíncronos alimentados con convertidor de frecuencia en modulación del ancho de los impulsos”, nos dice:

El calentamiento generado por el funcionamiento de un motor de inducción asíncrono alimentada con un convertidor estático de frecuencia, puede ocasionar que algunos de los componentes del motor se calienten demasiado superando temperaturas que están fuera de su límite, ocasionando el desgaste acelerado del motor o envejecimiento prematuro. Las partes más susceptibles a deterioro en un motor son lo cojinetes (rodajes o rodamientos) y el devanado inductor. Mediante el estudio de las componentes armónicas que se originan en el motor alimentado por convertidor de frecuencia se podrá calcular y simular que nuevas pérdidas aparecen en las diferentes partes de la máquina. Este cálculo de pérdidas en función de las características, mecánicas, magnéticas y eléctricas de la máquina, permitirá evaluar la mejora del diseño, para que la alimentación con convertidor de frecuencia no suponga un incremento térmico y una merma de rendimiento respecto al obtenido por alimentación sinusoidal.

Según Mario Caltenco Rosales (2008) en su tesis titulada “Criterios de ingeniería aplicables en la selección de motores trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla”, nos dice:

El presente trabajo presenta los criterios más importantes que se deben tomar en cuenta cuando se va a seleccionar un motor eléctrico de inducción tipo jaula de ardilla. Estos criterios son aplicados de manera general para todos los motores trifásicos de inducción de rotor tipo jaula de ardilla, dado que abordan los principales fenómenos físicos que cuando se descontrolan causan problemas, sobre todo baja de eficiencia.

Según Ing. Carlos Alberto Garrido Daniel (2012) en su tesis titulada “Simulación del sistema de tracción de un vehículo eléctrico utilizando motores síncronos de flujo axial”, nos dice:

Desarrollar el sistema de tracción de un vehículo eléctrico aplicando motores de flujo axial y un diferencial electrónico utilizando el modelo de la máquina síncrona de flujo axial de imanes

permanentes, el modelo promedio del inversor fuente de voltaje, el control vectorial y el algoritmo de diferencial electrónico. Para estudiar el comportamiento del sistema por medio de resultados obtenidos.

Como antecedentes nacionales se consideraron las siguientes investigaciones: Según Jorge Renato Gómez Ormeño (2013) en su tesis titulada "Diseño e implementación de un variador de velocidad de bajo coste para un motor trifásico de inducción de 4 hp" nos dice:

Que el objetivo general de su investigación es Diseñar un variador de velocidad para un motor de inducción trifásico de bajo costo mediante el uso de componentes disponibles en el mercado nacional. Se propondrá como esquema en la etapa de potencia el uso de un ciclo convertidor implementado con SCRs (controles resistivos secundarios) y controlado por un microcontrolador. Y como objetivos específicos tiene:

Desarrollar un ciclo convertidor con SCRs para controlar la energía entregada a un motor de inducción de la red trifásica.

Diseño de la lógica de control óptima para las variables dinámicas del motor.

Diseño del acoplo de las señales de control y de potencia utilizando optoacopladores para minimizar los costos de implementación.

Desarrollo de la protección eléctrica del motor.

Buscar la optimización de recursos y el menor costo de implementación.

Las teorías relacionadas con la presente investigación, involucra en primer lugar con los conceptos siguientes:

-El concepto de motor eléctrico: es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica para ser utilizada en una variedad de equipos. (Javier Vidal. Curso de Física Óptica. Magnetismo- Electricidad. Editorial Stella Buenos Aires. Primera edición 1943. Pág.-291).

-El concepto de unidad de control: La unidad de control es el circuito que gobierna y coordina todas las operaciones que tienen lugar en la CPU. También es conocida como el Controlador Interno. Se trata de un circuito secuencial que genera ordenes o señales que van a recibir los elementos operativos de la CPU, como son la ALU y los Registros. (Juan Manuel Orduña Huertas, Vicente Arnau Llombart, Arquitectura y Programación de Microcontroladores. Editorial Llorens Valencia-España. Primera edición 1996. Pág.-13).

- Mencionados los conceptos anteriores se procedió a teorizar el Motor eléctrico de flujo axial, pues históricamente las máquinas de flujo axial fueron las primeras en desarrollarse, ya en 1821 por Michael Faraday, quien desarrollo el motor homopolar más conocido como disco Faraday (no patentado) que por su topología se define de flujo axial, ya que el flujo magnético es paralelo al eje de rotación.

Era razonable que desarrollar este tipo de motores (de flujo axial) fuese más sencillo aparentemente, puesto que eran más fáciles de realizar que otras topologías. Pero los motores con esta topología presentaban, sin embargo, el inconveniente de precisar de una elevada corriente de magnetización debido a su gran entrehierro, mientras que en los motores de flujo radial (topología radial: aquella en que el flujo magnético es perpendicular al eje de rotación) el problema prácticamente se reducía al flujo en un entrehierro pequeño. Con el establecimiento del estándar de los 50-60 Hz como frecuencia industrial, las máquinas de flujo axial quedaron reducidas a máquinas de potencia fraccional (poca potencia) e instrumentación (funcionamiento especializado como el motor de taladro de dientes).

Esta problemática se ha mantenido y a la vez ha incentivado al desarrollo de nuevos materiales, conceptos de aplicación, dispositivos para la electrónica de potencia y la capacidad de control.

Desde el punto de vista sociales-ambiental, como la creciente importancia del cuidado de nuestro entorno natural, ha aumentado durante los últimos años se haya desarrollado un interés creciente por este tipo de motores, debido a que las

personas están cada vez más concientizadas sobre el cuidado del medio ambiente, lo cual es una oportunidad para las empresas.

Desde un punto de vista técnico, el desarrollo de nuevos materiales magnéticos, como imanes de elevada inducción remanente (propiedad de los materiales de quedar con propiedades magnéticas después de ser magnetizados), como es el caso de los imanes de tierra rara de Nd metálicos de bajas pérdidas de remanencia.

El desarrollo de los materiales superconductores (propiedad de las tierras raras) en las cuales, las restricciones que impedían mejorar el gran entrehierro de las máquinas axiales han quedado minimizadas a tal punto de que estas máquinas de topología axial son viables.

Desde el punto de vista medioambiental, la búsqueda de energías y accionamientos que reduzcan el al mínimo el consumo energético y que minimicen su impacto sobre el medio ambiente ha vuelto a despertar el entusiasmo del desarrollo de este tipo de motor (motor de topología axial) que ya existía hace 150 años, sino que por factores técnicos no podían ser útiles en la vida práctica.

En la actualidad este tipo de motores, tienen como característica principal su alto par (torque o torsión) respecto al tamaño (volumen); su comparación par/volumen del motor tiene un alto cociente respecto a los motores de flujo radiales debido a que no necesitan engranajes para producir en él un gran par o también llamado torque.

La aplicación que más estudio ha desarrollado es la aplicación en vehículos principalmente en automóviles, puesto que la propia forma del motor hace que el concepto de “rueda motriz” (rueda que esta acoplada al motor que genera el movimiento ya que las demás ruedas son de guía) sea posible ya que solo se acopla, sin intermediación de engranajes; otras aplicaciones en desarrollo afectan a todas aquellas que como en los automóviles, el peso del conjunto es crítico (relación peso potencia) y el tamaño que ocupa el sistema del motor. Esto

es lo mismo que decir todas aquellas aplicaciones de transporte (aéreo, marítimo, terrestre).

Actualmente se ha corroborado, que el aumento de la inducción solo es factible mediante materiales superconductores (materiales con baja resistencia al paso de la electricidad) que soporten densidades de corriente muy elevadas, del orden de 105 A/cm^2 (amperio/área). Así mismo la geometría que se ha comprobado que proporciona los mejores índices de potencia respecto a la intensidad de corriente eléctrica aportada es este tipo de motores de flujo axial.

En los motores superconductores, la disminución de la resistencia en es otro punto que incide directamente sobre los motores superconductores, ya que permiten reducir la resistencia a cero (lo que las convierte en máquinas síncronas ya que no hay desfase por el retardo que sufre la electricidad al vencer la resistividad del conductor), de esta manera la perdida en forma de calor disminuye, por consiguiente aumentando la eficiencia energética (casi toda la energía eléctrica se convierte en energía mecánica y solo una pequeña parte se convierte en energía calorífica).

Una de las ventajas que proporciona la geometría axial es la facilidad de manufacturación o construcción de estos motores ya que si se eliminan los dientes donde se alojan las bobinas inductoras se reduciría la autoinductancia de los devanados de forma drástica (ya que a más entrehierro más campo magnético almacenara y por lo tanto cuando cambie la corriente este se opondrá a dicha corriente), haciendo máquinas menos auto inductivas, esto quiere decir sin el entrehierro de esta manera su manufacturación y su material de entrehierro fuera menor; pero como contrapartida tenemos que la frecuencia de trabajo necesaria para el buen funcionamiento síncrono sería mucho mayor (PWM modulación por ancho de pulso).

Pero la ventaja que desde el punto de vista industrial resulta más atractiva es la posibilidad de que los motores pasen a formar parte de la estructura con la que van a actuar o a traccionar (tracción directa sin engranajes de por medio).

La geometría de flujo axial es una geometría considerada del futuro en el desarrollo de las máquinas eléctricas gracias al desarrollo de la electrónica de potencia, superconductores y electrónica de control (microprocesadores); es necesario indicar que este tipo de motores necesitan una unidad controladora (microcontrolador, microprocesador o PLC) para funcionar ya que estos sincronizan los inductores activos con una secuencia programada en dicha unidad de control.

En los motores radiales convencionales es prácticamente imposible prescindir de cojinetes (rodajes o rodamientos) en el eje de rotor debido a las grandes cantidades de reluctancia (resistencia al flujo magnético cuando es sometido a un campo magnético) que aparecen, las cuales aminoran el fenómeno de levitación magnética encargada (en motores axiales) de mantener centrado el rotor lateralmente.

La posibilidad de la existencia de motores sin cojinetes basados en topologías de flujo axial haciendo uso del efecto levitación permitiría que el motor formase parte de la estructura de la aplicación.

Si se desea manufacturar motores con geometrías de flujo axial las dudas acerca de los problemas son comprensibles ya que se presentan muchos problemas al principio incomprensibles como son: la pérdida de potencia (por sobrecalentamiento o poco voltaje), sobrecalentamiento (por falta del voltaje y alta intensidad), la aparición de velocidades de rotación no sincrónicas (deberían ser sincrónicas ya que el motor de flujo axial es síncrono), etc. Todo esto se soluciona a medida que se investiga sobre estos motores; una vez solucionados los problemas, se contara con un motor de flujo axial con todas sus ventajas propias de su topología.

Las mejoras en el comportamiento mecánico de las máquinas lineales se pueden obtener:

- ✓ Aumentando la densidad de corriente.
- ✓ Aumentando las rpm.
- ✓ Aumentando la frecuencia de trabajo manteniendo la velocidad de sincronismo.

Esta topología de flujo axial es ventajosa y simple de construir cuando se conoce muy bien el tema de motores eléctricos.

Muchos investigadores han intentado reproducirlas sin éxito, como lo evidencia la poca información de trabajos (exitosos o no) de esta topología, el problema radica en saber varias ramas de la ciencia principalmente la programación de la unidad controladora (programación de bajo nivel PWM).

En todas las máquinas eléctricas de flujo axial construidas hasta ahora, la frecuencia de trabajo ha sido la frecuencia industrial de 50 Hz, empleando para el núcleo del inductor el hierro (hierro-silicio) como y materiales tanto ferromagnéticos, como no magnéticos fundamentalmente el aluminio (por su abundancia y bajo peso).

Para el uso cada vez menos industrial y más de utilidad social (transporte) no se usarán frecuencias industriales sino frecuencias variables (frecuencias menores a mayores), se usarán también materiales no convencionales como materiales diamagnéticos, que podrían ser resinas plásticas (como en este proyecto que se usara resina poliéster y fibra de vidrio), maderas, etc.

La topología de los motores de inducción, desde su aparición a finales del s. XIX, en manos de los pioneros de la física (electromagnetismo), han evolucionado adoptando formas diferentes en función de las necesidades y condiciones de funcionamiento requerido. Esta evolución topológica (estructural). (José López Pérez, 2000):

❖ Motor de rotor bobinado:

Aquellos donde el rotor está alojando las bobinas inductoras, estos tienen ranuras que es donde se alojan.

❖ Motor de rotor laminar: conformado por varias laminas metálicas (hierro silicio generalmente) apiladas.

- ❖ Motor de rotor tipo jaula de ardilla:
Está formado por barras concéntricas puestas alrededor de un espaciador metálico.

- ❖ Motor de rotor de copa, taza o Drag Cup.
Está formado por una estructura metálica en cuyo interior encontramos el inductor o inducido dependiendo en caso.

- ❖ Motor de rotor lineal:
Está formado por un rotor que se desplaza en dirección de su eje, habiendo dos tipos de motores lineales:
 - ✓ Motor lineal unilateral:
Está formado por un rotor que se desplaza en dirección de su eje, pero solo tiene una cara como estator.

 - ✓ Motor lineal bilateral:
Está conformado por un rotor central móvil y solo dos estatores laterales lado y lado.
 - Motor lineal tubular o rotor líquido:
Está conformado por un rotor central móvil y un solo estator en forma de tubo (este puede tener el número de polos necesarios según la aplicación).

 - Motor lineal bilateral:
Está conformado por un rotor central móvil y dos estatores laterales lado y lado.

- ❖ Motor rotativo de flujo axial:
Motor donde el flujo magnético del inductor es paralelo al eje de rotación y perpendicular al rotor que tiene forma de disco.

Las máquinas eléctricas lineales y máquinas eléctricas de flujo axial

❖ Primeras diferencias entre máquina lineal y axial:

Las máquinas lineales, por ser la primera evolución topológica de las máquinas rotativas, presentan fenómenos diferentes a estas últimas, algunos de los cuales son comunes a las máquinas de flujo axial.

En las máquinas lineales, si el inducido es ferromagnético, provoca la aparición de esfuerzos de reluctancia en sentido transversal al avance del inducido. Siendo ferromagnético, se precisa de menos fuerza magnetomotriz, que si no lo fuera. En este último caso, el entrehierro crece de manera significativa, siendo necesario el uso de otro inductor para aumentar la fuerza magnetomotriz, apareciendo la máquina bilateral.

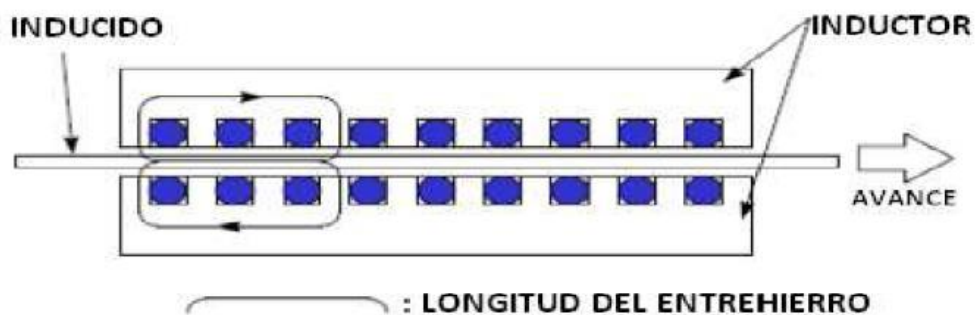


Figura 1: Esquema de la distribución de flujo magnético en una máquina lineal.

Fuente: Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

El núcleo o entrehierro de las máquinas eléctricas ya sea lineales o axiales depende directamente del número de pares de polos, puesto que cuando menos es el número de polos del entrehierro, menor también es el tamaño o longitud del entrehierro.

En un motor lineal o axial, mientras más es el número de polos, menor será su velocidad de sincronismo entre el entrehierro (estator) y el rotor, lo cual se puede compensar aumentando en proporción la frecuencia, con esto es útil cuando se requieren velocidades ya sea o muy altas o muy bajas.

Un factor a tomar en cuenta es el límite de polos que pueden haber, esto quiere decir que el número de polos en el entrehierro está limitado por el tamaño de la máquina (cuantos polos como máximo, pueden haber según la estructura e infraestructura empleada para su fabricación). En las máquinas de flujo axial se evidencia más el problema del espacio para albergar el número máximo de polos. Las limitaciones son puramente físicas, por lo que llegará el momento en que, al no haber más pares de polos, así como la imposibilidad de enrollar el devanado de cobre respectivo se tendrá que incrementar el radio del motor.

Al igual que en las máquinas de radiales, en las máquinas lineales en el inducido aparece el mismo número de fases que en el inductor, con las ondas de fuerza magnetomotriz (ondas de flujo magnético) del inductor e inducido desplazándose a la misma velocidad lineal, que proporciona el par motor.

Las máquinas lineales y axiales presentan como contrapartida, que para su funcionamiento precinden de elevadas cantidades de corriente eléctrica (muchos amperios), por lo que el devanado del cable esmaltado de cobre de sus polos es mucho más grueso, para soportar la alta corriente magnetizante necesaria para crear los campos magnéticos en el entrehierro.

En las máquinas lineales, el tamaño (volumen) del entrehierro es 10 veces mayor que la de las máquinas rotativas; y en cuanto a su deslizamiento (diferencia entre la velocidad del campo magnético del inductor y la velocidad del rotor), las máquinas rotativas es 5 veces superior al de las máquinas lineales, esto supone que su sincronización es mucho más precisa, fácil y eficiente, desde el punto de vista del controlador (en caso de tratarse de un motor con control electrónico) y todo esto se traduce en menos pérdidas por fuerza contra electromotriz

❖ Efectos especiales en máquinas lineales y axiales:

✓ Efecto de longitud finita:

El efecto de longitud finita se produce solamente en las máquinas lineales, en estas máquinas se evidencia cuando ocurre una

variación súbita de la permeabilidad magnética en los extremos abiertos en el estator de la máquina lo cual origina la existencia fugas del campo magnético generándose así componentes de fuerza que alteran el movimiento de la maquina restándole eficiencia y a la vez vida útil.

✓ Efecto de anchura finita:

Este efecto se da cuando la corriente eléctrica recorre las barras cortocircuitadas en un inducido; la corriente eléctrica recorrerá los conductores (las barras cortocircuitadas) cuyos diámetros están definidos, proporcionando el campo magnético necesario para el movimiento; la magnitud del par es proporcional al diámetro (anchura) de las barras cortocircuitadas denominada zona activa (a). Cuando el motor lineal está en funcionamiento, la corriente eléctrica circula por las barras del inducido y después recorre el contorno del inducido y llega hasta las conexiones frontales, o cabezas de bobina (c), cerrándose de esta manera el circuito. Esto reduce la componente útil de la corriente eléctrica inducida, lo que se traduce en una disminución en la potencia útil de la máquina.

La importancia del efecto de anchura finita está supeditada a la anchura de los conductores donde cambian y se anulan las fuerzas electromotrices, así como de la resistencia eléctrica que presentan de las bandas laterales de cierre. Se sabe que la cabeza de bobina (c) debe tener como mínimo la dimensión del paso polar para permitir la óptima circulación de la corriente eléctrica inducida (circulación uniforme y constante).

La forma óptima de las cabezas de bobina en un motor lineal tiene la forma de T, esto es debido a que esta forma minimiza la reactancia de la cabeza de bobina, puesto que la corriente eléctrica circula por una espira más cerrada.

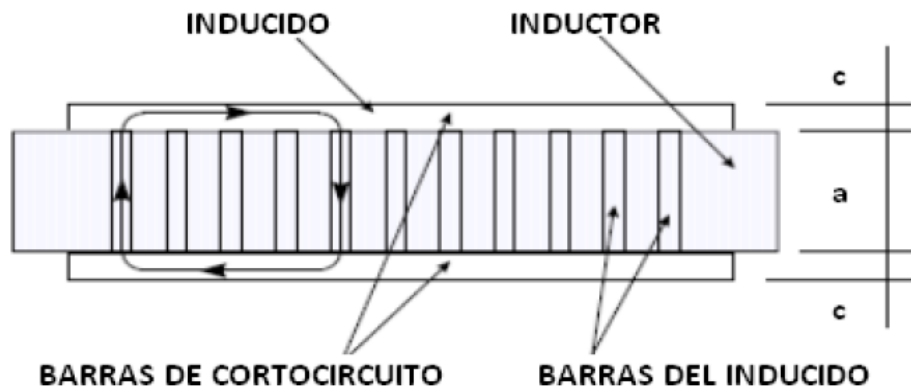


Figura 2: Inducido formado por las barras en una máquina lineal.
 Fuente: "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético".

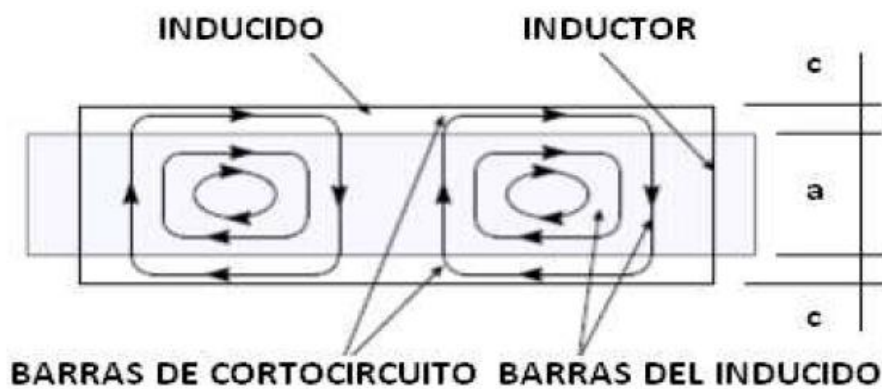


Figura 3: Efecto longitudinal finita en las máquinas axiales.
 Fuente: "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético".

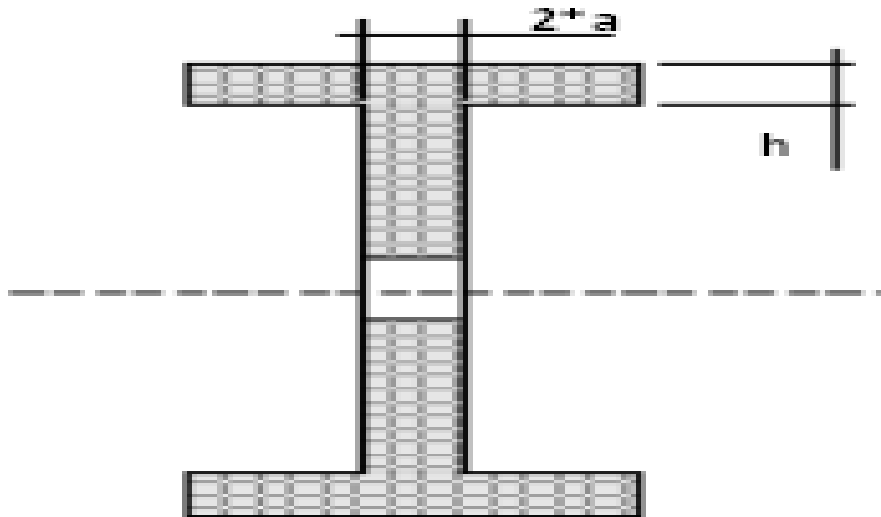


Figura 4: Cabeza de bobina en el motor de flujo axial.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

- ✓ Efecto de aplanamiento del campo por penetración:

Cuando el inductor crea su campo magnético inductor, las líneas de fuerza del campo penetran dentro del área del inducido en movimiento, el campo magnético experimenta una deformación que es un el aplanamiento del flujo magnético (aplanamiento de las líneas de fuerza del campo magnético). Este fenómeno de aplanamiento de las líneas de fuerza del campo magnético del inductor tiene como consecuencia una disminución considerable de la componente normal del campo mayor que aumenta al aumentar el deslizamiento.

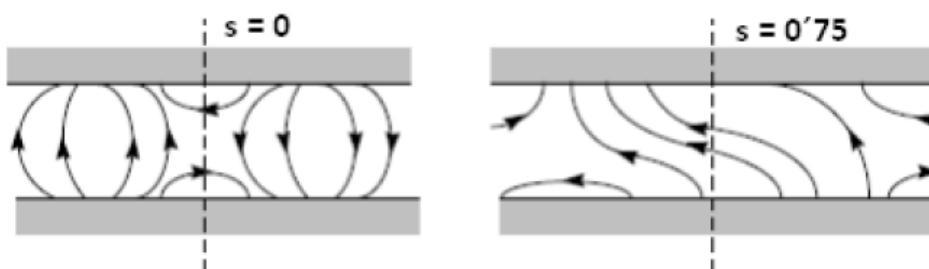


Figura 5: Aplanamiento de las líneas del campo magnético.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

✓ Efecto levitación

El efecto levitación, planteado por primera vez por el profesor del Departamento de Ingeniería de la UPC (Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas) Richard Bosch; el efecto de aplanamiento de las líneas de fuerza del campo magnético descrito anteriormente se experimenta en el momento cuando se están encarando los polos Norte de una máquina de flujo axial. Con ello se logra que surja una componente de fuerza axial (paralela al eje de rotación) que se emplea de manera favorable, puesto que originara levitación del rotor esto quiere decir que se crea un campo de fuerza que centra el rotor (como cuando acercamos imanes del mismo polo y se repelen), descargando esfuerzos a los cojinetes (rodamientos o rodajes) de su eje de rotación.

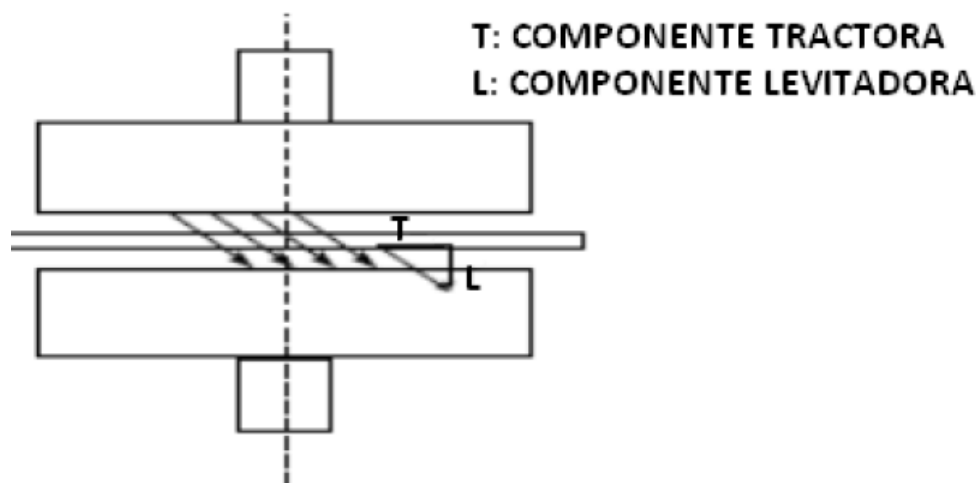


Figura 6: Aparición de la componente levitadora por el desfase de polos de ambos semiestatores.

Fuente: "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético".

❖ Elevación de las frecuencias de trabajo para el uso de una intensidad de corriente baja.

Una de las aplicaciones donde encuentran máquinas de flujo axial, es en las máquinas compuestas por superconductores, donde los núcleos de hierro-silicio deja de tener relevancia (deja de ser imprescindible)

frente a las intensidades de corriente eléctrica que se manejan, que suele ser del orden de centenares hasta miles de amperios por cm^2 se área transversal del conductor.

El momento cuando el hierro deja de ser imprescindible es cuando la intensidad de corriente eléctrica está en magnitudes altas según el área de la sección transversal de la conducción ejemplo para inducciones normales del que están por debajo de 1000 A/m es imprescindible emplear materiales ferromagnéticos si se quiere alcanzar alta eficiencia, pero para densidades de corriente eléctrica superiores que están al límite del umbral referido anteriormente es mejor emplear superconductores ya que de usar cable con su aislamiento el calentamiento por efecto Joule (debido a la imposibilidad de usar alambre más ancho para la gran densidad de corriente eléctrica) causa pérdidas en la eficiencia. Una ventaja de usar superconductores es que se puede prescindir del uso de núcleo de hierro-silicio.

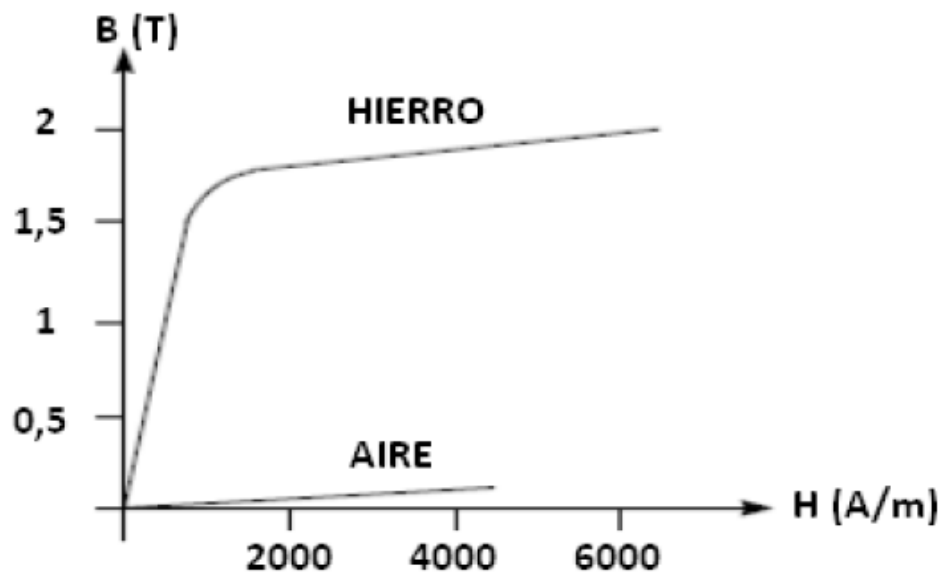


Figura 7: Comparación entre inducción al aire o en medio.

Fuente: "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético".

Si las densidades de corriente eléctrica que se maneje dejan de ser un problema, entonces la diferencia entre usar un núcleo de hierro-silicio o prescindir de este, ya no sería imprescindible, optándose lógicamente por prescindir del núcleo de hierro-silicio.

Como se puede leer cuando se usa superconductores se opta por prescindir del núcleo de hierro-silicio solo usándose el superconductor sin núcleo de hierro.

Empleando un núcleo de hierro-silicio puro, para generar un campo de 20 T (20 teslas=20 000 gauss) se debe usar una densidad de corriente eléctrica equivalente a 1.43 7 A/m. La grafica muestra que para una densidad de corriente así, el campo magnético que se obtiene en el aire es casi muy parecido al que se obtiene usando un núcleo de hierro-silicio pero con la diferencia que las pérdidas usando el núcleo de hierro con una densidad de flujo de 20 T son muy elevadas, mientras que sobre aire son mínimas o despreciables.

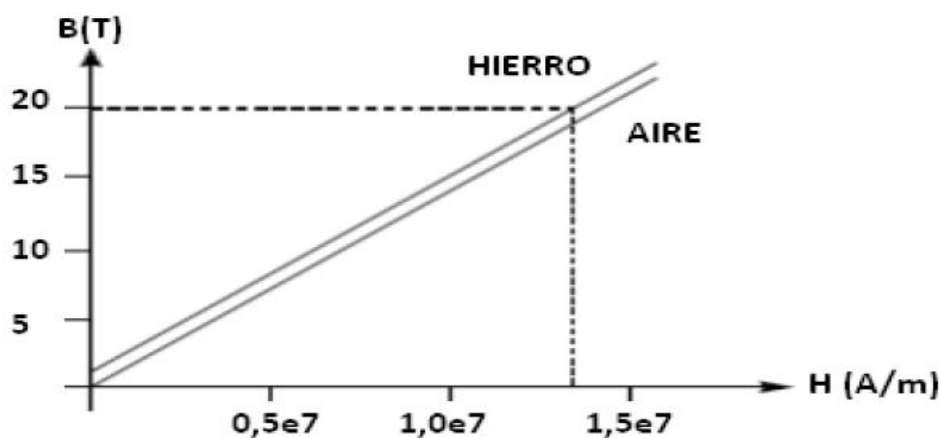


Figura 8: Comparación entre campos en hierro y aire para densidades de corriente muy elevadas.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

Una alternativa al uso de materiales superconductores es aumentar la frecuencia a la que trabajan las máquinas. Hasta hace unas décadas, hablar de variaciones de frecuencia para el funcionamiento de motores eléctricos era imposible, hoy en día gracias al avance de la electrónica

de potencia ya es una realidad. Esto puede ser aplicado a las máquinas lineales y axiales.

Pero no hay que recordar que una variación de frecuencia hace que varíe también el número de polos del motor para mantener la velocidad acorde del sincronismo; esta variación en el número de polos puede condicionar las densidades de corriente eléctrica que se pueden alcanzar sin estropear la máquina en su desempeño.

Otro punto a tomar en cuenta es que el incremento de la frecuencia obligaría al uso de materiales no ferromagnéticos ya que de lo contrario las pérdidas por histéresis (PH, resistencia de un material a conservar su estado ante un estímulo que lo creó anteriormente) crecen de manera lineal con la frecuencia y las pérdidas por corrientes parásitas de Foucault con el cuadrado de la misma.

❖ Clasificación de las máquinas de flujo axial según José López López, Ricard Bosch i Tous:

Según, la primera clasificación se puede hacer de cómo estas máquinas generan campo magnético inductivo.

- Máquinas de flujo axial de imanes permanentes (AFPM Axial Flow Machines of Permanent Magnets) o síncronas

- Máquinas de flujo axial de inducción (AFIM Axial Flow Machines Induction, al no tener imanes permanentes su campo es por inducción).

En las máquinas de imanes permanentes (AFPM) el campo magnético se establece mediante los imanes del rotor, razón por la cual la máquina solo da par cuando existe sincronismo entre la velocidad del campo magnético del estator y la velocidad de giro del rotor.

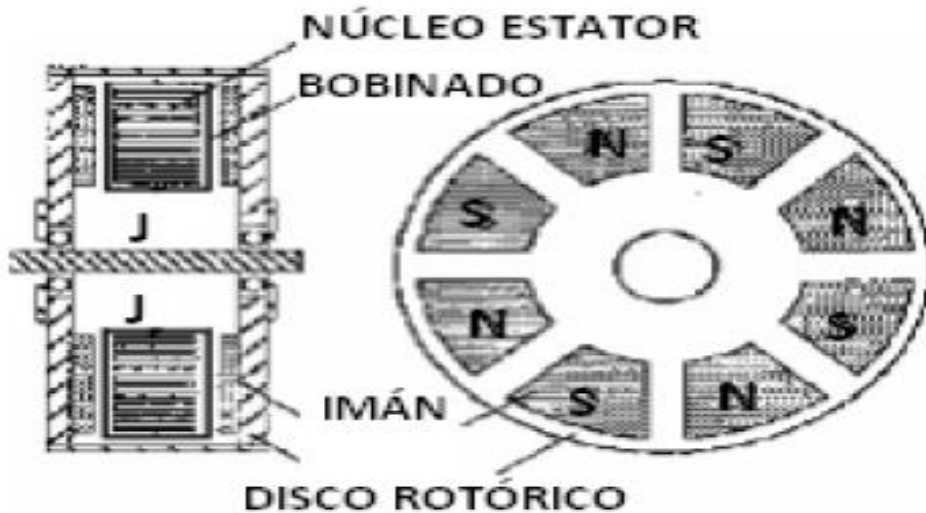


Figura 9: Máquina axial con 2 rotores exteriores de imanes (AFPM).
 Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

En las máquinas de flujo axial por inducción (AFIM) el par motor se obtiene al existir deslizamiento entre la velocidad del campo magnético del estator y la velocidad del rotor. La corriente eléctrica que recorre el y magnetiza el estator, es una componente generada por la inducción del rotor.

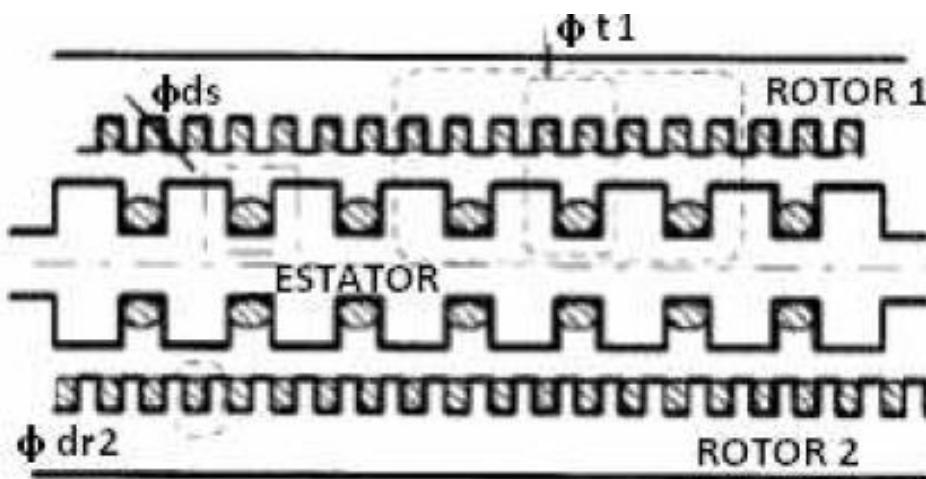


Figura 10: Desarrollo en radio medio de máquina axial de inducción (AFIM).
 Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético.”

Otra clasificación es por la disposición de los conductores en el estator, en ranurados y no ranurados:

-Máquinas de flujo axial de estator con ranuras (AFSM)

-Máquinas de flujo axial sin ranuras (AFSLM).

En las máquinas de estator con ranuras, las ranuras practicadas en el estator están hechas con el propósito de albergar los conductores, esto le confiere robustez mecánica, las ranuras en el estator causan una variación en la reluctancia magnética que se nota cuando el rotor gira, ocasionando la generación de armónicos. La interacción del campo magnético del estator y el rotor, genera una onda de fuerza magnetomotriz (MMF) que depende del patrón magnético imaginario y la forma de corrientes que recorre el estator.

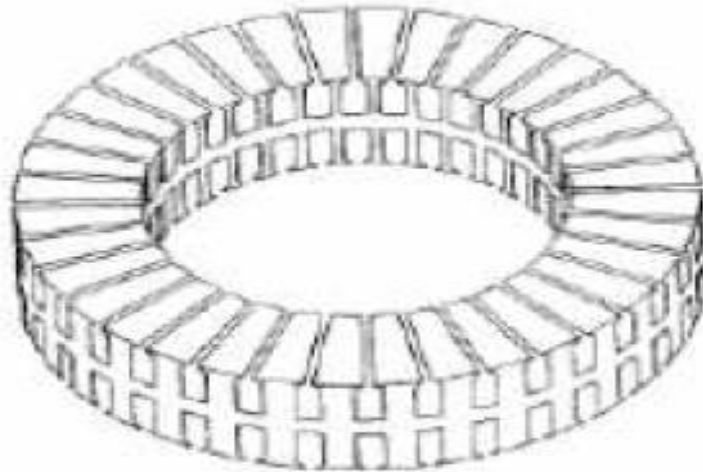


Figura 11: Estator ranurado de una máquina axial.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

En las máquinas sin ranuras el bobinado del estator va enrollado directamente sobre este, cuya forma es toroidal.

Para este tipo de topología se suele cubrir el bobinado enrollado al estator con resina sintética, de esta manera se asegura que no se mueva cuando la maquina esté en funcionamiento. Una desventaja es que se anula el par de reluctancia o de ranura, pero la ventaja es que presenta una inductancia de fase mínima que posibilita que

el control del campo magnético sea inexistente (al no haber resistencia al paso de la electricidad).

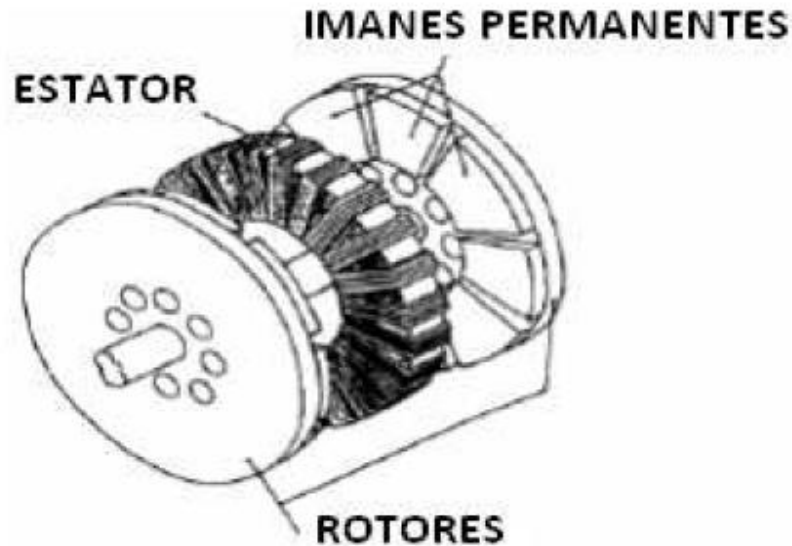


Figura 12: Máquina AFIM con estator sin ranuras y bobinado toroidal
Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

Para una máquina de un solo rotor, este puede estar entre los 2 estatores (rotor en el interior) o puede estar afuera, en el caso de que este afuera un solo rotor los rodamientos tendrán que soportar cargas de componentes de fuerza hacia afuera de un solo lado. Por esta razón las configuraciones que se usadas para equilibrar el conjunto estator rotor que conforma la máquina, son de doble estator o doble rotor, de aquí surge una nueva clasificación.

-Máquinas flujo axial de rotor interior (AFIRM).

-Máquinas de flujo axial de rotor exterior (AFERM).

En las máquinas de rotor interior, los estatores se encuentran a ambos lados y en el medio este alojado el rotor; en las segundas el estator está en el medio y los 2 rotores están al costado.

Una técnica en la configuración de las máquinas de flujo axial usar al máximo el campo magnético que genera el estator (una cara genera campo magnético inverso a la otra cara).

Por lo expuesto en el párrafo anterior las máquinas de flujo axial de rotor exterior AFERM presentan una ventaja notoria sobre las de rotor interior, pues aprovecha todo el campo magnético de salen de las dos caras del estator, a esto se le suma que la perdida por efecto joule es 60% menor AFIRM.

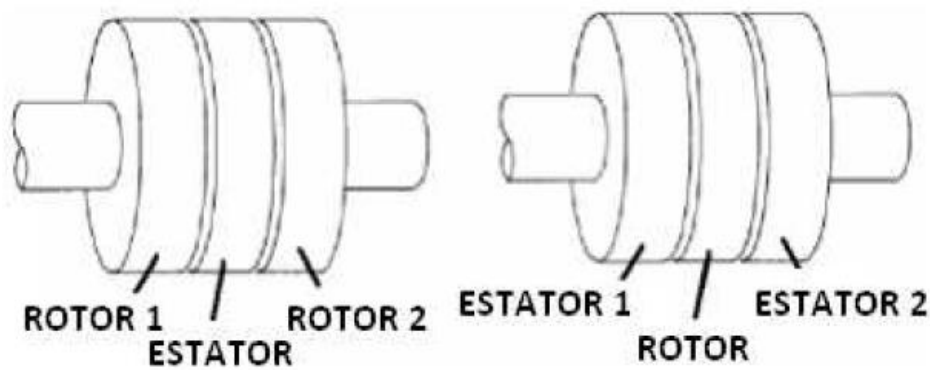


Figura 13: Máquinas AFERM (izquierda) y AFIRM (derecha).

Fuente: "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético".

Cuando se requiere mayores potencias y el mismo radio, se puede recurrir a la técnica de apolar varios bloques de motor, esto hace que se surja otro tipo de clasificación, que es:

- Máquinas de flujo axial mono etapa (AFSSM)
- Máquinas de flujo axial multietapa (AFMSM)

Las máquinas mono etapa está constituida por dos rotores y un único estator situado en el medio de los rotores.

Las maquinas multietapa es una maquina mono etapa a la que se le añaden un estator y solo un rotor mas para equilibrar las componentes de par.

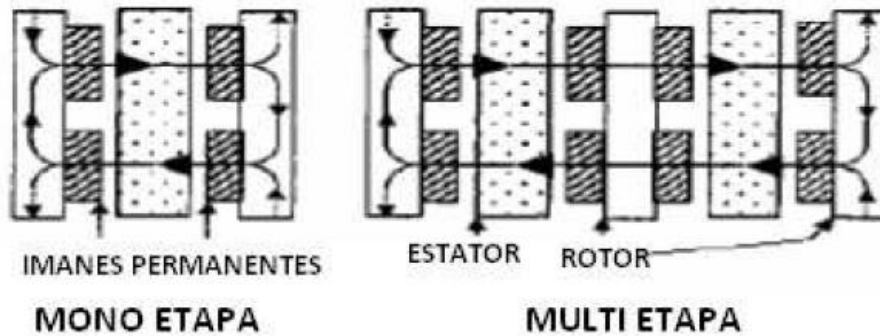


Figura 14: Máquinas mono y multietapa.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

Por último, otra manera de clasificar las máquinas de flujo axial es tomando en cuenta que polaridades de los rotores ubicados a ambos lados se enfrentan cara a cara con el estator, estas polaridades pueden ser (N-S), o son de la misma polaridad (N-N O S-S)

-Máquinas de flujo axial N-N o SS (AFM-NN o AFM-SS).

-Máquinas de flujo axial N-S (AFM-NS).

Suponiendo una máquina de flujo axial de rotor externo (AFERM) no está por demás decirlo, doble rotor y un estator, en máquinas N-N o S-S los rotores tendrán polaridades iguales para una sección transversal dada. Suponiendo que las líneas de flujo magnético que inician en un rotor (R1), penetran la armadura del estator, recorriendo por su interior hasta volver de nuevo al rotor R1 y con el rotor (R2), sucede exactamente lo mismo.

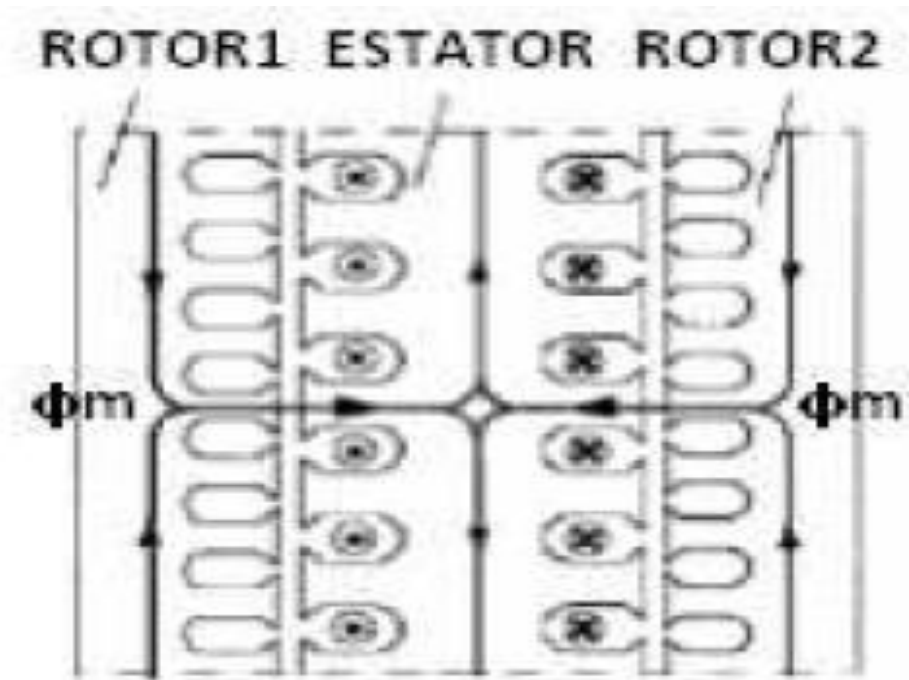


Figura 15: Máquina NN de rotores exteriores.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

En las máquinas de flujo axial N-S (AFM-NS). los rotores R1 y R2 tienen polos magnéticos opuestos en una sección transversal dada. Las líneas del flujo magnético se originan en R1, penetra el entrehierro del estator, atravesándolo de lado a lado, después continúa hasta atravesar el segundo entrehierro del estator llegando hasta cierra el rotor opuesto R2, atravesándolo y volviendo a R1.

ROTOR1 ESTATOR ROTOR2

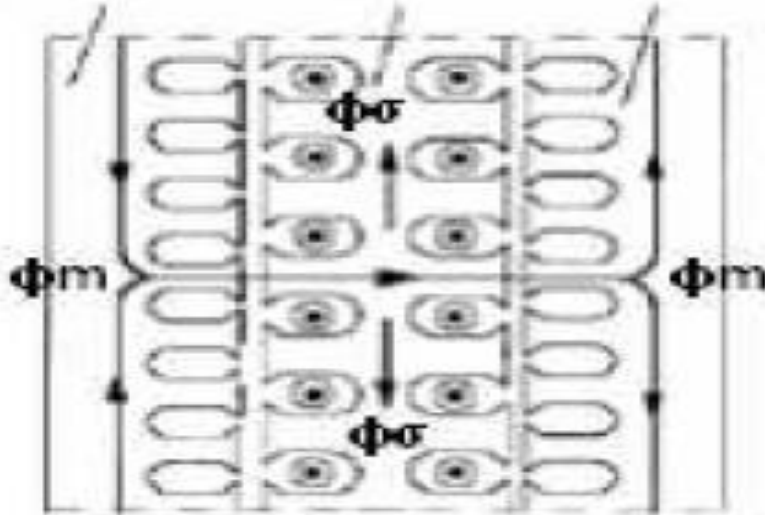


Figura 16: Máquina NS de rotores exteriores.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

En las máquinas de flujo axial N-N o SS (AFM-NN o AFM-SS) el estator es de mayor longitud, debido a que debe permitir que los flujos magnéticos de ambos rotores, esto hace que el ancho del entrehierro del rotor sea menor puesto que el flujo magnético también es menor, a esto se le agrega que la inercia del rotor es menor.

En las Máquinas de flujo axial N-S (AFM-NS), el entrehierro del estator tiene más anchura debido a que debe incorporar a su estructura las ranuras de reglas profundidad (si es ranurado) y por qué necesita una resistencia mecánica necesaria para albergarlas en su estructura. Por el contrario, la cantidad de hierro en ambos rotores es mayor puesto que el flujo es mayor, siendo por tanto mayor también su inercia (la inercia es directamente proporcional a su masa).

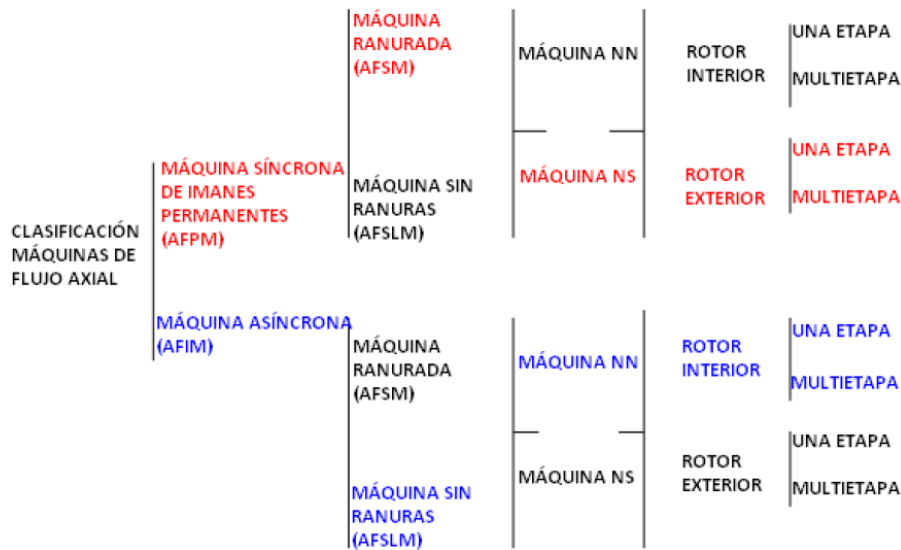


Figura 17: Clasificación de las máquinas axiales.

Fuente: “Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético”.

En la figura 17 se aprecia que las maquinas industriales más usadas están marcadas de color rojo, que son a las que actualmente se les dedica mayor investigación científica y técnica para su mejora.

Y por último otro tipo de clasificación que se podría añadir sería en diferenciar por el uso o no de núcleo de hierro en el estator, puesto que hay muchas aplicaciones en las que se prescinde del entrehierro, sobre todo en aplicaciones de alta eficiencia lograda con el uso de materiales superconductores, esto es viable por razones expuestas anteriormente.

- Leyes y principios que rigen el motor de flujo axial:

* *Ley de Coulomb:*

El valor de la magnitud total de la fuerza de interacción entre dos cargas puntuales separadas una distancia determinada es equivalente al producto de las magnitudes de las dos cargas puntuales dividida entre el cuadrado de la distancia que las (esto se da en el vacío, en el caso

de estar en un medio diferente al vacío, solo se le multiplica por la constante dieléctrica de este). Las fuerzas pueden ser de repulsión si las cargas son de igual polaridad, y de atracción si son de polaridad opuesta.

**Ley de Faraday:*

La ley de inducción electromagnética de Faraday o más conocida como la ley de Faraday que establece que la magnitud de voltaje inducido en un conductor es proporcional a la intensidad del flujo magnético inductor y a la rapidez con la que este cambia en el tiempo.

** Ley de Ampere:*

Si tenemos un área de un conductor circular que es atravesado perpendicularmente por un campo magnético con un determinado flujo con su respectiva densidad es equivalente a la intensidad de corriente eléctrica que se genera producto de la inducción en dicha área circular del conductor (suponiendo que se encuentra en el vacío). El flujo magnético es perpendicular a la corriente que circula por el área circular del conductor.

**Ley de inducción electromagnética de Faraday o ley de Faraday:*

En una espira conductora cerrada por la que pasa un campo magnético, este generara (inducción) que se genere corriente eléctrica en la espira siendo el voltaje inducido en la espira directamente proporcional a la velocidad de cambio del flujo magnético.

**La ley de Lenz:*

El flujo magnético que varía en el tiempo, induce en un conductor una corriente eléctrica con un determinado voltaje, este campo eléctrico inducido se opone a la variación del flujo magnético del campo.

*La ley de Ohm:

Cuando en los extremos de un conductor hay una diferencia de potencial eléctrico (voltaje), este es proporcional a la intensidad de la corriente eléctrica que circula por dicho conductor; pero un conductor tiene una resistencia determinada dependiendo del tipo de material con el que este. Estos 3 factores (voltaje, intensidad y resistencia) tienen la siguiente relación $V=IR$.

*Principio cero de la termodinámica o ley cero de la termodinámica:

Este principio hace referencia a la existencia de una temperatura común para varios estados termodinámicos siempre y cuando estos estén en equilibrio común.

*Primera ley de la termodinámica o principio de conservación de la energía:

El calor adquirido o cedido a un cuerpo hace que este altere su energía interna aumentando o disminuyendo su energía interna (calor) respectivamente.

*Segunda ley de la termodinámica:

Los procesos de intercambio de calor o procesos termodinámicos son unidireccionales ya que fluyen de un medio de mayor temperatura a otro de menor temperatura; pero nunca llega a ser completa la cantidad de calor cedida a un cuerpo de, una parte se pierde en forma de calor con el medio que le rodea, ya que este interactúa con el objeto, absorbiendo parte del calor.

*Tercera ley de la termodinámica o postulado de Walther Nernst:

Esta ley no es imprescindible para la física clásica, pero si para la física cuántica; establece que es imposible llegar al cero absoluto a través de procesos físicos.

III Metodología

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada.

Diseño No Experimental “Diseño Longitudinal Descriptivo”

3.2. Variables, operacionalización:

Tabla. 1: Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Dato	Instrumento	Fuente
Parámetros medidos en el motor eléctrico de flujo axial.	Conjunto de magnitudes físicas presentes en el motor eléctrico de flujo axial cuando está en funcionamiento.	Es la medición de los parámetros físicos, y dimensiones estructurales de componente s mecánicos activos presentes en el Motor Eléctrico de Flujo Axial en funcionamiento un tiempo determinado .	Dimensiones estructurales de componentes mecánicos activos del motor eléctrico de flujo axial.	Temperatura del motor eléctrico de flujo axial.	Nivel Intervalo.	Grados centígrados.	Ficha de observación.	Motor eléctrico de flujo axial.
				Frecuencia de giro del motor eléctrico de flujo axial.	Nivel razón.	Hertz	Ficha de observación.	Motor eléctrico de flujo axial.
				Velocidad angular del motor eléctrico de flujo axial.	Nivel razón.	Revoluciones sobre minuto (revoluciones por minuto).	Ficha de observación.	Motor eléctrico de flujo axial.
				Periodo del motor eléctrico de flujo axial.	Nivel razón.	Segundos	Ficha de observación.	Motor eléctrico de flujo axial.
				Velocidad tangencial motor eléctrico de flujo axial.	Nivel razón.	Metros sobre segundo (metros por segundo)	Ficha de observación.	Motor eléctrico de flujo axial.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Población, muestra y muestreo

Al carecer de motores eléctricos de flujo axial (aún más el diseño que propongo el cual construiré desde cero) con su interfaz hombre máquina similares, ya que estos motores recién están siendo desarrollados gracias a la miniaturización de los componentes electrónicos ya que necesitan una unidad de control (microprocesador, microcontrolador) para que funcionen (capacidad de procesamiento y velocidad de procesamiento). Mis poblaciones son 5 porque en este caso van de acuerdo al parámetro medido (indicador) que son 5 (Temperatura, Frecuencia, Velocidad angular, periodo, velocidad tangencial) serán el conjunto de medidas de cada tipo de indicador en diferentes en diferentes puntos de tiempos; como son:

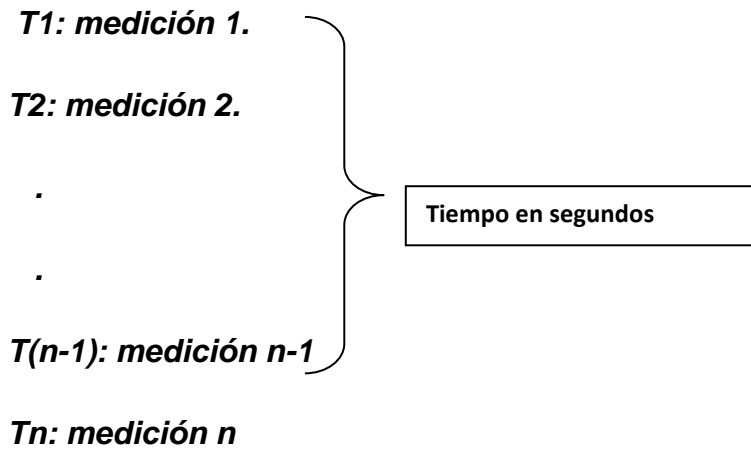
Tabla. 2: Poblaciones según el indicador (parámetro físico a medir).

Población 1	Población 2	Población 3	Población 4	Población 5
Medidas de la Temperatura medidas en el motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario.	Medidas de la Frecuencia medidas en el motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario.	Medidas de la velocidad angular del motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario.	Medidas del Periodo del motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario.	Medidas de la velocidad tangencial del motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario.

Fuente: Elaboración propia.

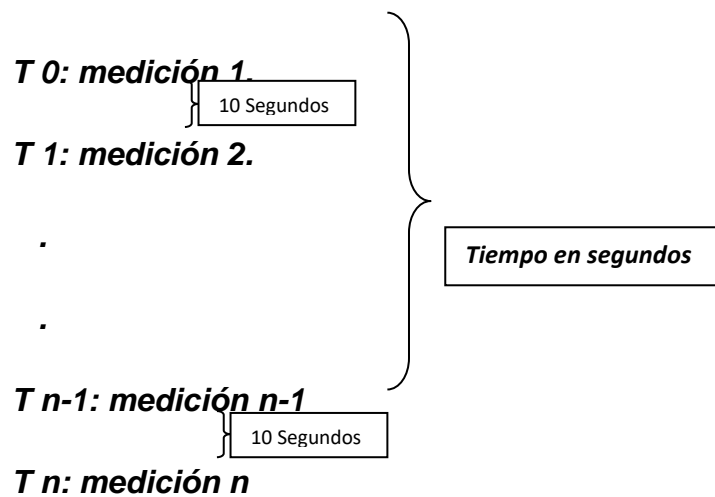
Tabla de las poblaciones según el indicador (parámetro físico a medir).

La población se describe como las mediciones de los 5 parámetros medidos en relación el tiempo. Siendo el punto de inicio de las mediciones, el momento en que se pone en marcha el motor este momento el motor está parado (no es aleatorio).



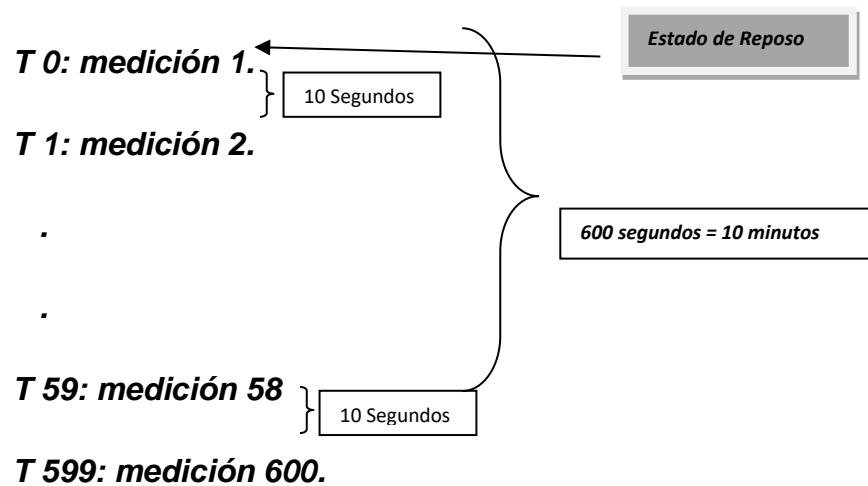
Donde “T” es el punto en el tiempo en donde se realiza la medición del indicador.

La población de estudio fueron los datos obtenidos al medir cada 10 segundos, en total 61 mediciones en un tiempo total de 10 min (contando la medición del punto de inicio cuando el motor está a punto de moverse T0).



Donde “T” es el punto en el tiempo en donde se realiza la medición del indicador.

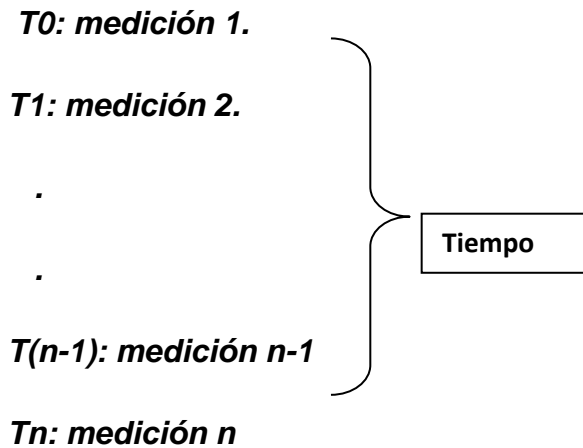
En esta investigación la muestra es no probabilística, siendo escogida arbitrariamente las 61 primeras mediciones, medidas cada 10 segundos dentro de un intervalo de tiempo total de 600 segundos (10 minutos) (tomando el punto de inicio donde el motor esta estático a punto de moverse, que sería la medición T0).



Donde "T" es el punto en el tiempo en donde se realiza la medición del indicador.

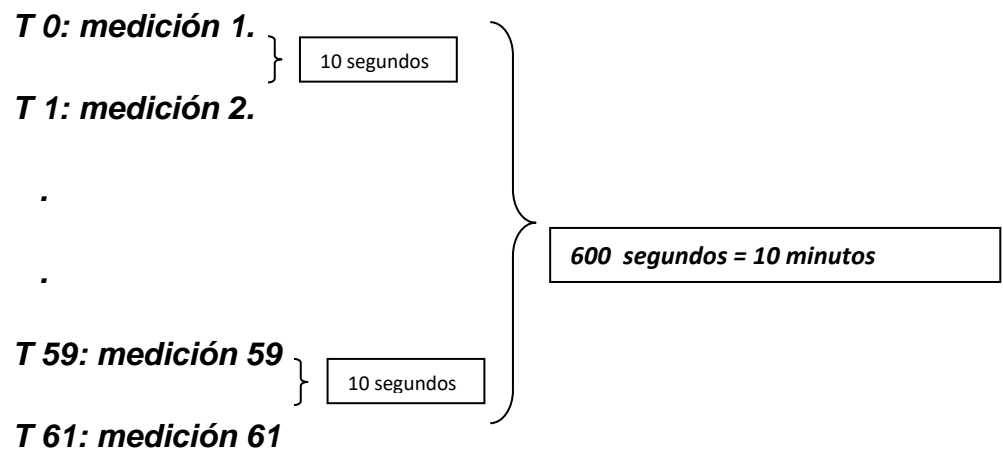
En la presente investigación el muestreo no probabilístico por cuotas está conformado por las mediciones de forma arbitraria, siguiendo el criterio de inclusión, las mediciones que deben hacerse cada 10 segundos hasta tener 61 mediciones que equivale a un periodo de tiempo de 10 min respectivamente.

El criterio de inclusión de la población de estudio que se aplicó a las 5 poblaciones fueron: la selección de las mediciones tomadas cada 10 segundos a partir de la puesta en marcha del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario y que el punto de inicio de las mediciones siempre será desde el momento en que se pone en marcha el motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario este momento el motor está parado (por lo que no es aleatorio).



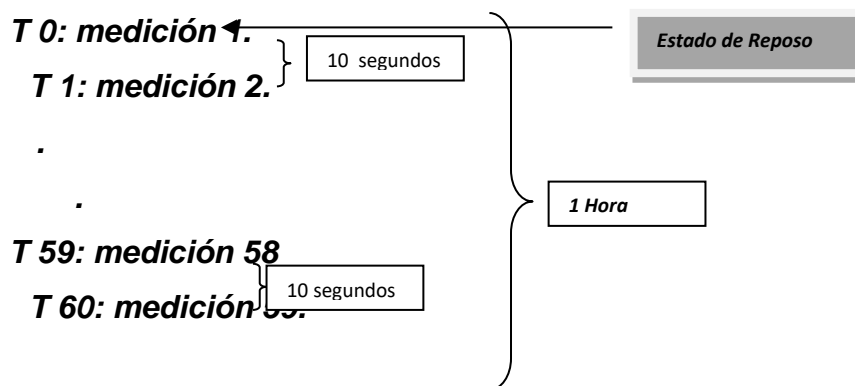
Donde “T” es el punto en el tiempo en donde se realiza la medición del indicador.

El criterio de inclusión de la población de estudio se define como los datos medidos cada 10 minutos, en total 61 mediciones cada minuto (contando la medición del punto de inicio cuando el motor está a punto de moverse).



Donde “T” es el punto en el tiempo en donde se realiza la medición del indicador.

El criterio de inclusión de la muestra no probabilística se definió escoger arbitrariamente las 61 primeras mediciones, medidas cada 10 segundos en un periodo correspondiente de 10 minutos respectivamente, a partir de la puesta en marcha del motor (tomando el punto de inicio donde el motor esta estático a punto de moverse, que sería la medición T0).



Donde “T” es el punto en el tiempo en donde se realiza la medición del indicador.

Para la presente investigación se establecieron 2 criterios de exclusión, el primero fue excluir las medidas de los indicadores fuera de las condiciones establecidas en los criterios de inclusión, y como segundo criterio se excluyeron los indicadores de la variable interviniente energía fotovoltaica por razones diversas entre ellas de tiempo, económicas, infraestructura (equipos, herramientas, sensores).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad:

La técnica empleada en este proyecto es la observación estructurada ya que sabe con exactitud que se va a medir (parámetros del motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario), se sabe el fin que se persigue (observar y describir de los indicadores-parámetros) y se ha elegido el instrumento de recolección de datos donde se organiza y estructura los datos.

El Instrumento de recolección de datos elegido es una ficha de observación donde se recopilarán los datos de manera ordenada, estructurada y según el indicador a medir. Usaremos 5 fichas de observación para la recolección de datos una ficha para cada indicador (magnitud-parámetro) a medir. En anexos esta las fichas de observación.

El instrumento de recolección de datos empleados en utilizados para la presente investigación (ficha de observación) fue validada por juicio de tres expertos.

La confiabilidad de los instrumentos en la presente investigación dichas pruebas han sido realizadas en un periodo de tiempo de lunes a viernes. En estas pruebas se utilizan los datos que han sido recopilados por medio de los instrumentos. Los resultados de las pruebas se muestran en la tabla 2 y 3.

3.5. Procedimientos

Se tomo como fuente de datos el prototipo construido de manera casera, se establecieron 5 poblaciones una por cada parámetro a medir (temperatura, frecuencia, velocidad angular, periodo, velocidad tangencial), como criterio de inclusión que el intervalo de las mediciones sea cada 10 segundos, comenzando desde el reposo hasta tener 61 mediciones que equivale a un tiempo de 10 minutos.

Se midió en un lugar de la casa con escasa luz del exterior para reducir las interferencias en los sensores infrarrojos; luego se procedió a observar, obteniéndose los datos.

3.6. Métodos de análisis de datos:

Se procedió a hacer un análisis descriptivo para la recopilación de datos: para la recopilación de datos se empleó una ficha de observación. Se uso una ficha de observación por cada indicador (magnitud de parámetro a medir).

Depuración de Datos: en esta investigación la muestra es no probabilística por lo que se escogió la muestra arbitrariamente. Para la depuración de datos se empleó como criterio de inclusión las 61 primeras mediciones medidas cada 10 segundos en un periodo total de 10 minutos respectivamente.

como criterio de exclusión se excluyó:

- Se excluyen medidas de los indicadores fuera de las condiciones establecidas en los criterios de inclusión.
- Se excluyen los indicadores de la variable interviniente energía fotovoltaica por razones diversas entre ellas de tiempo, económicas, infraestructura (equipos, herramientas, sensores).

3.7. Aspectos éticos:

Los datos obtenidos en esta investigación son fidedignos sin manipulación o adulteración alguna; esta investigación estuvo sujeta a las políticas, reglamentos y normativas de Vicerrectorado de investigación de la Universidad César Vallejo. Esta investigación es original en su totalidad en todas sus etapas. Esta investigación ha seguido las normas ISO-690 que es la correspondiente a ingeniería. Esta investigación fue evaluada con el software Turnitin, para descartar plagio. En esta investigación se expone mi gratitud a las personas e instituciones que contribuyeron en su desarrollo.

IV. RESULTADOS

Tabla. 3: Ficha de observación de parámetros

VARIABLE: Parámetro de un motor Eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario.						
Indicadores: Temperatura, frecuencia, velocidad angular, periodo, velocidad tangencial del motor Eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario.						
Unidad de análisis: motor Eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario						
Dato: grado centígrado (°C), herzt (Hz), revoluciones por minuto (rev/min), segundos (s), metros por segundo (m/s).						
Numero de medida	Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Velocidad angular (rpm/min)	Periodo (s)	Velocidad tangencial (m/s)	Numero de Segundo
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
2	28.320	1.002	60.120	0.997	1.189	10
3	28.808	2.840	170.454	0.351	3.373	20
4	28.320	3.508	210.526	0.285	4.166	30
5	28.320	3.787	227.272	0.264	4.498	40
6	27.343	4.065	243.902	0.246	4.827	50
7	27.832	4.219	253.164	0.236	5.010	60
8	28.320	4.329	259.740	0.231	5.140	70
9	28.808	4.366	262.008	0.229	5.185	80
10	27.832	4.366	262.008	0.229	5.185	90
11	30.761	4.366	262.008	0.229	5.185	100
12	28.808	4.366	262.008	0.229	5.185	110
13	17.089	4.366	262.008	0.229	5.185	120

14	28.320	4.366	262.008	0.229	5.185	130
15	35.644	4.366	262.008	0.229	5.185	140
16	20.019	4.366	262.008	0.229	5.185	150
17	5.859	0.000	0.000	0.000	0.000	160
18	16.113	4.366	262.008	0.229	5.185	170
19	25.878	4.366	262.008	0.229	5.185	180
20	26.855	4.366	262.008	0.229	5.185	190
21	33.691	4.366	262.008	0.229	5.185	200
22	29.296	4.385	263.157	0.228	5.208	210
23	29.785	4.385	263.157	0.228	5.208	220
24	42.480	4.385	263.157	0.228	5.208	230
25	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	240
26	28.808	4.385	263.157	0.228	5.208	250
27	32.714	4.385	263.157	0.228	5.208	260
28	33.691	4.385	263.157	0.228	5.208	270
29	34.179	4.385	263.157	0.228	5.208	280
30	29.785	4.385	263.157	0.228	5.208	290
31	29.785	4.385	263.157	0.228	5.208	300
32	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	310
33	28.320	4.385	263.157	0.228	5.208	320
34	34.667	4.385	263.157	0.228	5.208	330
35	32.714	4.385	263.157	0.228	5.208	340

36	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	350
37	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	360
38	32.226	4.385	263.157	0.228	5.208	370
39	33.691	4.385	263.157	0.228	5.208	380
40	25.878	4.385	263.157	0.228	5.208	390
41	17.578	4.385	263.157	0.228	5.208	400
42	24.414	4.385	263.157	0.228	5.208	410
43	34.179	4.385	263.157	0.228	5.208	420
44	25.878	4.385	263.157	0.228	5.208	430
45	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	440
46	29.296	4.385	263.157	0.228	5.208	450
47	34.179	4.385	263.157	0.228	5.208	460
48	39.062	4.385	263.157	0.228	5.208	470
49	26.367	4.385	263.157	0.228	5.208	480
50	29.296	4.385	263.157	0.228	5.208	490
51	30.761	4.385	263.157	0.228	5.208	500
52	29.296	4.385	263.157	0.228	5.208	510
53	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	520
54	29.785	4.385	263.157	0.228	5.208	530
55	30.273	4.385	263.157	0.228	5.208	540
56	33.691	4.385	263.157	0.228	5.208	550
57	34.179	4.385	263.157	0.228	5.208	560

58	29.296	4.385	263.157	0.228	5.208	570
59	26.367	4.385	263.157	0.228	5.208	580
60	34.179	4.385	263.157	0.228	5.208	590
61	33.203	4.385	263.157	0.228	5.208	600

Lugar donde se llevó a cabo la observación: Perú-Piura Urb. "Las Mercedes C-5 Jirón Manuel Villar"

Fecha de la observación: 11/10/2016

Hora de inicio de la observación (hora/minuto/segundo): 8:56:30 am

Hora de fin de la observación(hora/minuto/segundo): 9:06:30 pm

NOTA (Opcional): La observación se hizo a la intemperie en un ambiente con polvo y corrientes de aire lo cual puede alterar las lecturas de los parámetros físicos del motor que si se alojara en una carcasa contenedora como debería ser si contara con mayor presupuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Tablas de frecuencias:

Tabla. 4: Tabla de estadísticos de cada uno de los 5 parámetros físicos (magnitud física medible).

		Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Velocidad angular (rpm/min)	Periodo (s)	Velocidad tangencial (m/s)
N	Válidos	610	610	610	610	610
	Perdidos					
Media		29,04026	4,12364	247,46810	,23734	4,89743
Mediana		29,29600	4,38500	263,15700	,22800	5,20800
Moda		33,203	4,385	263,157	,228	5,208
Desv. Típ.		6,740833	,907244	54,446049	,108788	1,077555
Varianza		45,439	,823	2964,372	,012	1,161
Asimetría		-2,120	-3,973	-3,972	5,530	-3,972
Error típ. De asimetría		,306	,306	,306	,306	,306
Curtosis		6,895	15,234	15,233	41,498	15,232
Error típ. De curtosis		,604	,604	,604	,604	,604
Rango		42,480	4,385	263,157	,997	5,208
Mínimo		,000	,000	,000	,000	,000
Máximo		42,480	4,385	263,157	,997	5,208
Suma		1771,456	251,542	15095,554	14,478	298,743

Percentil	25	27,83200	4,36600	262,008	,228	5,18500
es				00	00	
	50	29,29600	4,38500	263,157	,228	5,20800
				00	00	
	75	33,20300	4,38500	263,157	,229	5,20800
				00	00	

Fuente: Elaboración propia

1.2. Interpretación de estadísticos:

✚ Interpretación de la media:

- EL promedio de las medidas de la temperatura es de 29,04026 °C.
- EL promedio de las medidas de la frecuencia es 4,12364 Hz.
- EL promedio de las medidas de la velocidad angular es 247,4681 rev./min.
- EL promedio de las medidas del periodo es 0,23734 s.
- EL promedio de las medidas de la velocidad tangencial es 4,89743 m/min.

✚ Interpretación de la mediana:

- El punto medio de las medidas de la temperatura es 29,29600 °C, el cual divide en 50% y 50% todas las medidas.
- El punto medio de las medidas de la frecuencia es 4,38500 Hz, el cual divide en 50% y 50% todas las medidas.
- El punto medio de las medidas de la velocidad angular es 263,1570 rev/min, el cual divide en 50% y 50% todas las medidas.
- El punto medio de las medidas del periodo es ,22800 s, el cual divide en 50% y 50% todas las medidas.
- El punto medio de las medidas de la velocidad tangencial es 5,20800 m/s, el cual divide en 50% y 50% todas las medidas.

✚ Interpretación de la moda:

- El valor de temperatura que más se repite en las mediciones es 33,203 °C.
- El valor de frecuencia que más se repite en las mediciones es 4,385 Hz.
- El valor de velocidad angular que más se repite en las mediciones es 263,157 rev/min.
- El valor de periodo que más se repite en las mediciones es 0,228 s.
- El valor de velocidad tangencial que más se repite en las mediciones es 5,208 m/s.

✚ Interpretación de la desviación típica o estándar:

- Los valores de las mediciones de la temperatura tienen un alejamiento de 6,740833 °C respecto a la media.
- Los valores de las mediciones de la frecuencia tienen un alejamiento de 0,907244 Hz respecto a la media.
- Los valores de las mediciones de la velocidad angular tienen un alejamiento de 54,44604 rev/min respecto a la media.
- Los valores de las mediciones del periodo tienen un alejamiento de 0,108788 s respecto a la media.
- Los valores de las mediciones de la velocidad tangencial tienen un alejamiento de 1,077555 m/s respecto a la media.

✚ Interpretación de la asimetría:

- La mayoría de los valores de las mediciones de la temperatura son inferiores a la media, siendo su valor -2,120.
- La mayoría de los valores de las mediciones de la frecuencia son inferiores a la media, siendo su valor -3,973.
- La mayoría de los valores de las mediciones de la velocidad angular son inferiores a la media, siendo su valor -3,972.

- La mayoría de los valores de las mediciones del periodo son inferiores a la media, siendo su valor 5,530.
- La mayoría de los valores de las mediciones de la velocidad tangencial son inferiores a la media, siendo su valor -3,972.

✚ Interpretación del error típico de la asimetría:

- La asimetría de los valores de las mediciones de la temperatura tiene un error de 0,306 por lo que se considera normal.
- La asimetría de los valores de las mediciones de la frecuencia tiene un error de 0,306 por lo que se considera normal.
- La asimetría de los valores de las mediciones de la velocidad angular tiene un error de 0,306 por lo que se considera normal.
- La asimetría de los valores de las mediciones del periodo tiene un error de 0,306 por lo que se considera normal.
- La asimetría de los valores de las mediciones de la velocidad tangencial tiene un error de 0,306 por lo que se considera normal.

✚ Interpretación de la curtosis:

- El grado de concentración de los valores de las mediciones temperatura es de 6,895, esto quiere decir que la mayoría de mediciones de la temperatura son menores que la media, razón por la cual tiene una curtosis leptocúrtica.
- El grado de concentración de los valores de las mediciones de la frecuencia es de 15,234, esto quiere decir que la mayoría de mediciones de la temperatura son menores que la media, razón por la cual tiene una curtosis leptocúrtica.
- El grado de concentración de los valores de las mediciones de la velocidad angular es de 15,233, esto quiere decir que la mayoría de mediciones de la temperatura son menores

que la media, razón por la cual tiene una curtosis leptocúrtica.


- El grado de concentración de los valores de las mediciones del periodo es de 41,498, esto quiere decir que la mayoría de mediciones de la temperatura son menores que la media, razón por la cual tiene una curtosis leptocúrtica.
- El grado de concentración de los valores de las mediciones de la velocidad tangencial es de 15,232, esto quiere decir que la mayoría de mediciones de la temperatura son menores que la media, razón por la cual tiene una curtosis leptocúrtica.

✚ Interpretación del error típico de la curtosis:

- La curtosis de los valores de las mediciones de la temperatura, tienen un error de 0,604 por lo que se considera normal.
- La curtosis de los valores de las mediciones de la frecuencia, tienen un error de 0,604 por lo que se considera normal.
- La curtosis de los valores de las mediciones de la velocidad angular, tienen un error de 0,604 por lo que se considera normal.
- La curtosis de los valores de las mediciones del periodo, tienen un error de 0,604 por lo que se considera normal
- La curtosis de los valores de las mediciones de la velocidad tangencial, tienen un error de 0,604 por lo que se considera normal.

✚ Interpretación del máximo:


- El máximo valor de la temperatura registrado en el proceso de medición es 42,480.
- El máximo valor de la frecuencia registrado en el proceso de medición es 4,385.
- El máximo valor de la velocidad angular registrado en el proceso de medición es 263.157.
- El máximo valor del periodo registrado en el proceso de medición es 0,997.
- El máximo valor de la velocidad tangencial registrado en el proceso de medición es 5,208.

 Interpretación del mínimo:

- El máximo valor de la temperatura registrado en el proceso de medición es 0.000.
- El máximo valor de la temperatura registrado en el proceso de medición es 0.000.
- El máximo valor de la temperatura registrado en el proceso de medición es 0.000.
- El máximo valor de la temperatura registrado en el proceso de medición es 0.000.
- El máximo valor de la temperatura registrado en el proceso de medición es 0.000.

 Interpretación del rango:

- La diferencia entre el valor máximo y mínimo de la temperatura medidos es 0,000.
- La diferencia entre el valor máximo y mínimo de la temperatura medidos es 0,000.
- La diferencia entre el valor máximo y mínimo de la temperatura medidos es 0,000.
- La diferencia entre el valor máximo y mínimo de la temperatura medidos es 0,000.
- La diferencia entre el valor máximo y mínimo de la temperatura medidos es 0,000.

 Interpretación de los percentiles:

- Respecto al percentil 25:
 - El 25% los datos de las mediciones de la temperatura son menores o iguales a 27,83200 °C.
 - El 25% los datos de las mediciones de la frecuencia son menores o iguales a 4,36600 Hz.
 - El 25% los datos de las mediciones de la velocidad angular son menores o iguales a 262,0080 rev/min.
 - El 25% los datos de las mediciones del periodo son menores o iguales a 22800 s.
 - El 25% los datos de las mediciones de la velocidad tangencial son menores o iguales a 5,18500 m/s.
- Respecto al percentil 50:
 - El 50% de los datos de las mediciones de la temperatura son menores o iguales a 29,29600 °C.
 - El 50% de los datos de las mediciones de la frecuencia son menores o iguales a 4,38500 Hz.
 - El 50% de los datos de las mediciones de la velocidad angular son menores o iguales a 263,1570 rev/min.
 - El 50% de los datos de las mediciones del periodo son menores o iguales a 0,22800 s.

- El 50% de los datos de las mediciones de la velocidad tangencial son menores o iguales a 5,20800 m/s.
- Respecto al percentil 75:
 - El 75% de los datos de las mediciones es inferior a 33,20300 °C.
 - El 75% de los datos de las mediciones es inferior a 4,38500 Hz.
 - El 75% de los datos de las mediciones es inferior a 263,1570 s.
 - El 75% de los datos de las mediciones es inferior a 0,22900.
 - 5,20800 m/s.

Tabla 5: Tabla de frecuencia del indicador temperatura (°C).

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	1,6	1,6	1,6
5,859	1	1,6	1,6	3,3
16,113	1	1,6	1,6	4,9
17,089	1	1,6	1,6	6,6
17,578	1	1,6	1,6	8,2
20,019	1	1,6	1,6	9,8
24,414	1	1,6	1,6	11,5
25,878	3	4,9	4,9	16,4
26,367	2	3,3	3,3	19,7
26,855	1	1,6	1,6	21,3
27,343	1	1,6	1,6	23,0
27,832	2	3,3	3,3	26,2
28,320	6	9,8	9,8	36,1
28,808	4	6,6	6,6	42,6
29,296	5	8,2	8,2	50,8
29,785	4	6,6	6,6	57,4
30,273	1	1,6	1,6	59,0
30,761	2	3,3	3,3	62,3
32,226	1	1,6	1,6	63,9
32,714	2	3,3	3,3	67,2
33,203	7	11,5	11,5	78,7
33,691	4	6,6	6,6	85,2
34,179	5	8,2	8,2	93,4
34,667	1	1,6	1,6	95,1
35,644	1	1,6	1,6	96,7
39,062	1	1,6	1,6	98,4
42,480	1	1,6	1,6	100,0

Total	61	100,0	100,0
-------	----	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Tabla de frecuencia del indicador frecuencia (Hz).

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos				
,000	2	3,3	3,3	3,3
1,002	1	1,6	1,6	4,9
2,840	1	1,6	1,6	6,6
3,508	1	1,6	1,6	8,2
3,787	1	1,6	1,6	9,8
4,065	1	1,6	1,6	11,5
4,219	1	1,6	1,6	13,1
4,329	1	1,6	1,6	14,8
4,366	12	19,7	19,7	34,4
4,385	40	65,6	65,6	100,0
Total	61	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Tabla de frecuencia del indicador velocidad angular (rpm/min).

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	2	3,3	3,3	3,3
,000	1	1,6	1,6	4,9
60,120	1	1,6	1,6	6,6
170,454	1	1,6	1,6	8,2
210,526	1	1,6	1,6	9,8
227,272	1	1,6	1,6	11,5
243,902	1	1,6	1,6	13,1
253,164	1	1,6	1,6	14,8
259,740	12	19,7	19,7	34,4
262,008	40	65,6	65,6	100,0
263,157	61	100,0	100,0	
Total				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Tabla de frecuencia del indicador periodo (s).

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos ,000	2	3,3	3,3	3,3
,228	40	65,6	65,6	68,9
,229	12	19,7	19,7	88,5
,231	1	1,6	1,6	90,2
,236	1	1,6	1,6	91,8
,246	1	1,6	1,6	93,4
,264	1	1,6	1,6	95,1
,285	1	1,6	1,6	96,7
,351	1	1,6	1,6	98,4
,997	1	1,6	1,6	100,0
Tota	61	100,0	100,0	
l				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Tabla de frecuencia del indicador velocidad tangencial (m/s).

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	61	100,0	100,0	
3,000	2	3,3	3,3	3,3
3,189	1	1,6	1,6	4,9
3,373	1	1,6	1,6	6,6
4,166	1	1,6	1,6	8,2
4,498	1	1,6	1,6	9,8
4,827	1	1,6	1,6	11,5
5,010	1	1,6	1,6	13,1
5,140	1	1,6	1,6	14,8
5,185	12	19,7	19,7	34,4
5,208	40	65,6	65,6	100,0
Total	61	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

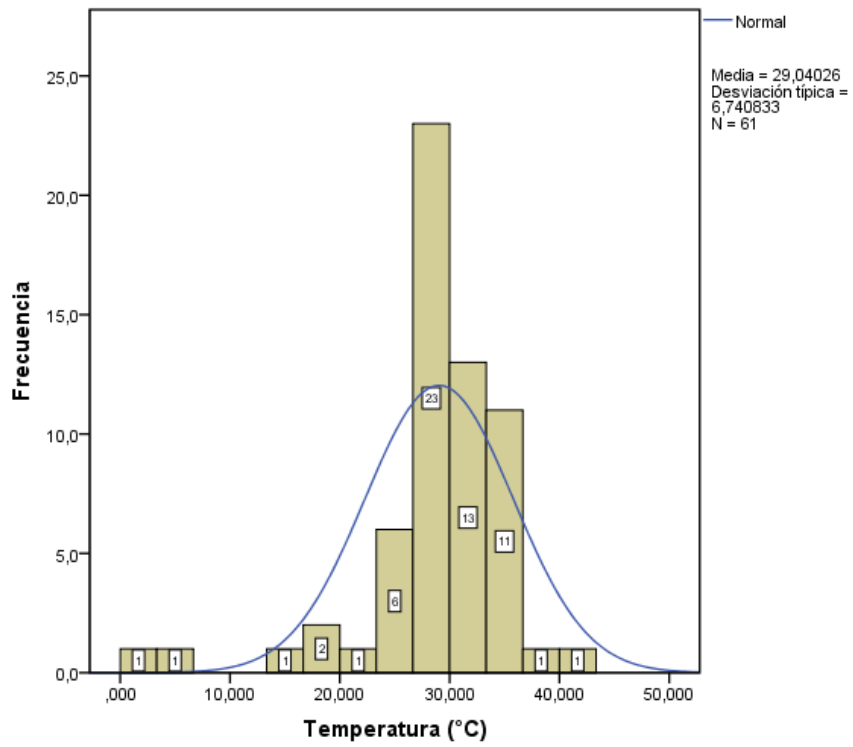


Figura 18: Histograma del indicador temperatura.

Fuente: Elaboración propia.

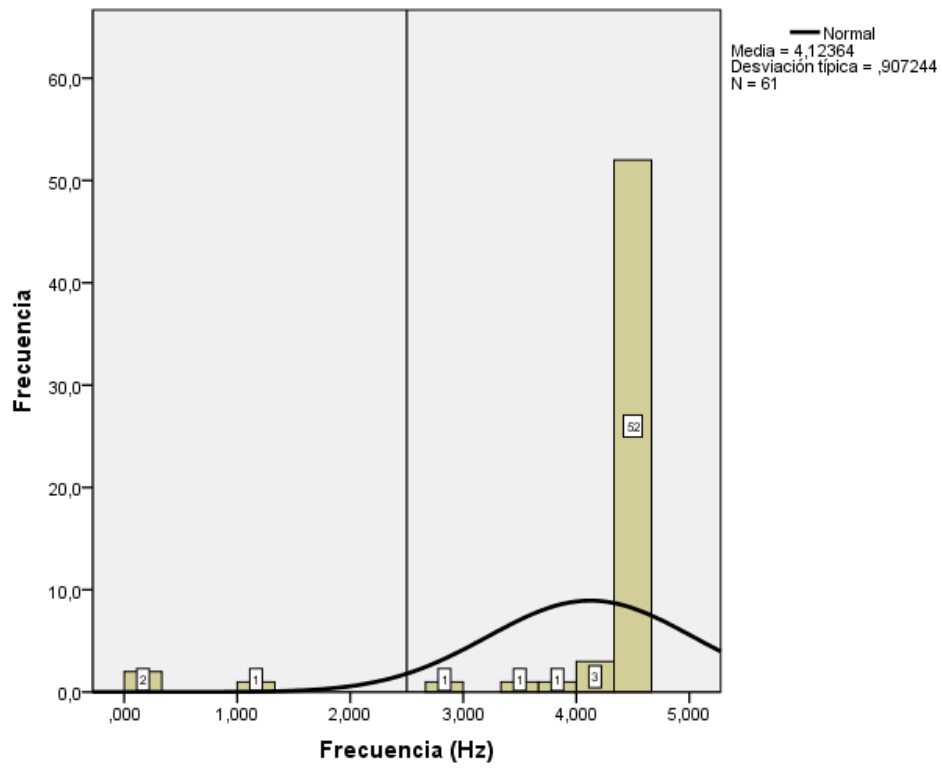


Figura 19: Histograma del indicador frecuencia.

Fuente: Elaboración propia.

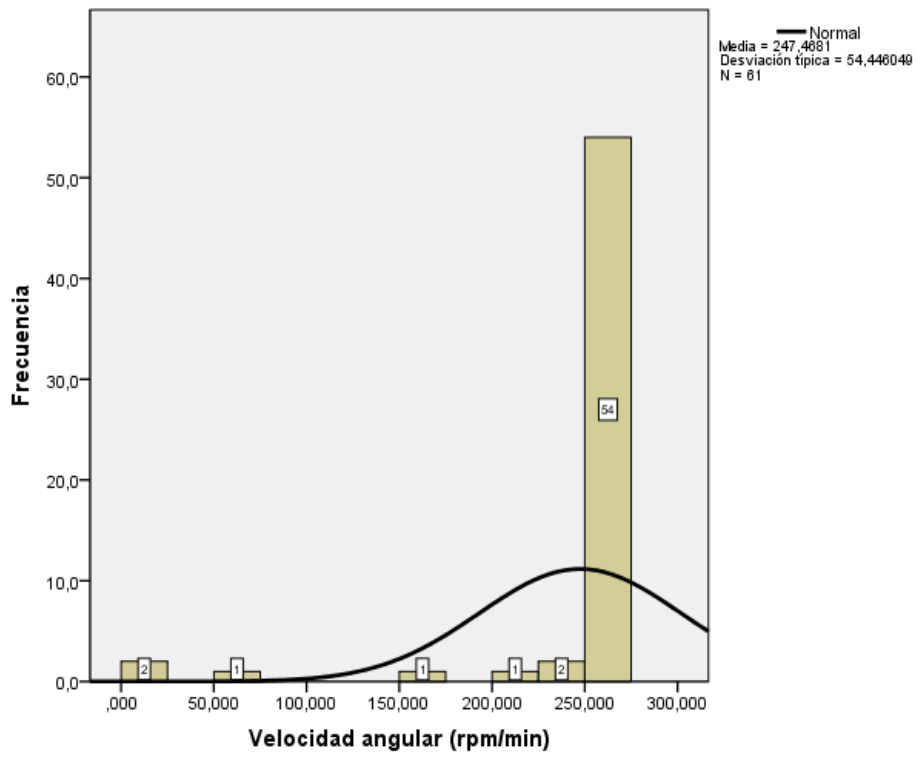


Figura 20: Histograma del indicador velocidad angular.

Fuente: Elaboración propia.

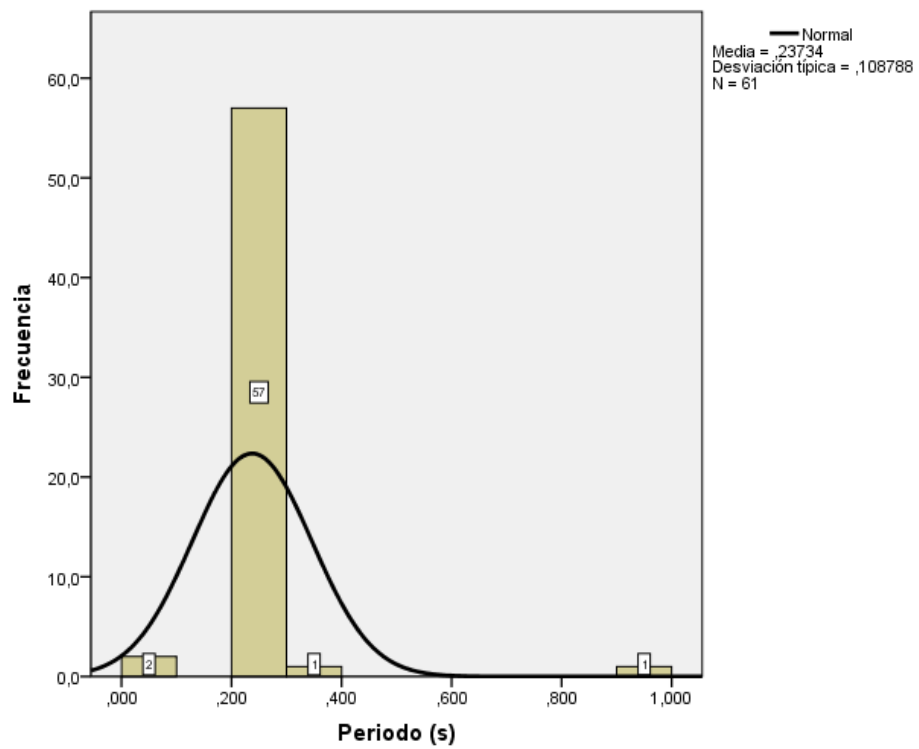


Figura 21: Histograma del indicador periodo.

Fuente: Elaboración propia.

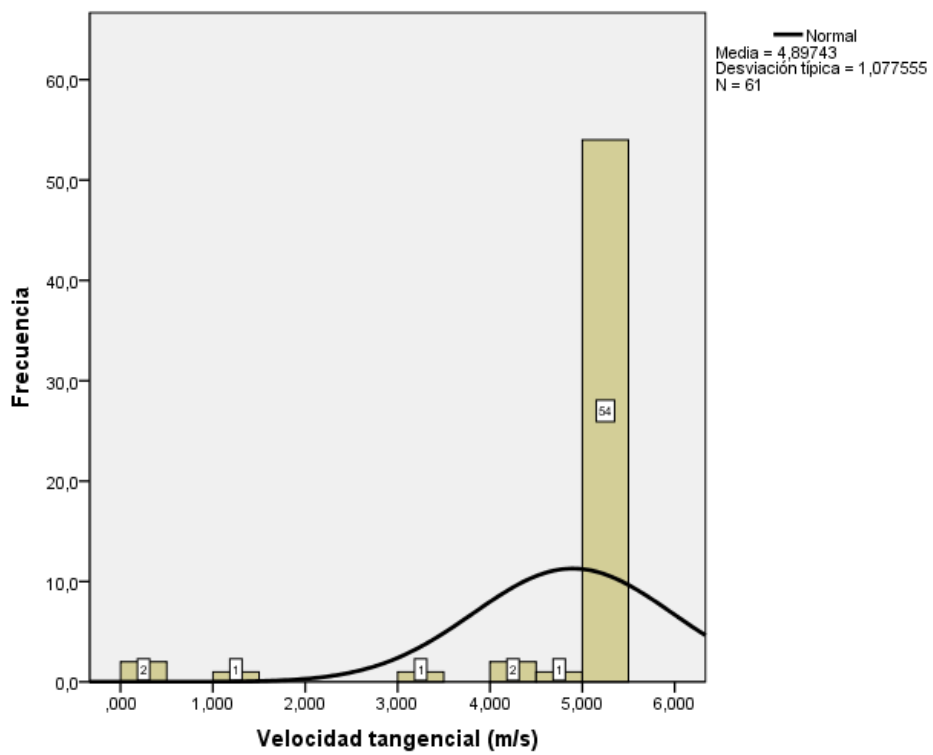


Figura 22: Histograma del indicador velocidad tangencial.

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Según Atanasi Jornet en su tesis las ondas armónicas generadas en los motores eléctricos de inducción asíncronos alimentados con convertidor de frecuencia en modulación de los anchos de pulso, son los principales factores que causan pérdidas por calor que afectan principalmente el devanado del estator y a los cojinetes, pero en el caso del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario, se hizo un algoritmo de programación que garantiza la sincronía del campo magnético del rotor y del estator, garantizando el torque máximo siempre en baja y alta velocidad, esto se demuestra en el análisis estadístico de parámetros evidencia que la temperatura no se eleva a niveles críticos lo cual lo evidencia la moda que nos dice que la temperatura que más se repite es 33.203° , también la temperatura máxima que es de 42.480 ; esto nos indica que la temperatura en este tipo de motor que también es controlado por PWM (modulación por ancho de pulso) no se presenta el problema de pérdidas debido a las ondas armónicas.

Según Mario Caltenco Rosales en su tesis nos propone los criterios que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un motor de inducción trifásico tipo jaula de ardilla; la mayoría de criterios de selección propuestos por Mario Caltenco fueron tomados en cuenta para elaborar el motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario, esto quiere decir que algunos simplemente no se tomaron en consideración puesto que esta tecnología es diferente, el motor es síncrono porque el campo magnético del rotor y el del estator sincronizan de manera de lograr el máximo torque debido a los algoritmos de sincronización desarrollados, además la electrónica que compone la unidad de control a sido desarrollada con contramedidas de generación de ruido eléctrico causantes de armónicos. En la investigación presente no solo se teorizo sino que se abordó y se puso en práctica criterios como la atenuación del efecto Joule, atenuación de las corrientes de torbellino o corrientes de Foucault tanto en el estator como en el rotor, sincronización del campo magnético del rotor y del estator para lograr el máximo torque en el ángulo correcto, sincronización extra para lograr la atenuación de las corriente contraelectromotriz que el rotor induce en el estator (en la mayoría

de motores esto no se toma en cuenta lo cual acarrea perdidas a medida que la velocidad aumenta).

Según Carlos Alberto Garrido Daniel en su tesis simula un sistema de tracción de un vehículo eléctrico utilizando motores síncronos de flujo axial; esto es una total aplicación ingeniosa de un motor eléctrico síncrono de flujo axial similar al motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario, lo cual es completamente factible en el nivel aplicativo, ya que cuenta con algoritmos para tal fin, para lograr esto es necesario la sincronización en el ángulo y tiempo preciso para lograr el máximo torque en alta y baja velocidad. Esta investigación no fue una solo una simulación como en el estudio de Carlos Alberto Daniel se diseñó y construyó el prototipo y se observó su comportamiento en el tiempo, evidenciando su buen funcionamiento al no calentarse en el tiempo, la temperatura se mantiene a niveles ambiente, en la observación se registran los parámetros físicos escogidos, para su respectivo análisis estadístico que prácticamente evidencian que un análisis estadístico es muy preciso.

Según Jorge Renato Gómez Ormeño en su tesis diseña un variador de velocidad de bajo coste para un motor trifásica de inducción de 4 hp cuya ventaja es su bajo coste esto es 1000 soles; si tomamos este coste y lo comparamos con la tecnología del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario, se pudieran hacer aproximadamente 15 unidades de control en el cual una de sus áreas es el variador de velocidad. El diseño de la unidad de control del motor eléctrico trifásico de flujo axial es compacto, aprovecha el espacio al máximo al distribuir los componentes electrónicos en un área de 14x14 centímetros, con un costo más reducido.

Al desarrollar la investigación sobre el motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario, una de las metas y a la vez condicionantes fue reducir costes en el desarrollo de la unidad de control, por lo que se optó de hacerlo lo más barato posible, saliendo aproximadamente por 70 soles aproximadamente.

VI. CONCLUSIÓN

Al analizar las magnitudes de los parámetros físicos de la unidad de análisis (motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario) se evidencia que existe una relación, demostrando que todo el conjunto de partes de la unidad de análisis estadístico es un sistema por lo que sus partes tienen una relación sinérgica y que la alteración del estado de cada parte (según el parámetro a analizar) repercute en el estado de las demás partes.

Es viable la descripción de parámetros del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario (temperatura, frecuencia de giro, velocidad angular, periodo, velocidad tangencial), empleando métodos estadísticos.

Es viable la interpretación del comportamiento del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario de manera precisa empleando un análisis estadístico en donde interpretando los estadísticos correspondientes a determinados parámetros físicos (temperatura, frecuencia de giro, velocidad angular, periodo, velocidad tangencial), nos indican la interpretación comportamiento del motor.

La utilidad de interpretar los parámetros del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario es imprescindible para el estudio de este tipo de motor en todos los niveles de investigación, en este caso para probar que su funcionamiento es óptimo observando los parámetros elegidos para su análisis (temperatura, frecuencia de giro, velocidad angular, periodo, velocidad tangencial).

VII. RECOMENDACIONES

Esta investigación esta solo a nivel descriptivo por falta de presupuesto e infraestructura para una investigación de mayor nivel por los que se recomienda a las futuras investigaciones llevar esta investigación a niveles más altos como experimental, aplicativo que es cuando se desarrolla el producto para aplicarlo al uso de la sociedad.

Se recomienda para futuras investigaciones el uso de equipos de precisión para el análisis de los parámetros del motor y su posterior análisis matemático.

Se recomienda usar gases licuados y superconductores para llevar el estator a niveles de temperatura criogénica y así prescindir del entrehierro del estator.

Se recomienda el empleo de mejores materiales como fibra de carbono, fibra óptica, procesadores más potentes.

Se recomienda que esta investigación sea tomada como un proyecto de investigación insignia de una institución, la cual brinde los fondos necesarios para la mejora de este sistema (motor eléctrico de flujo axial y doble campo unitario).

Se recomienda que esta investigación sea tomada como un incentivo para las escuelas de ingeniería, por ser innovadora e involucrar varias ingenierías a la vez.

REFERENCIAS

- a) Enrique Palacios Municio, Fernando Remiro Domínguez, Lucas j. López. “Microcontrolador pic 16f84a Desarrollo de Proyectos 1ra Edición”. Edición: Alfa Omega s.a. México. Agosto 2004. [Consulta: 08 de mayo del 2015] ISBN: 970-15-1033-X.
- b) Juan Manuel Orduña Huertas, Vicente Arnau Llombart, “Arquitectura y Programación de Microcontroladores 1ra Edición”. Edición Llorens Valencia-España. Primera edición 1996. [Consulta: 11 de octubre del 2016] ISBM: 84-370-2347-5.
- c) Invarato Menéndez, Ramón. Moya García, Ricardo. Casero Gutiérrez, Jesús Alberto. “Android 100”, en línea. 1. ra ed. Jaroba, 2014 Pág. 11. Disponible en <<http://jaroba.com/libro-android-100-gratis/>>. [Consulta: 08 de mayo del 2015]. pdf.
- d) PH.D. Muhammad H.Rashid“(autor), Ing. Gabriel Sánchez García (traductor), Ing. José Antonio Torres Hernández (revisión técnica). “Electrónica de Potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones”. Segunda edición. Editora: PRENTICE HALL, HISPANOAMERICANA, SA 2006. 2004. [Consulta: 08 de mayo del 2015]. ISBN: 0-13-678996-X
- e) Alabert Paul Malvino Ing. José Luis Alba Castro y Lic. Carlos López Cortón (traducción), “Principios de Electrónica” Sexta edición. Editora: Esmeralda Mora. [Consulta: 10 de junio del 2015]. ISBN: 84-481-2568-1.
- f) Jorge Vidal. “Curso de física segunda parte Óptica, Magnetismo, Electricidad”. 14° Edición, Editora: Editorial Stela, Viamonte Buenos Aires Argentina 1943. [Consulta: 12 de junio del 2015]
- g) Titulo: Dr. Alberto P. Mainztegui y Prof. Jorge A. Sábato. “Introducción a la física. 8va Edición”. Editorial KAPELUSZ Moreno-372-Buenos Aires Argentina. Publicado diciembre de 1951. [Consulta: 7 de junio del 2015].

- h) Francis W. Sears, Mark W. Zemansky, Hugh D. Young. "Física Universitaria. 6ta Edición". Editora: Fondo Educativo Interamericano S.A. Wilmington, Delaware, USA. 1986. [Consulta: 7 de junio del 2015]. ISBN 968-858-077-5.
- i) Dr. Hernandez Sampieri, Dr. Carlos Fernandez Callado. Lucio Dra. María del Pilar Baptista "Metodología de la Investigación 5ta Edición". Editora: Interamericana Editores S.A. de C.V. Colonia de desarrollo Santa Fe. [Consulta: 7 de junio del 2015]. ISBN: 978-607-15-0291-9.
- j) José López Pérez, Ricard Bosch i Tous. "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor, exento de material ferromagnético". En línea 1.ra ed. Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Elèctrica. 2000. ISBM 8468992437. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=fmCbMwEACAAJ&dq=motores+electricos+axiales&hl=es-419&sa=X&ei=7veZVaiWFou_ggSgg7ToBQ&ved=0CCQQ6AEwAQ>
- k) Alfonso Fernández Duran, Carlos Jiménez Suarez, Antonio Lecuona Ribot, Francisco Mellado García, José Fabián Plaza Fernández, Victoria Ramos Gonzales, Gabriel Sala Pano. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, NAP "Energía Solar Fotovoltaica". Inforama S.A e Ibergraphi 2002. 1ra ed. pág. 1 S.L.L. ISBM 978-84-935049-6-0.

ANEXOS

Tabla 10:

Ficha de observación de los 5 parámetros o indicadores del motor eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario.

VARIABLE: Parámetro de un motor Eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario.						
Indicadores: Temperatura, frecuencia, velocidad angular, periodo, velocidad tangencial del motor Eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario.						
Unidad de análisis: motor Eléctrico trifásico de flujo axial y doble campo unitario						
Dato: grado centígrado (°C), herzt (Hz), revoluciones por minuto (rev/min), segundos (s), metros por segundo (m/s).						
Numero de medida	Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Velocidad angular (rpm/min)	Periodo (s)	Velocidad tangencial (m/s)	Numero de Segundo
1						0
2						10
3						20
4						30
5						40
6						50
7						60
8						70
9						80
10						90

11						100
12						110
13						120
14						130
15						140
16						150
17						160
18						170
19						180
20						190
21						200
22						210
23						220
24						230
25						240
26						250
27						260
28						270
29						280
30						290
31						300
32						310

33						320
34						330
35						340
36						350
37						360
38						370
39						380
40						390
41						400
42						410
43						420
44						430
45						440
46						450
47						460
48						470
49						480
50						490
51						500
52						510
53						520
54						530

55						540
56						550
57						560
58						570
59						580
60						590
61						600

Lugar donde se llevó a cabo la observación: Perú-Piura Urb. "Las mercedes C-5 Jirón Manuel villar"

Fecha de la observación: 11/10/2016

Hora de inicio de la observación (hora/minuto/segundo): 8:56:30 am

Hora de fin de la observación(hora/minuto/segundo): 9:06:30 pm

NOTA (Opcional): La observación se hizo a la intemperie en un ambiente con polvo y corrientes de aire lo cual puede alterar las lecturas de los parámetros físicos del motor que si se alijara en una carcasa contenedora como debería ser si contara con mayor presupuesto.



Figura 23: Preparando el molde.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 24: Midiendo la fibra de vidrio en el molde de madera.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 25: Extendiendo la fibra de vidrio tipo roving con los imanes neodimio

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26: separando el monde después de catalizado de la resina.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 27: Proceso de lavado en agua desionizada tibia.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 28: Mecanizado de la pieza de fibra de vidrio.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 29: Mecanizando el espesor.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 30: Mecanizando diámetro externo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 31: Mecanizando nivel externo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 32: Terminado el mecanizado por torno paralelo.

Fuente: elaboración propia.



Figura 33: Ingeniero Jorge Ma San Procediendo a fresar la pieza.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 34: Estructura del prototipo del Motor.

Fuente: Foto tomada por mi amigo el Ing. Javier Jaramillo.



Figura 35: Funcionamiento del motor, mostrando parámetros físicos en su pantalla LCD.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 36: El motor funcionando a velocidad baja, alimentado solo con la batería de supercondensadores.

Fuente: Elaboración propia.

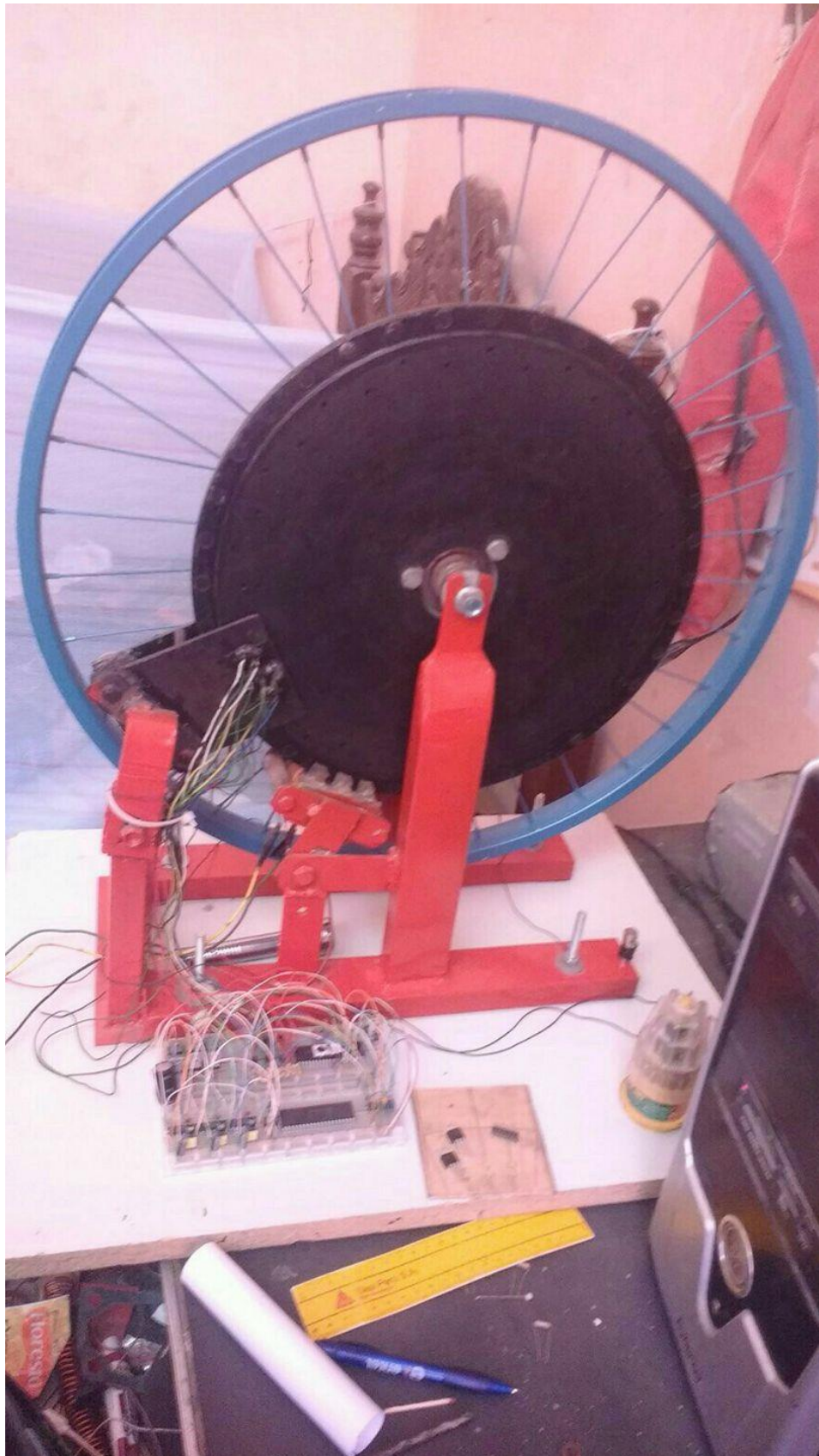


Figura 37: Armando el motor después de pintarlo y mejorar su electrónica
Fuente: Elaboración propia.



Figura 38: Conectando los paneles solares para que el motor funcione con energía solar, usando los paneles solares prestados generosamente por la CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, Lima.

Fuente: Foto tomada por Avelina Condori Huilca.



Figura 39: El motor funcionando con energía solar, usando los paneles solares prestados generosamente por la CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, Lima.

Fuente: Foto tomada por Avelina Condori Huilca.



Figura 40: Dando una ligera explicación de la tecnología del motor a los jóvenes científicos de CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, Lima.

Fuente: Foto tomada por Avelina Condori Huilca.



Figura 41: Final de la exposición en CEDIME (Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI, sobre el tema del motor.

Fuente: Foto de recuerdo tomada por CEDIME Centro de Investigación de Mecánica Eléctrica) en la UNI.

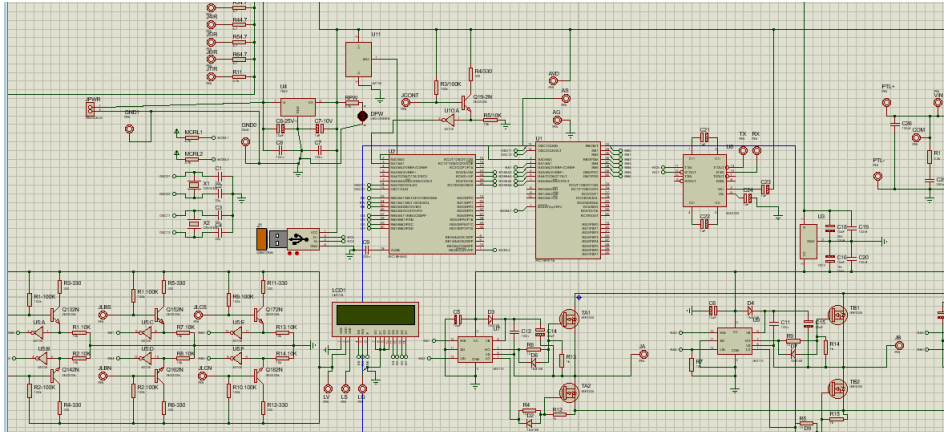


Figura 42: Diagrama electrónico de la unidad de control del motor.

Fuente: Elaboración propia.

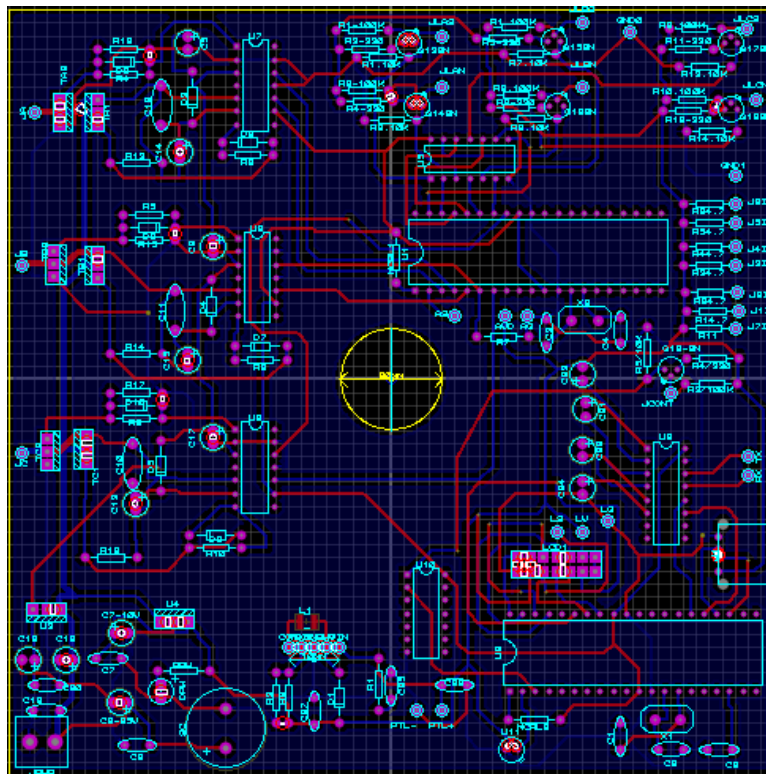


Figura 43: Diagrama de conectividad de pistas de la unidad de control del motor.

Fuente: Elaboración propia.

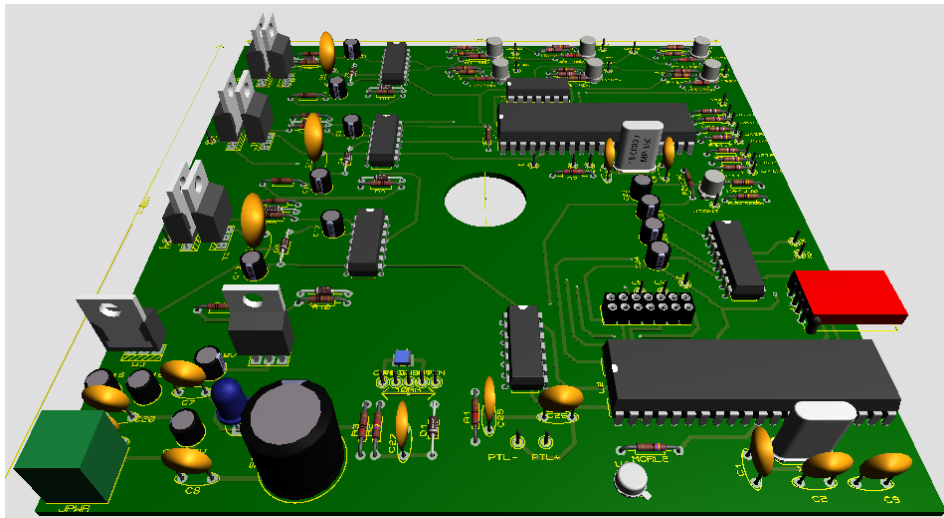


Figura 44: Modelo 3d de la unidad de control electrónica del motor.

Fuente: Elaboración propia.