Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Investigación

Optimización del funcionamiento de motor de inducción en niveles de baja tensión estándares para el ahorro de energía eléctrica

Fabio Kenny Mallma Dolorier

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Eléctrica

Huancayo, 2019

Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación

Obra protegida bajo la licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por brindarnos existencia y a mis padres por darnos el apoyo incondicional día a día.
A mi familia por comprender que cada esfuerzo realizado será recompensado al culminar con mi objetivo.
A mis profesores y compañeros por su apoyo, dedicación, orientación, compartir y darnos la oportunidad de cumplir con un objetivo más y cambiarnos el rumbo de nuestras vidas.

El presente proyecto de investigación lo dedico con todo mi amor a mi madre, porque es una mujer que simplemente me hace llenar de orgullo, la amo y no habrá manera de devolverle todo lo que ella me brinda hasta ahora. Este es un logro más que llevo a cabo y sin lugar a dudas ha sido en gran parte gracias a ella.

Fabio M.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA iv
AGRADECIMIENTOS ii
DEDICATORIA iii
ÍNDICE GENERAL iv
LISTA DE TABLAS vii
LISTA FIGURAS viii
RESUMEN 1
Palabras clave 1
CAPÍTULO I 4
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO 4
1.1 Planteamiento y formulación del problema 4
1.1.1 Planteamiento del problema 4
1.1.2 Formulación del problema 6
1.2 Objetivos 7
1.2.1 Objetivo general 7
1.2.2 Objetivos específicos 7
1.3 Justificación e importancia 7
1.3.1 Justificación 7
1.3.2 Importancia 8
1.4 Hipótesis y descripción de variables 8
1.4.1 Hipótesis general 8
1.4.2 Hipótesis específica 8
1.4.3 Descripción de variables 9
CAPÍTULO II 10
MARCO TEÓRICO 10
2.1 Antecedentes del problema 10
2.2 Bases Teóricas 13
2.2.1 Motor de inducción 13
2.2.2 Clasificación de los motores 13
2.2.2.1 Motores asíncronos 14

2.2.2.2 Construcción de motores de inducción trifásico 15
2.2.2.3 Motores asíncronos de rotor bobinado 17
2.2.2.4 Motores asíncronos tipo Jaula de ardilla. 18
2.2.2.5 Principio de operación del motor de inducción 19
2.2.2.6 Niveles de tensión estándares en baja tensión 24
2.2.2.7 Tipos de arranque para motores asíncronos de inducción 25
2.2.3 Potencia eléctrica 31
2.2.3.1 Tipos de potencia 31
2.2.4 Eficiencia eléctrica 33
2.2.5 Rendimiento 33
2.3 Definición de términos básicos 34
2.3.1 Definición de términos conceptuales 34
2.3.2 Definición de términos operacionales 34
CAPÍTULO III 35
METODOLOGÍA ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3.1 Método y alcance de la investigación 35
3.1.1 Método de la investigación 35
3.1.2 Alcance de la investigación 35
3.2 Diseño de la investigación 35
3.3 Unidad de observación 37
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 37
3.4.1 Técnicas de recolección de datos 37
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos 37
CAPÍTULO IV 38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 38
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información 38
4.1.1 Ensayos experimentales para obtención de parámetros 38
- **Pruebas realizadas a 220 Vac** 39
- **Pruebas realizadas a 380 Vac** 40
- **Pruebas realizadas a 440 Vac** 41
- **ANÁLISIS ESTADÍSTICO** 42

4.2 Prueba de hipótesis 42
4.2.1 Hipótesis alterna 42

4.3 Discusión de resultados 422
CAPÍTULO V 44
CONCLUSIONES 44
RECOMENDACIONES 44
Referencias Bibliográficas 45
Anexos 466

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de rendimiento de motores de inducción trifásicos de acuerdo al fabricante .. 39
Tabla 2. Toma de datos extraidos del analizador de redes a 220 Vac 39
Tabla 3. Promedios finales extyraidos del analizador de redes a 220 Vac 39
Tabla 4. Toma de datos extraidos del analizador de redes a 380 Vac 40
Tabla 5. Promedios finales extyraidos del analizador de redes a 380 Vac 40
Tabla 6. Toma de datos extraidos del analizador de redes a 440 Vac 41
Tabla 7. Promedios finales extyraidos del analizador de redes a 440 Vac 41
Tabla 8. Análisis estadístico en cada nivel de tensión y tipo de arranque 42

LISTA FIGURAS

Figura 01. Motor asíncrono 14
Figura 02. Partes de un motor de inducción 15
Figura 03. Despiece de motor asíncrono 16
Figura 04. Estator y rotor de motor de inducción 17
Figura 05. Motor asíncrono de rotor bobinado 18
Figura 06. Motor asíncrono con rotor de Jaula de de ardilla 19
Figura 07. Placa de características de motor asíncrono de inducción 20
Figura 08. Modelo simplificado de estudio de un condiuctor en el motor de inducción 21
Figura 09. Esquema por fase de un motor asíncronopolifásico 22
Figura 10. Circuito correspondiente al de motor de inducción 23
Figura 11. Balance de potencia de motor asíncrono de inducción 24
Figura 12. Circuito de fuerza de arranque directo de motor asíncrono 26
Figura 13. Análisis de curvas características de arranque CORRIENTE - VELOCIDAD 27
Figura 14. Análisis de crvas caacterísticas de arranque PAR - VELOCIDAD 27
Figura 15. Circuito de fuerza de arranque esytrella triángulo 29
Figura 16. Circuito de fuerza de arranque estrella estrella 30
Figura 17. Análisis de curvas características de arranque CORRIENTE-VELOCIDAD 30
Figura 18. Análisis de curvas características de arranque PAR-VELOCIDAD 31
Figura 19. Triángulo de potencias 32
Figura 20. Rendimiento de motor asíncrono 33
Figura 21. Diseño de investigación 36
Figura 22. Analizador de redes del tipo CIRCUTOR CVM-NRG96 37
Figura 23. Placa de características de motor utilizado 38
Figura 24. Motor de inducción utilizado 39

RESUMEN

Para la industria y los empresarios, el ahorro de energía eléctrica es muy importante, ya que al ahorrar energía eléctrica se establecen beneficios a todos los niveles. En el sector industrial, un punto crítico concerniente al costo es poder economizar el consumo de energía eléctrica, por esta razón se realizó el presente trabajo de investigación, que consistió en ejecutar la optimización del funcionamiento de motor de inducción en niveles de baja tensión estándares, es decir debemos de considerar que los motores de inducción pueden funcionar a distintos niveles de tensión estándar en baja tensión, y al elegir adecuadamente el nivel de tensión se podrá ahorrar energía eléctrica. El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo principal ejecutar un estudio referente al funcionamiento del motor de inducción teniendo en cuenta el nivel de tensión estándar adecuado. El motor de inducción es esencial para el funcionamiento de máquinas a nivel industrial y para ahorrar energía eléctrica se debe de elegir adecuadamente el nivel de tensión. Para la determinación adecuada del ahorro energético se utilizó un analizador de redes trifásico del tipo CIRCUTOR CVM-NRG96, que fue instalado para poder tomar datos del motor en arranque directo y arranque a tenían reducida. Además, se estableció la diferencia de consumo de energía en las distintas pruebas de funcionamiento donde el ahorro de energía llega hasta un 17.85% con un nivel de tensión de 380 Vac. Es decir, con la tensión de 380 Vac se ahorró energía eléctrica.

Palabras clave:

- Energía, motor, tensión, optimizar.

ABSTRACT

For industry and entrepreneurs, saving electricity is very important, since saving electricity establishes benefits at all levels. In the industrial sector, a critical point concerning the cost is to be able to economize the consumption of electric energy, for this reason the present research work was carried out, which consisted of executing the optimization of the induction motor operation at standard low voltage levels, In other words, we must consider that induction motors can operate at different levels of standard voltage at low voltage, and by choosing the voltage level properly you can save electricity. The main objective of this research project was to carry out a study regarding the operation of the induction motor, taking into account the appropriate standard voltage level. The induction motor is essential for the operation of machines on an industrial level and to save electrical energy the voltage level must be chosen properly. For the adequate determination of the energy saving, a three-phase network analyzer of the CIRCUTOR CVM-NRG96 type was used, which was installed to be able to take data from the motor in direct start and start to have reduced. In addition, the difference in energy consumption was established in the different functional tests where the energy savings reach up to 17.85% with a voltage level of 380 Vac. That is, with the voltage of 380 Vac, electrical energy was saved.

INTRODUCCIÓN

Señores del comité calificador, dejo a vuestra atención el proyecto de innovación titulado: “OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE MOTOR DE INDUCCIÓN EN NIVELES DE BAJA TENSIÓN ESTÁNDARES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.

El presente trabajo de investigación surgió de la carencia de poder ahorrar energía eléctrica y para esta optimización es necesario tener en cuenta el correcto nivel de tensión estándar en baja tensión. Y es que debido a la gran importancia de contar con un motor de inducción dentro del sector industrial que forman parte de muchas maquinas eléctricas, en donde no se cuenta con las técnicas adecuadas para ahorrar energía eléctrica o simplemente la implementación de un equipo de compensación o mejora del factor de potencia es bastante costosa.

El método de investigación es experimental puro, ya que se relacionas las variables dependientes con las independientes para poder llegar a las conclusiones finales.

Por ello se planteó la hipótesis de que al optimizar el funcionamiento de un motor de inducción que dependerá del nivel de tensión adecuado estándar en baja tensión se logrará obtener un ahorro de energía eléctrica.

Esta investigación busca resolver un problema practico, para poder ahorra energía. El objetivo principal de esta investigación es optimizar el trabajo de un motor de inducción en base a la elección adecuada del nivel de tensión estándar en baja tensión.

Para la obtención de datos en este estudio se utilizó un módulo experimental de ensayos y con la ayuda del motor de inducción y el analizador de redes se realizó una valoración para diferenciar la suposición y con esto finalizara el estudio realizado.

En tal sentido se realiza una investigación en cinco capítulos, en el primer capítulo se da a conocer los aspectos generales donde resaltaremos el planteamiento del problema, objetivos justificación e importancia, el capítulo dos describe el marco teórico, los antecedentes de la investigación y definiciones, en el capítulo tres se trata la metodología aplicada en el trabajo de indagación, así como el tipo, diseño y técnicas aplicadas, en el capítulo cuatro se trata los resultados y discusión de la investigación con el razonamiento y consecuencia del actual trabajo, posteriormente en el capítulo cinco se define las conclusiones, así como la bibliografías y anexos del proyecto de investigación.

El autor.

CAPÍTULO I:

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día, en nuestro país se ha incrementado el desarrollo de empresas e industrias las cuales abastecen a distintos sectores como agricultura, agroindustria, minería, educación, salud, etc. muchas de estas empresas son indispensables para el desarrollo de económico de nuestro país.

En su mayoría estas empresas e industrias requieren del adecuado funcionamiento de distintas máquinas que a su vez deben de contar con un control de producción, mínimos mantenimientos y paradas de producción, estar automatizadas y en general minimizar el consumo de energía eléctrica sin perjudicar el rendimiento de cada máquina.

El uso de los motores de inducción es necesario en cada una de estas máquinas, y se hace cada vez más versátil en todo tipo de máquinas, gracias a sus características de funcionamiento, instalación, control y fácil mantenimiento.

Estos motores de inducción pueden funcionar a distintos niveles de tensión, en nuestro país los niveles normalizados en baja tensión estándares son: 440, 380 y 220 voltios. Esto conlleva a una simple configuración de los terminales de los motores de inducción.

Pero se debe de considerar la mejor elección del nivel de tensión que permita estar al tanto de la principal manera de economizar energía eléctrica, tomando en cuenta que los motores de inducción son un tipo de transformadores en los cuales el nivel de tensión toma un papel importante para con las perdidas en el entre hierro y el cobre, por lo que esta investigación será de suma importancia en el desempeño de los futuros ingenieros de la rama eléctrica y mecánica. Con esta investigación se busca demostrar lo importante que es la adecuada elección del nivel de tensión para el funcionamiento de los motores de inducción, así como el ahorro de energía eléctrica.

Para esto se ha extraído información del rendimiento de los motores de inducción de acuerdo al nivel de tensión de funcionamiento tomando en cuenta que la marca de motores con mayor uso es la marca WEG.

- **Rendimiento de motores de inducción trifásicos de marca Weg según el nivel de tensión de trabajo:**

Norma	Frec. (Hz)	Voltaje nominal	Polos	Potencia	Carcasa		Factor de Sevicio	Rotación nominal (rpm)	Eficiencia (%)			Factor de Potencia		
				HP					50%	75%	100%	50%	75%	100%
IEC	60	220 V	4	250	315B	Estándar	1	1800	93.4	94.4	94.5	0.71	0.8	0.84
IEC	60	220 V	4	250	315S	Estándar	1	1800	91	93	94.5	0.78	0.84	0.86
IEC	60	220 V	4	250	355M	Estándar	1	1800	92.2	93.8	94.5	0.78	0.85	0.88
IEC	60	220 V	4	270	315B	Estándar	1	1800	93.4	94.4	94.5	0.71	0.8	0.84
IEC	60	220 V	4	270	355M	Estándar	1	1800	92.1	93.9	94.5	0.77	0.84	0.87
IEC	60	220 V	4	300	315B	Estándar	1	1800	93.6	94.6	94.7	0.7	0.89	0.83
IEC	60	220 V	4	300	355M	Estándar	1	1800	93	94.5	95	0.79	0.85	0.88
IEC	60	220 V	4	350	315B	Estándar	1	1800	94	94.8	94.9	0.72	0.84	0.85
IEC	60	220 V	4	350	355M	Estándar	1	1800	92.9	94.6	95.1	0.77	0.85	0.88
IEC	60	220 V	4	400	315B	Estándar	1	1800	94.5	95.2	95.3	0.77	0.84	0.86
IEC	60	220 V	4	400	355M	Estándar	1	1800	93.3	94.7	95.3	0.81	0.86	0.88
IEC	60	220 V	4	450	315B	Estándar	1	1800	94.6	95.4	95.4	0.76	0.84	0.86
IEC	60	220 V	4	450	355M	Estándar	1	1800	93.8	94.8	95.4	0.77	0.85	0.88
IEC	60	220 V	4	500	315B	Estándar	1	1800	94.6	95.4	95.4	0.73	0.82	0.85
IEC	60	220 V	4	500	355M	Estándar	1	1800	93.9	95	95.4	0.79	0.85	0.88
IEC	60	380V	4	225	280C	Estándar	1	1800	94.2	94.8	94.8	0.77	0.84	0.87
IEC	60	380V	4	250	280C	Estándar	1	1800	94.3	94.9	94.9	0.77	0.84	0.87
IEC	60	380V	4	275	280D	Estándar	1	1800	94.4	95	95	0.77	0.84	0.87
IEC	60	380V	4	300	280E	Estándar	1	1800	94.5	95.1	95.1	0.77	0.84	0.87
IEC	60	380V	4	350	280E	Estándar	1	1800	94.6	95.2	95.2	0.77	0.84	0.87
IEC	60	380V	4	370	315C	Estándar	1	1800	94.8	95.3	95.1	0.82	0.87	0.89
IEC	60	380V	4	400	315C	Estándar	1	1800	94.9	95.4	95.2	0.82	0.87	0.89
IEC	60	380V	4	450	315D	Estándar	1	1800	95	95.5	95.3	0.82	0.87	0.89
IEC	60	380V	4	500	315E	Estándar	1	1800	95.1	95.6	95.4	0.82	0.87	0.89
IEC	60	440V	4	225	280C	Estándar	1	1800	94.2	94.8	94.8	0.77	0.84	0.87
IEC	60	440V	4	250	280C	Estándar	1	1800	94.3	94.9	94.9	0.77	0.84	0.87
IEC	60	440V	4	275	280D	Estándar	1	1800	94.4	95	95	0.77	0.84	0.87
IEC	60	440V	4	300	280E	Estándar	1	1800	94.5	95.1	95.1	0.77	0.84	0.87
IEC	60	440V	4	350	280E	Estándar	1	1800	94.6	95.2	95.2	0.77	0.84	0.87
IEC	60	440V	4	370	315C	Estándar	1	1800	94.8	95.3	95.1	0.82	0.87	0.89
IEC	60	440V	4	400	315C	Estándar	1	1800	94.9	95.4	95.2	0.82	0.87	0.89
IEC	60	440V	4	450	315D	Estándar	1	1800	95	95.5	95.3	0.82	0.87	0.89
IEC	60	440V	4	500	315E	Estándar	1	1800	95.1	95.6	95.4	0.82	0.87	0.89

Tabla N° 01 Resumen de rendimiento de motores de inducción trifásicos de acuerdo al fabricante.

Fuente: Elaboración Propia

La tabla N° 01, es el resumen del rendimiento de motores de inducción trifásicos de la marca WEG, extraídos de las siguientes páginas:

- http://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_produto=30&CD_CATEGORIA_PRODUTO=5&cd_mercado=000L&cd_idioma_cat=ES&cd_empresa=110#
- http://www.actiweb.es/durelectric/archivo1.pdf
- https://es.scribd.com/doc/7197995/Catalogo-WEG

La información recabada es considerada de la marca de motores WEG, ya que esta marca es la más utilizada en todo tipo de máquinas diseñadas para la agricultura, agroindustria, minería, educación, salud, etc.
De estas páginas de información del fabricante de motores se tomó información acerca del rendimiento y el nivel de tensión, que, según el fabricante los motores tienen un rendimiento de 91.0% al 95.6 % trabajando a niveles de tensión de 220, 380 y 440 voltios.

Por lo cual muchas empresas e industrias no consideran adecuadamente cual es el mejor nivel de tensión para el funcionamiento de los motores de inducción trifásicos.
Esta investigación será de mucha utilidad para los futuros ingenieros electricistas, ingenieros mecánicos y técnicos en general que podrán brindar un mejor servicio y de instalación y recomendación respecto al mejor funcionamiento de los motores de inducción trifásicos.
Porque con esta investigación aplicativa y experimental se logrará demostrar que nivel de tensión estándar es el más adecuado para poder hacer funcionar adecuadamente los motores de inducción trifásicos obteniendo un mejor rendimiento y minimizando las perdidas incrementando además el ahorro de energía eléctrica.

1.1.2 Formulación del problema

¿Cómo optimizar el trabajo de un motor de inducción en niveles de baja tensión estándares para conseguir economizar energía eléctrica?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Optimizar el funcionamiento de un motor de inducción en niveles de baja tensión estándares en nuestro país para lograr el ahorro de energía eléctrica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características de trabajo de un motor de inducción en los niveles de 440, 380 y 220 voltios respectivamente con tipo de arranque directo.
- Determinar las características de trabajo de un motor de inducción en los niveles de 440, 380 y 220 voltios respectivamente con tipo de arranques a tensión reducida.
- Realizar el comparativo de los valores tomados de acuerdo a las características de funcionamiento del motor de inducción en cada nivel de tensión y tipo de arranque.
- Comprobar la influencia del nivel de tensión en el consumo de energía eléctrica de un motor de inducción trifásico.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación

En las distintas empresas e industrias que ejercen labores en nuestro país se utilizan motores de inducción, los cuales pueden ser instalados y funcionan con cualquiera de los niveles estandarizados de baja tensión, y es que desde ya sabemos que, así como se ha avanzado en el desarrollo tecnológico también se debe de considerar el ahorro de energía eléctrica para satisfacer los requerimientos de los distintos sectores productivos de nuestro país y reducir el consumo de energía eléctrica de los usuarios.

Esta investigación repercutirá como incentivo de la descendencia de nuevas competencias de los estudiantes y profesionales que se desenvuelvan en el área eléctrica y mecánica de selección de niveles de tensión, arranque y control de motores eléctricos de inducción y esto conllevará a el uso eficiente de energía y ahorro energético.

También es motivo de investigación el dar a conocer las características de funcionamiento de los motores de inducción de acuerdo a cada nivel estandarizado de baja tensión, más aún porque se realizarán arranques del tipo

directo y arranques especiales a tensión reducida utilizados el funcionamiento de estos motores de inducción, analizando además el rendimiento de estos.

En consecuencia, se obtendrá la optimización de un motor de inducción de acuerdo al vinel de tensión de trabajo para un mejor rendimiento, y así lograr la selección adecuada del nivel de tensión conforme a las necesidades que servirán para lograr un ahorro de energía y disminuir el consumo de los costos de la energía eléctrica.

Los motores de inducción son un tipo de transformador y estos muestran perdidas que van acorde al nivel de tensión y potencia, por lo que se debe de considerar el nivel de tensión adecuado para disminuir las perdidas eléctricas.

1.3.2 Importancia

En el adecuado funcionamiento de los motores de inducción, es importante conocer cuáles son las características que estos presentan al funcionar con 440, 380 y 220 voltios respectivamente. En esta investigación la expectativa que se tiene es de orden tecnológico y económico.

En lo tecnológico, el impacto se da por una posible elección adecuada del nivel de tensión de funcionamiento de los motores de inducción.

En lo económico la expectativa es que el mejor beneficio de los motores de inducción se vea reflejado en un precio inferior en la facturación de consumo de energía eléctrica.

1.4 Hipótesis y descripción de variables

1.4.1 Hipótesis general

Al optimizar el trabajo de un motor de inducción, de acuerdo al nivel estandarizado de tensión se logrará obtener un ahorro de energía eléctrica para los usuarios de estos motores.

1.4.2 Hipótesis específica

- Se diferencia las características de marcha de un motor de inducción en los niveles de 440, 380 y 220 voltios respectivamente con tipo de arranque directo.
- Se diferencia las características de marcha de un motor de inducción en los niveles de 440, 380 y 220 voltios respectivamente con tipo de arranques a tensión reducida.
- Se realiza el comparativo de los valores tomados de acuerdo a las

características de funcionamiento del motor de inducción en cada nivel de tensión y cada tipo de arranque.

- Se comprueba la influencia del nivel de tensión en el gasto de energía eléctrica de un motor de inducción trifásico.

1.4.3 Descripción de variables

- Variable dependiente: Ahorro de energía

Variable dependiente: Ahorro de energético.		
Definición	**Dimensión**	**Indicador**
El ahorro energético es la optimización del gasto con el objetivo de brindar el mismo servicio, pero con un beneficio económico.	➢ Consumo de energía en arranque directo para nivel de tensión de 220, 380 y 440 Vac. ➢ Consumo de energía en arranques especiales a tensión reducida. para nivel de tensión de 220, 380 y 440 Vac.	➢ KWh ➢ KWh
Fuente: Elaboración propia		

- Variable independiente: Motor de inducción

Variable de independiente: Motor de inducción.		
Definición	**Dimensión**	**Actividad**
Es una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya función principal es la transformación de energía eléctrica en energía mecánica.	➢ Corriente. ➢ Energía	➢ Análisis de corriente al inicio de arranque. ➢ Análisis de consumo de energía
Fuente: Elaboración propia		

.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Al respecto del ahorro de energía en motores de inducción existen varias investigaciones anteriores como:

ATANASI, Jornet. *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 convertidores de frecuencia en modulación de ancho de los impulsos.* Tesis Doctoral. Terrassa (España). 2005, concluye que para optimización de un motor de inducción trifásico no solo basta con un diseño especial de estos como diseño de otro tipo de ranuras, sino, se debe de considerar el diseño de los circuitos eléctricos y magnéticos ya que el origen de las pérdidas se pueden determinar dependientes de la carga en el entre hierro y en el cobre, y estas además están considerando una variación de acuerdo al nivel de tensión de trabajo influenciados por las reactancias que se crean en los bobinados de los motores de inducción.

HENRÍQUEZ GUZMÁN, Ricardo, OLANO CENTENO, Christian y SALGUERO RIVAS, Julio. *Motores trifásicos de inducción evaluación y control de perdidas con aplicación de capacitores,* Tesis de Pregrado. Ciudad Universitaria (San Salvador). 2015, esta tesis satisface más aun el ahorro de energía de acuerdo al nivel de tensión de trabajo ya que, concluye de manera clara que, para la optimización de un motor de inducción que trabaje a tensiones inferiores a los 1000Vac, se debe de reducir las pérdidas óhmicas y la capacidad de un banco de condensadores necesarios para tener un factor de potencia aproximado de 0.975, y que un dato por encima de este valor disminuye aún más le perdidas potencia obteniendo así un ahorro de energía altamente considerable a grandes magnitudes de potencias de funcionamiento, indicando que también que la mayoría de pérdidas se reflejan en el núcleo del motor de inducción y que las pérdidas por fricción se deben de considerar como no relacionadas a la carga, recomienda además evitar que el banco de condensadores este sujeto a variaciones e tensión para evitar efectos transitorios, porque cuando en el motor varié su tensión esto repercutirá en los condensadores, es decir las variaciones de tensión implican en la potencia de consume de los motores de inducción debido a las respuesta instantáneas de los capacitores. Deben de

considerar también la aplicación de ciertas- normas técnicas estándares como 18-2002 de la IEEE para establecer límites de operación de motores de inducción y cargas reactivas de compensación. En conclusión, las pérdidas ocasionadas en el estator, en el rotor, por fricción y en el núcleo se ven relacionadas a parámetros como corriente eléctrica y valores óhmicos, y estos se vinculan directamente con la tensión y potencia de trabajo.

Resaltando como nueva técnica la regulación de tensión para reducir las pérdidas presentes en una instalación industrial que cuente con motores de inducción trifásicos, es decir aumentando la tensión del motor por encima de su valor de placa, considerado esto según la fórmula:

$$Pent = \sqrt{3} * VL * IL * cos\emptyset * n \qquad (1)$$

En la ecuación (1), se denota que la carga establece la potencia que el motor de inducción absorbe de la red, y ese valor es constante, pero si aumentamos la tensión de operación del motor, para que la potencia se mantenga constante el valor de la corriente disminuirá. Y esta disminución de corriente al circular por los conductores disminuirá las perdidas óhmicas, así como también las perdidas en el núcleo del estator y del rotor. Para que esto se logre se debe considerar de acuerdo a la norma NEMA, que el nivel de variación de tensión puede ser de ±10 % de su valor nominal. Por lo tanto, una diferencia de tensión por encima de su valor nominal tiene menos distorsión en la optimización del motor de inducción, es decir un ahorro de energético.

MARTIN DE LA BARRERA, Pablo. P*erdidas en el núcleo de motores de inducción: Aplicaciones al control y al diagnóstico de fallas.* Tesis Doctoral. Universidad Nacional Del Sur (Argentina). 2009, concluye que al analizar las variables de un motor de inducción estos muestran perdidas en el hierro, que son la reacción de la inductancia de magnetización, a partir de eso utiliza un método operacional donde indica el modelo matemático que representaría al circuito real, y utiliza ese modelo para una simulación en términos de reactancias cuyos ensayos realizados sirven para realizar arreglos matemáticos que luego utiliza para optimizar el funcionamiento del motor de inducción. Considerando además las pérdidas en vacío en función a la frecuencia y describe además que la variación de frecuencia no repercute en las perdidas del cobre del rotor, lo cual refuerza la mejora de potencia en función al tipo de barras del rotor. Relaciona además las pérdidas en vacío del motor de inducción que a su vez

las subdivide en pérdidas mecánicas y perdidas en el cobre, estas últimas son las relacionadas el nivel de tensión de trabajo de los motores ya que dependen de la corriente eléctrica y le resistencia óhmica que obtenga al realizar la conexión de los terminales del motor.

Por lo tanto, mencionamos que en esta investigación el objetivo es optimizar el trabajo de los motores de inducción para el ahorro de energía eléctrica basándonos en la elección adecuada del nivel de tensión de trabajo, permitiendo mostrar la mejora del rendimiento de estos de acuerdo a las pruebas realizadas en niveles de tensión estándares, y los resultados obtenidos.

MERCHAN MANZANO, H. *Evaluación de los efectos del arranque de motores de gran potencia en los sistemas eléctricos industriales,* Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Nacional (Quito). 1983, concluye que durante el arranque de un motor la caída de tensión en un sistema eléctrico no debe exceder al 2%, y que existe dos métodos de cálculo manual y digital que, al comparar el comportamiento mutuo entre el sistema eléctrico y un motor de inducción los resultados que se obtuvieron reflejaron una variación de pérdidas de potencia producidas al momento del arranque, comparando además que los motores de distintas potencias producen depresión de voltaje variantes, realizando además pruebas con arranque de motores independientes y arranques simultáneos para sus análisis. Por otro lado, también realizó una tabla completa de valores importantes del motor como: tiempo de arranque, torque, potencia desarrollada, voltaje de los bornes, entre otros destacando valores de los resultados para una recuperación del voltaje del borne del motor que no conlleven a mas perdidas de potencia y finalmente demostró que en su investigación el método de arranque más adecuado, así como el control del nivel de tensión en el arranque del motor de inducción, finalmente recomienda la utilización de la práctica de trabajo y la recolección de datos tanto del sistema del motor y su carga mecánica, siendo estos exactos, propios y reales para poder determinar sus curvas características de funcionamiento.

OBREGON LOZANO, Josue. *Medición de la eficiencia de motores de inducción utilizando el método de deslizamiento.* Tesis de maestría. Universidad Autónoma Nuevo León (México). 2005, concluye que en la mayoría de los casos analizados la velocidad del motor al 100% de carga indicada en la placa de características no coincide con la velocidad real del motor, y resalta que es necesario que el motor

opere a un determinado momento al 100% de carga para concluir que el método aplicado de medición si funcione, indica además que la variación de frecuencia y el desbalance de voltaje no determinan la medición, sino más bien, la calidad de energía con la que cuenta el suministro en el nivel de alta tensión. Concuerda además que no existe tipo de armónico que influya en los motores de inducción y que este efecto es difícil de cuantificar, pero demuestra que si es posible conocer la optimización de un motor de acuerdo a las pérdidas reflejadas hechas por el método aplicado en su investigación. Sus mediciones realizadas muestran resultados considerables con margen de error dentro del 3%, concluyendo que la eficiencia de motor de inducción varia del 70% al 100% y compara sus resultados obtenidos con métodos de deslizamiento y ecuaciones de 2° grado, para todo esto recomienda utilizar factores de carga inferiores al 60%, porque sus resultados son más exactos.

2.2 Bases Teóricas

Al respecto del ahorro de energía en motores de inducción existen varias investigaciones anteriores como:

2.2.1 Motor de inducción

El motor de inducción o llamado también motor asíncrono de inducción, es un dispositivo eléctrico encargo de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, esto se hace posible gracias a la acción de los campos magnéticos credos por la corriente alterna, estos motores son más utilizado en el ámbito industrial para dar potencia y poder realizar un trabajo, por ejemplo, en ventiladores, bombas de agua, maquinas mezcladoras, muchas de estas son sofisticadas, además trabajan con gran exactitud y par de velocidad bajos.

2.2.2 Clasificación de los motores

Motor de corriente continua

- Motor de excitación serie.
- Motor e excitación independiente.
- Motor de excitación en derivación o paralelo.
- Motor de excitación mixta o compuesta.
- Motor de imán remanente.

Motor de corriente alterna

- Motor síncrono.
- Motor asíncrono.

Motor monofásico

- Motor de bobinado auxiliar (con bobina de arranque).
- Motor de espira en cortocircuito.
- Motor serie universal.

Motor trifásico

- Motor de rotor bobinado
- Motor de rotor en cortocircuito

2.2.2.1 Motores asíncronos

En vista que estos motores son más comerciales, económicos, de fácil instalación y mantenimiento tiene una amplia aplicación en el sector industrial, en la figura N° 01 se puede observar las partes principales de un motor asíncrono.

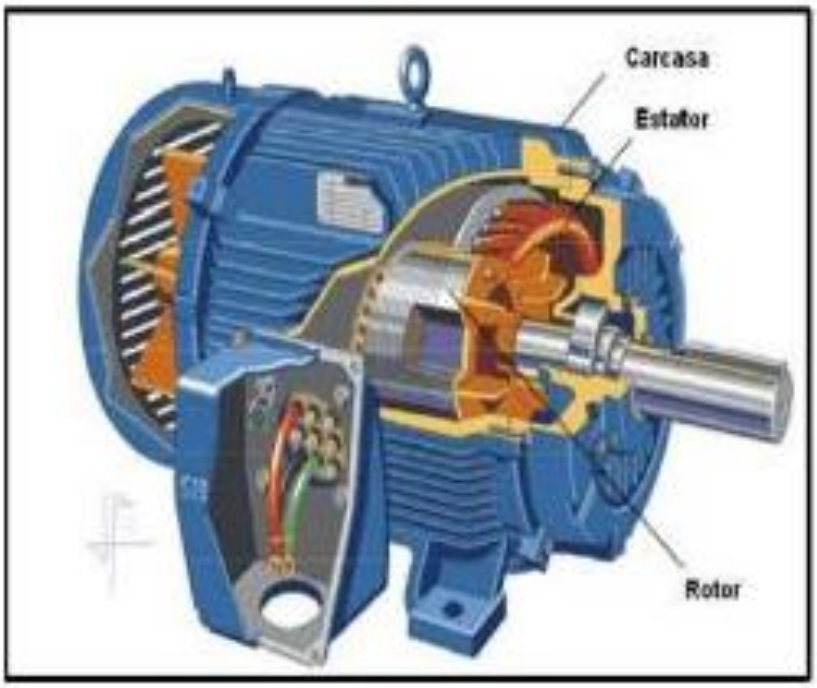


Figura N° 01 Motor asíncrono

Fuente: Motores eléctricos, Tecnología eléctrica,

Lleva el nombre de asíncrono por que la velocidad de flujo magnético es mayor a la velocidad real del rotor, es decir existe un asincronismo. Estas

máquinas basan el principio de funcionamiento en la acción del campo magnético oscilante y giratorio sobre un arrollamiento en cortocircuito.

2.2.2.2 Construcción de motores de inducción trifásico

Estos motores se utilizan para el funcionamiento de todo tipo de máquinas industriales, y esta de manera general se puede decir que sus partes principales son estator y rotor.

Sin embargo, para profundizar sus partes se muestra en la figura N° 02 el diagrama de sección de un motor de inducción trifásico.

De igual forma en la figura N° 03 se nota un ejemplo del despiece o bosquejo de explosión de un motor de inducción trifásico.

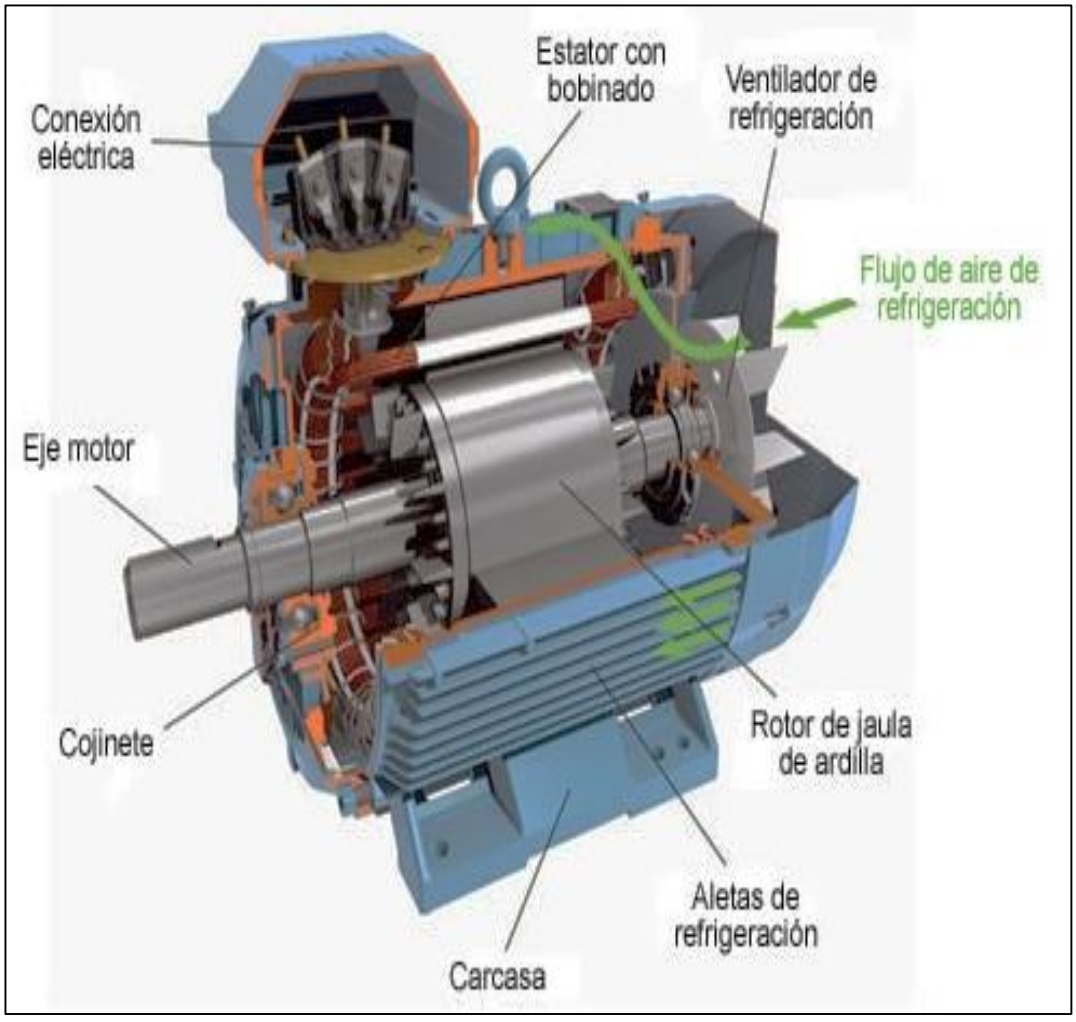


Figura N° 02 Partes de un motor de inducción

Fuente: http://www.aficionadosalamecanica.com

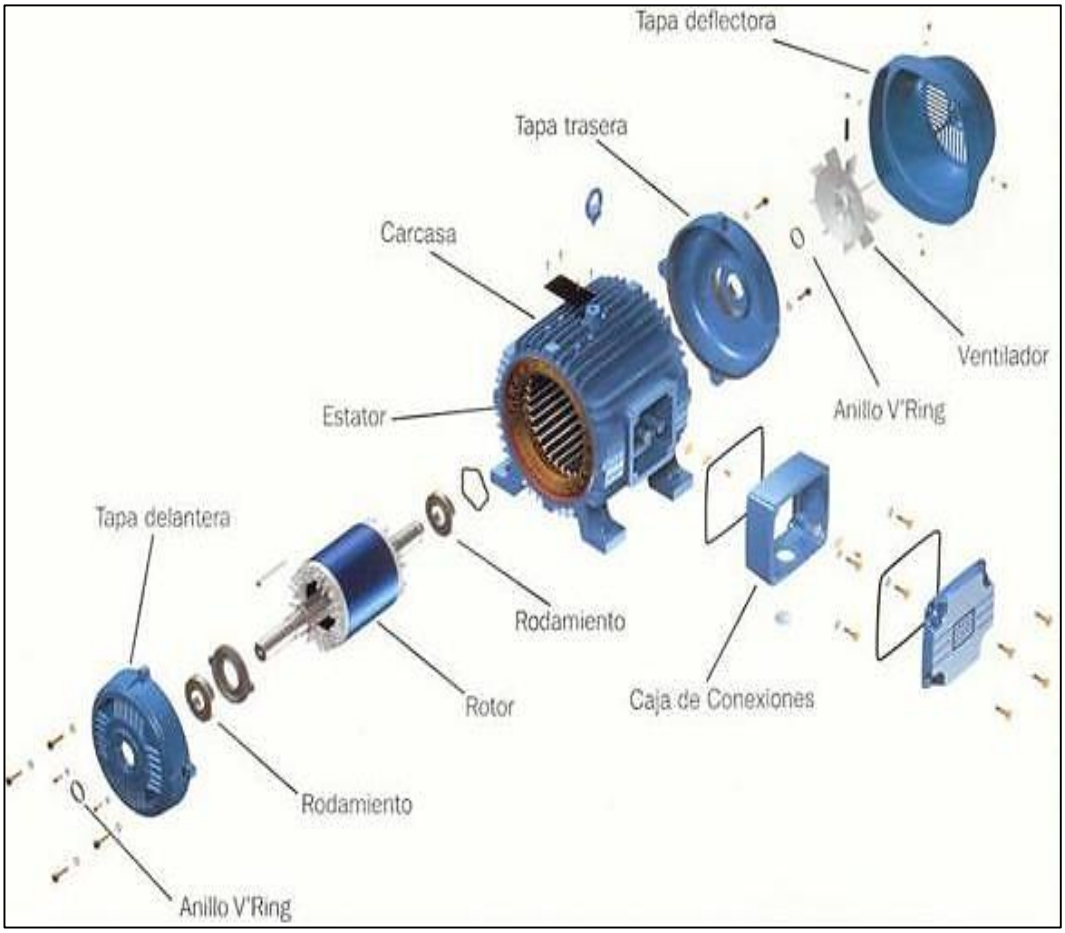


Figura N° 03 Despiece de motor asíncrono

Fuente: https://sites.google.com/site/tsistemastecnologicos2/6-motores-electricos/6-1-motores-de-corriente-alterna

El motor de inducción asincrónico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos (uno en el estator y otro en el rotor), por su parte, el circuito magnético está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en representación de un aro en el estator.

En la figura N° 04 se puede notar el rotor y estator de un motor de inducción.

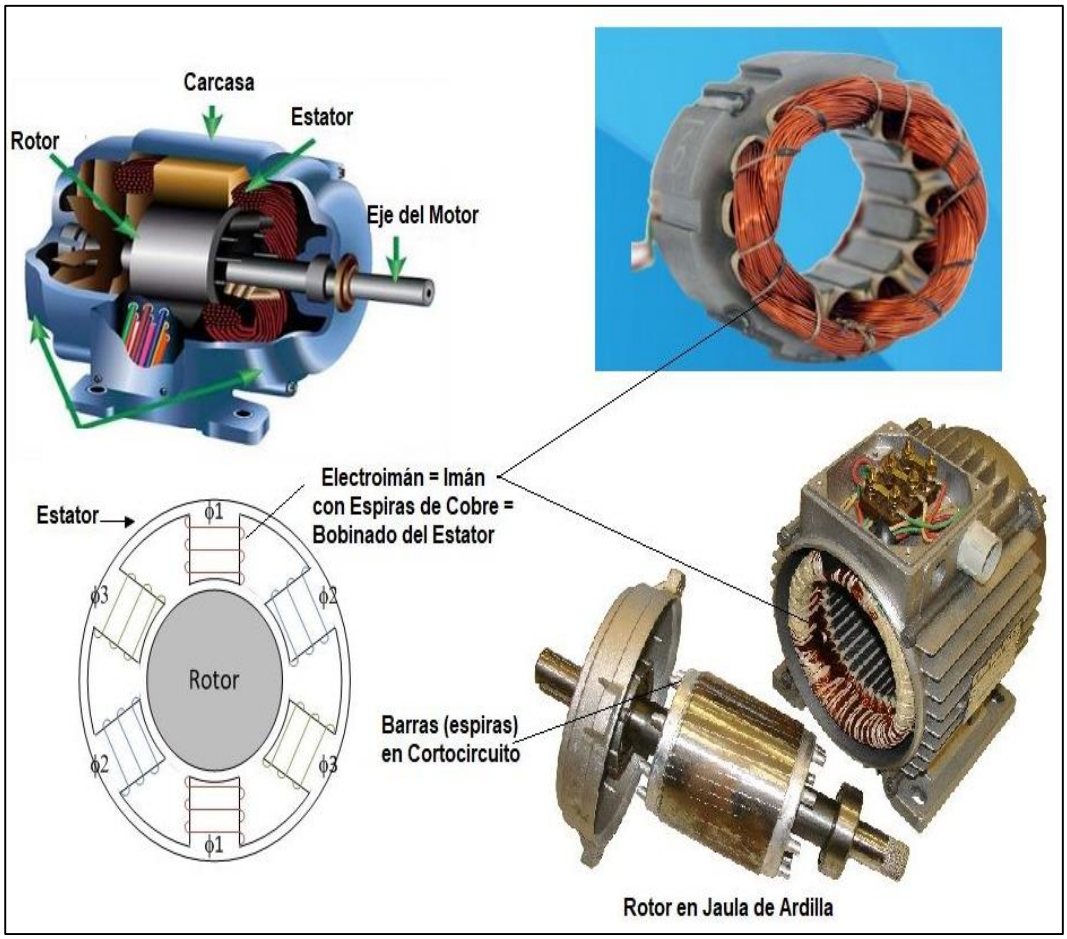


Figura N° 04 Estator y rotor de motor de inducción

Fuente: http://www.aficionadosalamecanica.com

2.2.2.3 Motores asíncronos de rotor bobinado

De estos motores, los devanados son similares a los que lleva en su estator, es decir debe de coincidir el número de polos, pero no necesariamente el número de fases. Los devanados del rotor van conectados a los anillos colectores que están fijados sobre el mismo eje, la aplicación de esto motores es amplia ya que garantiza un buen par de arranque que puede llegar hasta el 2.5 veces el par nominal, mientras que la intensidad de corriente en el arranque es la misma del par nominal. En la figura N° 05 se muestra el despiece de este tipo de motores.

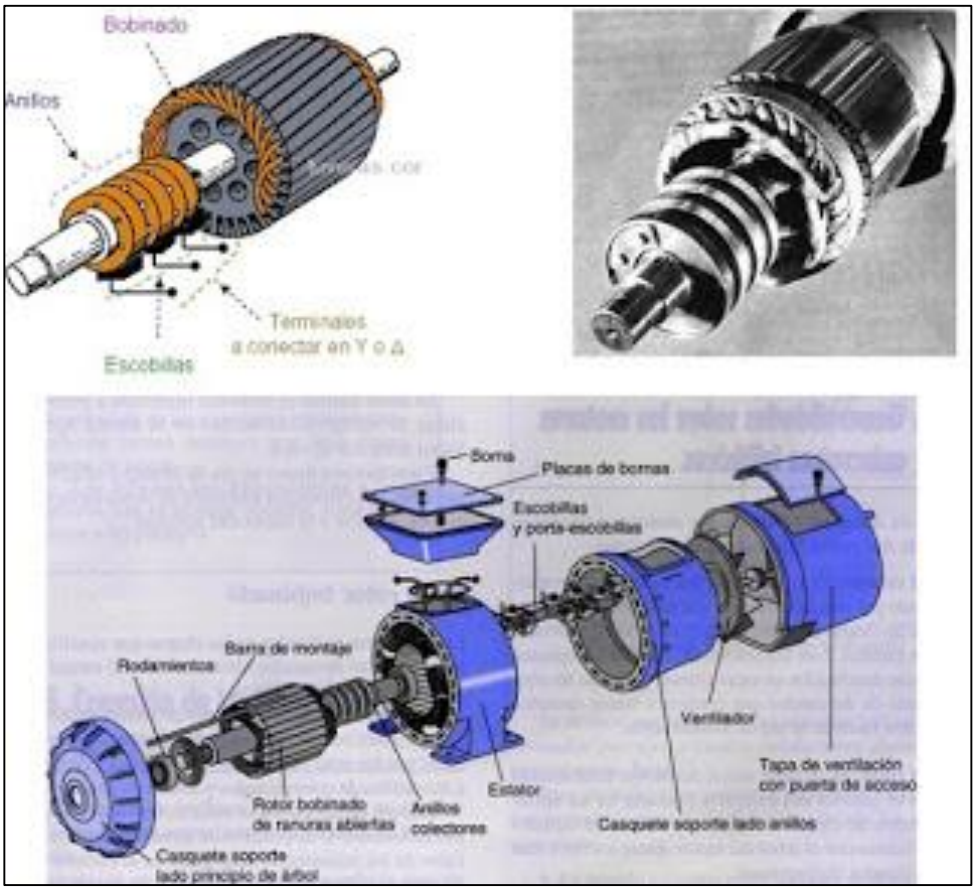


Figura N° 05 Motor asíncrono de rotor bobinado

Fuente: http://controleselectricos10-11.blogspot.com/2015/05/introduccion-las-maquinas-asincronas.html

2.2.2.4 Motores asíncronos tipo Jaula de ardilla.

En este tipo de motores los conductores del rotor se encuentran distribuidos simétricamente en la periferia del rotor. Las ranuras del rotor suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos en la inducción electromagnética y disminuir el ruido. Un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla es que en el arranque absorbe una corriente elevada de hasta 7 veces la nominal, y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo. La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante. Hasta hace unos cuantos años (década de los 90), un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero actualmente gracias al avance de la tecnología se puede conseguir

un control perfecto de prácticamente el total de sus parámetros del motor, entre los que destacan el par, corriente absorbida y velocidad de giro.

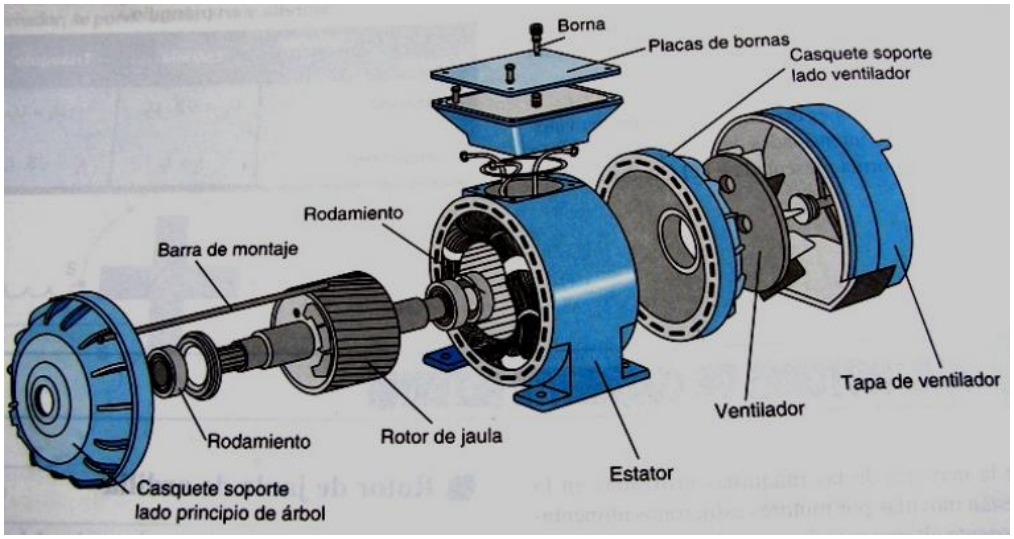


Figura N° 06 Motor asíncrono con rotor de Jaula de ardilla
Fuente:http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/1eva/introduccion_motores_ca.pdf

2.2.2.5 Principio de operación del motor de inducción

El trabajo de estos motores de inducción se basa en la interacción dela parte móvil (rotor) y la parte fija (estator) por medio de la inducción electromagnética. Al utilizar una corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras del estator se produce un campo magnético rotante que oscila de acuerdo a la frecuencia de la corriente alterna que energiza al motor. Este campo induce corrientes en el rotor, que a su vez producirá un campo magnético giratorio a la velocidad sincrónica con respecto al estator. Gracias a la iniciación de inducción mutua, se produce un par motor que hace que el rotor gire.

Para que se produzca el par de arranque que haga que gire el motor, la velocidad del rotor será levemente inferior a la del campo rotante (velocidad de sincronismo), de ahí el nombre de motores asincrónicos. A la diferencia de velocidades se denomina resbalamiento o deslizamiento.

La igualdad de velocidades del campo magnético (velocidad de sincronismo) se da por la fórmula (2):

$$n = \frac{120 * \mathrm{f}}{\#\,\mathrm{p}} \qquad (2)$$

Donde:

n: Velocidad sincrónica en revoluciones por minuto (rpm)

f: Frecuencia de la red en Hertz (Hz)

#p: Número de polos del motor

Todos los motores asíncronos de inducción presentan una placa de características donde se puede observar los valores nominales de diseño y funcionamiento para los que el motor ha sido fabricado, toda la información que se encuentra en esta placa es importante para poder realizar su correcta instalación y que este motor opere con protección adecuada, en la figura N° 07 se nota la placa de características de un motor asíncrono de inducción.

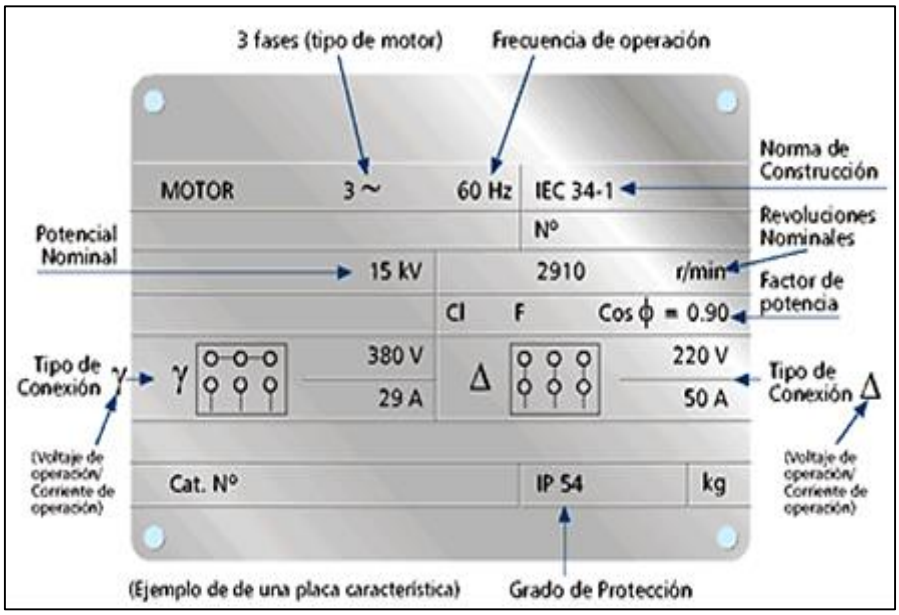


Figura N° 07 Placa de características de motor asíncrono de inducción

Fuente:https://www.todoexpertos.com/preguntas/7e7aci759wmdhdyp/quien-sabe-de-motores-monofasicos-y-trifásicos

El motor de inducción asíncrono está formado por un estator y un rotor, el estator tiene un devanado bobinado inductor mientras que el rotor es el inducido en corto circuito. Al estator se conecta la red de tensión alterna y este produce un campo magnético oscilante que induce una fuerza electromotriz en el rotor que a la vez reacciona y crea una fuerza magneto motriz que hará girar al inducido a una determinada velocidad. Este efecto se puede ver en la figura N° 08.

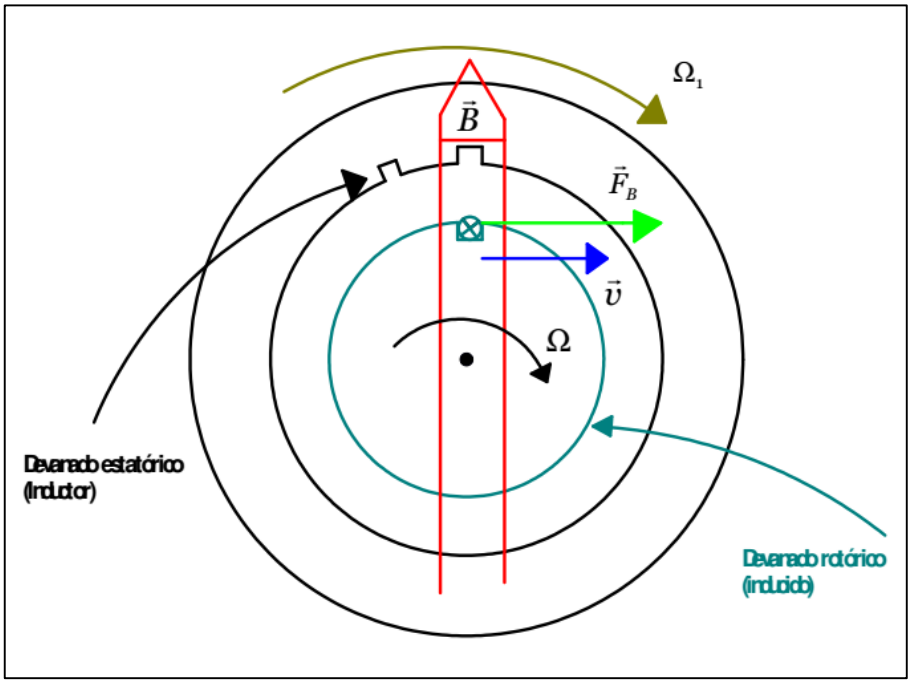


Figura N° 08 Modelo simplificado de estudio de un conductor en el motor de inducción

Fuente: Ahorro energético Universidad de Sevilla

Debido al campo magnético creado en el estator se induce una fuerza electromotriz que provoca el espectro de una intensidad de corriente en las barras del rotor. Esta intensidad de corriente junto al campo magnético provocara una fuerza que se obtiene haciendo uso de la ley de Ley de Biot-Savart para un conductor:

$$\vec{F}_B = L \cdot \vec{i} \times \vec{B} \qquad (3)$$

Donde:

$\vec{F}_B$: Fuerza generada por el campo $\vec{B}$.
L: Longitud del conductor.
$\vec{i}$: Intensidad que circula por el conductor.
$\vec{B}$: Campo magnético giratorio.

Luego de obtener la resultante de la ecuación se puede expresar el par de arranque que este genera, por ejemplo:

Resultante de la ecuación:

$$\left|\vec{F}_B\right| = L \cdot i \cdot \vec{B} \qquad (4)$$

Par de arranque producido:

$$M_B = \left|\vec{F}_B\right| \cdot r = L \cdot i \cdot B \cdot r$$

Donde:

r: Radio del rotor.
M_B: Par motor.

Este par de arranque a su vez provoca la velocidad del rotor, que es desigual a la velocidad de rotación del campo, esta desigualdad de velocidades se conoce como resbalamiento o deslizamiento.

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

Donde:

s: Deslizamiento

n_1: Es la velocidad de sincronismo en rpm

n: Es la velocidad de giro del rotor en rpm

A continuación, se representa el circuito semejante de fase un motor asíncrono de inducción:

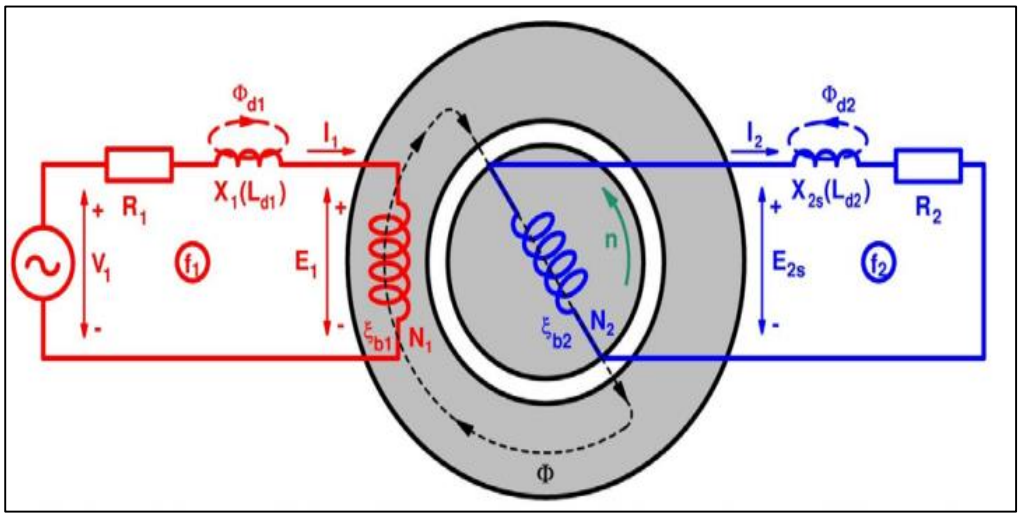


Figura N° 09 Esquema por fase de un motor asíncrono polifásico

Fuente: Electrotecnia para ingenieros no especialistas, Universidad de Cantabria

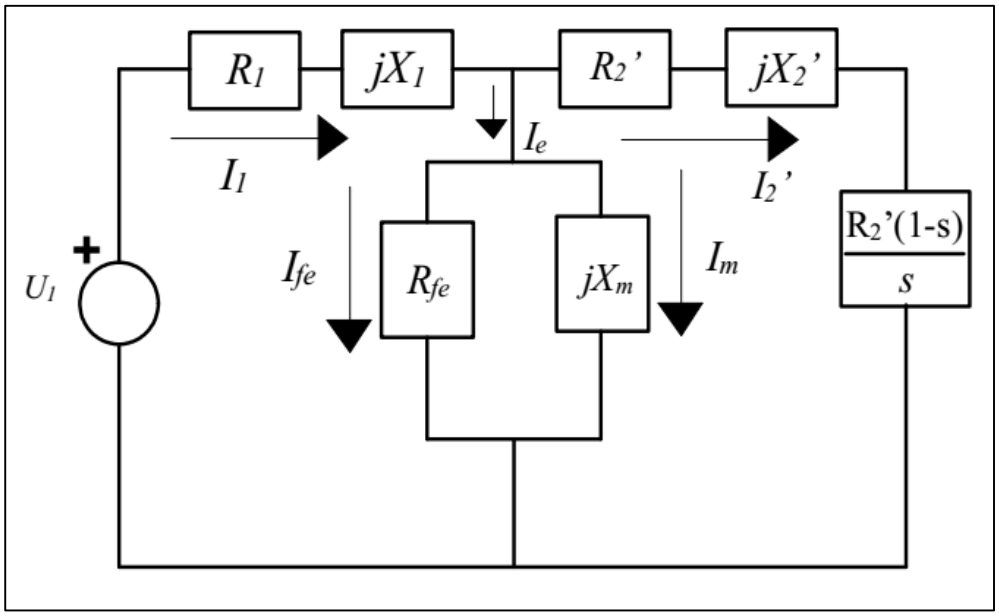


Figura N° 10 Circuito correspondiente al de motor de inducción.

Fuente: Ahorro energético Universidad de Sevilla.

Donde:

U1: Diferencia de potencial de la red.

I1: Intensidad del estator (Intensidad consumida de la red).

I2': Intensidad que atraviesa el rotor expresada en el estator.

Ie: Intensidad de excitación.

Ife: Intensidad de la rama que expresa las perdidas en el hierro.

Im: Intensidad de magnetización.

R1: Resistencia del estator.

jX1: Reactancia de dispersión del estator.

R2': Resistencia del rotor expresada en el estator.

s: Deslizamiento.

jX2': Reactancia de dispersión del rotor expresada en el estator.

jXm: Reactancia de magnetización.

Rfe: Resistencia de pérdidas en el hierro.

Este circuito sirve para poder analizarlo y realizar el cálculo de potencia, pérdidas y rendimiento.

Para el análisis de potencias se realiza el siguiente esquema:

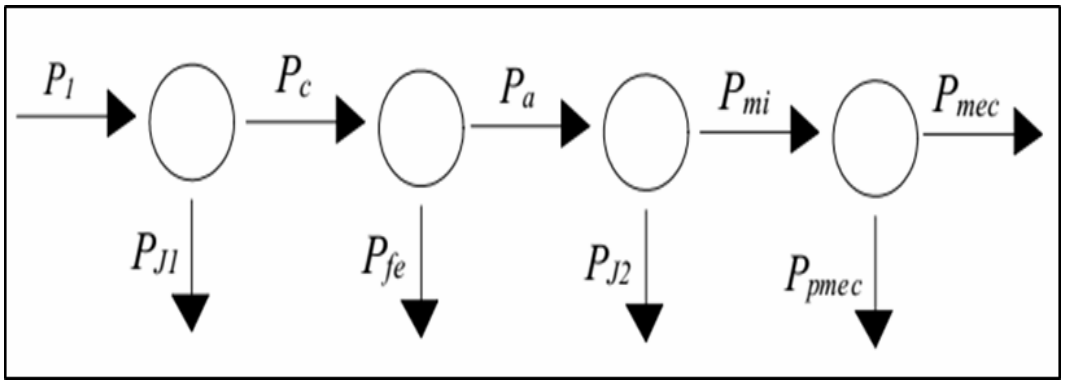


Figura N° 11 Balance de potencia de motor asíncrono de inducción.

Fuente: Ahorro energético Universidad de Sevilla.

Donde:

P1: Potencia consumida de la red.

PJ1: Pérdidas por efecto Joule en el estator.

Pc: Potencia en el campo magnético.

Pfe: Pérdidas por efecto Joule en el hierro (circuito magnético de la máquina)

Pa: Potencia en el aire o en el entrehierro.

PJ2: Pérdidas por efecto Joule en el rotor.

Pmi: Potencia mecánica interna.

Ppmec: Pérdidas mecánicas.

Pmec: Potencia mecánica útil.

El rendimiento de un motor se obtiene como:

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_1}$$

2.2.2.6 Niveles de tensión estándares en baja tensión

El nivel de tensión, es uno de los valores nominales utilizados en un sistema dado.

Según el Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011), el nivel de baja tensión (B.T.), es un conjunto de niveles o valores de tensión utilizados para la distribución de la electricidad, su límite superior

generalmente es inferior o igual a 1000 voltios.

En el inciso 017.A del Código Nacional de Electricidad se indica que los niveles de tensión existentes y las tensiones recomendadas son:

Baja tensión:

- 380/220 v
- 440/220 v

2.2.2.7 Tipos de arranque para motores asíncronos de inducción

Los motores asíncronos de inducción pueden ser conectados a distintos niveles de tensión estándares en baja tensión, y al ser conectados absorben una gran cantidad de corriente eléctrica, el nivel de la corriente eléctrica que consuma está ligado al nivel de tensión al que el motor ha sido sometido. Esto se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{746 * \text{HP}}{\sqrt{3} * V * Cos\ \emptyset * n}$$

Donde:

I: Corriente nominal del motor (amperios).

HP: Potencia del motor asíncrono de inducción en caballos de fuerza (HP)

V: Tensión de línea (voltios).

Cos Ø: Factor de potencia.

n: Rendimiento del motor.

Como se observó en la formula anterior, el nivel de tensión cumple una función importante para el arranque de los motores de inducción, y de esto también dependerá el tipo de arranque de los motores de inducción.

Arranque directo:

Consiste en energizar el motor directamente al nivel de tensión de la red, en un único tiempo, para este tipo de arranque el motor cumple con ciertas características:

- **Ventajas:**
  - Arranque simple de instalar.
  - Económico.
  - El motor presenta un buen par de arranque.

- **Inconvenientes:**
  - Corriente de arranque elevada.
  - El tiempo de arranque es de 2 a 3 segundos.
  - Es un arranque brusco.
  - Su aplicación se limita para motores de bajas potencias inferiores a los 10 HP que trabajen a plena carga.

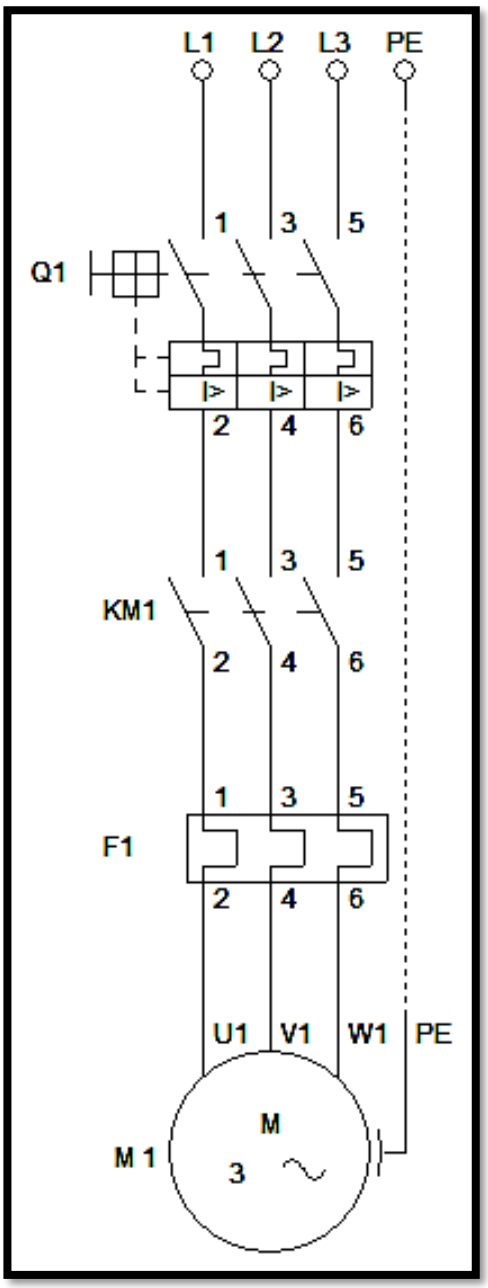


Figura N° 12 Circuito de fuerza de arranque directo de motor asíncrono de inducción.

Fuente: Propia

- **Curvas características del arranque directo:**

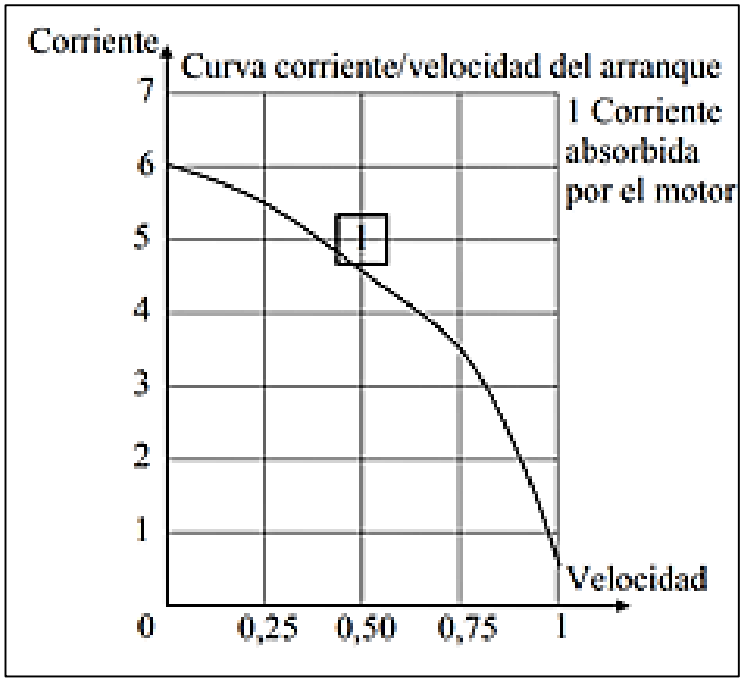


Figura N° 13 Análisis de curvas características de arranque CORRIENTE-VELOCIDAD.

Fuente: Arranque de motores de inducción, TEIQ

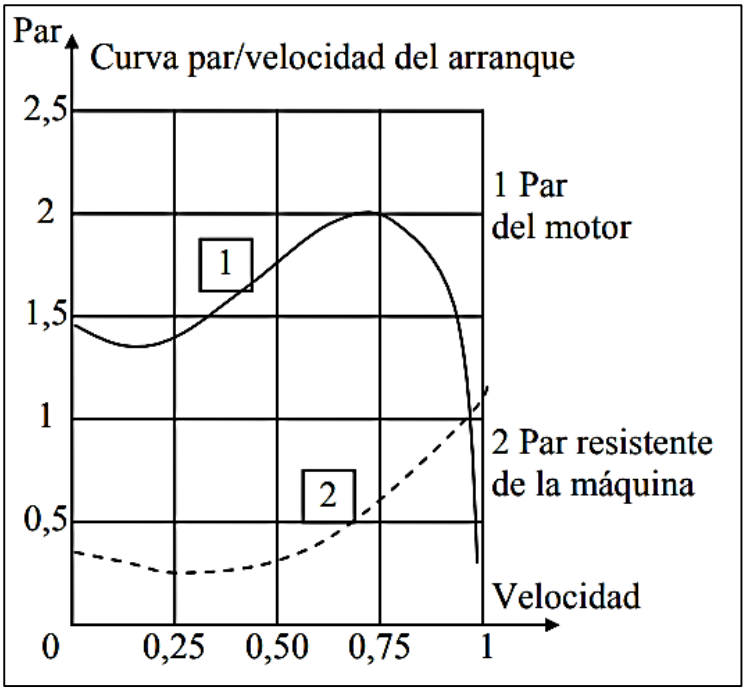


Figura N° 14 Análisis de curvas características de arranque PAR-VELOCIDAD.

Fuente: Arranque de motores de inducción, TEIQ

Arranques a tensión reducida:

Consiste en arranar el motor bajo una tensión inferior a la tensión nominal de la red, esto se logra colocando momentáneamente en serie los devanados del mismo motor, para controlar la operación normalmente se utiliza un temporizador.

- **Arranque estrella triangulo:**

  Diseñado generalmente para tensiones de 220 y 440 Vac.

  Para el caso de 220 V, consiste en arrancar el motor inicialmente en conexión doble estrella para luego pasar a conexión doble triángulo.

  Para el caso de 440 V, consiste en arrancar el motor inicialmente en conexión estrella simple para luego pasar a conexión triángulo simple.

- **Arranque estrella:**

  Diseñado generalmente para tensión de 380 Vac, consiste en arrancar el motor inicialmente en conexión estrella simple para luego pasar a conexión doble estrella.

Ventajas del arranque a tensión reducida

- Arranque económico
- Buena relación PAR-CORRIENTE
- La corriente de arranque puede reducirse hasta un tercio en comparación con un arranque directo.
- Arranques conocidos para las tensiones estándares en baja tensión.

Inconvenientes

- Bajo par de arranque.
- Sin posibilidad de maniobra.
- Desconexión de alimentación de energía momentáneo en la conmutación de acoplamientos.
- Par las tensiones de 220 y 440 Vac, el motor debe de contar con 6 terminales.
- Par las tensiones de 380 Vac, el motor debe de contar con 9 o 12

terminales (en caso de ser 12 se configurar los bornes para 9 terminales).

- Tiempo de arranque variable (en función a que el motor supere al menos el 80% de su velocidad nominal)
- Aplicaciones habituales para maquinas con arranque en vacío.

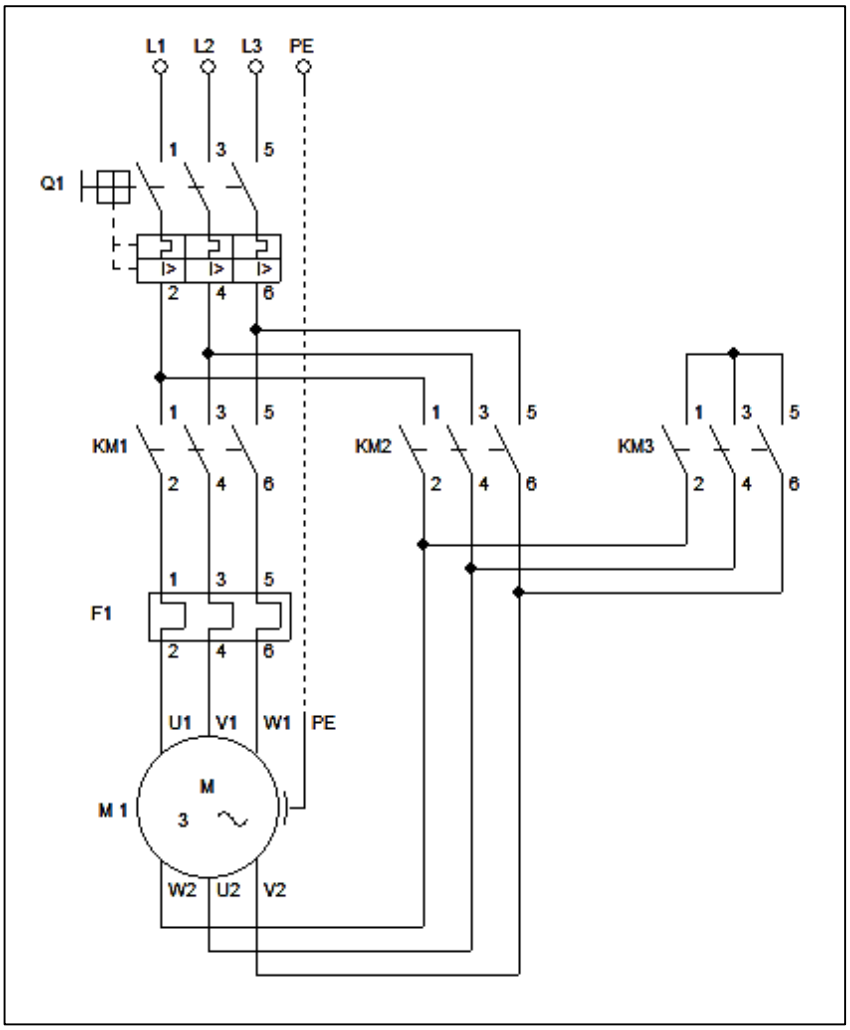


Figura N° 15 Circuito de fuerza de arranque estrella triángulo.

Fuente: Propia

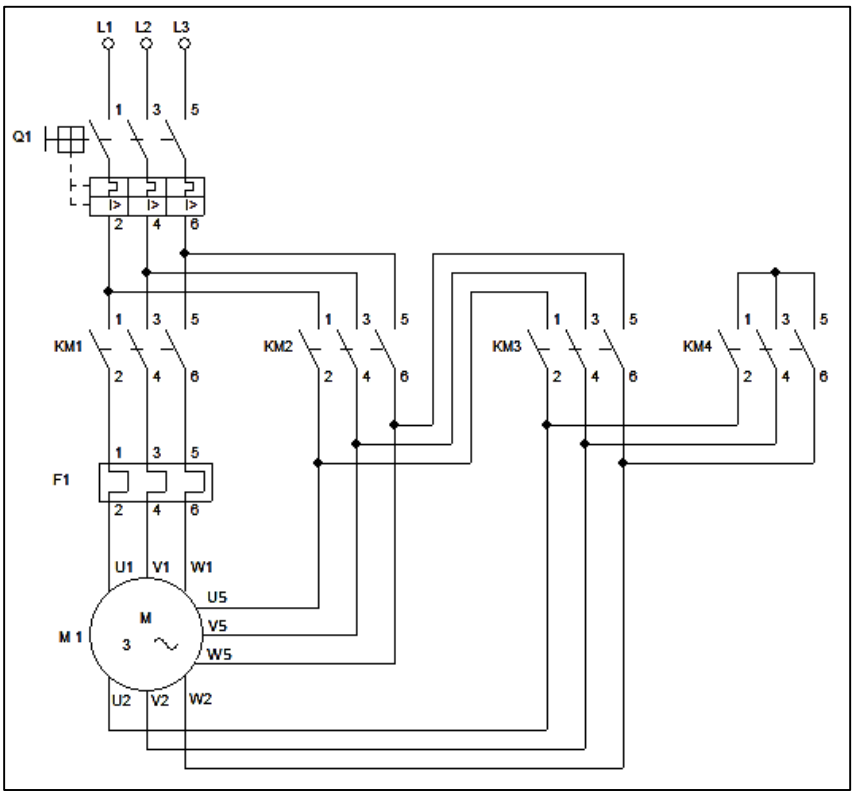


Figura N° 16 Circuito de fuerza de arranque estrella.

Fuente: Propia

- **Curvas características de arranque a tensión reducida:**

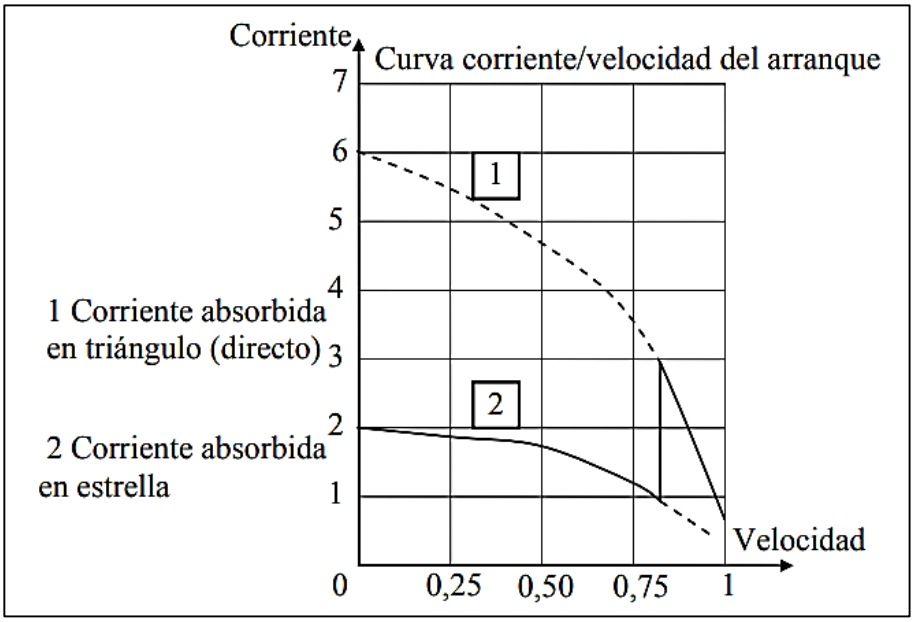


Figura N° 17 Análisis de curvas características de arranque CORRIENTE-VELOCIDAD.

Fuente: Arranque de motores de inducción, TEIQ

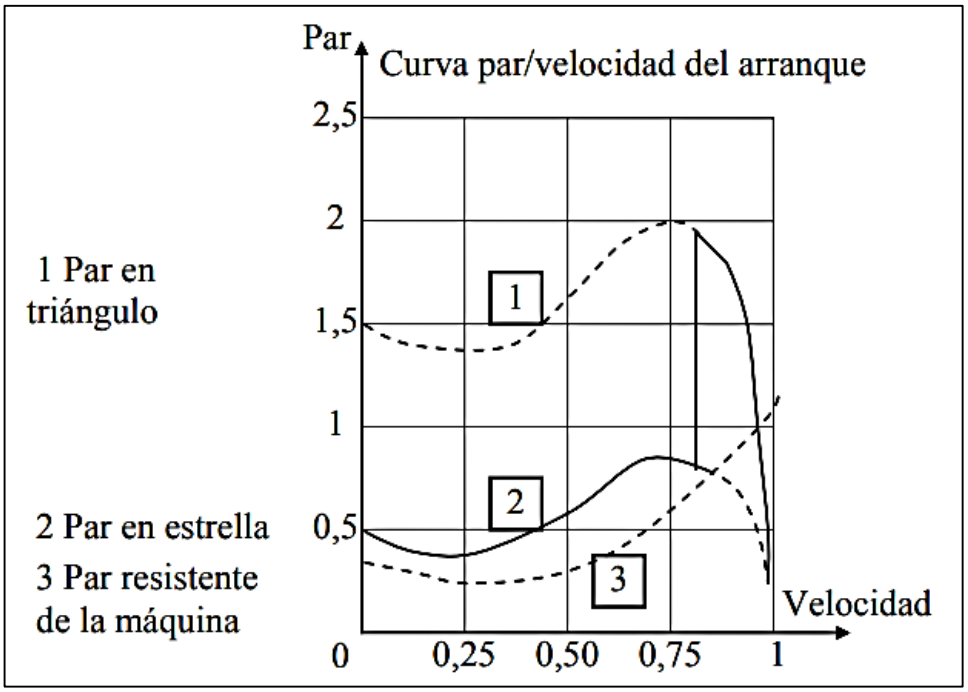


Figura N° 18 Análisis de curvas características de arranque PAR-VELOCIDAD.
Fuente: Arranque de motores de inducción, TEIQ

2.2.3 Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es la suficiencia de poder generar energía de una maquina eléctrica, equipo o una conexión por un determinado tiempo.

2.2.3.1 Tipos de potencia

En cualquier tipo de circuito eléctricos, para su correcto trabajo se pueden notas las siguientes potencias.

- Potencia aparente: Es la que determina la suficiencia de una transformación y es el efecto de considerar la tensión aplicada con el consumo de corriente eléctrica que esta demanda. Se da en unidades de volt-ampere (VA), y se representa con la letra “S”, matemáticamente en un sistema trifásico puede ser expresada como:

$$S = \mathrm{V} * \mathrm{I} * \sqrt{3}$$

Donde:

S= Potencia aparente en volt-ampere (VA)

V= Tensión de línea en voltios (V)

I = Corriente de línea en amperios (A)

- Potencias reactivas: Es la potencia que es creada por los campos magnéticos rotantes por ejemplo en los motores o reactores de iluminación, que conmutan con la red trifásica sin un gasto de potencia útil o activa, matemáticamente se expresa:

$$\mathrm{Q} = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Donde:

Q= Potencia reactiva en volt-ampere-reactivo (VAR)

S= Potencia aparente en volt-ampere (VA)

P= Potencia activa en Watt (W)

- Potencia activa: Es la potencia útil, es el caso de motores de inducción, es la potencia que se obtiene en el eje del motor, matemáticamente se expresa como:

$$P = \mathrm{V} * \mathrm{I} * \sqrt{3} * Cos\emptyset$$

Donde:

P= Potencia activa en Watt (W)

V= Tensión de línea en voltios (V)

I = Corriente de línea en amperios (A)

Cos Ø= factor de potencia

El factor de potencia interviene en el funcionamiento del motor y su valor puede mostrar que un porcentaje de la potencia total es evidentemente usado para realizar un trabajo, es decir es un índice de la utilización de calidad y cantidad de la energía.

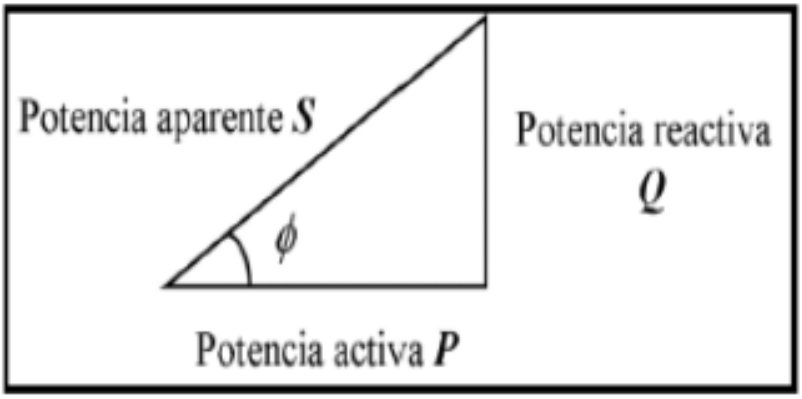


Figura N° 19 Triangulo de potencias.

Fuente: Fuentes de electricidad. Mario A. Renzett, 2008

El motor de inducción o llamado también motor asíncrono de inducción, es un dispositivo eléctrico encargo de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, esto se hace posible gracias a la acción de los campos magnéticos credos por la corriente alterna, estos motores son más utilizado en el ámbito industrial para dar potencia y poder realizar un trabajo, por ejemplo, en ventiladores, bombas de agua, maquinas mezcladoras, muchas de estas son sofisticadas, además funcionan con gran precisión y par de velocidad bajos.

2.2.4 Eficiencia eléctrica

La eficiencia de un motor es considerada como la relación entre la potencia mecánica de salida (potencia mecánica) y la potencia eléctrica de entrada (potencia absorbida), considerado desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico, es decir:

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ mecánica\ de\ salida}{Potencia\ eléctrica\ de\ entrada} = \frac{Potencia\ eléctrica\ que\ entra - Pérdidas}{Potencia\ eléctrica\ que\ entra}$$

2.2.5 Rendimiento

El rendimiento de un motor de inducción se expresa de la siguiente manera, Puede decirse que el rendimiento de un motor eléctrico es la medida de la capacidad que tiene el motor para convertir la energía eléctrica en energía mecánica:

$$n = \frac{Potencia\ util}{Total\ de\ pérdidas}$$

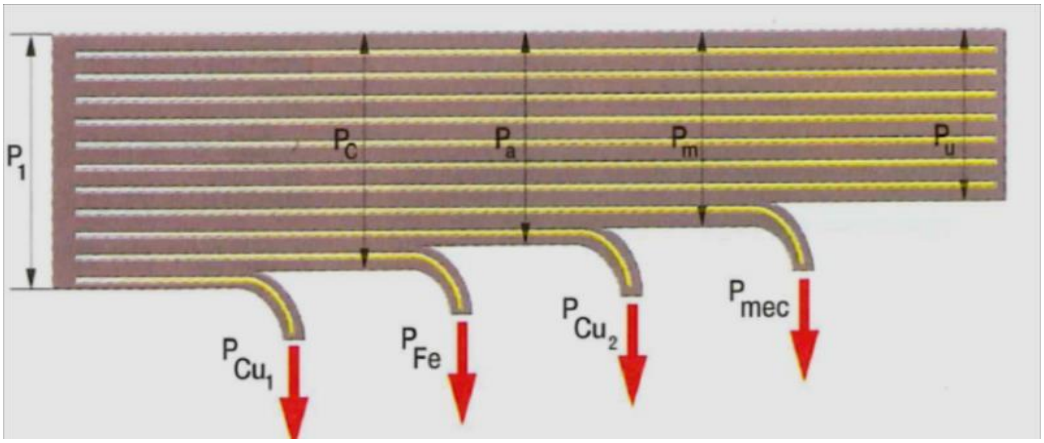


Figura N° 20 Rendimiento de un motor asíncrono.

Fuente: FIDE (Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica).

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Definición de términos conceptuales

Para el resultado del actual trabajo de investigación, se utiliza una variable dependiente que es Ahorro energético y la variable independiente que es Motor de Inducción, respectivamente:

VI: Motor de Inducción

VI: Ahorro energético

- El Motor de Inducción es una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna cuya función principal es la transformación de energía eléctrica en energía mecánica.
- El ahorro energético en la optimización del consumo con el objetivo de brindar el mismo servicio, pero con un beneficio económico.

2.3.2 Definición de términos operacionales

Motor de Inducción: Es la variable que expresa el total de la transformación del campo magnético producido en el estator y luego este inducido hacia el rotor, para que este último tenga una velocidad y par de arranque.

Ahorro de Energía Eléctrica: Es la variable que expresa cuando una máquina o equipo accionado mediante los distintos niveles estándares de tensión emplea distintos consumos de energía, pues varia las corrientes de arranque dependiendo del nivel de tensión y del tipo de arranque que se realiza al motor y todo esto implicara en la reducción del costo energético.

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

Para el actual proyecto de investigación se está utilizando el método de investigación sistemático, en vista que se va a considerar la relación entre los componentes de los motores de inducción, así como su funcionamiento en los distintos niveles de baja tensión normalizados. Del mismo modo se utilizará un diseño experimental puro, que nos permitirá verificar los fenómenos que se dan en el contexto de este proyecto, para luego ser analizados y buscar la relación o no relación entre las variables independiente e independiente.

3.1.2 Alcance de la investigación

Así mismo con el diseño de investigación aplicativo, experimental puro se manipularán los distintos tipos de arranque referidos en el proyecto a fin de investigar las consecuencias que tiene la variable independiente en comparación a la variable dependiente con el fin de alcanzar la confiabilidad y buena selección del nivel de tensión a utilizar para el funcionamiento adecuado de motores de inducción.

Para esto se utilizará el nivel e investigación experimental comparativa, con el fin de lograr optimizar el trabajo del motor de inducción, así como de establecer conocimientos adecuados para la correcta utilización o selección del nivel de tensión estándar en baja tensión.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es aplicativo, experimental puro; esto nos permitirá notar los fenómenos y así como se muestra en su contexto para luego ser analizados y ver la relación que existe entre la variable independiente y la variable dependiente, esto haciendo uso de tablas de registro de datos.

Dentro del diseño de investigación experimental pura se manipularán dos variables independientes (tipo de arranque directo y tipo de arranque a tensión reducida) par de esa manera poder analizar las diferencias que tiene sobre la variable dependiente (ahorro de energía). Del mismo modo, con eso se realizará la prueba de hipótesis que demostrará o negará la intención y el objetivo de la investigación.

Diseño de investigación aplicativo, experimental:

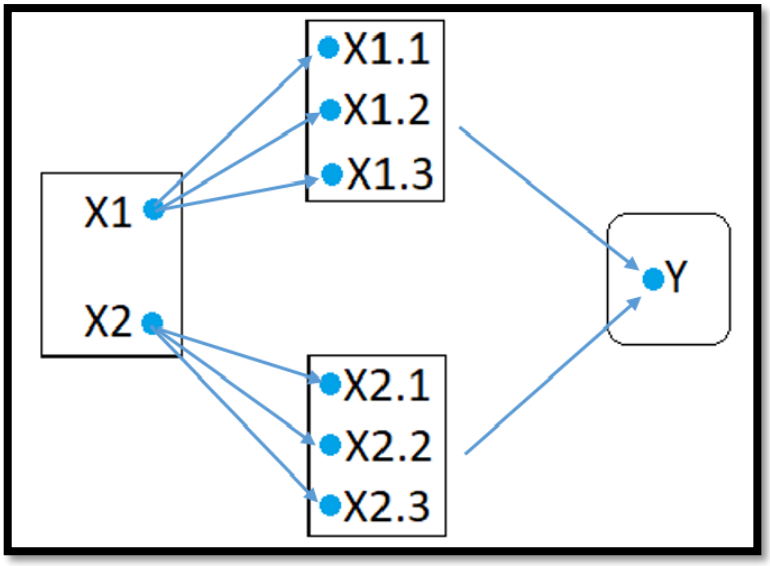


Figura N° 21 Diseño de investigación.

Fuente: Propia

Donde:

X1: Arranque directo.

X2: Arranque especial a tensión reducida.

X1.1: Nivel de tensión 220 Vac.

X1.2: Nivel de tensión 380 Vac.

X1.3: Nivel de tensión 440 Vac.

X2.1: Nivel de tensión 220 Vac.

X2.2: Nivel de tensión 380 Vac.

X2.3: Nivel de tensión 440 Vac.

Y: Consumo de energía.

El diseño de investigación es aplicativo, experimental puro; esto nos permitirá notar los fenómenos y así como se muestra en su contexto para luego ser analizados y ver la relación que existe al hacer funcionar un motor asíncrono trifásico en cada uno de los niveles de tensión mencionados.

3.3 Unidad de observación:

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se utilizará un analizador de redes, este instrumento gracias a las características técnicas y de funcionamiento no mostrará todos los parámetros necesarios que serán recolectados en las respectivas tablas para poder ser analizados y comparados.

De los datos que se obtendrán del analizador de redes los más resaltantes eran el factor de potencia, la potencia activa, la potencia reactiva y la potencia aparente, todos estos datos se obtendrán haciendo trabajar un motor de inducción trifásico de la marca WEG de 1 HP de potencia, que cuenta con características de poder funcionar a distintos niveles de tensión estándar en baja tensión.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Con referencia a la recolección de datos se utilizó los registros del funcionamiento de distintos motores de inducción para cada nivel de tensión estándares en baja tensión.

Se analizaron de manera estadística inferencial, para poder determinarlo ya que esto nos permitió establecer las propiedades de la investigación considerando la información de un modelo representativo, para luego ser generalizado.

El total de información obtenida mediante la aplicación de técnicas a instrumentos indicados en este proyecto, junto con los informantes y fuentes indicadas, son incorporados a un Excel, y con ellos se elaboró información y determinaciones porcentuales.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Concerniente a la instrumentación que se utilizó para recolección de datos se usó la información guardada que emite un analizador de redes del tipo CIRCUTOR CVM-NRG96, que entrega reportes del trabajo de operación del motor de inducción.

Figura N° 22 Analizador de redes del tipo CIRCUTOR CVM-NRG96.

Fuente: http://docs.circutor.com/docs/M98172501-01.pdf

CAPÍTULO VI:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

Dentro del desarrollo industrial eléctrico, muchas de las industrias en Perú, cuentan con motores de inducción, y estas a su vez pueden funcionar con cualquiera de los diferentes niveles estandarizados de tensión en baja tensión. Donde el coste de energía es generado por el total de máquinas que funcionan durante un tiempo determinado, para este proyecto se toma como referencia los motores de marca WEG de 1 HP.

4.1.1 Ensayos experimentales para obtención de parámetros

Para iniciar se requiere primero en conocer el motor de inducción a utilizar en la experimentación, este será un motor de inducción trifásico de corriente alterna de marca WEG de 1 HP.

Figura N° 23 Placa de características de motor utilizado.

Fuente: Propia

Figura N° 24 Motor de inducción utilizado

Fuente: Propia

- **Pruebas realizadas a 220 Vac:**

NIVEL DE TENSIÓN: 220 VAC							
	VOLTAJES (v)	**CORRIENTES (A)**	**POTENCIA ACTIVA (KW)**	**POTENCIA REACTIVA (KVAr)**	**PF (factor de potencia)**	**ÍNDICE DE ARMÓNICO EN TENSIÓN THD (V)**	**ÍNDICE DE ARMÓNICO EN CORRIENTE THD (A)**
L1	225	1.88	0.032	0.232	0.12	2.3	6.5
L2	220.2	2.28	0.112	0.28	0.35	2.1	5.3
L3	215.2	1.576	0.064	0.184	0.31	2.1	9

Tabla N° 02 Toma de datos extraídos del analizador de redes a 220 Vac.

Fuente: Propia

PROMEDIOS	
POTENCIA ACTIVA (KW)	**0.2**
POTENCIA REACTIVA (KVAr)	0.704
POTENCIA APARENTE (KVA)	0.735
FRECUENCIA (HZ)	60
FACTOR DE POTENCIA (COS)	0.26

Tabla N° 03 Promedios finales extraídos del analizador de redes a 220 Vac.

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla N° 02, se muestran los resultados del arranque directo, que coinciden con el arranque a tensión reducida (para este caso es arranque estrella - triángulo), de esta tabla de observa un desbalance en los niveles de corriente, que difieren a consecuencia de la tensión de línea. Estos son reflejos de los posibles armónicos que se crean en las ondas de tensión y corriente.

Para la tabla N° 03 se denota el consumo total de potencia aparente que es de 0.735 KVA, y un factor de potencia de 0.26.

- **Pruebas realizadas a 380 Vac:**

NIVEL DE TENSIÓN: 380VAC							
	VOLTAJES (v)	CORRIENTES (A)	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAr)	PF (factor de potencia)	ÍNDICE DE ARMÓNICO EN TENSIÓN THD (V)	ÍNDICE DE ARMÓNICO EN CORRIENTE THD (A)
L1	378.6	1.12	0.072	0.232	0.29	1.96	6.7
L2	377.4	1.088	0.056	0.232	0.2	2	7.1
L3	380.7	1.16	0.056	0.24	0.22	2.1	8.9

Tabla N° 04 Toma de datos extraídos del analizador de redes a 3800 Vac.

Fuente: Propia

PROMEDIOS	
POTENCIA ACTIVA (KW)	**0.184**
POTENCIA REACTIVA (KVAr)	0.704
POTENCIA APARENTE (KVA)	0.728
FRECUENCIA (HZ)	60
FACTOR DE POTENCIA (COS)	0.25

Tabla N° 05 Promedios finales extraídos del analizador de redes a 380 Vac.

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla N° 04, se muestran los resultados del arranque directo, que coinciden con el arranque a tensión reducida (para este caso es arranque estrella - estrella), de esta tabla de observa un desbalance en los niveles de corriente, que difieren a consecuencia de la tensión de línea. Estos son reflejos de los posibles armónicos que se crean en las ondas de tensión y corriente.

Para la tabla N° 05 se denota el consumo total de potencia aparente que es de 0.728 KVA, y un factor de potencia de 0.25.

- **Pruebas realizadas a 440 Vac:**

NIVEL DE TENSIÓN: 440 VAC							
	VOLTAJES (v)	CORRIENTES (A)	POTENCIA ACTIVA (KW)	POTENCIA REACTIVA (KVAr)	PF (factor de potencia)	ÍNDICE DE ARMÓNICO EN TENSIÓN THD (V)	ÍNDICE DE ARMÓNICO EN CORRIENTE THD (A)
L1	439.2	1.048	0.088	0.256	0.31	1.9	7.1
L2	438.1	1.08	0.072	0.264	0.24	2	5.9
L3	438.3	1.088	0.072	0.264	0.26	1.9	7.7

Tabla N° 06 Toma de datos extraídos del analizador de redes a 440 Vac.

Fuente: Propia

PROMEDIOS	
POTENCIA ACTIVA (KW)	**0.224**
POTENCIA REACTIVA (KVAr)	0.784
POTENCIA APARENTE (KVA)	0.824
FRECUENCIA (HZ)	60
FACTOR DE POTENCIA (COS)	0.27

Tabla N° 07 Promedios finales extraídos del analizador de redes a 440 Vac.

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla N° 06, se muestran los resultados del arranque directo, que coinciden con el arranque a tensión reducida (para este caso es arranque estrella - estrella), de esta tabla de observa un desbalance en los niveles de corriente, que difieren a consecuencia de la tensión de línea.
Estos son reflejos de los posibles armónicos que se crean en las ondas de tensión y corriente.
Para la tabla N° 07 se denota el consumo total de potencia aparente que es de 0.824 KVA, y un factor de potencia de 0.26.

- **ANÁLISIS ESTADÍSTICO:**

MODO DE ARRANQUE	VOLTAJE (V)	TIEMPO (H)	CONSUMO DE ENERGÍA (KWh)
ARRANQUE DIRECTO	220 VAC	8	1.600
ARRANQUE DIRECTO	380 VAC	8	1.472
ARRANQUE DIRECTO	440 VAC	8	1.792
ARRANQUE A TENSIÓN REDUCIDA	220 VAC	8	1.600
ARRANQUE A TENSIÓN REDUCIDA	380 VAC	8	1.472
ARRANQUE A TENSIÓN REDUCIDA	440 VAC	8	1.792

Tabla N° 08 Análisis estadístico en cada nivel de tensión y tipo de arranque.

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla N° 08, se muestran los resultados de todos los arranques y tensiones realizadas al motor de inducción. Tanto de arranques directos como de arranques a tensión reducida.

Como se puede notar, existe una desigualdad entre el máximo consumo de energía en ocho horas de trabajo con el mínimo consumo de energía en el mismo tiempo: 17.92 – 14.72 KWh. Es decir, tiene un mayor consumo de energía a 440 Vac, y un inferior consumo de energía a 380 Vac, mientras que a una tensión de 220 Vac tiene un rango promedio.

4.2 Prueba de hipótesis

4.2.1 Hipótesis alterna: Si existe una discrepancia notoria de ahorro de energía eléctrica cuando se hace funcionar un motor de inducción a una tensión de 380 Vac, en función a los datos obtenidos de las pruebas experimentales.

4.3 Discusión de resultados

Con la gran cantidad de empresas industriales y más aun con el apoyo que están necesitan de los motores de inducción se forman empresas muy importantes para el desarrollo de la industria y del país, pero es necesario saber con qué nivel de tensión estándar poder realizar el funcionamiento adecuado de los motores que accionan a todo tipo de máquinas,

A pesar que existan distintos arrancadores electrónicos que también pueden reducir el consumo de energía, estos también tienen un costo muy elevado para su adquisición y es por ese motivo que las empresas dudan en adquirirlos.

La presente investigación plantea como hipótesis general que si se escoge de manera adecuada el nivel de tensión de funcionamiento de los motores se obtendrá un ahorro de energía eléctrico en las empresas, y es que existen niveles estandarizados en baja tensión para lograr que estos motores de inducción funcionen,

Sin embargo, siempre se debe de toma en cuenta el poder reducir los costos del alto consumo de energía en estas empresas, por lo tanto, de acuerdo a la tabla N° 08 notamos que al trabajar con el nivel de tensión de 380 Vac el consumo de energía en menor en comparación con los niveles de 220 Vac y 440 Vac, esto también se puede notar en las tablas N° 02, 04 y 06,

Por lo expuesto, se puede entonces afirmar que si se considera adecuadamente la correcta elección del nivel de tensión para el funcionamiento de los motores de inducción se logra un ahorro del consumo de energía eléctrica, así como la reducción de la fatiga mecánica de estos.

En tal sentido, esta investigación genera un concepto del adecuado conocimiento para la elección del nivel de tensión del funcionamiento de los motores de inducción, que nos ayuda en la optimización del funcionamiento del motor de inducción para nivele estándares de baja tensión.

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES

- En el nivel de tensión de 380 Vac, se logra optimizar el funcionamiento del motor de inducción. Ya que se obtiene un consumo de energía inferior que en 220 Vac y 440 Vac considerando un ahorro de 0.32 KWh, en los ensayos experimentales que se realizaron.
- Al trabajar con el nivel de tensión estándar de 380 Vac, el porcentaje de ahorro de energía es 17.85 %
- En base a los resultados obtenidos, se nota que, al realizar un arranque directo o un arranque especial a tensión reducida, el consumo de energía del motor se mantiene en los tres distintos niveles de tensión estándares en baja tensión.
- Se logró definir que el motor de inducción en ocho horas de funcionamiento a 220 Vac consume 1.60 KWh, mientras que en el mismo tiempo a 380 Vac consume 1.472 KWh y a 440 Vac en el mismo tiempo consume 1.792 KWh.
- La diferencia de corrientes de pico en el arranque de motores, al accionar a motor en arranques directos como en arranques a tensión reducida, depende del tipo de operación de motor (arranque en vacío o arranque con carga), ya que al final de la toma de datos se mantiene el total de consumo de energía en ambos tipos de arranque.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los empresarios industriales que van a solicitar un servicio de energía eléctrica, hacerlo con el nivel de tensión de 380 Vac
- Cuando se trabaje con máquinas eléctricas, se debe de analizar el nivel consumo de energía de los mismos.
- Se debe tomar en cuenta que el tipo de arranque (arranque directo o arranque a tensión reducida) implica mayormente para controlar la corriente de pico de arranque del motor de inducción.
- Los motores de inducción están diseñados en su mayoría para un trabajo continuo, por lo que se recomienda realizar mediciones periódicas de consumo de energía y así analizar posibles pérdidas.
- Se recomienda seleccionar al tipo de arranque del motor de inducción de acuerdo al tipo de operación que este tiene, es decir si este va a arrancar en vacío o con carga.

Referencias Bibliográficas

- Calcina Sotelo, Armando. *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio de la UNCP*. Tesis de maestría (Perú). 2016.

- ATANASI, Jornet. *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 convertidores de frecuencia en modulación de ancho de los impulsos.* Tesis Doctoral. Terrassa (España). 2005.

- MERCHAN MANZANO, H. *Evaluación de los efectos del arranque de motores de gran potencia en los sistemas eléctricos industriales,* Tesis Doctoral. Escuela Politécnica Nacional (Quito). 1983.

- MARTIN DE LA BARRERA, Pablo. P*erdidas en el núcleo de motores de inducción: Aplicaciones al control y al diagnóstico de fallas.* Tesis Doctoral. Universidad Nacional Del Sur (Argentina). 2009.

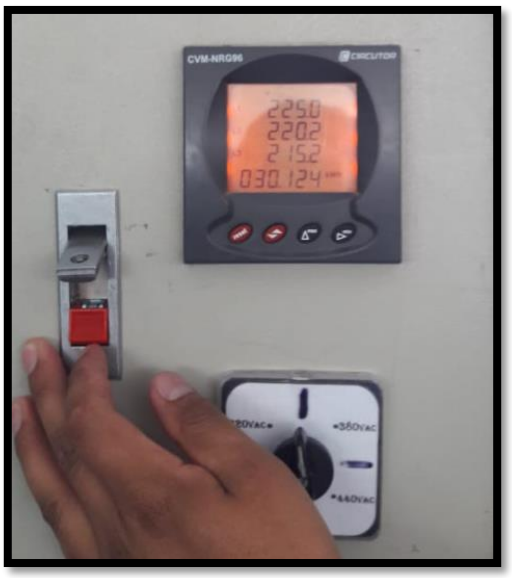
- HENRÍQUEZ GUZMÁN, Ricardo, OLANO CENTENO, Christian y SALGUERO RIVAS, Julio. *Motores trifásicos de inducción evaluación y control de perdidas con aplicación de capacitores,* Tesis de Pregrado. Ciudad Universitaria (San Salvador). 2015.

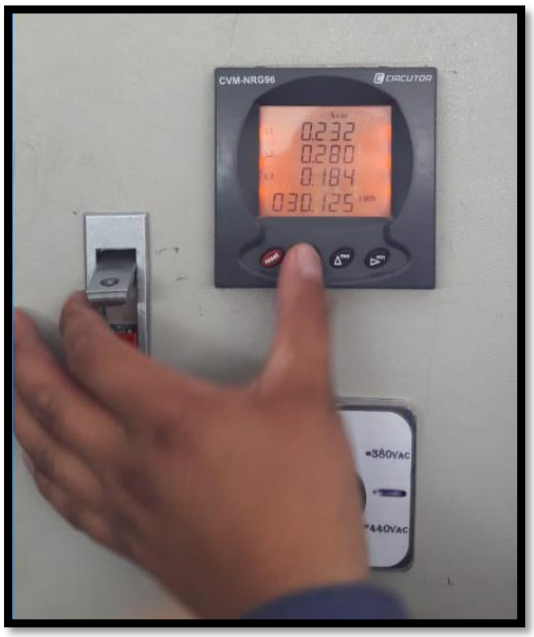
- KOSOW Irving. *Control de Motores Eléctrico Industriales*. Editorial Reverté. (México). 1986.

- OBREGON LOZANO, Josue. *Medición de la eficiencia de motores de inducción utilizando el método de deslizamiento.* Tesis de maestría. Universidad Autónoma Nuevo León (México). 2005.

Anexos

- Mediciones realizadas para el nivel de tensión estándar de 220 Vac.





- Mediciones realizadas para el nivel de tensión estándar de 380 Vac.

- Mediciones realizadas para el nivel de tensión estándar de 440 Vac.