 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**AVERÍAS EN MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN: UN
DOCUMENTO DE CONSULTA PARA GERENTES DE
MANTENIMIENTO**

JULIÁN ANDRÉS BETANCUR MARTÍNEZ

DIRECTOR: JUAN GONZALO ARDILA MARÍN


**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO-ITM
FACULTAD DE INGENIERIAS
TECNOLOGIA ELECTROMECHANICA
MEDELLIN-COLOMBIA
2017**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La ciencia de las fallas no define como tal las averías que se presentan en sistemas electromecánicos sino que se centra en la búsqueda de sus causas para promover el mantenimiento proactivo, pero no es fácil encontrar documentos que describan las averías que potencialmente ocurrirán a los equipos, es por esto que el presente proyecto investigó las averías más comunes que ocurren en los motores eléctricos de inducción que comúnmente emplean las máquinas del sector productivo, utilizando métodos sistemáticos de búsqueda y análisis de información, para generar un documento de consulta útil y ágil en la gestión del mantenimiento correctivo. Para esto se consultaron los conceptos de avería, falla, causa, modo, efecto y consecuencia de falla para cualquier sistema o componente de máquina, en bases de datos bibliográficas, y se estableció un marco teórico del proyecto. Luego se averiguaron cuáles son los tipos de motores eléctricos, para conocer sus componentes y su principio de funcionamiento, realizando la búsqueda web y en biblioteca, y se reportan igualmente en este informe. Finalmente, se examinaron las principales averías que se presentan en el desempeño cotidiano de estos motores en la industria, logrando conocer sus causas y consecuencias, y las principales acciones que se recomiendan para su corrección y/o su prevención. Los resultados de esta consulta, se reportan en este informe y en un blog que deja la información disponible para los gerentes del mantenimiento industrial.

Palabras clave: Motores eléctricos, Mantenimiento industrial, Averías, Fallas, Mantenimiento correctivo, Mantenimiento preventivo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Doy mis agradecimientos a:

A mi asesor Ing. Juan Gonzalo Ardila Marín, por acompañarme en el desarrollo de este proyecto, por la confianza depositada en mí y por la dedicación de tiempo durante todo el proyecto.

A mis diferentes compañeros por colaboración y disposición para el desarrollo del proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Generalidades	6
1.2	Objetivos.....	7
1.3	Organización de la tesis	8
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Análisis de averías: la causa, el modo, el efecto y la consecuencia.....	9
2.2	Conceptos Generales Motores Eléctricos de Inducción	11
2.2.1	¿Qué es un motor Eléctrico?	11
2.2.2	Potencia Nominal de Caballaje o HP.....	11
2.2.3	Torque o Torsión.....	12
2.2.4	Trabajo mecánico	13
2.2.5	Magnetismo.....	14
2.2.6	¿Cómo funciona un motor Eléctrico?	15
2.2.7	Motor de inducción	15
2.2.8	Corriente Alterna Trifásica	16
2.3	¿Cuáles son las partes que lo conforman?.....	17
2.4	Aspectos constructivos:	17
2.4.1	Rodamientos o cojinetes.....	20
2.5	Características de operación	21
2.6	¿Porque fallan los motores?.....	22
2.6.1	Sobrecargas Térmicas	24
2.6.2	Variación de tensión	25
2.6.3	Tensión de fase desbalanceada.....	25
2.6.4	Arranques cíclicos	25
2.6.5	Sobrecarga mecánica	25
2.6.6	Solicitaciones eléctricas	26
2.6.6.1	Dieléctrico	26

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6.6.2	Efecto Corona.....	26
2.6.6.3	Sobretensiones de corta duración	26
2.5.9	Contacto entre estator y rotor	27
2.5.10	Solicitaciones relacionadas al medio externo	28
3	METODOLOGÍA	29
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1	Fallas en motores eléctricos.....	32
4.1.1	Fallas del estator.....	32
4.1.1.1	Recalentamiento del estator	33
4.1.1.2	Envejecimiento de los bobinados	33
4.1.1.3	Separación de láminas.....	33
4.1.1.4	Fallas de aislamiento	33
4.1.2	Fallas en el rotor	34
4.1.2.1	Recalentamiento del rotor.....	34
4.1.2.2	Separación de las láminas.....	35
4.1.2.3	Desalineamientos.....	35
4.1.2.4	Barras abiertas	35
4.1.3	Fallas en cojinetes.....	35
4.1.4	Fallas varias	35
4.2	Elaboración del blog.....	36
	REFERENCIAS	45

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En la industria, el mantenimiento es una función cotidiana, ya que es inherente a las condiciones de trabajo que los sectores productivos imponen como exigencia a las máquinas, siendo el motor eléctrico de inducción, el mecanismo más utilizado para impulsar dichas máquinas, y siendo, por lo tanto, el equipo más susceptible de desgaste y falla. Cuando fallan, sus averías pueden dar a conocer otras averías que, potencialmente, resulten dañinas para los sistemas electromecánicos que están siendo impulsados; el análisis de las fallas en motores de inducción se centra en la búsqueda de las causas para promover el mantenimiento proactivo, esto se refiere al estudio de averías en motores eléctricos como el conjunto de actividades de investigación que, aplicadas sistemáticamente, tratan de identificar las causas de las averías y establecer un plan que permita bajar costos con procedimientos cada vez más vanguardistas (Ros Romero, 2010). La característica, y principal enfoque, del análisis de averías es determinar las medidas correctivas y preventivas mediante estudios empíricos analíticos, identificando las causas de las fallas de los motores para que, al evitarlas, las averías no vuelvan a desencadenarse, además de determinar las responsabilidades y las tareas de gestión de mantenimiento correctivo.

Desde el inicio de la revolución industrial se ha venido en un constante cambio tanto en la forma de pensar como de actuar ante las estrategias, metodologías y tecnologías involucradas en las labores de mantenimiento; en un principio simplemente se esperaba a tener manifestaciones de presencia de algún daño para actuar ante ello, con el paso de los años y los avances del mantenimiento se manifestó la necesidad de contar con análisis que garantizarán la seguridad del cuidado de los activos de las compañías, por tal razón se le dio un giro a lo que significa el análisis de fallas más comunes que ocurren en los diferentes tipos de componentes electromecánicos que emplean las máquinas en el sector productivo, entre los cuales, los motores eléctricos de inducción aplican en la totalidad de los procesos industriales.

Este hecho direcciona la búsqueda de información a técnicas y métodos de análisis de fallas que predicen, identifican y clasifican las anomalías en los sistemas electromecánicos en la industria, haciendo de esta ciencia una aplicación variada y sujeta a interpretaciones desde los sentidos físicos con conocimiento de causa para actuar, hasta el desarrollo de nuevas tecnologías con gran exactitud para medir los parámetros que se asocian a la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ocurrencia de los fallos. Está “ciencia” no define como tal las averías que se presentan, sino que se centra en la búsqueda de sus causas, según conveniencia y necesidades. Así que no es fácil encontrar documentos que describan y definan las averías que potencialmente pueden ocurrir a los componentes de las máquinas, sabiendo que un documento así sería de gran utilidad para un Jefe de Mantenimiento de una planta que emplee dichos componentes electromecánicos.

Atendiendo esta necesidad, no solo industrial sino académica, se propuso, como Proyecto de Grado de Tecnología en Electromecánica, generar un documento de apoyo para las labores de mantenimiento proactivo, que definiera las averías que potencialmente pueden ocurrir a los motores eléctricos de inducción de las diferentes máquinas del sector industrial que los emplean, el cual será de gran utilidad para un Jefe de Mantenimiento de cualquier planta industrial.

En el marco de este estudio de averías de motores eléctricos, la investigación se realizó con consultas en bases bibliográficas de conceptos y tipos de motores, luego se hizo la selección de la información para determinar su funcionamiento y examinar las principales averías, sus consecuencias y las principales acciones para su corrección y prevención. Los resultados de esta consulta, en web y en bases de datos reconocidas, se reportan en este informe y en un blog que se desarrolló para dejar la información disponible para los gerentes del mantenimiento industrial.

Para enfrentar toda esta problemática fue necesario identificar las zonas del motor en las que ocurren las anomalías, entre las que se encontraron fallas, por ejemplo, de aislamiento con posibles causas de humedad, vibración, sobrecalentamiento, sobretensiones del sistema, exceso de velocidad, o problemas de puesta a tierra; por otro lado, también son comunes las fallas mecánicas, como problemas en cojinetes, desalineamiento en el entrehierro, desbalanceo, corrosión, velocidad crítica o resonancia; además, otro tipo importante de fallas son las estatóricas, con diferentes tipos de causas como la térmica que lleva al envejecimiento, o la eléctrica que desencadena fallas en el dieléctrico, arrastre, efecto corona, o voltajes transitorios; y finalmente pueden presentarse fallas en el rotor, estas pueden ser del tipo térmico, magnético, dinámico, o ambiental.

1.2 Objetivos

Siguiendo en esta temática, el objetivo general propuesto fue investigar las averías más comunes que ocurren en los motores eléctricos de inducción, que son los más empleados

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

por las máquinas del sector productivo, esto utilizando métodos sistemáticos de búsqueda y análisis de información, para generar un documento de consulta útil y ágil en la gestión del mantenimiento correctivo.

Se trazaron, a modo de objetivos específicos, las siguientes fases de trabajo:

- a. Consultar los conceptos de avería, falla, causa, modo, efecto y consecuencia de falla para cualquier sistema o componente de máquina, en bases de datos bibliográficas, para establecer un marco teórico del proyecto.
- b. Averiguar cuáles son los tipos de motores eléctricos, para conocer sus componentes y su principio de funcionamiento, realizando la búsqueda web y en biblioteca, para reportarlo igualmente en el informe.
- c. Examinar las principales averías que se presentan en el desempeño cotidiano de estos motores en la industria, logrando conocer sus causas y consecuencias, y las principales acciones que se recomiendan para su corrección y/o su prevención, en web y en bases de datos reconocidas, y realizando un sondeo tipo encuesta entre los gerentes del mantenimiento industrial, buscando conocer además sus requerimientos de información y sus preferencias respecto a la presentación en que podría quedar disponible.
- d. Al final, se logró elaborar este informe y se desarrolló un blog donde se encuentra, a disposición de los gerentes del mantenimiento industrial, la información recolectada y sintetizada sobre averías de motores eléctricos de inducción en la industria.

1.3 Organización de la tesis

En el capítulo 2 se presenta el planteamiento del marco teórico, en el cual se abordan diferentes conceptos generales, el estado del arte, los aspectos constructivos, y ¿Por qué fallan los motores eléctricos?

En el capítulo 3 se describe la metodología, por medio de la cual se sintetiza toda la información desde el cómo se realizó el proyecto hasta que fue lo evaluado en el trabajo, además del alcance de cada uno de los objetivos planteados en el proyecto.

En el capítulo 4 se presenta el blog y la forma cómo fue desarrollado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

A lo largo de este capítulo se pretende mostrar todo lo relacionados con los motores eléctricos, lo cual ayudará al lector de este documento a entender un poco más sobre el mundo de los motores hoy en día.

Primero, se hará una descripción sobre conceptos generales de motores eléctricos, entre los que podemos encontrar como herramienta importante para que el lector pueda comprender cada uno de los objetivos y la metodología propuesta. Posteriormente, se hará un recuento del estado del arte en el cual se realiza una descripción en donde se muestra una relación entre investigaciones sobre motores, luego se mostrará una breve descripción sobre los diferentes aspectos constructivos de los motores eléctricos de inducción, como lo son el motor asíncrono de jaula de ardilla y motor con rotor bobinado. Por último, se hará un recuento de las diferentes fallas que pueden presentar, es decir, unas comparaciones entre las comunes, como las fallas de sobrecalentamiento, mecánicas, eléctricas, etc.

2.1 Análisis de averías: la causa, el modo, el efecto y la consecuencia

Los métodos usados para fijar la política de mantenimiento son insuficientes, por sí mismos, para asegurar la mejora continua en mantenimiento, desde este punto de vista la ciencia de estudio de fallas se podría definir como: el conjunto de actividades de investigación que, aplicadas sistemáticamente, trata de identificar las causas de las averías y establecer un plan que permita bajar costos con procedimientos menos invasivos aportando con métodos cada vez más vanguardistas (Ros Romero, 2010). En donde la ciencia de la detección de averías en máquinas, que en las últimas décadas ha desarrollado nuevas técnicas, permite obtener diagnósticos más precisos: El monitoreo de las máquinas puede reducir significativamente los costos de mantenimiento (correctivos) y el riesgo de fallas inesperadas, al permitir la detección temprana de desperfectos de consecuencias potencialmente catastróficas (Hurtado, Tello, Teyra, & Hernández, 2013).


Otra apreciación, que debe tenerse en cuenta, es que el principio de causalidad es altamente cambiante, lo que ahora es efecto puede llegar a convertirse en causa y las consecuencias pueden visualizarse como efectos, es decir, la cadena de la causalidad puede desplazarse en ambos sentidos, lo cual provocará una cierta versatilidad en cuanto

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

a la aparición de causas, condiciones y consecuencias junto con su intercambio. Para evitar la aparición de una situación caótica o confusa es necesario empezar el análisis de fallas como proceso sistemático fijando adecuadamente el fallo del equipo o sistema, es decir, hay que anclar el efecto de manera que la cadena de la causalidad no pueda desplazarse hacia ninguno de los extremos y de esta manera se podrán listar adecuadamente tanto las condiciones, causas y consecuencias del fallo o efecto al igual que el principio (Mecantech, 2013).

Si el objetivo es determinar las causas, se puede hacer con Análisis de Causa Raíz – ACR, o sea, buscando las causas que provocan los hechos no deseados analizados, tanto las subyacentes, presentes normalmente durante largos espacios de tiempo sin provocar un daño inmediato, como las desencadenantes, que son las que provocan que las consecuencias aparezcan en un momento determinado y no en otros. La determinación de unas y otras, permite, por un lado, establecer responsabilidades, cuando corresponde, y por otro, determinar medidas preventivas para que los hechos estudiados no vuelvan a producirse de nuevo (Garrido, 2016).

El ACR emplea métodos científicos para establecer la causa o causas de un fallo, tanto las causas subyacentes como las desencadenantes. Por otra parte, estudiar la ciencia de las averías como un conjunto sistemático de pasos nos otorga otro concepto aplicado hoy en día y que es indispensable en la industria del mantenimiento, el cual se denomina *Ingeniería de Confiabilidad* que es un instrumento para la identificación de oportunidades de mejora, durante la etapa de ejercicio como en la fase de proyecto, del sistema de gestión o cambios de diseño, con el objetivo de mejorar los resultados, los métodos y herramientas que permiten cuantificar estas variables, muchas de estas herramientas tienen la misma función pero dentro de contextos diferentes. Por ejemplo, la “Identificación temprana de problemas” aplica métodos estadísticos a datos de campo para detectar problemas de producto y proceso lo más pronto posible. O el “Análisis del modo y efecto de falla (FMEA)” que es un grupo de actividades sistemático orientado a reconocer y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso y los efectos de esa falla, identificando acciones que puedan eliminar o reducir la posibilidad de que ocurra la falla, y documentar el proceso completo. Además, el “Reporte de fallas, análisis, sistema de acción correctiva (FRACAS)” es una revisión formal de la dirección y un sistema de bucle cerrado que se enfoca a resolver incidentes de fallas. Un grupo interdisciplinario analiza, determina la causa de falla, e inicia la acción correctiva, agrupando los incidentes individuales para enfocar de modo eficiente los recursos. El FRACAS asegura que todos los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

modos de falla que ocurran en un producto durante su desarrollo desde su arranque, estén documentados, monitoreados, y corregidos como sea necesario (Garcia, 2014).

2.2 Conceptos Generales Motores Eléctricos de Inducción

Las maquinas eléctricas son el resultado de una aplicación inteligente de los principios del electromagnetismo y en particular de la ley de inducción de Faraday. Las maquinas eléctricos se caracterizan por tener circuitos eléctricos y magnéticos entrelazados. Las maquinas eléctricas realizan una conversión de energía de una forma a otra, una de las cuales, al menos, es eléctrica (VILLAMIZAR, 2010).

En las actividades industriales y comerciales es necesario mover distintos procesos productivos, maquinaria y equipos diversos, como ventiladores, bandas transportadoras, bombas de agua, escaleras eléctricas, compresores, taladros, es decir, un sinnúmero de aplicaciones mecánicas que requieren movimiento. La forma más fácil de llevar a cabo ese movimiento es mediante un motor eléctrico.

2.2.1 ¿Qué es un motor Eléctrico?

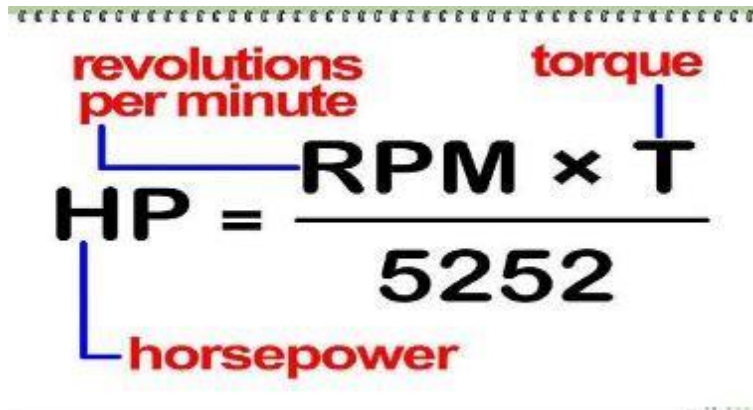
Los motores de inducción son máquinas eléctricas, las cuales han tenido mayor aplicación en la industria y en artefactos electrodomésticos. Estas máquinas son los principales convertidores de energía eléctrica en mecánica (actualmente los motores de inducción consumen casi la mitad de la energía eléctrica generada) (Campos Avella, 2011).

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes (Castillo Pedrosa & Marrufo Gonzalez, 2010).

2.2.2 Potencia Nominal de Caballaje o HP

Es el promedio de realizar un trabajo o cuán rápido se ejecuta, cualquier motor, no importa cuán pequeño sea, realizará una cantidad de trabajo, pero mientras más poderoso es, más rápido lo hará. A continuación la fórmula de caballos de fuerza (HP).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



$$\text{HP} = \frac{\text{RPM} \times \text{T}}{5252}$$

Recuperado de: <http://www.talkchannels.com/horse-power-equation/>

T = par a plena carga del motor (en libras-pie)

5252 = constante (33.000 dividido por 3,14 x 2 = 5252)

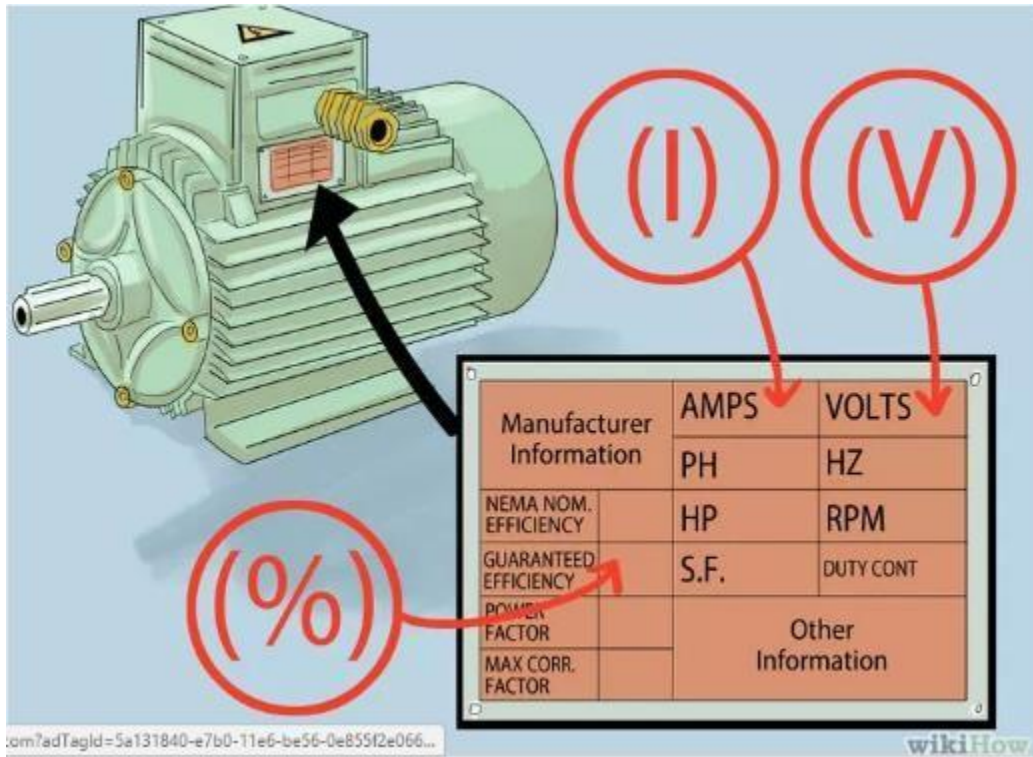
HP = caballos de fuerza del motor

RPM = velocidad del motor de eje

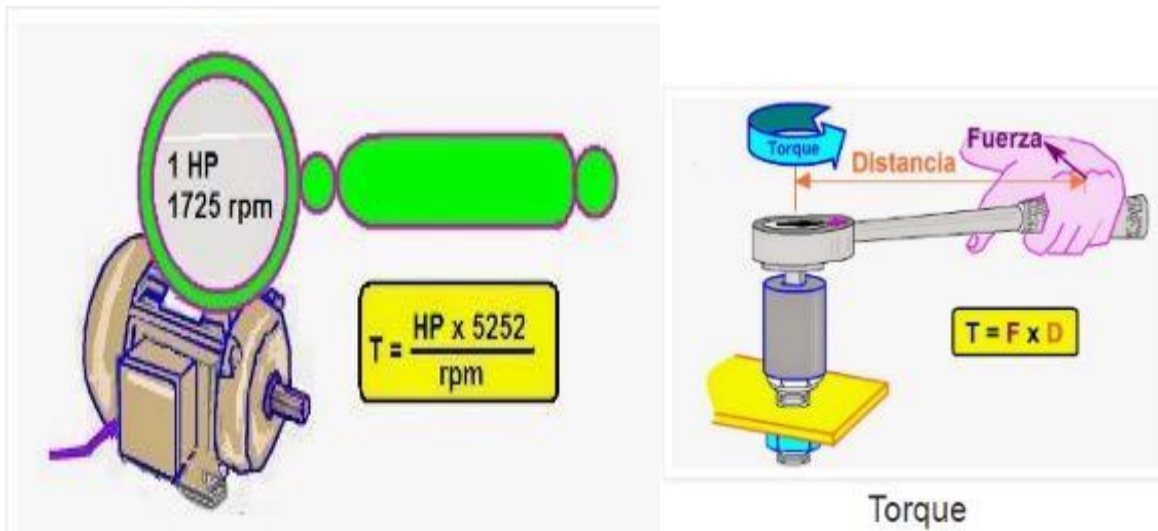
Un caballo de fuerza es una unidad de potencia igual a 746 watts o 33,000 lb-pie por minuto (550 lb-pis por segundo). Un vatio es una unidad de medida igual a la potencia producida por una corriente de 1 amperio a través de la diferencia de potencial de 1 voltio. Se trata de 1 / 746 de 1 caballo de fuerza. El vatio es la unidad básica de energía eléctrica. La potencia del motor está valorada en caballos de fuerza o vatios, a continuación una imagen de la placa de un motor.

2.2.3 Torque o Torsión

Se define como el producto de la Fuerza y un Radio, donde la fuerza viene dada en Lb o N, y el radio es una distancia dada en pies, pulgadas o metros. Actúa como una fuerza giratoria que produce un empuje o arrastre a una cierta distancia del centro del eje del motor. A continuación dos imágenes: del lado izquierdo la torsión que se hace en el motor de inducción sin relacionar con el fenómeno físico, la mayor o menor torsión que genera una fuerza depende de la distancia al punto de pivote, es decir, a mayor brazo mayor par, como puede verse al lado derecho.



Recuperado de: <http://es.wikihow.com/calcular-los-caballos-de-fuerza>



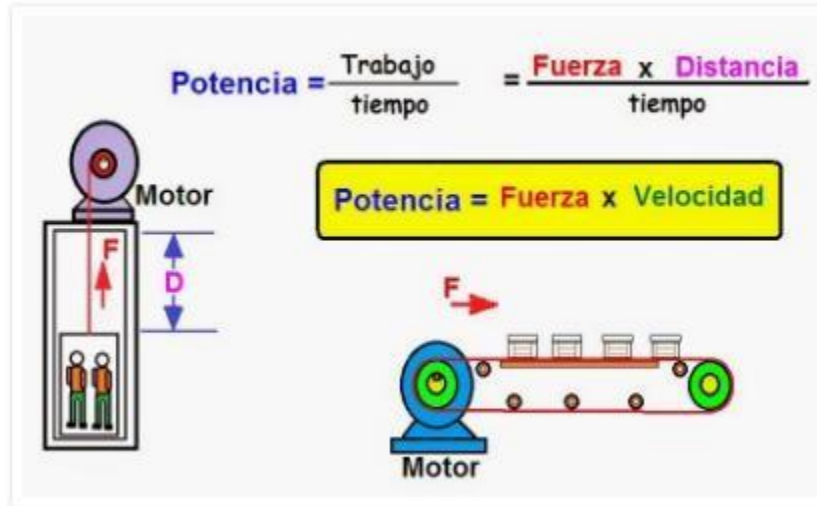
Recuperado de: <http://coparoman.blogspot.com.co/2014/10/torque-de-un-motor-electrico.html>

2.2.4 Trabajo mecánico

Es una fuerza por una distancia. Se habla de trabajo cuando una fuerza (expresada en newton) mueve un cuerpo y libera la energía potencial de este, es decir, un hombre o

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

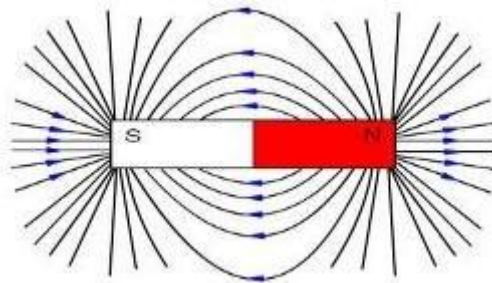
una maquina realiza un trabajo cuando vence una resistencia a lo largo de un camino, por lo tanto, 1 joule es el trabajo realizado por una fuerza de 1 Newton al desplazar un objeto, en la dirección de la fuerza, a lo largo de 1 metro.



Recuperado de: http://coparoman.blogspot.com.co/2014/10/trabajo_mecanico.html

2.2.5 Magnetismo

Se da por los materiales ferrosos, con propiedades magnéticas detectables fácilmente, como el níquel, hierro, cobalto y sus aleaciones, que comúnmente se llaman imanes. Un circuito magnético está formado generalmente por una estructura de hierro, sobre la cual se enrollan una o más bobinas por las que circulan corrientes, que dan lugar a los flujos que aparecen y generan la FEM (fuerza electromotriz), y que se transfieren al medio por el movimiento de un eje, llamándose todo el conjunto del circuito: motor de inducción. Imagen de un imán y sus líneas de campo magnético.



Recuperado de: <http://magnetismo0.webnode.es/investigaciones/el-campo-magnetico/>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.6 ¿Cómo funciona un motor Eléctrico?

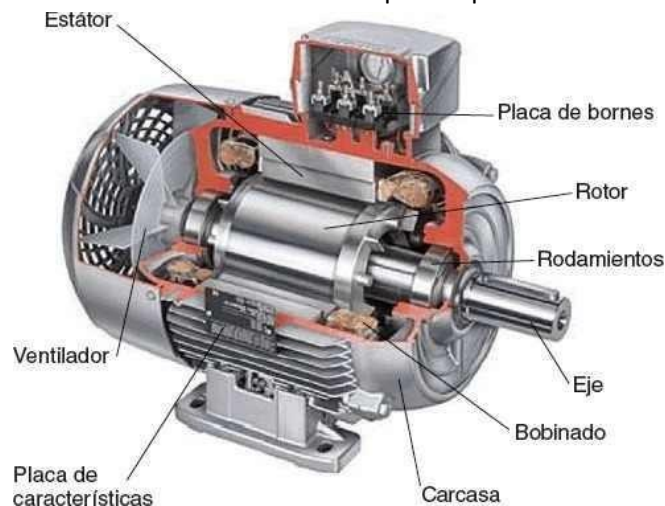
El principio de funcionamiento de un motor asíncrono se basa en la creación de corriente inducida en un conductor cuando éste corta las líneas de fuerza de un campo magnético, de donde proviene el nombre “motor de inducción” (SCHNEIDER ELECTRIC, 1990).

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estático sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estático corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz) (Castillo Pedrosa & Marrufo Gonzalez, 2010).


La operación de los motores eléctricos depende de la interacción de campos magnéticos. Para definir cómo opera un motor, se deben definir las reglas del magnetismo, así como la relación que existe entre el flujo de corriente y el campo magnético (VILLAMIZAR, 2010).

2.2.7 Motor de inducción

Se basa en el concepto de campo magnético giratorio. Su diferenciación con los demás tipos de máquinas se debe a que no existe corriente conducida a uno de los arrollamientos o devanados. La corriente conducida por uno de los devanados (generalmente rotor) se debe a la FEM inducida por la acción del flujo del otro, también reciben el nombre de máquinas asíncronas debido a que la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesta por la frecuencia de red.



Recuperado de: <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-605556789-motor-trifasico-75hp-1500rpm-55-kw-siemens-chierro- JM>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.8 Corriente Alterna Trifásica

Las corrientes trifásicas se generan mediante alternadores que presentan tres bobinas o grupos de bobinas, que están enrollados sobre tres sistemas de piezas polares equidistantes entre sí. En este sentido, debemos saber que el retorno de cada uno de estos circuitos o fases se acopla en un punto, denominado neutro –si el sistema está equilibrado, es cero–, por lo que el transporte puede ser efectuado usando solamente tres cables. Las ventajas de utilizar un sistema alterno trifásico son las siguientes:

- Ahorro en los costos de materiales en líneas de transmisión y distribución eléctrica.
- Generación de campos giratorios.
- Potencia instantánea constante.

Es decir, un sistema trifásico es un conjunto de tres fases monofásicas que se encuentran desfasadas en 120° . En el esquema simplificado del generador trifásico, se ven los valores instantáneos de cada fase: estos valores pueden ser positivos o negativos, cuando el valor se hace cero se anula la fase. En los motores trifásicos, no disminuye la velocidad de giro, sino que se mantiene constante.


En una máquina de corriente alterna, la fuerza electromotriz se caracteriza por los siguientes parámetros:

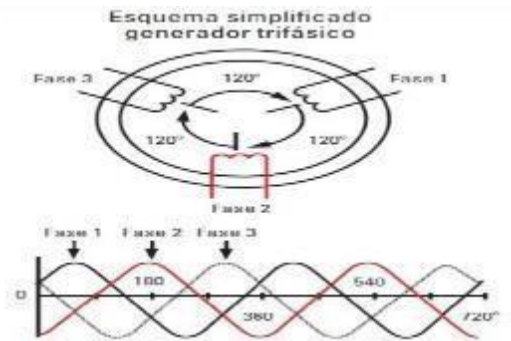
- Magnitud
- Frecuencia
- Forma de curva

A continuación se presentan dos imágenes: en una el instrumento denota la calidad de la energía de un sistema, en la otra el esquema de un generador trifásico y su forma de onda.



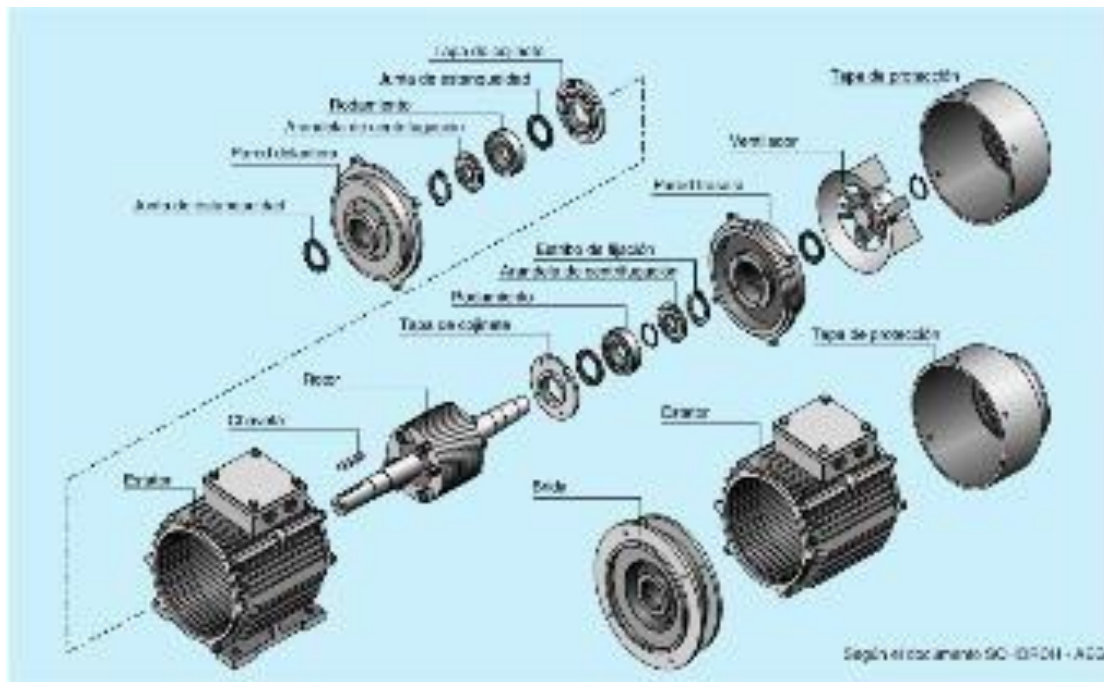
Fluke 435-II 435 II BASIC Power Quality Energy Analyzer Connection

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Recuperado de: <http://www.redusers.com/noticias/la-generacion-trifasica/>

2.3 ¿Cuáles son las partes que lo conforman?

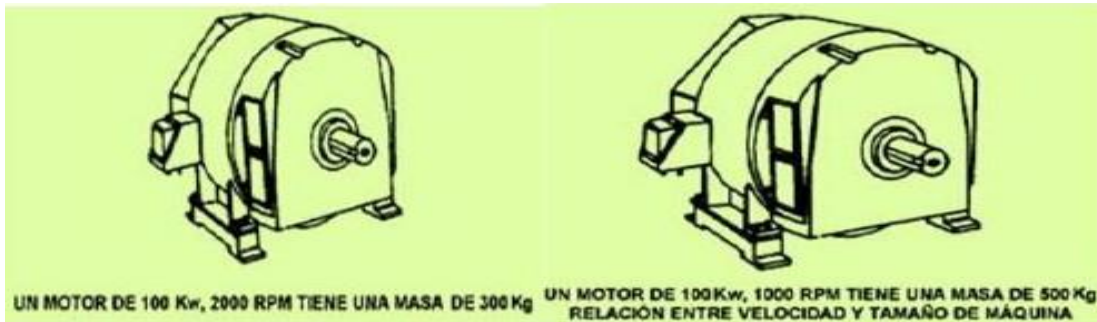
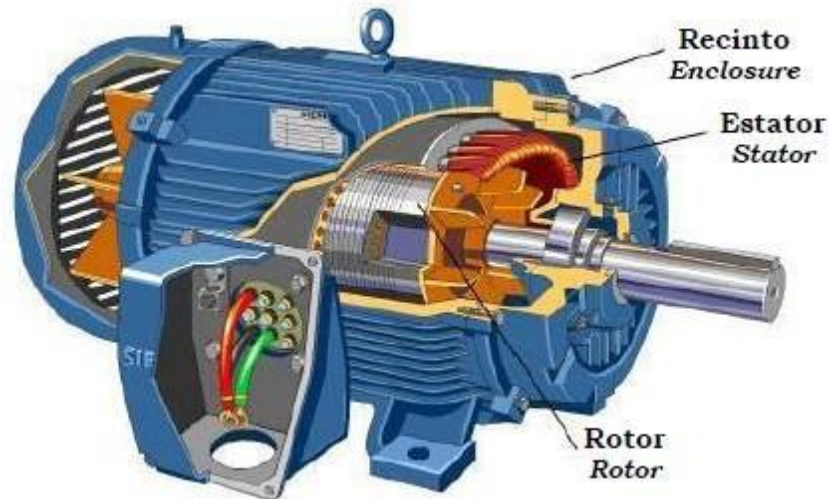


Recuperado de: (SCHNEIDER ELECTRIC, 1990)

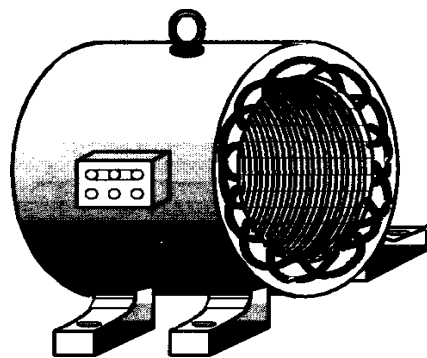
2.4 Aspectos constructivos:

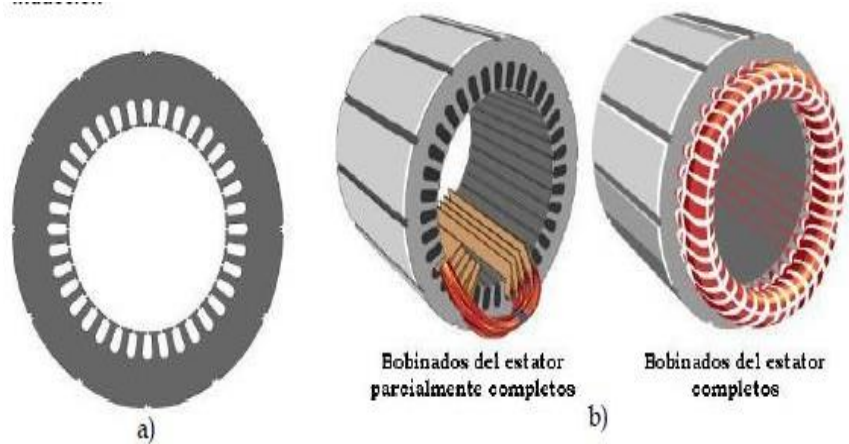
El motor de uso más común en la industria es el motor de tres fases de inducción, este tipo de motor será el que se usará para describir las partes de un motor AC. Este tipo de motores posee tres partes principales: el rotor, el estator (*stator*) y el recinto (*enclosure*). También existen diferencias constructivas debido a la velocidad de operación del motor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



En el estator se coloca normalmente el inductor, alimentado por una red mono o trifásica. El estator está formado por un apilamiento de chapas de acero al silicio que disponen de unas ranuras en su periferia interior en las que se sitúa un devanado trifásico distribuido, alimentado por una corriente del mismo tipo, de tal forma que se obtiene un flujo giratorio de amplitud constante distribuido sinodalmente por el entrehierro. El estator está rodeado por una carcasa, disponiéndose en esta las correspondientes patas de fijación y los anillos o cáncamos de elevación y transporte como lo muestran las siguientes figuras.

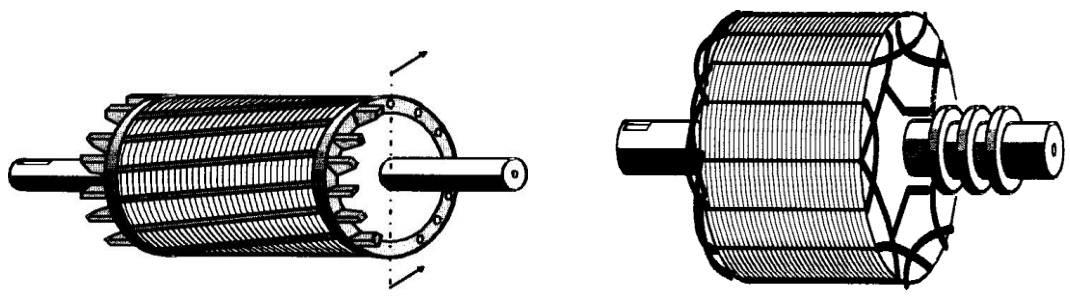





Recuperado de:

http://www.susferrin.com.ar/capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Maquinas_Electricas.pdf

El rotor es el inducido, y las corrientes que circulan por él aparecen como consecuencia de la interacción con el flujo del estator. Dependiendo del tipo del rotor, esas máquinas se clasifican en a) rotor jaula de ardilla, y b) rotor bobinado o con anillos. El rotor está constituido por un conjunto de chapas apiladas, formando un cilindro que tienen unas ranuras en la circunferencia exterior, donde se coloca el devanado. En el tipo jaula de ardilla se tiene una serie de conductores de cobre o aluminio puestos en corto circuito por dos anillos laterales. En el caso de rotor devanado o bobinado se tiene un arrollamiento trifásico similar al situado en el estator, en el que las tres fases se conectan por un lado en estrella y por el otro se envían a unos anillos aislados entre sí, esta disposición hace posible la introducción de resistencias externas por los anillos para limitar la corriente de arranque mejorar las características del par o torsión y controlar la velocidad. A continuación se ilustran en tres imágenes: una con rotor jaula de ardilla, la otra con rotor bobinado, y la última con un corte transversal mostrando la disposición de los componentes del rotor en un motor AC.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



a) Rotor Jaula de Ardilla b) Rotor Síncrono c) Rotor serie

Recuperado de:

http://www.susferrin.com.ar/capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Maquinas_Electricas.pdf

La máquina asíncrona, además de disponer de un estator y un rotor, está dotada de otros elementos necesarios para su funcionamiento: tapas, rodamientos carcasa etc.

2.4.1 Rodamientos o cojinetes

Los rodamientos son un componente esencial de los motores eléctricos, que afectan tanto su desempeño como su vida útil. Los principales criterios de selección y desempeño de los rodamientos son:

- Vida útil deseada
- Temperatura adecuada de trabajo y temperatura ambiente
- Lubricante y sistema de lubricación
- Vibración y ruido
- Medio ambiente
- Efecto de los rodamientos en la eficiencia

El tipo de rodamiento comúnmente aceptado para motores de uso general es el de bolas, ya que ofrece características de desempeño adecuadas para sus condiciones de operación. Para seleccionar los rodamientos, se asume que el motor trabajará en condiciones de servicio continuo, con una carga con distribución de fuerzas combinadas (radiales y axiales), cuya resultante sea igual a la potencia, par y velocidad nominales del motor, especificados en la placa de datos. Con esta información se procede al cálculo de su vida útil, que se determina generalmente a partir del método:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^k$$

Siendo

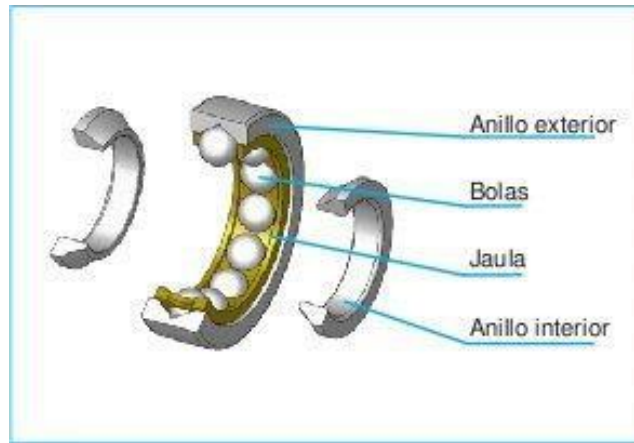
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

L_{10} , las revoluciones alcanzadas para el 90% de la vida

C , Capacidad de carga dinámica (N)

P , Carga dinámica equivalente(N)

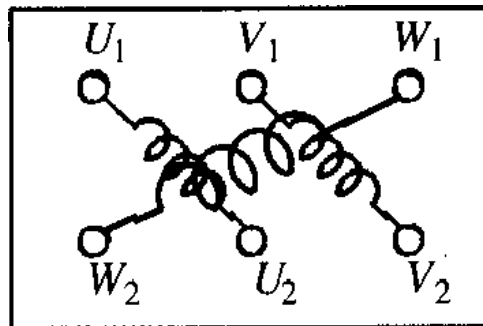
En esta ecuación, C representa el rango de carga dinámica básica (tomado de catálogos de fabricantes), y P la carga dinámica de rodamiento, que depende de la combinación de cargas radiales y axiales presentes en la operación del rodamiento. Se considera que un valor óptimo de vida útil se encuentra entre 25,000 y 40,000 horas de trabajo continuo.



Recuperado de: <https://blogtecnologia3eso.wordpress.com/category/unidad-didactica-6-mecanismos/cojinetes-y-rodamientos/>


2.5 Características de operación

Un detalle importante a considerar en los motores asíncronos trifásicos son las terminales del devanado del estator en la llamada caja de bornes, a esta se llevan los extremos de los bobinados, en la forma en que se muestran en la siguiente figura:

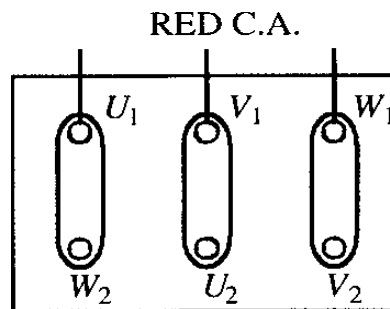


Recuperado de:

http://www.susferrin.com.ar/capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Maquinas_Electricas.pdf

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

De acuerdo con la norma UNE-EN 60034-8, los principios de arrollamiento se designan con las letras U_1, V_1, W_1 y Los extremos finales U_2, V_2, W_2 . Debe destacarse que los terminales de la misma fase no están enfrentados en la regleta de bornes, y esto se debe a que la disposición facilita el conexionado de la maquina haciendo uso de unas láminas de latón adecuadas como se muestran en la figura siguiente, donde se observa que se unen los terminales U_1 con W_2 , V_1 con U_2 y W_1 con V_2 , se emplea este tipo de conexión para la tensión más baja.

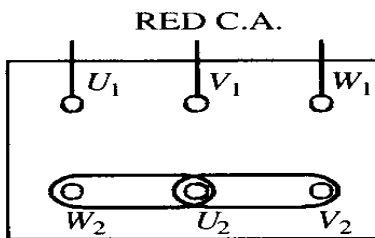


b) Conexión triángulo

Recuperado de

http://www.susferrin.com.ar/capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Maquinas_Electricas.pdf

Mientras en la conexión en estrella se unen las terminales entre si W_2 con U_2 y U_2 con V_2 , está se emplea cuando la maquina ha de conectarse a la tensión más elevada.



c) Conexión estrella

Recuperado de

http://www.susferrin.com.ar/capacitacion/pdf/SUSFERRIN_Maquinas_Electricas.pdf

2.6 ¿Porque fallan los motores?

Pueden existir muchas causas que provoque falla, entre las más comunes tenemos las fallas eléctricas que tienen diferente clasificación, las que son controladas por el usuario y las que no son controladas por el usuario. También en los dos grandes grupos en que se presentan las fallas en las maquinas eléctricas tenemos las que se presentan con mayor porcentaje en las industrias y que de unas u otra manera se engloban en el grupo de fallas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que pueden ser controladas por el usuario: Las fallas relacionadas con rodamientos, o fallas mecánicas, se presentan en un 40% del total en las maquinas eléctricas, estas fallas se dan en el camino interior de rodadura, camino exterior de rodadura o en los elementos rodantes, y producirán componentes de frecuencia de vibración únicas en las mediciones de la máquina y otras señales del sensor. Bajo condiciones normales de funcionamiento, los rodamientos fallan por desgaste o fatiga del material, cuando comienzan a fallar se incrementan las vibraciones de las máquinas y los niveles de ruido acústico aumentan. Estas frecuencias de falla de rodamientos están en función de la geometría de los rodamientos y la velocidad de marcha (Medrano Hurtado Zulma, 2016).

Siguiendo en este orden de ideas tenemos en segundo lugar con 38% en severidad las Fallas relacionadas con el estator. En general los usuarios y fabricantes de motores tienen buen conocimiento de los daños que pueden ocurrir debido al sobrecalentamiento de los sistemas de aislamiento el bloqueo del ventilador en un motor puede causar sobrecalentamiento, así como también las sobrecargas a las que se vea afectado el motor. Este último punto es el motivo causante de buena parte de los daños de la parte eléctrica en motores de inducción. Para controlar este problema, en máquinas de medio y gran porte, pueden ser instalados sensores de temperatura en posiciones estratégicas del estator, y así poder monitorear temperatura, y de esta forma poder evitar el sobrecalentamiento Procedimientos normalizados, como por ejemplo AIEEE 510 e IEEE 275 revelan que cada 10°C que exceda la temperatura límite del aislamiento, la vida útil del mismo es reducida a la mitad a menos que la temperatura de operación del motor sea extremadamente elevada como para ocasionar un daño inmediato, los efectos normales del envejecimiento térmico confieren al sistema vulnerabilidad a otras sollicitaciones que puedan ocurrir produciendo éstas alguna falla (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

Tal porcentaje total de fallas son a menudo causadas por fallas en el aislamiento entre dos espiras adyacentes en una bobina. Esto es llamado una falla entre vuelta-vuelta o cortocircuito en el devanado. Las corrientes inducidas resultantes producen calentamiento adicional y causan un desequilibrio en el campo magnético de la máquina. (Medrano Hurtado Zulma, 2016).

En el primer caso, la asimetría interna del flujo magnético causaría la circulación de corrientes elevadas en la porción del devanado afectado por la falla, esto contribuye a la degradación de otras porciones del devanado, el tiempo restante entre el inicio de la falla y la falla total depende de diversos factores como son el número inicial de espiras en cortocircuito, la configuración del devanado, la potencia y la tensión alcanzados y las condiciones ambientales entre otros. (Villalobos Peña Francisco Javier, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En tercer lugar debido a la medición por porcentaje tenemos las fallas relacionadas con la excentricidad se presentan en un 12% y se produce cuando el rotor no está centrado dentro del estator, produciendo un entrehierro no uniforme entre ellos. Esto puede ser causado por defectos en los baleros o rodamientos o fallas de fabricación. La variación en el entrehierro distorsiona la distribución del campo magnético dentro del motor y esto produce unas fuerzas radiales desbalanceadas en el rotor en la dirección de este pequeño entrehierro. Esto puede ser llamado ‘esfuerzos magnéticos desbalanceados’ que causan una especie de rozamiento o fricción entre el rotor y el estator, resultando con esto un daño en la máquina. (Medrano Hurtado Zulma, 2016).


Por ultimo en este grupo de fallas controladas por el usuario y según la medición por porcentaje en cuanto su presentación en los motores tenemos las de Ruptura de las barras del rotor y fallas en los anillos la detección de este tipo de fallas es importante debido a que se presentan en un 10% del total de fallas, además porque la fractura de una de sus barras o de uno de sus anillos, convierte al rotor en un circuito trifásico (3 ϕ) desbalanceado. Tal desbalance se manifiesta por medio de la circulación de corrientes de secuencia negativa. Como consecuencia de ello, se establece un campo magnético que gira en sentido contrario a la rotación del rotor, este campo giratorio provoca un nuevo par sobre el rotor, Este par, a su vez, ocasiona una oscilación en la velocidad del rotor, cuya amplitud depende de la inercia acoplada. Tales oscilaciones afectan a las corrientes del estator, sobre las cuales se inducen las denominadas bandas laterales Estas bandas laterales permiten identificar claramente fallas en el rotor, las frecuencias a las que se manifiestan son función del deslizamiento del motor y su amplitud es fuertemente dependiente del estado de la carga (Medrano Hurtado Zulma, 2016).

2.6.1 Sobrecargas Térmicas

Esta falla se presenta cuando se superó la capacidad térmica del motor (capacidad de disipar el calor generado), es decir, el levantamiento de temperatura fue excesivo durante un lapso de tiempo suficiente para provocar el daño (Mata, 2008).

Las causas de la sobrecarga térmica son las siguientes:

- Sobrecarga mecánica.
- Condiciones ambientales severas
- Ciclo de trabajo alto: Excesiva cantidad de arranques por hora.
- Parada repentina (trabarse).
- Falla en arranque.
- Restricciones en la ventilación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6.2 Variación de tensión

Variaciones de tensión afectan la performance del motor y la temperatura de los bobinados. A la hora de diseñar motores, se suele utilizar un criterio que permita la operación satisfactoria del mismo con $\pm 10\%$ de variaciones de tensión (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

2.6.3 Tensión de fase desbalanceada

Un pequeño desbalanceo de fase causará un aumento de temperatura en los bobinados del estator. Se ha constatado que cada 3.5% de desbalanceo por fase, la temperatura del bobinado aumenta (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade), en un 25% en la fase de mayor corriente. Por ello se deben mantener las 3 fases lo mejor balanceadas posibles, con el fin de evitar la ocurrencia de este problema. (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

2.6.4 Arranques cíclicos

Si el motor es sometido a sucesivos arranques en un corto período de tiempo, la temperatura de los bobinados aumentará rápidamente debido a las altas corrientes de arranque. Otra consecuencia de los arranques cíclicos es la contracción y expansión del aislante de las bobinas, tornándolo frágil y susceptible a quebraduras con el pasar del tiempo. (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

2.6.5 Sobrecarga mecánica

Muchos motores de inducción son fabricados con una cierta holgura en la carga máxima de operación en régimen continuo, caracterizado como factor de servicio (no debe ser confundido con la sobrecarga momentánea del motor, la cual vale para cortos períodos de tiempo). La utilización del factor de servicio implica una vida útil del motor menor a aquella en que el motor se encuentre operando con carga nominal. Obstrucción del sistema de ventilación El calor generado en el rotor y estator se disipa al exterior por medio de un sistema de ventilación, el cual, si por alguna circunstancia se encontrara obstruido o dañado, causaría un sobrecalentamiento en los bobinados del estator. Es importante recalcar la necesidad de utilización de un sistema de ventilación adicional si el motor opera con sobrecalentamiento en régimen normal. (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.6.6 Solicitaciones eléctricas

2.6.6.1 Dieléctrico

Existe una relación entre la vida del aislante del bobinado y la sobretensión aplicada. Cada material aislante posee sus particularidades, teniendo algunos mayor capacidad de tolerancia a la tensión que otros. Esta sobretensión puede causar cortocircuitos en el bobinado de 3 formas (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade):

- Fase-fase
- Espira-espira
- Espira-tierra


2.6.6.2 Efecto Corona

El efecto corona puede llegar a ser un problema serio particularmente en bobinados que operen a tensión superior a 5kV. El efecto Corona es una descarga localizada resultante de la ionización gaseosa en el sistema de aislamiento cuando la tensión excede un valor crítico. Existen 3 tipos básicos de descarga por efecto corona: descargas internas ocurridas en pequeñas cavidades del dieléctrico: descargas ocurridas en la superficie de las espiras, descargas puntuales provenientes de un fuerte campo eléctrico en extremidades o pequeñas aristas. (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

2.6.6.3 Sobretensiones de corta duración

Condiciones de sobretensión ocurren con cierta frecuencia durante la utilización de motores eléctricos, dando como resultado la reducción de la vida útil del bobinado y pudiendo ocasionar fallas prematuras. Oscilaciones de corriente y sobretensión normalmente dañan la aislación de las espiras del estator pudiendo esto ocasionar cortocircuitos entre espiras. Estos problemas ocurren debido a la apertura y cierre de contactos. Las sobretensiones pueden ser producto de las siguientes condiciones (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade):

- Falta de aterramiento
- Abertura y cierre de disyuntores
- Conexión de banco de capacitares
- Colocación de fusibles limitadores de corriente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En este mismo grupo de las fallas se presenta las que están relacionadas con las severas anomalías eléctricas la cual es una condición inusual del servicio eléctrico del motor, lo que se aleja de los valores listados por el fabricante, reglamentaciones nacionales y organismos que dictan estándares (Mata, 2008), estos son:

- Sobrevoltaje.
- Bajo voltaje.
- Des balance de voltaje.
- Pérdida de fase.
- Voltajes transitorios.

Cuando un motor opera en una condición permanente de desbalance de voltaje su temperatura aumenta, y el motor se recalienta por partes. Un desbalance de 3.5% puede provocar hasta un 25% de levantamiento de temperatura adicional (Mata, 2008).

Las fuentes típicas que producen picos de voltaje son:

- Descargas atmosféricas.
- Parada de grandes motores.
- Bancos de condensadores automáticos.
- Variadores de velocidad electrónicos.

2.6.7 Movimiento de las espiras:


El paso de corriente por los bobinados del estator produce esfuerzos directamente proporcionales al cuadrado de la corriente. Estos esfuerzos alcanzan su máximo valor en el arranque del motor, ocasionando vibraciones en las espiras de los bobinados. Esta vibración provoca un movimiento relativo entre las espiras, el cual se acentúa más en las cabezas de bobinas, pudiendo ocasionar cortocircuitos.

Cualquier vibración excesiva también puede provocar daños en los rodamientos del motor. Para disminuir este problema es aconsejable mantener siempre alineada la máquina de modo de reducir las vibraciones excesivas (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

2.5.9 Contacto entre estator y rotor

Las razones más comunes que conducen al contacto entre el rotor y el estator son las siguientes (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade):

- Fallas en los rodamientos
- Deflexión del eje

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

· Desalineamiento entre rotor y estator.

2.5.10 **Solicitaciones relacionadas al medio externo**

Las que causa la Contaminación del sistema de aislamiento un contaminante es todo aquello que no debe permanecer dentro del motor, ya que se puede afectar su funcionamiento (Mata, 2008).

Los principales problemas de contaminación se dan por:

- Humedad-Condensación.
- Grasas-Aceites.
- Partículas extrañas: Aserrín, polvo, arena.
- Abrasión.
- Objetos extraños: Partes metálicas, tornillos, tuercas.

La presencia de materiales extraños puede llegar a provocar daños en el estator, como por ejemplo reducción de la disipación de calor, con la consecuente reducción de la vida útil del aislante de los bobinados, fallas prematuras en el sistema de aislamiento debido a esfuerzos localizados y averías en el aislamiento causando cortocircuitos.

Otro factor muy importante, a la hora de considerar fallas de aislamiento relacionadas al entorno en donde se encuentra operando el motor, es la humedad del medio, ya que el ingreso de humedad en el aislante puede ser un factor desencadenante de cortocircuitos en los bobinados (Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade).

La humedad es el principal agente contaminante que se encuentra en el motor, cuando ésta se deposita por algún mecanismo (condensación, ingreso directo) la fuerza dieléctrica del sistema de aislamiento se reduce, dejándolo vulnerable, con la posibilidad de no soportar mucho tiempo hasta que un corto circuito se presente. Esta falla es típica de la industria alimenticia, donde motores son lavados periódicamente, siendo no aptos para este procedimiento (Mata, 2008).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3 METODOLOGÍA

Se consultaron las fallas en máquinas enfocando principalmente en una búsqueda por las distintas páginas web donde se asoció índices y portales a los sitios de internet, los cuales llevaron a lugares organizados temáticamente. Para lograrlo se recopiló distinta información apoyándose en catálogos y recomendaciones del fabricante que fueron descargados y son de uso libre como los de motores eléctricos del fabricante brasileño WEG® y de igual forma para los motores de combustión interna se logró consultar un documento en la biblioteca virtual del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, junto con videos encontrados en Youtube tras buscar “análisis de falla” donde catalogan como ciencia el estudio de fallas a sistemas que componen un motor y en donde se enfocan al motor de combustión interna. Luego haciendo una averiguación en internet, también se buscó páginas con contenido multimedia donde hacen uso de videos y dan cuenta de cómo los motores eléctricos como mecanismo convertidor de energía tienen cada uno sus distintos tipos de conexiones y recomendaciones al analizar averías.

También se realizó una búsqueda en libros de texto, constituyendo la primera instancia de este proceso de búsqueda de información, los mismos poseen la ventaja de que responden a preguntas generales respecto al tema como ¿Qué son? ¿Cómo funcionan? ¿Qué variables se diagnostican? No obstante, algunos de los aspectos tratados pueden ya tener algún grado de desactualización, por consiguiente, la primera parte de la consulta asignada estuvo apoyada en el autor Enríquez Harper cuyo libro llamado “Pruebas y Mantenimiento a Equipos Eléctricos” se encuentra en la biblioteca de la institución y tal texto está sometido a actualizaciones constantes.

El siguiente paso que se realizó y el cual se tuvo y se debe tener en cuenta como modo de averiguación son las revistas científicas o publicaciones periódicas, a diferencia de los libros de texto, ofrecen el acceso al trabajo original y por lo tanto a la metodología empleada. No obstante, en algunos casos la disponibilidad y acceso a los ejemplares puede estar limitada; por otro lado, el almacenamiento de las mismas con el tiempo resulta dificultoso. Afortunadamente cada vez son más las revistas que poseen un formato electrónico simultáneo al formato papel, lo que ofrece la posibilidad de un rápido acceso a la información requerida desde una PC. Adicionalmente se trabajó con bases de datos suministradas por la institución universitaria que permitieron hacer una búsqueda por

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

campos las cuales dieron la posibilidad de selección de un campo específico, también la opción de una búsqueda por índices que suministro un muy completo y basto contenido más reciente de la investigación sobre el tema en particular, en donde se llevó a cabo el hallazgo de la información más confiable en el campo de la ciencia de estudio de fallas a sistemas convertidores de energía a través de la identificación y localización de los documentos que contenían esta información y que estudiaban la solución a tales problemas en los motores en general.

Los sistemas de información empleados en el paso anterior no entendían el lenguaje natural, si no el lenguaje de interrogación que es artificial, en donde la traducción de la consulta al lenguaje de interrogación fue una ecuación de búsqueda diseñada para interactuar con los sistemas de recuperación de información y que expreso una necesidad de información y que procedió hacer con los siguientes pasos o recomendaciones:


- a) Se expresó la necesidad de información en una frase con lo que se comenzó a filtrar la búsqueda en ScienceDirect (proveedor de soluciones de información que ofrece ayuda al usuario en la consulta, con el poder para tomar mejores decisiones, ofrecer una mejor atención, y a veces hacer descubrimientos innovadores que proporcionan el conocimiento y el progreso humano). Su sistema de búsqueda científica es una aplicación informática accesible vía web, además de suministrar el texto completo y/o resúmenes de artículos de revistas científicas, libros de referencia y otros tipos de publicaciones de un variado conjunto de disciplinas, actualizados periódicamente con una descripción semántica en inglés.
- b) Se Identificaron los términos principales de la consulta enfocados a los motores con sustantivos y singulares. Aquí se exploraron las distintas alternativas que eran de utilidad para mejorar la búsqueda con palabras como falla mecánica, selección/aplicación inadecuada del motor, averías, cortocircuito, deficiencia, correctivos, desbalance, problemas eléctricos, etc. Además, se realizó un filtro de búsquedas con conectores booleanos en la base de datos con palabras claves que identificaban el tema adecuadamente y contemplaban el tema en general, con lo que al final se encontró con más precisión la información en dicha base datos.
- c) Se analizarán los sinónimos para cada término y cada sinónimo y términos relacionados entre sí, sino basta con una palabra se halla la forma de averiguar o vincular dicha palabra con el problema y enfoque en el que le corresponde en el contexto para la cual se busca y que por tal dará la respuesta.
- d) Se construyeron ecuaciones de búsqueda relacionadas con el estudio de fallas y averías en sistemas donde la carga impulsada por un motor puede ser las aspas de un ventilador o un impulsor de bomba al mover aire o fluidos, o donde la carga puede moverse en línea recta como una banda transportadora, o también como el mecanismo que mueve la cabeza cortante de una fresadora. Se accedió a documentos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de bases de datos proporcionadas por la institución los cuales eran sobre la relación existente entre fallas y tipos de motores a un nivel donde las averías son identificables con pruebas y mantenimiento a motores con criterios para la selección de información, la disponibilidad, suficiencia, veracidad, calidad, utilidad, procedencia para así poder precisar una posible causa y una solución desde un punto de vista enfocado al mantenimiento correctivo que como su palabra lo dice se realiza después de que un fallo o problema surge en un sistema, con el objetivo de restablecer la operatividad del sistema.

Entre las fuentes, también se documentó el aporte del Tecnólogo Electromecánico Jorge Grisales y su protocolo de taller eléctrico de reparación y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas con nombre Tamayo Palacio y Cía. S.A. a motores donde contiene parámetros y normas por las que se rigen así como también los instrumentos utilizados en el motor y la regulación de los niveles mínimos de rendimiento en los motores de baja tensión, según las clases de eficiencia definidas en la norma internacional IEC EN 60034-30 que fue publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional en octubre 2008. Análogamente se adjuntaron avances de fabricantes en pruebas y chequeos de equipos que utilizan motores para sus propósitos de trabajo en el campo que intervengan.

Por último, se documentó dicho trabajo de estudio de fallas a motores en el blog que servirá de apoyo a los gerentes del mantenimiento. Lo expuesto anteriormente es para apoyar los trabajos de mantenimiento de una empresa grande o pequeña y lo generaliza para toda su industria, es decir, abarca todas las áreas de producción, pero cabe mencionar que cada máquina al adquirirlo viene con su propio instructivo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fallas en motores eléctricos

Las fallas que puede presentar un motor eléctrico son tan variadas como los lugares donde estas se presentan, es por esto por lo que se estudia el tipo y el lugar donde estas se presentan (Botha, 1997); dentro de los diferentes tipos encontrados están las fallas electromagnéticas y las fallas mecánicas (Castelli Lemez & Andrade, 2007).

Estos dos grupos engloban la mayoría de las fallas que se pueden presentar en un motor eléctrico. Dentro de cada uno de estos grupos se pueden encontrar diferentes tipos de falla que pueden estar asociadas a diferentes causas, generando diferentes efectos. Desde el punto de vista electromagnético del motor de inducción según lo explica (Castelli Lemez & Andrade, 2007) se pueden encontrar diferentes fallas dada la ubicación donde estas se presenten:

- Fallas del estator.
- Fallas del rotor
- Falla en las bobinas y/o barras de inducción.

Por otra parte, desde el punto de vista mecánico se pueden encontrar:

- Fallas de los cojinetes
- Deflexión del eje
- Desalineamiento
- Desbalanceo


Estas fallas pueden ser crónicas, esporádicas o transitorias dependiendo de la permanencia de estas en el tiempo y la forma en la que afecte al motor (Laverde, 2008).

Luego de presentarse la falla en el motor se identifica cual es la causa que obliga al elemento a fallar.

4.1.1 Fallas del estator

Las fallas que se presentan en esta parte de los motores se asocian a diferentes causas, entre las que se encuentran:

- Recalentamiento del estator

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Envejecimiento de los bobinados
- Separación de laminas
- Desalineamientos
- Fallas de aislamiento

4.1.1.1 Recalentamiento del estator

El recalentamiento del estator es una situación que tiene implicaciones graves en la vida útil de un motor eléctrico, como lo expresa (Castelli Lemez & Andrade, 2007), “Un pequeño desbalanceo de fase causará un aumento de temperatura en los bobinados del estator. Se ha constatado que cada 3.5% de desbalanceo por fase, la temperatura del bobinado aumenta en un 25% en la fase de mayor corriente. Por ello se deben mantener las 3 fases lo mejor balanceadas posibles, con el fin de evitar la ocurrencia de este problema”; estos recalentamientos pueden ser causado por diferentes factores de los cuales se destacan:

- Las variaciones de voltaje
- tensión de fase no balanceada
- Sobrecarga
- Obstrucción de la ventilación
- Arranques cíclicos.

Donde varios de estos ítems son problemas asociados a la red eléctrica; estos problemas, como lo comenta (Castelli Lemez & Andrade, 2007) son factores que reducen la vida útil de un motor de inducción en diferentes grados.

4.1.1.2 Envejecimiento de los bobinados

El envejecimiento de los bobinados se da cuando se presentan variaciones térmicas o tensiones mecánicas generadas en cada arranque que el motor realiza, ya que el campo magnético generado en las bobinas hace que estas se desplacen, o debido al estrés térmico al que se encuentre sometido el motor como se comentó en el anterior apartado.

4.1.1.3 Separación de láminas

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la separación de las láminas que conforman el estator, esto causa la pérdida del alineamiento del campo electromagnético, afectando la potencia y haciendo que el motor sufra recalentamientos térmicos (Hidalgo, 2003).

4.1.1.4 Fallas de aislamiento

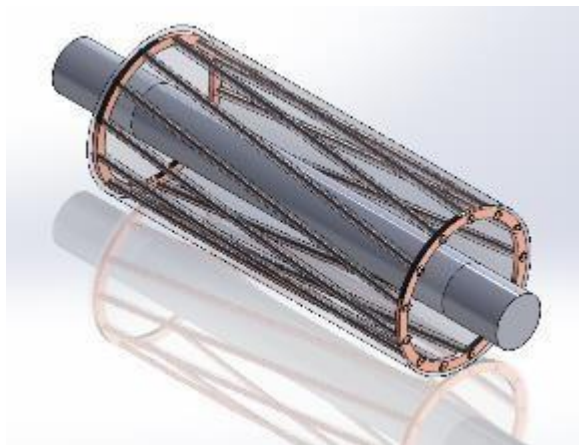
Las fallas de aislamiento se presentan cuando la capa protectora o barniz que recubre el cable del bobinado se desprende o se ve comprometido por diferentes factores, esta capa puede verse

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

comprometida por el envejecimiento del bobinado, o por las tensiones y desplazamientos que sufren las bobinas haciendo que haya contacto de los conductores desnudos entre diferentes espiras de la misma bobina, entre diferentes espiras de diferentes bobinas o entre las bobinas y el entrehierro del estator

4.1.2 Fallas en el rotor

El rotor de un motor de jaula de ardilla es la parte que conduce el torque generado por el campo magnético giratorio del estator al igual que sucede con el estator de un motor, el rotor también puede presentar diferentes tipos de fallas ya sean electromagnéticas o mecánicas.



Como se observa en la imagen, el rotor de un motor jaula de ardilla está compuesto principalmente por el eje del rotor en el cual va montado el núcleo del rotor, dentro de este se encuentran las barras de inducción y los anillos de cortocircuito, aunque esta parte del motor es muy sólida también puede llegar a presentar diferentes fallas que hacen que el motor deje de funcionar correctamente, entre las cuales podemos encontrar:

- Recalentamiento del rotor
- Separación de laminas
- Desalineamientos
- Barras abiertas

4.1.2.1 Recalentamiento del rotor

El rotor del motor de jaula de ardilla puede verse afectado térmicamente por diferentes factores, dentro de estos factores se encuentran factores mecánicos asociados a la fricción en el entrehierro del motor cuando el sistema esta desalineado, a la sobrecarga y al sistema de ventilación, también hay factores electromagnéticos causados al haber una de las barras de inducción abierta, lo que genera corrientes desiguales en el rotor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.1.2.2 Separación de las láminas

Al igual que sucede en el estator del motor, la separación de las láminas que conforman el núcleo del rotor genera vibraciones indeseadas, hasta el punto de llegar a ser audibles, también generan aumento de la temperatura del rotor y espacios que aumentan la probabilidad de que se abra una barra de inducción.

4.1.2.3 Desalineamientos

Los desalineamientos son otra forma en la que un motor eléctrico puede generar sobrecalentamientos, cargas excesivas y vibraciones, estas pueden ser causadas por excentricidades estáticas o dinámicas dependiendo del elemento que se encuentre descentrado (Hidalgo, 2003).

Las excentricidades estáticas son aquellas donde el eje del rotor se encuentra fuera de la línea de revolución del estator, mientras que las excentricidades dinámicas son aquellas en donde el eje del rotor gira alrededor de la línea de revolución del estator.

4.1.2.4 Barras abiertas

Las barras abiertas se presentan debido al estrés al que se puede someter a un motor en sus condiciones de trabajo (Villalobos Piña & Alvarez Salas, 2016), esto causa un campo magnético giratorio contrario al movimiento del rotor, generando un par contrario (Medrano H., Pérez T., de Armas T., & Hernández, 2013)

4.1.3 Fallas en cojinetes

La mayoría de motores eléctricos usan rodamientos para soportar y centrar el rotor en la línea de centro del estator, estos rodamientos eliminan la fricción permitiendo que el rotor gire libremente; pero estos elementos son de suma criticidad en el funcionamiento del motor ya que la vida útil de este está asociada a la vida útil del rodamiento.

Como lo expresa (Medrano H. et al., 2013), “bajo condiciones normales de funcionamiento, los rodamientos fallan por desgaste o fatiga del material, cuando comienzan a fallar se incrementan las vibraciones de las máquinas y los niveles de ruido acústico aumentan. Estas frecuencias de falla de rodamientos están en función de la geometría de los rodamientos y la velocidad de marcha. Aunque aproximadamente el 40% de las fallas de los motores eléctricos están relacionadas con los rodamientos y estas fallas pueden llegar a confundirse con asimetrías rotóricas.”

4.1.4 Fallas varias

Dentro de las fallas que se pueden presentar en un motor de inducción eléctrica se encuentran fallas asociadas a las condiciones ambientales o del entorno de trabajo del motor, estas fallas son

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

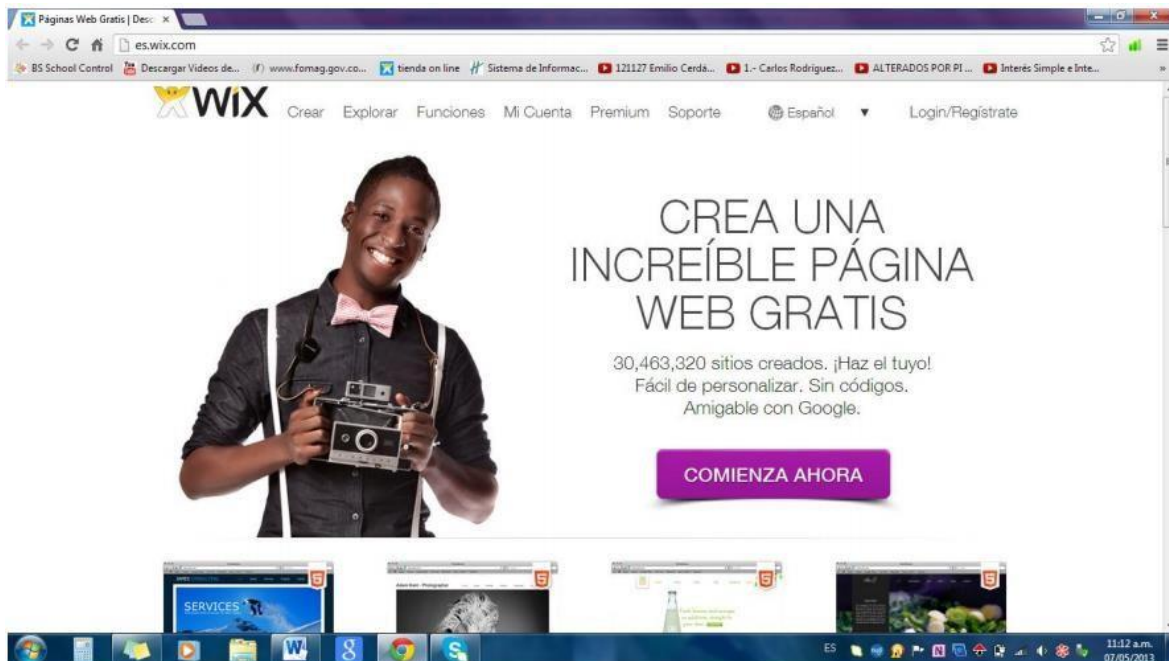
causadas por diferentes agentes, tales como, humedad, partículas suspendidas, corrosión, largos tiempos de reposo, normalmente estos factores afectan el correcto funcionamiento de los rodamientos haciendo que ocurran las fallas comentadas en el apartado anterior.

Estos factores también pueden afectar las demás partes internas haciendo perder las propiedades del entrehierro, las propiedades del recubrimiento de las bobinas y de los correctos contactos en las borneras del motor.


4.2 Elaboración del blog

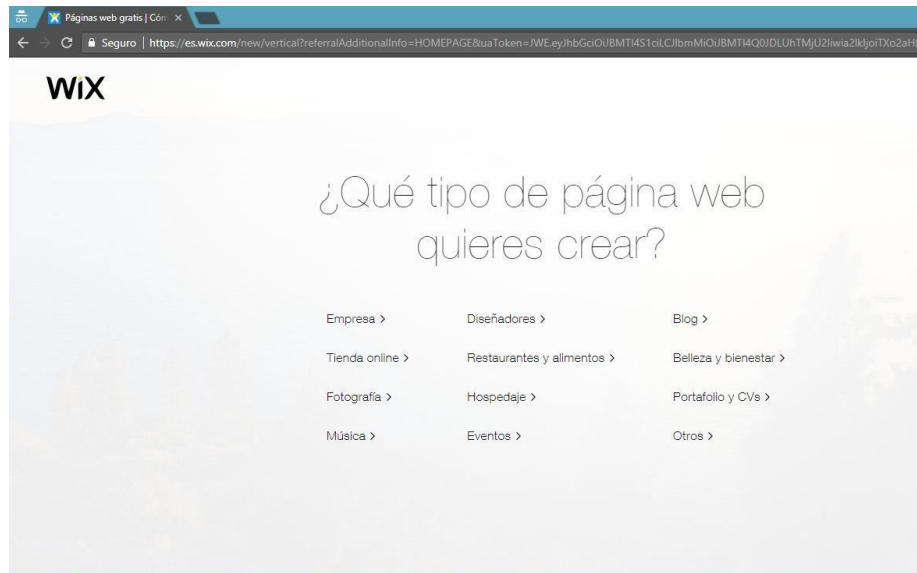
Se realiza una revisión detallada de las causas más frecuentes por las cuales falla un motor eléctrico de inducción y para presentarlo al público se plasma en un blog de la siguiente manera se abre una cuenta con ayuda del editor wix online que permite crear y publicar un sitio web en flash indexado en buscadores, gratuitamente, con una dirección de tipo www.wix.com/nombre de usuario/nombre de documento así:

Ingresa a la página www.wix.com para loguearse

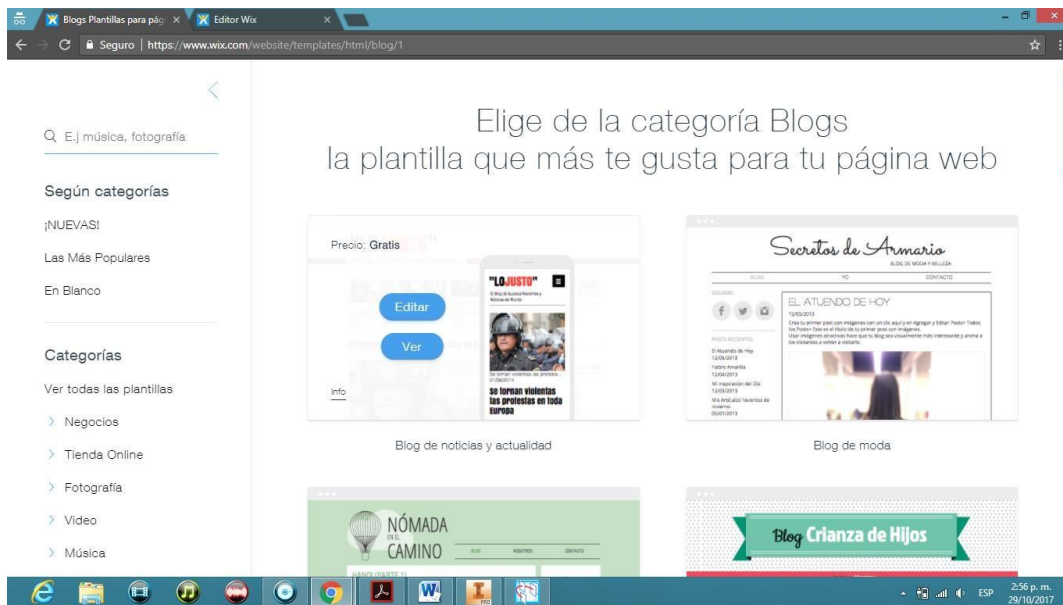


Para el siguiente paso tienes dos opciones: 1. Registrarte por Facebook o por tu cuenta de correo y 2. Si ya estas registrado, procedes a iniciar sección. Luego de realizar uno de los pasos anteriores debes escoger una categoría como por ejemplo la de crear un blog.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Luego de realizar el paso anterior se te abre una nueva página en donde tienes la opción de elegir la plantilla que más se ajuste a tus gustos, una vez elegida le das clic en editar, para poder iniciar a crear el blog.



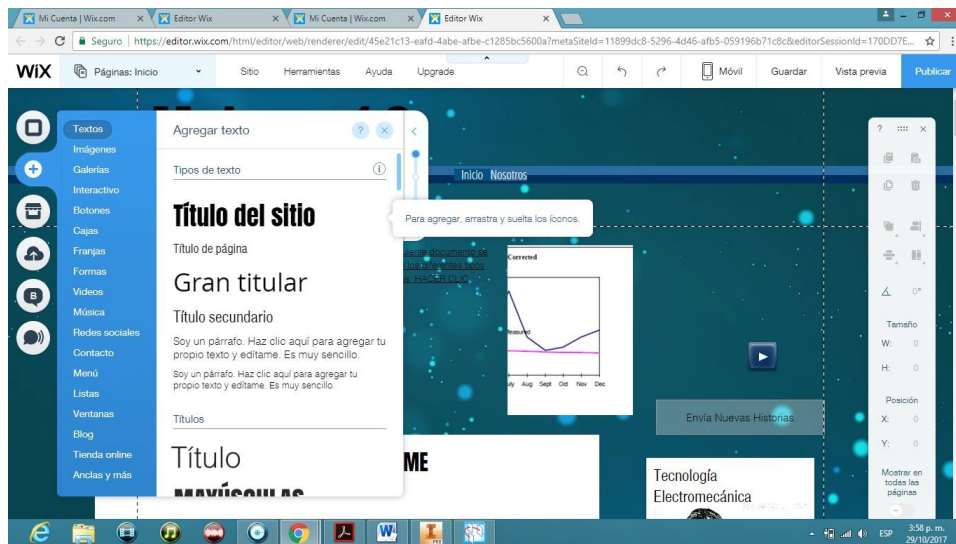
Continuando la opción anterior te llevara a la página del editor en donde encontraras varias alternativas por medio de las cuales puedes navegar por toda la página y podrás crear y modificar según sean tus gustos como por ejemplo:

Fondo de página, con el cual podrás darle un estilo único a tu blog.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

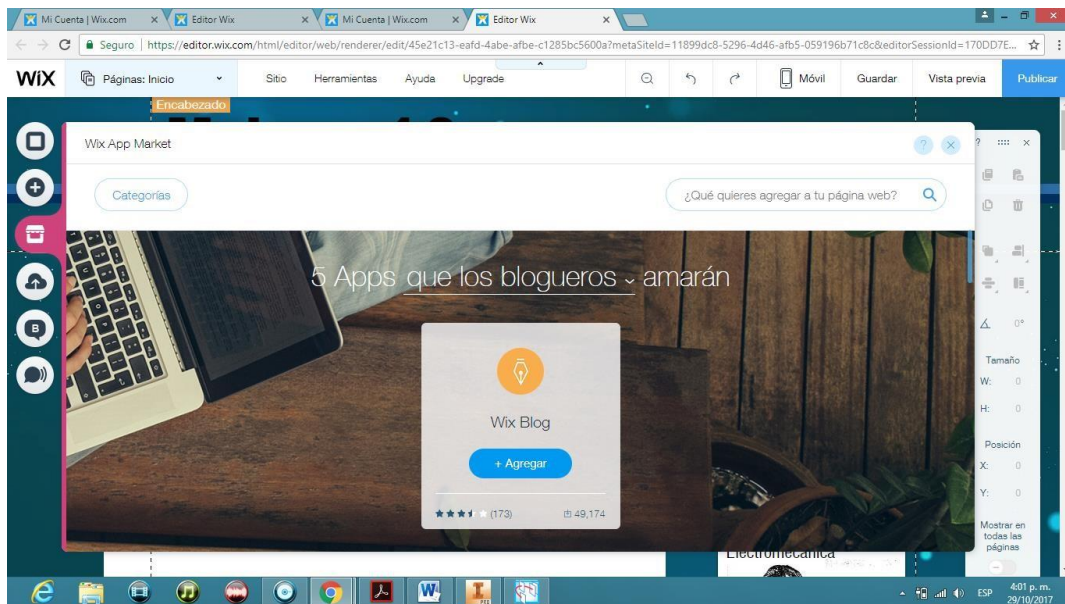


Otra de las opciones es agregar, en donde puedes: ingresar textos, imágenes, videos, música de fondo, redes sociales, listas (esta opción te permite colocar tu información por categorías), ingresar botones, etc.

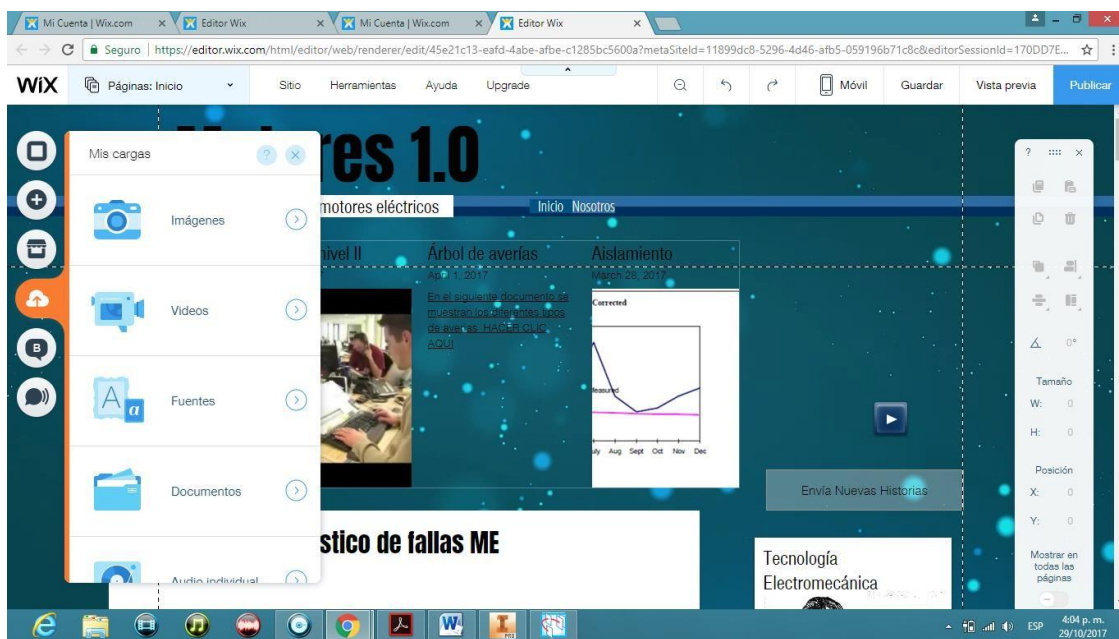


También tienes la opción de App Market para personalizar tu blog y darle la originalidad que deseas.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



También encontraras el botón mis cargas que te permite controlar todo tu blog.

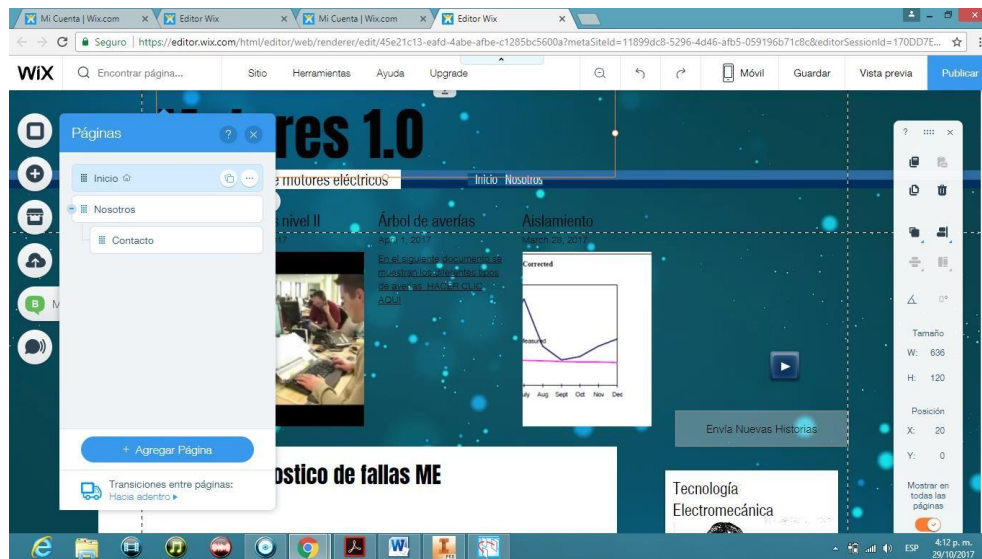


Una vez que has observado cada una de las funciones de los pasos anteriores, puedes comenzar a editar el título y el slogan de la siguiente manera, dándole doble clic sobre ellos, como se muestra a continuación.

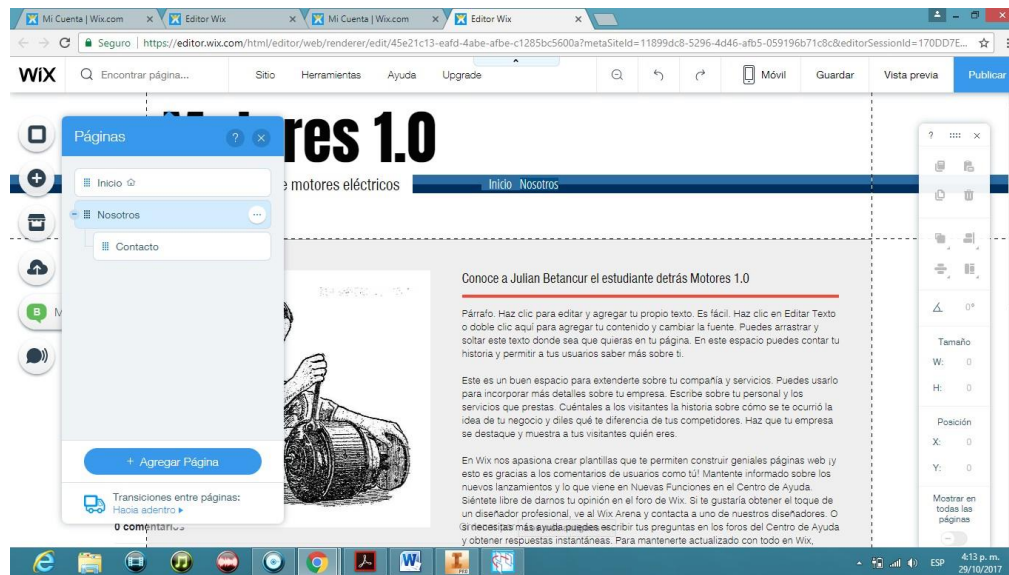
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Otra de las opciones que tienes es modificar la descripción de tu blog, la cual la puedes hacer dirigiéndote a la parte superior de la página y dando clic sobre el botón páginas, luego veras que se despliega una venta y debes dar clic sobre la pestaña nosotros y empezar a modificar.

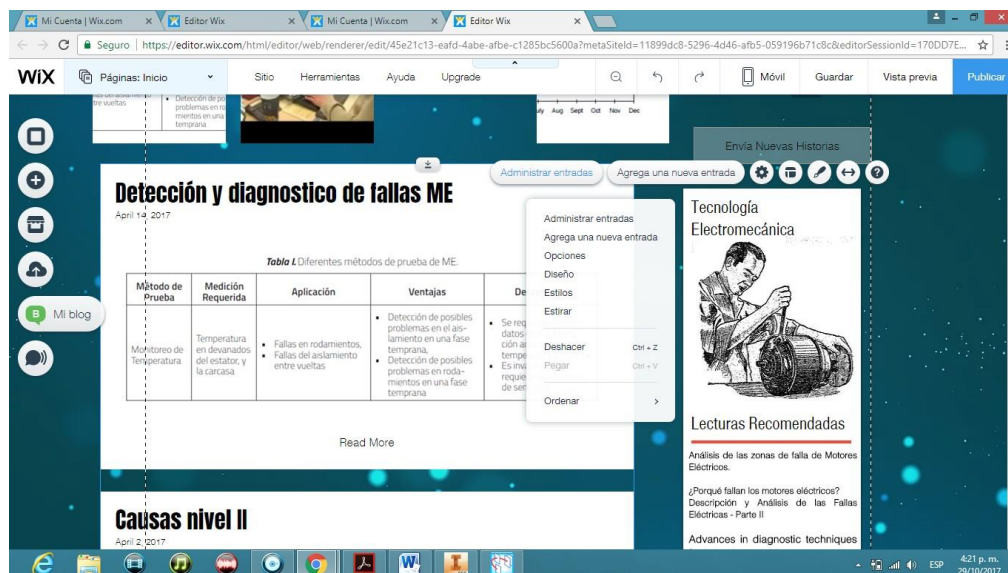


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Una vez realizado este paso le das en la opción guardar y luego en la opción hecho, para continuar editando le das nuevamente clic en la opción páginas y luego en la pestaña inicio.

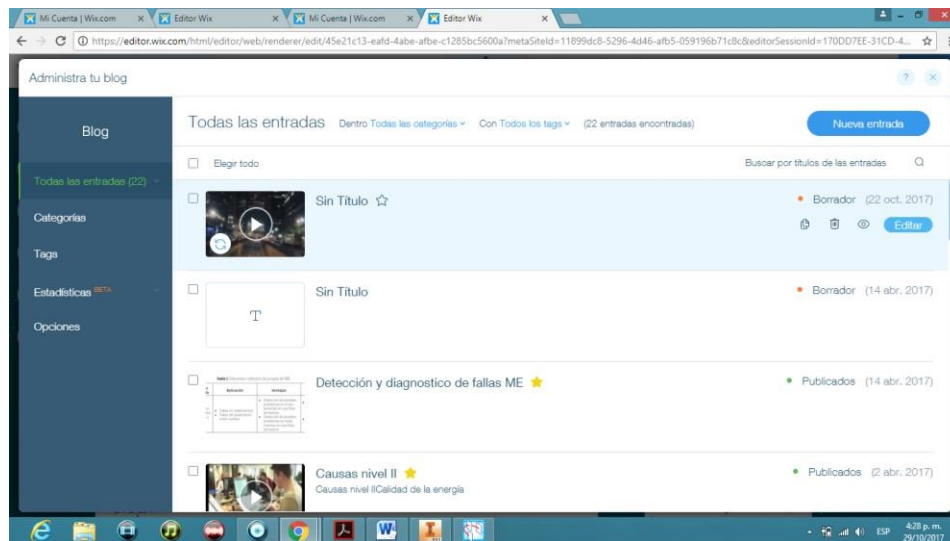
Si deseas modificar las noticias que te muestra el blog debes dar clic derecho sobre una de ellas, al hacer esto se despliegan 2 opciones: 1. Administrar entrada y 2. Agregar nueva entrada.



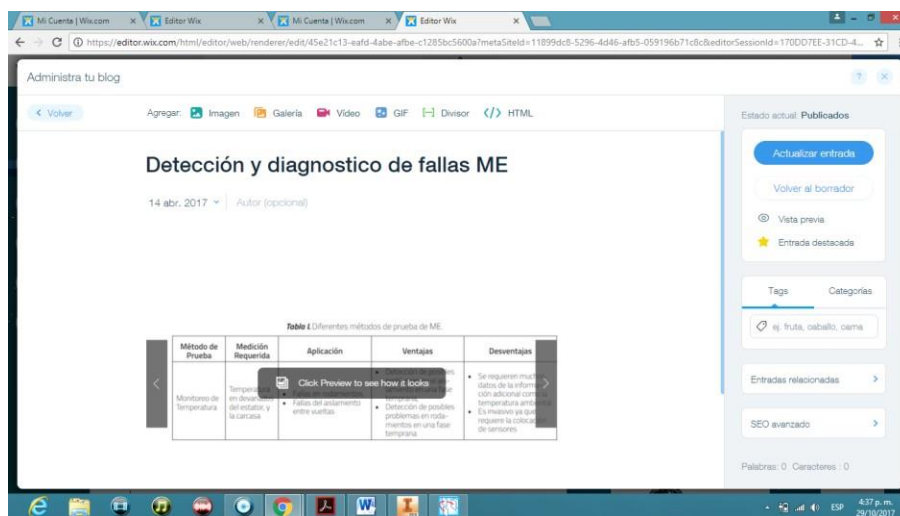
En esta ocasión una vez realizado el paso anterior y a ver elegido la opción administrar una entrada, te mostrare como se hace.

Después de a ver dado clic sobre administrar una entrada se despliega una nueva ventana llamada administrar tu blog, en donde tendrás varias opciones, entre las que se encuentra ver entradas publicadas, programadas, crear categorías, los tags, editar, etc.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

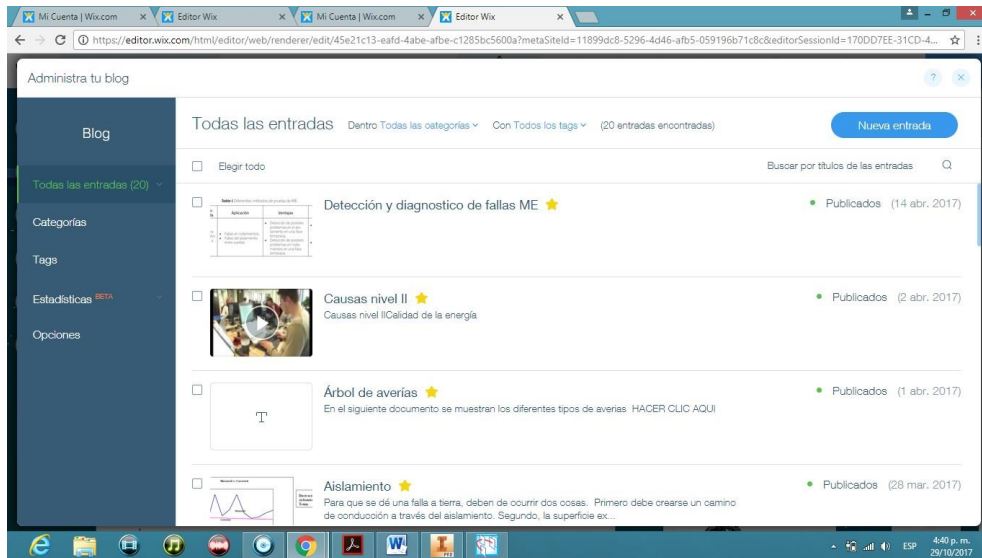


Una vez dado clic en la opción editar se abrirá una nueva ventana en donde podaras modificar el título, la descripción, ingresar texto, ingresar una imagen, video un gif, HTML, ingresas tags, categorías, etc.



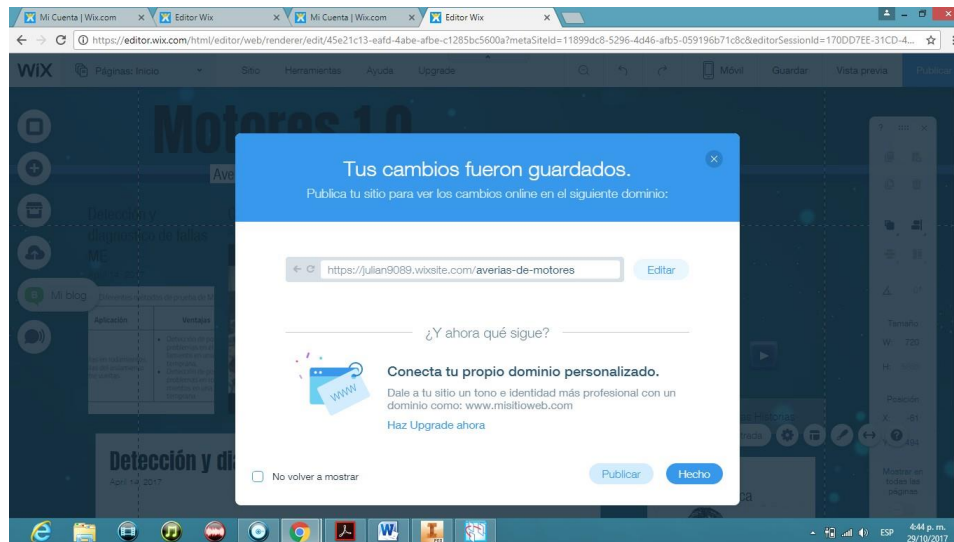
Luego de a ver realizado todas tus modificaciones en esta ventana, te diriges a la parte derecha de la página y das clic en la opción actualizar entrada y automáticamente tienes una nueva entrada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Para volver al inicio de tu blog debe cerrar la ventana de administrar tu blog.

Luego de haber ingresado y modificado toda tu información necesaria en tu blog te diriges a la parte superior derecha en donde podrás ver las opciones de móvil, guardar, vista previa y publicar, para esta ocasión das clic en la pestaña guardar y luego en la opción publicar en donde te mostrara la URL de tu blog creado para que puedas compartirla con tus contactos.



En este paso te mostrare como se ve el blog después que uno de tus contactos ingresa con la URL que le compartiste.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta Como Metodo de Investigacion.Elaboracion de Cuestionarios y Elaboracion de de los Datos. *Aten primario*, 527-538.
- Garcia, L. G. (14 de 11 de 2014). *www.gestiopolis.com*. Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/ingenieria-de-confiabilidad-1/>
- Garrido, S. G. (10 de 2016). <http://www.reporteroindustrial.com/>. Obtenido de <http://www.reporteroindustrial.com/temas/El-analisis-de-causa-raiz+115643>
- Gonzalez, A., Calleja, V., Lopez , L., Padrino, P., & Puebla, P. (2009). UAM. Obtenido de https://www.uam.es/personal_pdi/stmaria/jmurillo/InvestigacionEE/Presentaciones/Encuesta_doc.pdf
- Hurtado, Z. Y., Tello, C. P., Teyra, M. A., & Hernández, C. A. (18 de 06 de 2013). Un Estudio Sobre La Localizacion,Deteccion y Diagnostico de Fallas En Maquinas Electricas. (SciELO, Ed.) *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol.23.
- Mata, O. N. (Dic de 2008). ¿Por qué fallan los motores eléctricos? Descripción y Análisis de las Fallas Eléctricas - Parte II. CIEMI.2008; 12-13., nº 61:.
- Mecantech. (22 de 11 de 2013). *Area Mecanica*. Obtenido de <https://areamecanica.wordpress.com/2013/11/22/diagnostico-y-resolucion-de-fallos-y-averias/>
- Medrano Hurtado Zulma, P. T. (Dic 9 de 2016). *Medrano Hurtado Zulma, Pérez Tello Carlos, De armas Teyra Marcos, Amaro Hernández Cesar. Un estudio sobre la localización, detección y diagnóstico de fallas en máquinas eléctricas. [Internet]. [Consultado 2016 Dic 9]. Disponible en: http://www.umng.ed*. Obtenido de http://www.umng.edu.co/documents/10162/4585612/articulo_3.pdf.
- Ros Romero, A. (01 de 10 de 2010). <http://www.mailxmail.com/>. Obtenido de <http://www.mailxmail.com/curso-mantenimiento-industrial-2-3/mantenimiento-industrial-160-analisis-averias-1-2>
- Universidad de Montevideo. – IEEE Member Andrade, M. A.–I. (s.f.).
- Villalobos Peña Francisco Javier, Á. S. (10 de 2015). *Villalobos Peña Francisco Javier, Álvarez Salas Ricardo. Algoritmo robusto para el diagnóstico de fallas eléctricas en el motor de inducción trifásico basado en herramientas espectrales y ondeletas. RIAI. 2015 Sep.; 12: 292-303.*

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

Julian Andrés Betancor Martínez

FIRMA ASESOR _____

[Handwritten Signature]

FECHA ENTREGA: 19/10/2017 primera entrega informe final para evaluación

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____