



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN MOTOR DE AC DE
75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO**

Marlon Manolo Jiménez Pinto

Asesorado por el Ing. Erick Rubén del Cid Cifuentes

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN MOTOR DE AC DE
75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARLON MANOLO JIMÉNEZ PINTO

ASESORADO POR EL ING. ERICK RUBÉN DEL CID CIFUENTES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftali López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godinez
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN MOTOR DE AC DE 75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 14 de noviembre 2014.



Marlon Manolo Jiménez Pinto

Guatemala 2 de mayo de 2018

Ing. Saúl Cabezas
Coordinador de Potencia
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Estimado Ingeniero:

Por este medio le solicito sea recibida la Tesis del estudiante de Ingeniería Eléctrica Marlon Manolo Jiménez Pinto, con número de carnet 9615966, con el tema "EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN MOTOR DE AC DE 75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE EXTRUSION DE PLÁSTICO", la cual fue presentada ante mi y corregida las veces que fueron necesarias, con el objetivo de que pudiera estar dentro del marco de la Ingeniería que es necesario para validar dicha investigación.



Ing. Erick Rubén del Cid Cifuentes
ASESOR
Colegiado No.3376

*Erick Rubén del Cid Cifuentes
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 3376*

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 34.2018.
8 DE MAYO 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN
MOTOR DE AC DE 75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE
EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO**, estudiante; **Marlon Manolo
Jiménez Pinto**, que cumple con los requisitos establecidos para tal
fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 4648

Ing. Saúl Cabezas Durán
Coordinador de Potencia




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 33.2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **MARLON MANOLO JIMÉNEZ PINTO** titulado: **EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN MOTOR DE AC DE 75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 18 DE MAYO 2018.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 046.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UN MOTOR DE DC DE 55KW VS. UN MOTOR DE AC DE 75HP EN UN PROCESO CONTINUO DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO**, presentado por el estudiante universitario: **Marlon Manolo Jiménez Pinto**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, febrero de 2019

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

**Universidad de San Carlos
De Guatemala** Por ser el tiempo del saber y sabiduría para mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería Por brindarme la oportunidad de pertenecer a tan honorable y respetada facultad.

A mis catedráticos Agradecimientos por compartir sus conocimientos y enseñanzas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	En primer lugar, por dare y las posibilidades de esta carrera.
Mis padres	Sergio Jiménez Guerra y Gladys Adalgisa Pinto de Jiménez, por apoyarme desde el inicio de mi carrera hasta este momento.
Mi esposa	Deyanara Obregón de Jiménez, por su amor por mí.
Mis hijos	Carlos Manuel y Saraí Jiménez Ogregón, que este triunfo sea un ejemplo para los dos.
Mis hermanos	Sergio, Judith y William Jiménez Pinto, por ser mis primeros amigos.
Mis tíos y demás familia	Por ser mis amigos que en su momento me apoyaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS	XI
INTRODUCCIÓN.....	XIII
1. GENERALIDADES DE UN MOTOR DE DC Y AC.....	1
1.1. Descripción general de un motor de DC	1
1.2. Motor de DC de excitación en derivación.....	2
1.3. Control de velocidad en motores DC en derivación	3
1.3.1. Ajustando el voltaje en los terminales, aplicado al inducido	4
1.4. Descripción del motor de AC	5
1.4.1. Desarrollo del par inducido en un motor de inducción.....	6
1.4.2. Concepto de deslizamiento del rotor del motor de inducción.....	8
1.4.3. Frecuencia eléctrica del rotor	9
1.4.4. Potencia y par en los motores de inducción	10
1.4.5. Pérdida y diagrama de flujo de potencia	11
1.5. Características del extrusor de plástico	12
1.6. Método estadístico a través de una distribución Chi cuadrada	15
1.6.1. Distribución Chi cuadrada	16

1.6.2.	Propiedades de la distribución del estadístico	
	Chi cuadrada	16
2.	ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE DC DE 55 KW EN EL PROCESO CONTINUO DE PRODUCCIÓN DEL PLÁSTICO	21
2.1.	Mantenimiento al motor de dc de 55 kw	25
2.2.	Costo anual del mantenimiento del motor de DC 55 kw	26
2.3.	Análisis del funcionamiento del motor de AC de 75 Hp en el proceso continuo de extrusión de plástico	27
2.4.	Mantenimiento al motor de AC de 75 Hp	30
2.5.	Costos del mantenimiento al motor de AC	30
2.6.	Detalle de resultados de la medición de ambos motores.....	31
2.7.	Mediciones realizadas al motor de DC de 55 Kw	31
2.8.	Mediciones realizadas al motor de AC de 75 Hp	36
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
3.1.	Análisis de resultados del motor DC de 55 KW	43
3.2.	Análisis de resultados del motor de AC de 75 Hp.....	44
3.3.	Análisis de los costos de energía y de mantenimiento entre ambos motores	47
3.4.	Análisis de los costos según la distribución Chi cuadrada -x ²	49
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	57
	APÉNDICE	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Circuito equivalente de un motor de DC en derivación	2
2.	Característica par-velocidad de un motor de DC en derivación	3
3.	Diagrama del circuito eléctrico del ajuste del voltaje en terminales, aplicando el par inducido	4
4.	Estator típico de dos polos	5
5.	Desarrollo del par inducido en un motor de inducción	7
6.	Circuito equivalente de un motor de inducción	10
7.	Circuito equivalente por fase en un motor de inducción	11
8.	Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción	12
9.	Foto de un extrusor con un proceso continuo.....	13
10.	Flujo internamente en un extrusor de plástico	14
11.	Distribución de Chi cuadrada	17
12.	Procedimiento valores críticos.....	18
13.	Placa del motor	22
14.	Motor de DC de 5 Kw	22
15.	Variador de DC	23
16.	Diagrama de conexión típico del variador y su motor de 55KW de DC.....	24
17.	Placa y motor de AC de 75 Hp	28
18.	Variador de AC para motor de AC de 75 Hp	28
19.	Diagrama eléctrico de conexión del motor de 75 Hp de AC	29
20.	Lectura de valores entre ambos motores	45
21.	Consumo corriente.....	45

22.	Potencia activa en Kw	46
23.	Consumo de energía	46

TABLAS

I.	Costo del mantenimiento del motor de DC de 55KW	26
II.	Costo del mantenimiento del motor AC de 75HP	31
III.	Datos de voltajes rms máximos en motor de DC de 55KW.....	32
IV.	Datos de corrientes máximas en motor de DC de 55 KW	33
V.	Medición de las potencias activa, reactiva y aparente en la entrada del variador del motor de DC de 55KW.....	34
VI.	Medición de la distorsión armónica WH en motor de DC de 55KW.....	35
VII.	Consumo de energía eléctrica en motor de DC de 55KW.....	36
VIII.	Medición de voltajes rms máximos en motor AC de 75HP	37
IX.	Medición de corrientes máximas del motor de AC de 75HP	38
X.	Medición de Potencias máximas en motor de AC de 75 HP	39
XI.	Medición de factor de potencia y armónicos en motor de AC de 75 Hp.....	40
XII.	Medición de energía en motor de AC de 75 HP	41
XIII.	Comparación mediciones	44
XIV.	Costos de energía	47
XV.	Costo de demanda firme.....	48
XVI.	Mantenimiento de motor	48
XVII.	Tabla de contingencia.....	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
h	Hora
km	Kilómetro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
ml	Mililitros
min	Minuto
%	Porcentaje
Q	Quetzales
u	Unidad

GLOSARIO

Asíncrono	Lo contrario de sincrónico, o sea discordancia.
Campo rotacional	Es un operador vectorial sobre campos vectoriales definido en un abierto de \mathbb{R}^3 que muestra la tendencia de un campo vectorial a inducir rotación alrededor de un punto.
Circuito rectificador	Es un conjunto de elementos que realizan la transformación del voltaje de corriente alterna en voltaje de corriente directa utilizando diodos semiconductores.
Circuito de campo	Se refiere al campo magnético que hace que exista movimiento mecánico giratorio.
Deslizamiento	Es la diferencia relativa entre la velocidad del campo magnético (velocidad de sincronismo) y la velocidad del rotor.
Estator	Es la parte fija de un motor de AC con su bobinado.

Excitación en derivación	Es aquel cuyo circuito de campo obtiene su potencia directamente de los terminales del inducido del motor.
Excitación separada	Es un motor el cual obtiene su excitación que no proviene de la misma máquina.
Flujo de corriente	Es la carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.
Inducción	Es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz.
Inducido	Es aquel cuyo circuito de campo obtiene su potencia directamente de los terminales del inducido del motor.
Rotor	Es la parte giratoria de un motor eléctrico.
Sincrónico	Se entiende como un término que se refiere a coincidencia en el tiempo o simultaneidad de hechos o fenómenos.
Transformador rotante	esto debido a la transformación en rotor de un motor al transformar energía eléctrica en energía mecánica.

RESUMEN

En el capítulo 1 se describen las generalidades de los motores de DC y AC, así como algunos aspectos generales de la manera en que operan.

En el capítulo 2 se realiza un diagnóstico y evaluación de los motores, asimismo, análisis del funcionamiento de los motores puestos a prueba.

En el capítulo 3 se especifican los detalles de resultados realizados de las mediciones de ambos motores.

El capítulo 4 es un análisis de los resultados de las mediciones de los motores y se determinan las conclusiones correspondientes.

OBJETIVOS

General

Elaborar un estudio técnico que permita evaluar costos y rendimiento de un motor de DC y un motor de AC para los procesos continuos de extrusión de plástico.

Específicos

1. Identificar los impactos directos con el costo de energía eléctrica y costos de mantenimiento preventivo.
2. Establecer las pérdidas de energía que cada motor represente.
3. Realizar un estudio que permita confirmar la conveniencia del tipo de motor a utilizar en procesos continuos de extrusión de plásticos.

INTRODUCCIÓN

Para el mundo actual en el que se vive, el deseo de mejorar las aplicaciones dinámicas electromecánicas en la industria son cada día más necesarias. Esto debido a que son sistemas de que encajan con una gran satisfacción en los diferentes enfoques productivos, tales como: industrias de alimentos, maquileras, industrias de plástico, entre otros, por lo que los motores eléctricos son eso. En cada uno de los enfoques productivos, la necesidad de tener motores eléctricos que realicen esfuerzos mecánicos se ha vuelto una fiebre, ya que su aplicación de suma importancia.

Es muy difícil hoy en día pensar en una planta industrial que no utilice motores eléctricos, es más, en muchas de ellas son el corazón para producir, y aunque muchos no lo ven así, con un buen diseño del proceso se pueden alcanzar excelentes resultados y eficiencias altas, en la gran diversidad de productos terminados. Pero solo con diseñar un proceso, comprar motores y producir no basta, es necesario que cada motor esté incluido en el programa de mantenimiento. Y este mantenimiento genera un costo, el cual se incluye en los costos de un producto terminado. Y como todo costo, siempre se necesita bajar costos, y es en donde empieza la búsqueda de repuestos y mano de obra que puedan bajar esos costos.

Otro tema de suma importancia es el consumo de energía eléctrica que pueda llegar a tener un motor eléctrico, el cual según la demanda mecánica, así será la capacidad que el motor deberá llevar. Y si los motores están sobre dimensionados tanto en potencia y velocidad, tener un arranque directo no es lo

más aceptable, al contrario, lo más aconsejable es que se coloque un arrancador suave o un variador de velocidad y frecuencia.

Para toda empresa que utiliza motores de DC es de mucho interés contar con una investigación relativa, debido a que contiene conocimientos técnicos, objetivos e interdisciplinarios, revelando anticipadamente las consecuencias en la utilización de los motores de DC, en cada uno de los procesos de producción.

El presente caso, evaluación de un motor de DC de 55KW vs. Un motor de AC de 75HP en un proceso continuo de extrusión de plástico, pretende dar a conocer el funcionamiento de estos motores en el proceso descrito, el impacto que incide sobre la utilización de un motor de DC o uno de AC, teniendo como propósito la demostración en la reducción de costos en la utilización de la energía y costos de sus mantenimientos.

Esta investigación considera que la demostración será de mucha utilidad al estudiante universitario, al profesional y a la industria que está interesada en establecer si es conveniente o no utilizar un motor de DC o AC, en sus procesos continuos de producción de plástico.

HIPÓTESIS

El uso de motores de DC en los procesos de extrusión continuos de plástico representan un costo mayor al de utilizar motores de AC.

1. GENERALIDADES DE UN MOTOR DE DC Y AC

1.1. Descripción general de un motor de DC

Los motores de DC son máquinas utilizadas para realizar movimientos mecánicos giratorios. Hoy en los motores de DC no se utilizan como en su momento, para el 2003 ya tenía una disminución de su uso que aumentó en los últimos 30 años. Existieron varias razones por las cuales estos motores fueron tan populares, una de ellas fue que los sistemas de potencia de los automóviles son de DC. Algo adicional que requieren estos motores es un circuito rectificador de estado sólido, potencia de DC o circuitos recortadores. Estos motores de DC permiten una gran estabilidad en la regulación de velocidad. Es decir, equipos donde sea necesario tener diferentes velocidades en su aplicación.

Existen cinco clases de motor de DC de uso general las cuales son:

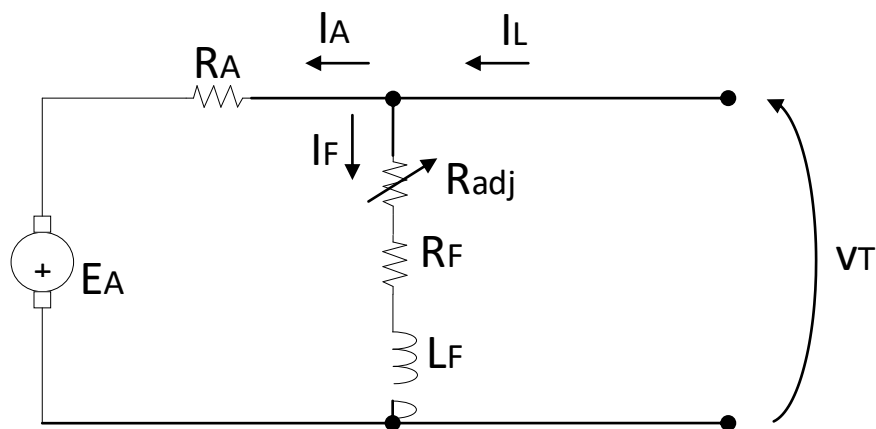
- El motor de DC de excitación separada.
- El motor de DC de excitación en derivación.
- El motor de DC de imán permanente.
- El motor de DC serie.
- El motor de DC compuesto.

Para este estudio se traerá información de otras fuentes que servirán de apoyo al tema principal mencionado.

1.2. Motor de DC de excitación en derivación

Es aquel cuyo circuito de campo obtiene su potencia directamente de los terminales del inducido del motor. A menos que se especifique lo contrario, siempre que se describe el comportamiento de un motor en derivación, también se incluye el motor de excitación separada.

Figura 1. Circuito equivalente de un motor de DC en derivación



Fuente: elaboración propia.

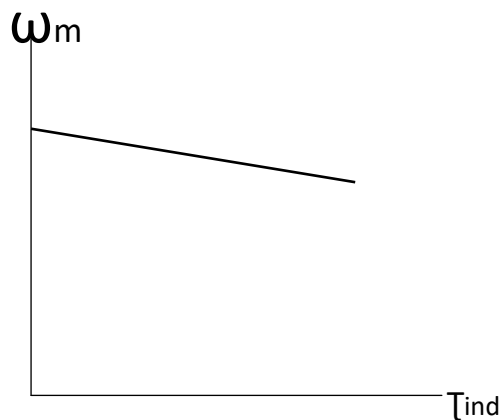
La ecuación correspondiente a la ley de voltajes de Kirchhoff (KVL) para el circuito del inducido de este motor es:

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

- Característica de los terminales de un motor de DC en derivación

En un motor las cantidades de salida son el par al eje y la velocidad, por lo tanto, su característica de los terminales es una gráfica del par contra la velocidad en su salida.

Figura 2. **Característica par-velocidad de un motor de DC en derivación**



Fuente: elaboración propia.

1.3. **Control de velocidad en motores DC en derivación**

¿Cómo se puede controlar las velocidades? Existen 2 métodos comunes y otro menos común. Los métodos comunes se estudian en la máquina lineal simple y en la espira rotacional sencilla.

Las dos formas comunes utilizadas para controlar la velocidad de una máquina dc en derivación.

- Ajustando la resistencia de campo R_f (y, por tanto, el flujo de campo)
- Ajustando el voltaje en los terminales, aplicado al inducido
- El método menos común de control de la velocidad

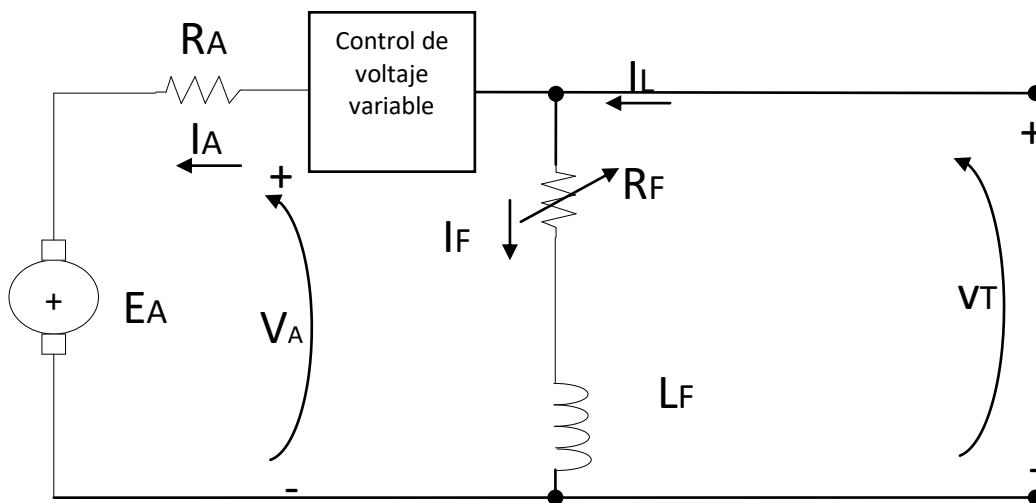
- Insertando una resistencia en serie con el circuito del inducido

Para el caso de este estudio técnico se utilizó un variador de frecuencia de marca GEFTRAN con entrada AC trifásica 480v y salida de DC.

1.3.1. Ajustando el voltaje en los terminales, aplicado al inducido

Esta es la segunda forma de controlar la velocidad e implica el cambio del voltaje aplicado al inducido del motor sin cambiar el voltaje aplicado al campo. Para realizar este tipo de control se requiere una conexión similar figura 3.

Figura 3. Diagrama del circuito eléctrico del ajuste del voltaje en terminales, aplicando el par inducido



Fuente: elaboración propia.

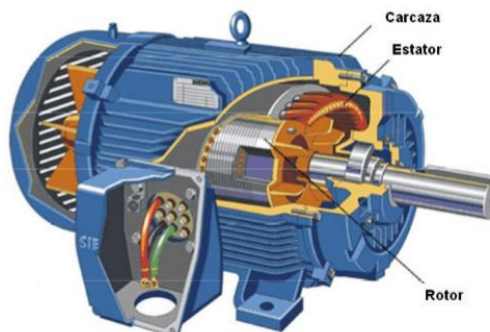
El comportamiento causa-efecto en este método de control de velocidad es:

- Un aumento de VA eleva IA
- Un aumento de IA incrementa τ_{ind}
- El aumento de τ_{ind} hace que $\tau_{ind} > \tau_{carga}$ y aumenta velocidad ω
- El aumento de ω incrementa EA.
- El aumento de EA hace que disminuya IA.
- La disminución de IA reduce τ_{ind} hasta que $\tau_{ind} = \tau_{carga}$ a una mayor velocidad ω .

1.4. Descripción del motor de AC

Existen dos tipos de motor, los cuales son sincrónicos y asíncronos o de inducción. El motor utilizado en este estudio es un motor de AC asíncrono o de inducción. El motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una máquina sincrónica, pero la construcción de rotor es diferente. Un estator típico de dos polos se muestra en la siguiente figura 4

Figura 4. Estator típico de dos polos



Fuente: elaboración propia.

Existen dos tipos de rotores que pueden disponerse dentro del estator del motor de inducción. Uno de ellos se llama rotor jaula, mientras que el otro es llamado rotor devanado.

1.4.1. Desarrollo del par inducido en un motor de inducción

Al aplicar al estator un conjunto trifásico de voltajes, fluye un conjunto trifásico de corrientes estatóricas que producen un campo magnético B_s que rota en dirección contraria a las manecillas del reloj. La velocidad de rotación del campo magnético está dada por:

$$n_{\text{sinc}} = (120f_e)/P$$

Donde:

f_e = frecuencia del sistema

P = es el número de polos de la máquina.

El voltaje inducido en una barra determinada del rotor está dado por:

$$e_{\text{ind}} = (V = B) \cdot l$$

Donde:

V = velocidad de la barra, relativa al campo magnético.

B = vector de densidad de flujo magnético.

L = longitud del conductor en el campo magnético.

El movimiento relativo del rotor con respecto al campo magnético del estator produce voltaje inducido en una barra del rotor. La velocidad de las barras de la parte superior del rotor, con relación al campo magnético, es hacia la derecha de modo que el voltaje inducido en las barras superiores es hacia afuera de la página. Esto origina un flujo de corriente hacia fuera en las barras superiores, y hacia adentro en las inferiores. Sin embargo, puesto que el conjunto del rotor es inductivo, la corriente pico del rotor queda en atraso con relación al voltaje pico del rotor. El flujo de corriente del rotor produce un campo magnético del rotor B_R .

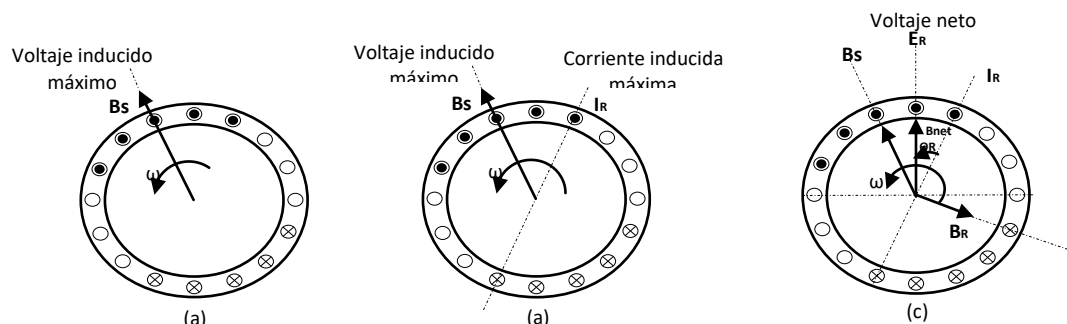
Finalmente, puesto que el par inducido en la máquina está dado por:

$$T_{ind} = K I_R \times B_S$$

La dirección del par resultante va en sentido contrario a las manecillas del reloj. Puesto que la dirección del par inducido en el rotor va en sentido contrario a las manecillas del reloj, el rotor se acelera en esa dirección.

Un motor de inducción puede acelerar hasta una velocidad cercana a la de sincronismo, pero nunca podrá alcanzarla por completo.

Figura 5. **Desarrollo del par inducido en un motor de inducción**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

El campo rotacional del estator B_s induce voltaje en las barras del rotor. b) el voltaje del rotor produce un flujo de corriente en el rotor que atrasa el voltaje debido a la inductancia del mismo. c) la corriente del rotor produce un campo magnético en el rotor B_r que está a 90° detrás de ella, y B_r interactúa con B_{net} para producir en la máquina un par en sentido contrario a las manecillas del reloj.

1.4.2. Concepto de deslizamiento del rotor del motor de inducción

El voltaje inducido en una barra del rotor de un motor de inducción depende de la velocidad del rotor con respecto a los campos magnéticos. Puesto que el comportamiento de un motor de inducción depende del voltaje y la corriente del rotor, con frecuencia es más lógico hablar de su velocidad relativa. En general se utilizan dos términos para definir el movimiento relativo entre el rotor y los campos magnéticos. Uno de ellos es la velocidad de deslizamiento, definida como la diferencia entre la velocidad sincrónica y la velocidad del rotor.

$$\eta_{des} = \eta_{sinc} - \eta_m$$

Donde:

η_{des} = velocidad de deslizamiento de la máquina.

η_{sinc} = velocidad de los campos magnéticos.

η_m = velocidad mecánica del eje del rotor.

El otro término utilizado para describir el movimiento relativo es el deslizamiento, el cual es la velocidad relativa expresada sobre una base en por unidad o en porcentaje. El deslizamiento está definido como:

$$S = (\Omega_{des} / \Omega_{sinc}) \times 100 \%$$

$$S = ((\Omega_{sinc} - \Omega_m) / \Omega_{sinc}) \times 100 \%$$

Esta ecuación también se puede expresarse en términos de la velocidad angular ω (radianes por segundo) como:

$$S = ((\omega_{sin} - \omega_m) / \omega_{sinc}) \times 100 \%$$

Nótese que si el rotor gira a la velocidad sincrónica, $S=0$, mientras que si el rotor está estacionario, $S=1$. Todas las velocidades normales de los motores caen dentro de estos dos límites. Es posible expresar la velocidad mecánica del eje del rotor en términos de la velocidad sincrónica y el deslizamiento. Resolviendo las ecuaciones para la velocidad mecánica se obtiene:

$$\Omega_m = (1 - s) \Omega_{sinc}$$

$$\omega_m = (1 - s) \omega_{sinc}$$

1.4.3. Frecuencia eléctrica del rotor

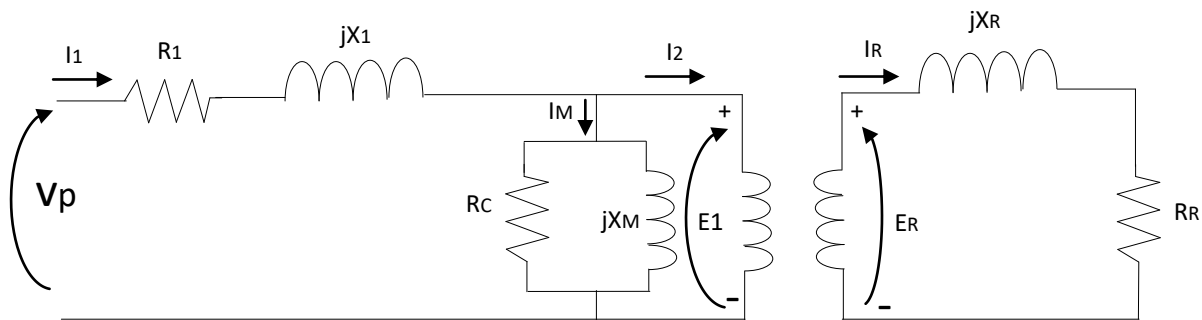
Un motor de inducción trabaja induciendo tensiones y corrientes en el rotor de la máquina, por esta razón, a veces se le llama transformador rotante. Como transformador, el primario (estator) induce un voltaje en el secundario (rotor)

pero, a diferencia del transformador, la frecuencia secundaria no es necesariamente la misma que la frecuencia primaria. Si el rotor de un motor está bloqueado tal que no pueda moverse, el rotor tendrá la misma frecuencia que el estator. Por el contrario, si el rotor gira a velocidad sincrónica, la frecuencia en rotor será cero.

La frecuencia del rotor está dada por:

$$f_r = (P/120) \times (\Omega_{\text{sinc}} - \Omega_m)$$

Figura 6. **Motor de inducción**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

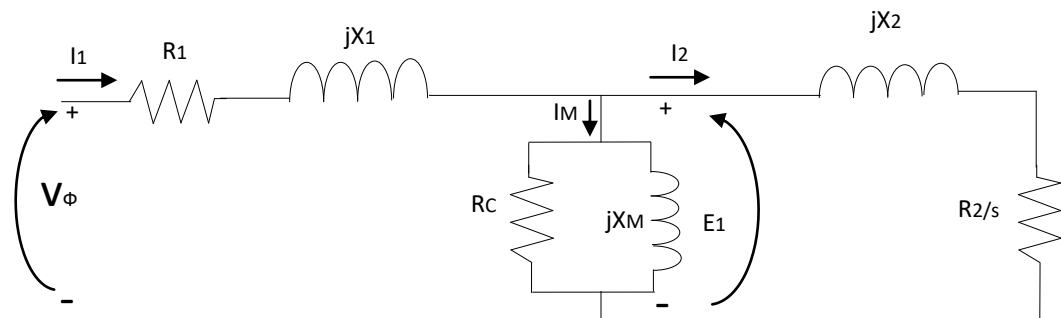
1.4.4. **Potencia y par en los motores de inducción**

Debido a que los motores de inducción son máquinas de excitación única, sus relaciones de potencia y par difieren bastante de las relaciones en las máquinas sincrónicas ya estudiadas. Esta sección repasa las relaciones de potencia y par en los motores de inducción.

1.4.5. Pérdida y diagrama de flujo de potencia

Un motor de inducción se puede describir básicamente como un transformador rotante. Su entrada es un sistema trifásico de voltajes y corrientes. En un transformador normal, la salida es potencia eléctrica desde los devanados secundarios. Los devanados secundarios de un motor de inducción (el rotor) están cortocircuitados de tal forma que no existe salida eléctrica de los motores normales de inducción sino mecánica. La relación entre la potencia eléctrica de entrada y la potencia mecánica de salida de este motor se muestra en el diagrama de flujo de potencia de la figura 7:

Figura 7. Circuito equivalente por fase en un motor de inducción

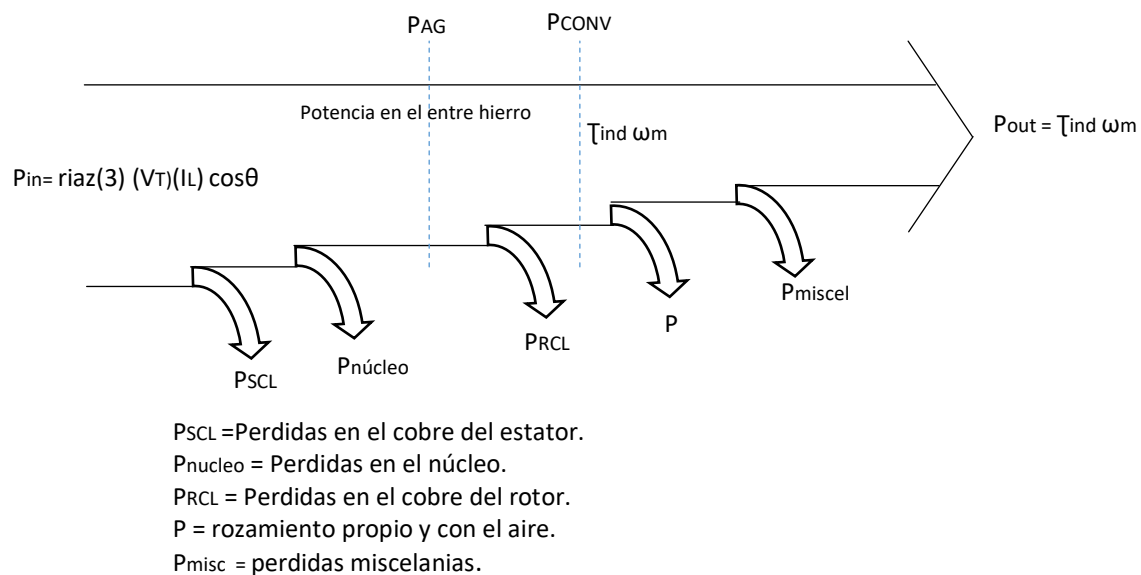


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La potencia de entrada al motor de inducción P_{in} se presenta en forma de voltajes y corrientes eléctricas trifásicas. Las primeras pérdidas encontradas en las máquinas son I^2R en los devanados del estator (pérdidas en el cobre PSCI). Luego, alguna cantidad de potencia se pierde por histéresis y por corrientes parásitas en el estator P_{nucleo} . La potencia remanente en este punto se transfiere al rotor de la máquina a través del entrehierro situado entre el rotor y el estator. Esta potencia es llamada potencia en el entrehierro P_{AG} de la máquina. Después que la potencia ha sido transferida al rotor, algo de ella se

disipa como pérdidas I^2R (pérdidas en el cobre del rotor PRCL) y la restante se convierte de potencia eléctrica en mecánica Pconv. Por último, las pérdidas por rozamiento propio y por rozamiento con el aire PF&W y las pérdidas miscelánias Pmisc se restan. La potencia restante es la de salida del motor Pout.

Figura 8. **Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

1.5. Características del extrusor de plástico

Un extrusor es un equipo mecánico que se encarga de mezclar y homogenizar a través de alta presión el plástico. En este caso la producción es continua, esto quiere decir, que el proceso es diferente que una inyectora de plástico ya que la inyectora de plástico par y se enciende constantemente, como por ejemplo la inyección de una botella plástica en donde el motor del

extrusor debe detenerse para que la inyección de aire se aplique en el molde de la botella. Para este caso será producción continua, que es donde el motor del extrusor no para y su proceso tampoco, un ejemplo es la producción de cinta plástica para la producción de lazo o también producción de tubos plásticos.

Un extrusor contiene las siguientes partes:

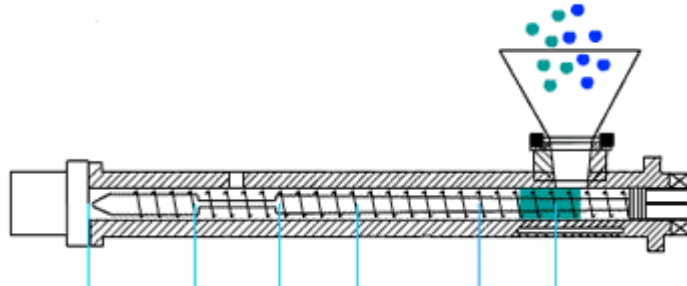
- Motor
- Caja reductora
- Cañón
- Tornillo sin fin
- Filtro cambia malla.
- Dado del perfil o molde

Figura 9. **Extrusor con un proceso continuo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 10. **Flujo internamente en un extrusor de plástico.**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La figura 10 muestra el proceso de plástico desde su inicio, vertiendo la materia prima por la tolva, y luego iniciando su trayectoria por dentro del cañón, siendo mezclado y empujado por un tornillo sin fin hasta salir por punta del mismo.

Este cañón de metal es calentado externamente por resistencias, mismas que son controladas de tal manera que mantengan las temperaturas deseadas a lo largo del cañón. Al salir el plástico el diámetro final es reducido, esto para generar una mayor presión y así homogenizar las partículas y obtener una mezcla bien lista para el perfil deseado. Estos perfiles pueden ser películas planas de plástico, tubos plásticos redondos y cuadrados, barras sólidas plásticas, angulares plásticos, bolsas plásticas entre otros.

Una parte mecánica importante es la caja reductora, quien recibe la potencia mecánica de un motor. Esta caja reduce la velocidad del motor en aproximadamente hasta 18 veces, utilizando poleas externas a la caja reductora para reducir las revoluciones por minuto, y juego de engranajes internos en la caja reductora para así obtener las revoluciones por minuto según lo requiera el proceso.

El cañón forma parte importante ya que existen de diferente diámetro y largo. Para el caso de este estudio se utilizó el mismo extrusor para ambos motores el de DC y el de AC. Con su mismo cambia malla y su mismo dado de perfil.

1.6. Método estadístico a través de una distribución CHI cuadrada

En esta sección se consideran tres conceptos: 1. el estimado puntual, 2. el intervalo de confianza, 3. la determinación del tamaño de muestra que se requiere. Y se aplicará la varianza poblacional σ^2 o la desviación estándar σ . Muchas situaciones reales, como el control de calidad en procesos de fabricación, piden que se estimen valores de varianza o desviaciones estándar poblacionales.

Supuestos:

- La muestra es aleatoria simple.
- La población debe tener valores distribuidos normalmente (aun si la muestra es grande).

Una distribución normal es un requisito mucho más estricto, cuando se consideran estimados de proporciones y medias, se utiliza la distribución normal y la t de *Student*. Cuando se desarrolla estimados de varianzas o desviaciones estándar, se trabaja con otra distribución que se refiere como la distribución chi cuadrada.

1.6.1. Distribución chi cuadrada

Es una distribución que se distribuye normalmente con varianza σ^2 , se seleccionan aleatoriamente muestras independientes de tamaño n y se calcula la varianza muestral s^2 para cada muestra. El estadístico muestral $\chi^2 = (n-1)s^2 / \sigma^2$ tiene una distribución llamada distribución chi cuadrada.

Donde:

N = tamaño de la muestra

s^2 = varianza muestral

σ^2 = varianza poblacional

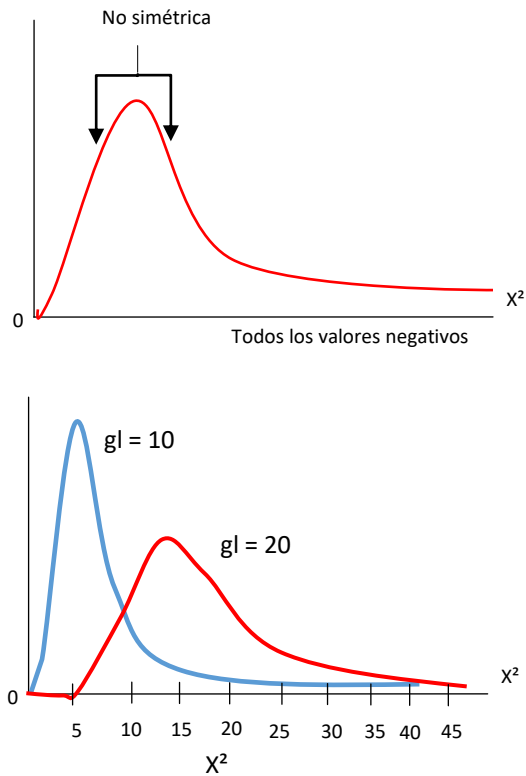
Se denota chi cuadrada por χ^2 , pronunciada ji cuadrada. (Las ecuaciones matemáticas específicas no se utilizan para definir tal distribución, ya que no es el propósito de este trabajo de investigación. Para calcular valores críticos de la distribución chi cuadrada, se remitirá a la tabla A-1. La distribución chi cuadrada se determina por el número de grados de libertad; en dicho sentido se usa $n-1$ grados de libertad.

Grados de libertad = $n -$

1.6.2. Propiedades de la distribución del estadístico chi cuadrada

- La distribución chi cuadrada no es simétrica, a diferencia de las distribuciones normal y *t* de *Student* (ver figura 3.6.2). (conforme el número de grados de libertad se incrementa, la distribución se vuelve más simétrica, como lo ilustra la figura 11.

Figura 11. **Distribución de chi cuadrada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Los valores de chi cuadrada pueden ser cero o positivos, pero no negativos.
- La distribución chi cuadrada es diferente para cada número de grados de libertad; en esta sección el número de grados de libertad fue dado por $gl=n-1$.

Conforme el número de grados de libertad se incrementa la distribución chi cuadrada se aproxima a la distribución normal.

Puesto que la distribución chi cuadrada es sesgada en lugar de simétrica, el intervalo de confianza no se ajusta al formato $s^2 \pm E$, por lo que se puede hacer cálculos separados para los límites de confianza superior e inferior. Hay un procedimiento diferente para calcular los valores críticos que se ilustra en el siguiente ejemplo. Observe la característica esencial siguiente de la tabla A-1.

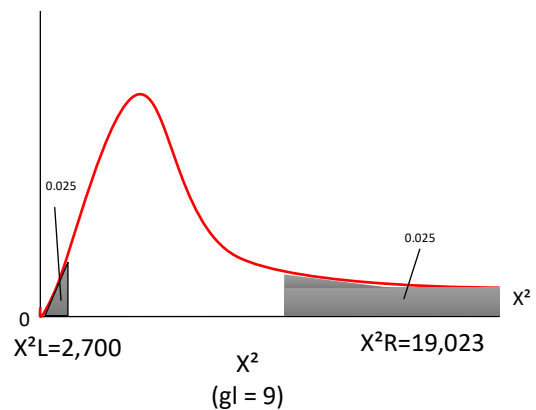
En la tabla A-1, cada valor crítico de χ^2 corresponde a un área que se encuentra en la fila superior de la tabla, en tanto que esa área representa la región total que se localiza a la derecha del valor crítico.

- Ejemplo: valores críticos. Calcule los valores críticos de χ^2 que determinan las regiones críticas que contienen un área de 0,025 en cada cola. Suponga que el tamaño de muestra relevante es 10, de modo que el número de grados de libertad es $10-1=9$.

Solución:

Ver la figura 3.6.2.2 y remítase a la tabla A-1,

Figura 12. **Procedimiento valores críticos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

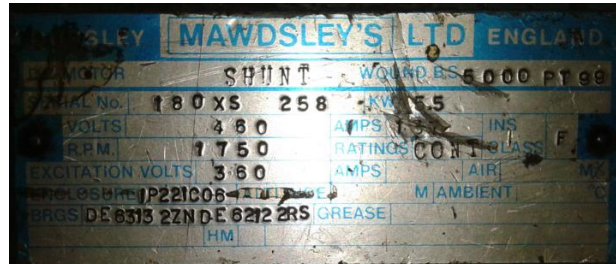
El valor crítico para la derecha ($\chi^2=19,023$) se obtiene de manera directa localizando nueve en la columna de grados de libertad de la izquierda y 0,025 a través de la parte superior. El valor crítico de $\chi^2=2,700$ a la izquierda otra vez corresponde a 9 en la columna de grados de libertad, pero debemos localizar 0,975 (que se encuentra al restar 0,025 de 1) en la parte superior, puesto que los valores en la fila superior son siempre áreas a la derecha del valor crítico. Remítase a la figura 3.6.32 y véase que el área total a la derecha de $\chi^2 = 2 700$ es 0,975. La figura 3.6.2.2 indica que, para una muestra de 10 valores que se toman en una población que se distribuye normalmente, el estadístico chi cuadrada $(n-1)s^2/ \sigma^2$ tiene una probabilidad de 0,95 de caer dentro de los valores críticos de chi cuadrada de 2 700 y 19 023.

2 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE DC DE 55 KW EN EL PROCESO CONTINUO DE PRODUCCIÓN DEL PLÁSTICO

Para el proceso de producción continua, el motor de 55 KW de DC en este estudio es operado por medio de un variador de DC el cual es dicho variador quien da las señales de voltaje para el campo del estator y también los voltajes de magnetización del estator. Cabe mencionar que el motor de DC que es estudiado es un motor de DC en derivación. Este motor manda la señal de velocidad a través de un tacómetro, el cual está instalado en el eje del rotor. También otro equipo alterno, pero no menos importante es su motor de ventilación. Este motor ventilador está instalado en la parte superior del motor de DC, para mantener ventilado el estator, este motor es trifásico de AC y no es controlada su velocidad, si no que se mantiene siempre a su velocidad nominal.

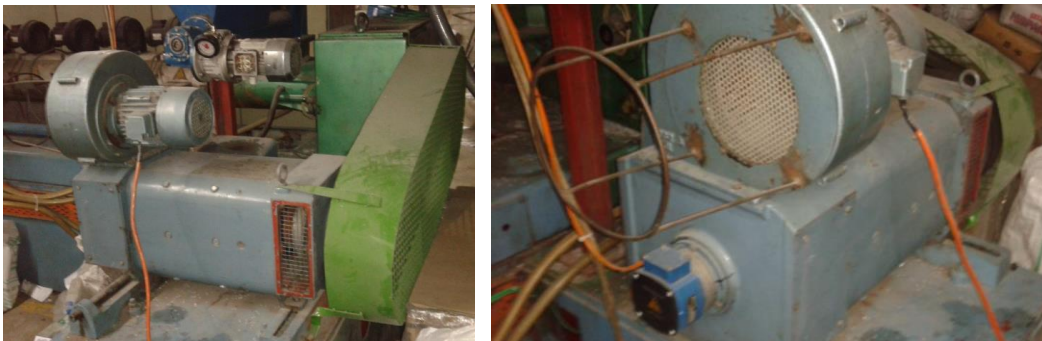
Es sumamente importante mencionar que el motor antes de accionarse, para su operación, la temperatura del extrusor deberá alcanzar las temperaturas necesarias para girar el tornillo sin fin. Nunca se deberá girar el motor si el extrusor está frío o sin calentamiento, de lo contrario las corrientes en nuestro motor serán elevadas y los flujos de campo generarán un sobre esfuerzo que atentaría con la integridad física del motor y su caja reductora.

Figura 13. Placa del motor



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 14. Motor de DC de 55KW



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Variador de DC que se utilizó para alimentar y variar la velocidad del motor de DC de 55KW.

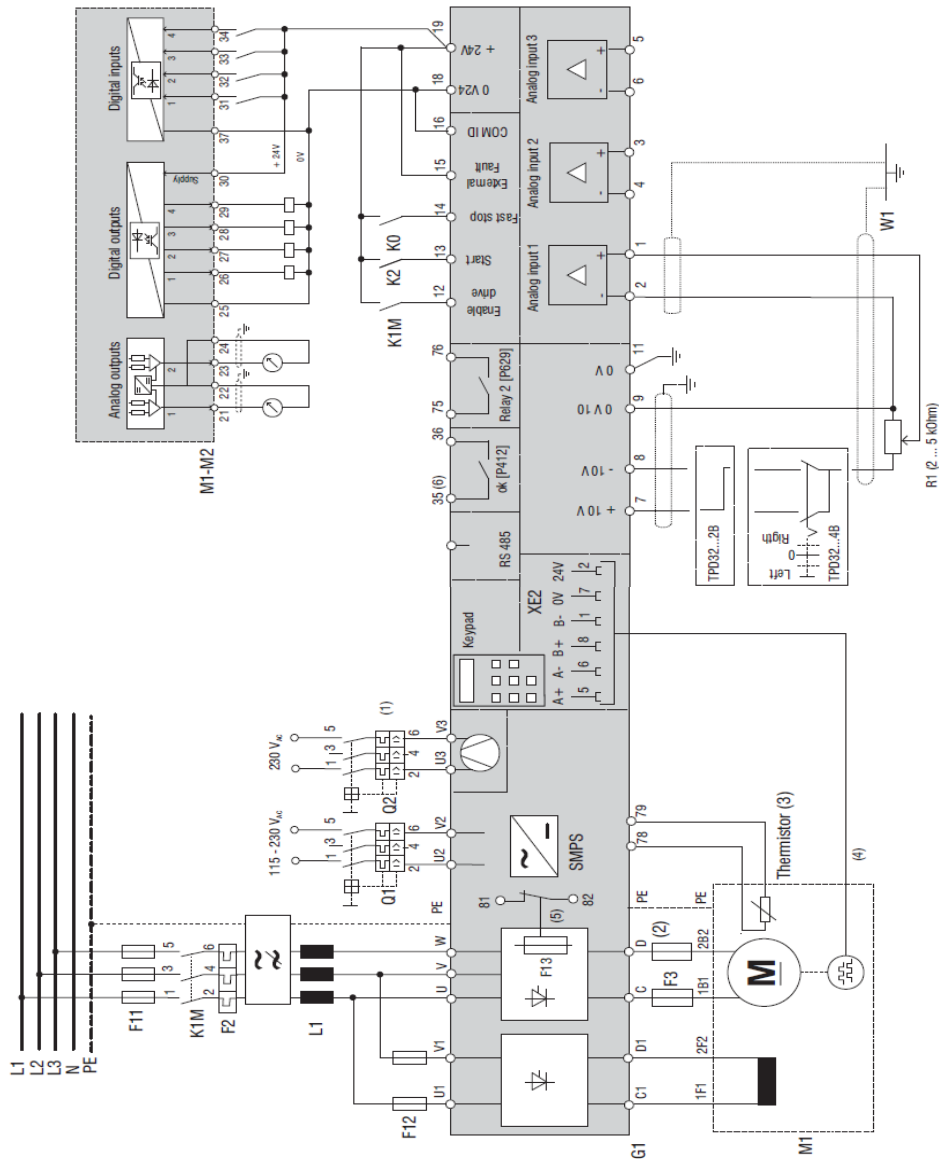
Figura 15. **Variador de DC**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Es importante que se tome en cuenta el diagrama de conexión utilizado en la prueba del motor de 55KW de DC. A continuación se muestra el diagrama de conexión utilizado.

Figura 16. Diagrama de conexión típico del variador y su motor de 55KW de DC



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

2.1. Mantenimiento al motor de dc de 55 kw

Los mantenimientos en los motores son de suma importancia debido a que son la parte fundamental del movimiento giratorio para los procesos, los cuales para el que se menciona en este estudio son de producción continua y los tiempos deben ser reducidos al mínimo posible, teniendo un programa de mantenimiento establecido que permita tener cero tiempos muertos y mayor productividad. El motor de en derivación de DC el cual es estudiado en este trabajo, debe hacerse lo siguiente en sus mantenimientos preventivos:

- Cambio de cojinetes del eje del rotor, 2 cojinetes.
- Cambio de carbones del inducido, 12 carbones.
- Limpieza y barnizado del rotor y estator del motor de DC.
- Revisión de ajustes de alojamientos de los cojinetes en las tapaderas del motor de DC.
- Revisión y ajustes de ejes del rotor con el diámetro interno de los cojinetes del motor de DC.
- Cambio de cojinetes de motor ventilador AC.
- Limpieza y barnizado de estator del motor ventilador AC.
- Revisión y ajustes de alojamientos de cojinetes del motor trifásico AC.
- Revisión y ajustes de ejes del rotor con el diámetro interno de los cojinetes del motor de AC.
- Cambio de cojinetes de tacómetro, 2 cojinetes.
- Cambio de carbones de tacómetro, 3 carbones.
- Limpieza y barnizado del cobre de los bobinados del tacómetro.
- Revisión y ajuste de los alojamientos de los cojinetes del tacómetro.
- Revisión y ajustes de ejes del rotor con el diámetro interno de los cojinetes del tacómetro.
- Medición de resistencia.

2.2. Costo anual del mantenimiento del motor de DC 55 kw

Los costos del mantenimiento del motor de DC se presentan a continuación:

Tabla I. Costo del mantenimiento del motor de DC de 55KW

MOTOR DE DC DE 55 KW				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Total
Cojinete 6314	2	un	Q675,00	Q1 350,00
Carbones	12	un	Q250,00	Q3 000,00
TACOMETRO				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Total
Cojinete 608	2	un	Q7,00	Q14,00
Carbones	4	un	Q85,00	Q340,00
MOTOR VENTILADOR DE AC				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Total
Cojinete 6204	2	un	Q33,98	Q67,96
MATERIALES INDIRECTOS				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Total
Barniz Dieléctrico	0,20	galón	Q350,00	Q70,00
Limpiador Dieléctrico	0,10	galón	Q250,00	Q25,00
Solvente Dieléctrico	0,15	galón	Q250,00	Q37,50
MANO DE OBRA				
Descripción	Cantidad	HORAS	Costo/unidad	Total
Electricista	1,00	6	Q18,75	Q18,75
Supervisión	1,00	0,3	Q50,00	Q50,00
Tornero	1,00			
Energía Eléctrica del torno	1,00			
TOTAL				Q4 973,21

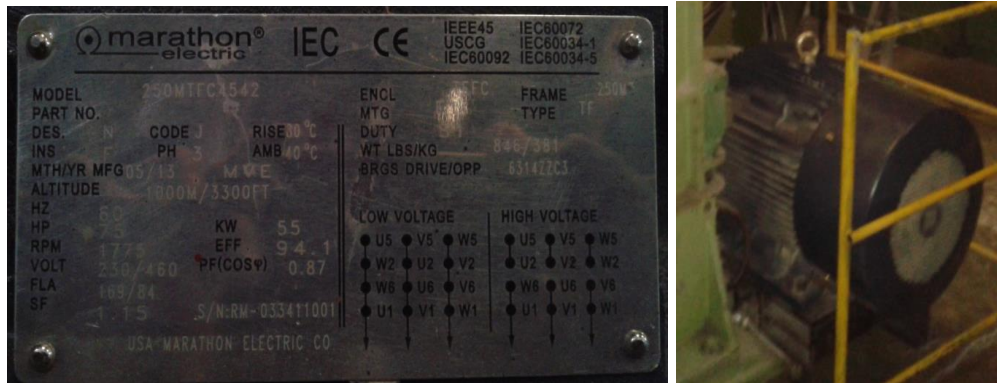
Fuente: elaboración propia.

En la tabla I se observa que no se incluyen los costos de reparación de asientos de los cojinetes de ninguna de las tapas de los motores, ya que se asumen que todas están aceptables. De no estar aceptables estas deberán ser reparadas en taller de torno, en donde se sumaría el costo de los materiales, mano de obra del tornero y la energía eléctrica que se utilice con el torno. Los costos que se mencionan anteriormente son costos dentro del mercado guatemalteco.

2.3. Análisis del funcionamiento del motor de AC de 75 Hp en el proceso continuo de extrusión de plástico

Un motor de AC de una capacidad de 75HP o de 55 KW está capacitado de igual forma que un motor de DC con la misma capacidad de potencia. Ya que es la potencia nominal la que regirá la misma capacidad de producción. El motor de inducción de corriente alterna es un motor de marca Marhaton de 75 HP trifásico 460v. Este motor está capacitado para trabajar a 1 800 rpm. Esta velocidad es controlada por medio de variador de frecuencia de marca Mitsubishi, como se mencionó en el capítulo 3, en donde este tipo de motor de inducción se compara con un transformador rotante, es a través de variar la frecuencia del primario para poder así variar la velocidad de salida. A continuación, se observa un motor de inducción de 75 HP de AC.

Figura 17. **Placa y motor de AC de 75 HP**



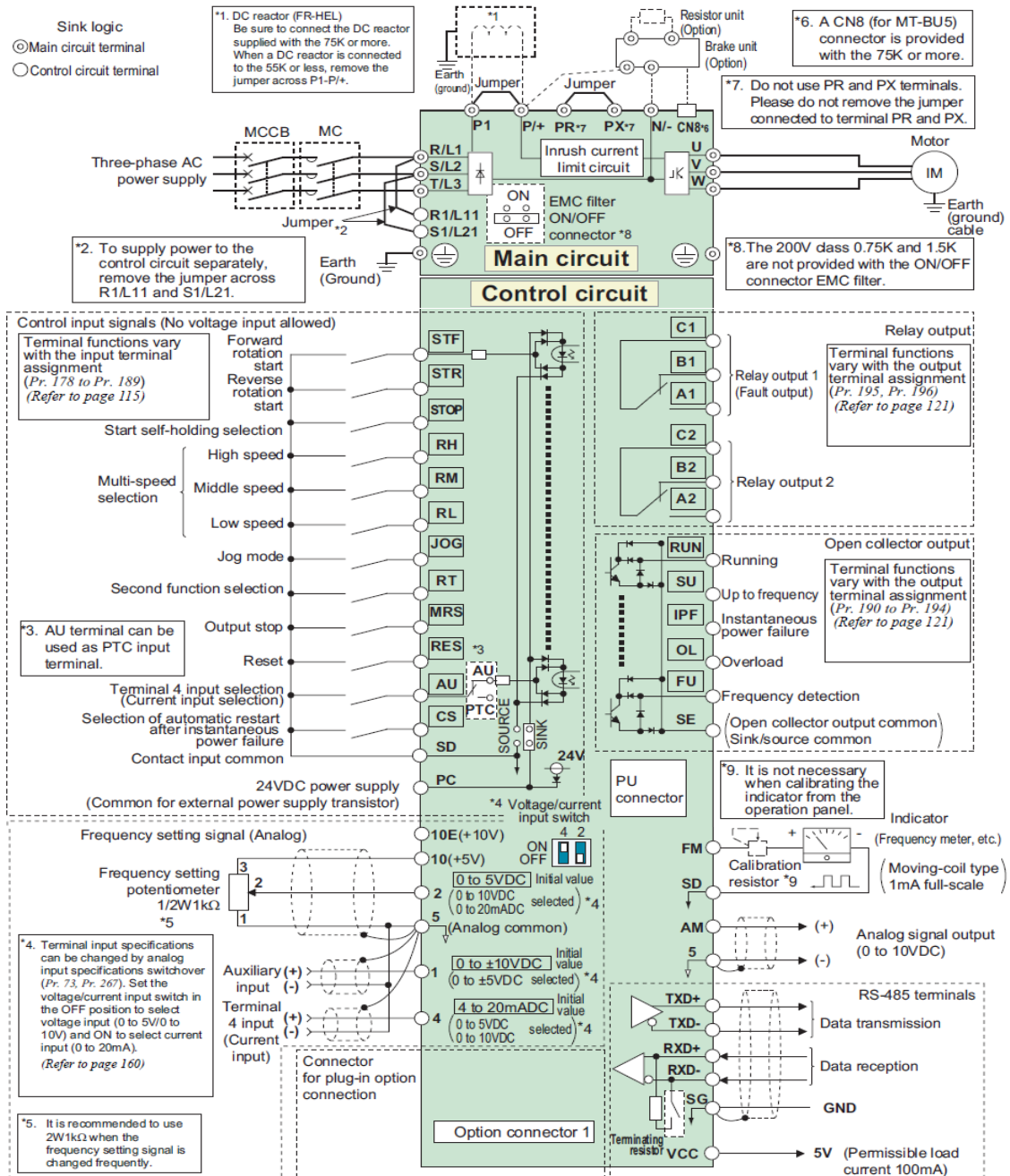
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Variador de AC para motor de AC de 75HP**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Diagrama eléctrico de conexión del motor de 75HP de AC



Fuente: elaboración propia.

2.4. Mantenimiento al motor de AC de 75 HP

El tipo de motor que fue estudiado es el de tipo jaula de ardilla, justifica su velocidad fue controlada con variador de frecuencia. A diferencia del motor de DC este motor tiene menor trabajo para su mantenimiento, ya que únicamente se necesita cambiar un par de cojinetes, a continuación, lo que se realiza para su mantenimiento.

- Cambio de 2 cojinetes del eje del rotor
- Limpieza del conductor
- Barniz dieléctrico
- Medición de resistencias de los devanados de aislamiento
- Medición del índice de polarización de aislamiento
- Medición de ajuste de diámetro externo del cojinete en tapaderas
- Medición de ajuste de diámetro interno del cojinete en ejes del rotor
- Pruebas eléctricas
- Aislamiento fases a fase
- Factor de potencia
- Balanceo dinámico del rotor
- Estado de cojinetes
- Estado de retenedores o guardapolvos
- Tipo de lubricante

2.5. Costos del mantenimiento al motor de AC

Este tipo de motor es más simple su mantenimiento, ya que solo cuenta con un par de cojinetes y su bobinado. Este bobinado también es limpiado y protegido con barniz dieléctrico.

En la tabla II se detallan los costos de mantenimiento.

Tabla II. **Costo anual del mantenimiento del motor AC de 75HP**

MOTOR DE AC DE 75HP				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Total
Cojinete 6314 2 RS C3	2	un	Q675,00	Q1 350,00
MATERIALES INDIRECTOS				
Descripción	Cantidad	Unidad	Costo/unidad	Total
Barniz dieléctrico	0,15	galón	Q350,00	Q52,50
Limpiador dieléctrico	0,08	galón	Q250,00	Q20,00
Solvente dieléctrico	0,10	galón	Q250,00	Q25,00
MANO DE OBRA				
Descripción	Cantidad	HORAS	Costo/unidad	Total
Electricista	1,00	6	Q18,75	Q112,5
Supervisión	1,00	0,3	Q50,00	Q15,00
Tornero	1,00			
Energía Eléctrica del torno	1,00			
TOTAL				Q1 575,00

Fuente: elaboración propia.

2.6. Detalle de resultados de la medición de ambos motores

Para la medición en ambos motores se utilizó un equipo de medición energético en el cual están basados todos los datos obtenidos.

2.7. Mediciones realizadas al motor de DC de 55 Kw

El tiempo de medición fue de 18 horas.

Medición hecha en las 3 fases, en la entrada del variador del motor de DC de 55KW.

El equipo de medición utilizado fue el analizador de la energía y de la calidad eléctrica FLUKE 435 SEIRE II.

Tabla III. **Datos de voltaje rms máximos entre fases AB, BC y AC en motor de DC de 55KW**

Fecha	Hora	Vrms ph-ph AB Max	Vrms ph-ph BC Max	Vrms ph-ph CA Max
08/04/2014	15:46:08 780mseg	480,32	479,34	481,02
08/04/2014	16:46:08 780mseg	481,88	480,8	483,62
08/04/2014	17:46:08 780mseg	482,2	482,1	484,38
08/04/2014	18:46:08 780mseg	473,9	476,78	478,14
08/04/2014	19:46:08 780mseg	478,36	482,38	483,38
08/04/2014	20:46:08 780mseg	481,32	484,24	485,36
08/04/2014	21:46:08 780mseg	479,62	482,74	484,5
08/04/2014	22:46:08 780mseg	483,6	484,12	486,28
08/04/2014	23:46:08 780mseg	486,2	486,92	488,3
09/04/2014	00:46:08 780mseg	484,72	485,84	485,92
09/04/2014	01:46:08 780mseg	483,36	483,5	484,4
09/04/2014	02:46:08 780mseg	485,14	485,7	486,22
09/04/2014	03:46:08 780mseg	485,26	484,48	486,64
09/04/2014	04:46:08 780mseg	480,32	480,06	482,56
09/04/2014	05:46:08 780mseg	476,78	478,84	479,44
09/04/2014	06:46:08 780mseg	477,44	476,82	479,16
09/04/2014	07:46:08 780mseg	479,88	477,08	479,32
09/04/2014	08:46:08 780mseg	478,86	478,22	480,54
09/04/2014	09:46:08 780mseg	475,34	474,04	476,08
Promedios		480,76	481,26	482,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Datos de corriente máxima en las tres fases, en motor de DC de 55KW**

Fecha	Hora	Corriente AB Max	Corriente BC Max	Corriente CA Max
08/04/2014	15:46:08 780mseg	77,4	79,9	82,6
08/04/2014	16:46:08 780mseg	74	76	79,1
08/04/2014	17:46:08 780mseg	72,8	74,8	78,8
08/04/2014	18:46:08 780mseg	74,1	76,5	81,2
08/04/2014	19:46:08 780mseg	76,1	77,5	82,6
08/04/2014	20:46:08 780mseg	75,9	78,7	82,5
08/04/2014	21:46:08 780mseg	72,9	73,9	78,5
08/04/2014	22:46:08 780mseg	74,3	75,9	80,3
08/04/2014	23:46:08 780mseg	76,5	77,7	82,5
09/04/2014	00:46:08 780mseg	75,3	78,4	81
09/04/2014	01:46:08 780mseg	72,7	75,5	78,2
09/04/2014	02:46:08 780mseg	72	75,4	79
09/04/2014	03:46:08 780mseg	74,7	78,2	79,3
09/04/2014	04:46:08 780mseg	71,6	73,9	77,3
09/04/2014	05:46:08 780mseg	69,4	72,1	76,5
09/04/2014	06:46:08 780mseg	74,3	78	80,1
09/04/2014	07:46:08 780mseg	74,1	76,6	79,1
09/04/2014	08:46:08 780mseg	75,3	79,3	81,3
09/04/2014	09:46:08 780mseg	72,4	74,5	77,1
Promedios		73,99	76,46	79,84

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Medición de las potencias activa, reactiva y aparente en la entrada del variador del motor de DC de 55 KW**

Fecha	Hora	Potencia activa total Max	Potencia aparente total Max	Potencia reactiva total Max	Factor de potencia total Max
08/04/2014	15:46:08 780mseg	45880	66160	44460	0,7
08/04/2014	16:46:08 780mseg	43780	63440	40960	0,7
08/04/2014	17:46:08 780mseg	38860	62800	45960	0,62
08/04/2014	18:46:08 780mseg	40040	63560	45000	0,63
08/04/2014	19:46:08 780mseg	40920	65280	46340	0,63
08/04/2014	20:46:08 780mseg	41180	65880	47100	0,63
08/04/2014	21:46:08 780mseg	38620	62200	44180	0,63
08/04/2014	22:46:08 780mseg	39880	64400	46100	0,62
08/04/2014	23:46:08 780mseg	41280	66260	47520	0,62
09/04/2014	00:46:08 780mseg	45040	65180	42120	0,7
09/04/2014	01:46:08 780mseg	43520	62920	40480	0,7
09/04/2014	02:46:08 780mseg	43420	63100	40720	0,7
09/04/2014	03:46:08 780mseg	44580	64940	42800	0,7
09/04/2014	04:46:08 780mseg	42900	61720	39860	0,7
09/04/2014	05:46:08 780mseg	41900	59880	38900	0,7
09/04/2014	06:46:08 780mseg	44480	64020	41040	0,7
09/04/2014	07:46:08 780mseg	43640	62920	40480	0,7
09/04/2014	08:46:08 780mseg	45140	65200	43040	0,7
09/04/2014	09:46:08 780mseg	42500	61060	39080	0,7
Promedios		42503,16	63732,63	42954,74	0,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Medición de la distorsión armónica WH del motor de DC de 55 KW**

Fecha	Hora	Harmonic distortion total Max	Desequilibrio de potencia total Max
08/04/2014	15:46:08 780mseg	296,00	50,80
08/04/2014	16:46:08 780mseg	248,20	30,80
08/04/2014	17:46:08 780mseg	282,60	46,00
08/04/2014	18:46:08 780mseg	248,40	38,00
08/04/2014	19:46:08 780mseg	264,80	34,80
08/04/2014	20:46:08 780mseg	262,00	36,00
08/04/2014	21:46:08 780mseg	250,60	33,20
08/04/2014	22:46:08 780mseg	253,40	31,20
08/04/2014	23:46:08 780mseg	270,80	38,80
09/04/2014	00:46:08 780mseg	284,00	47,80
09/04/2014	01:46:08 780mseg	247,80	34,80
09/04/2014	02:46:08 780mseg	255,20	32,80
09/04/2014	03:46:08 780mseg	268,40	41,60
09/04/2014	04:46:08 780mseg	247,60	30,60
09/04/2014	05:46:08 780mseg	262,40	47,40
09/04/2014	06:46:08 780mseg	257,40	37,20
09/04/2014	07:46:08 780mseg	262,00	34,80
09/04/2014	08:46:08 780mseg	271,20	45,60
09/04/2014	09:46:08 780mseg	244,80	30,40
Promedios		26197,89	3 803,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Consumo de energía eléctrica del motor de DC de 55 KW**

Fecha	Hora	Energía activa total med	Energía reactiva total med	Energía aparente total med	Wh adelante total med
08/04/2014	15:46:08 780mseg	245	225	352	245
08/04/2014	16:46:08 780mseg	43 650	40 417	63 135	43 650
08/04/2014	17:46:08 780mseg	85 706	82 369	126 331	85 706
08/04/2014	18:46:08 780mseg	123 720	124 824	187 229	123 720
08/04/2014	19:46:08 780mseg	161 941	167 493	248 314	161 941
08/04/2014	20:46:08 780mseg	200 605	211 253	310 534	200 605
08/04/2014	21:46:08 780mseg	239 361	255 216	372 987	239 361
08/04/2014	22:46:08 780mseg	277 945	298 805	435 084	277 945
08/04/2014	23:46:08 780mseg	316 817	342 966	497 934	316 817
09/04/2014	00:46:08 780mseg	358 092	383 741	559 781	358 092
09/04/2014	01:46:08 780mseg	381 884	411 319	599 691	381 884
09/04/2014	02:46:08 780mseg	424 643	450 937	661 640	424 643
09/04/2014	03:46:08 780mseg	466 962	490 280	723 023	466 962
09/04/2014	04:46:08 780mseg	509 172	529 326	784 140	509 172
09/04/2014	05:46:08 780mseg	551 082	567 494	844 328	551 082
09/04/2014	06:46:08 780mseg	593 194	605 781	904 782	593 194
09/04/2014	07:46:08 780mseg	635 560	644 411	965 559	635 560
09/04/2014	08:46:08 780mseg	677 706	682 793	1 025 990	677 706
09/04/2014	09:46:08 780mseg	719 569	721 078	1 086 159	719 569

Promedios

Fuente: elaboración propia.

2.8. Mediciones realizadas al motor de AC de 75 HP

El tiempo de medición fue de 18 horas.

Medición hecha en las 3 fases, en la entrada del variador del motor de DC de 55 KW.

El equipo de medición utilizado fue el analizador de la energía y de la calidad eléctrica FLUKE 435 SEIRE II.

Tabla VIII. **Medición de voltajes rms máximos en motor AC de 75HP**

Fecha	Hora	Vrms ph-ph L12 Max	Vrms ph-ph L23 Max	Vrms ph-ph L31 Max
14/05/2014	15:55:37 550mseg	481,26	482,64	482,26
14/05/2014	16:55:37 550mseg	484,28	484,42	484,36
14/05/2014	17:55:37 550mseg	482,10	484,10	482,30
14/05/2014	18:55:37 550mseg	484,50	486,00	480,86
14/05/2014	19:55:37 550mseg	483,88	485,92	481,80
14/05/2014	20:55:37 550mseg	482,30	483,56	479,62
14/05/2014	21:55:37 550mseg	486,78	488,72	484,70
14/05/2014	22:55:37 550mseg	486,84	488,22	485,22
14/05/2014	23:55:37 550mseg	486,20	486,26	486,22
15/05/2014	00:55:37 550mseg	487,64	488,64	487,54
15/05/2014	01:55:37 550mseg	485,90	487,30	485,84
15/05/2014	02:55:37 550mseg	486,26	487,82	485,94
15/05/2014	03:55:37 550mseg	486,86	488,62	486,68
15/05/2014	04:55:37 550mseg	484,62	486,16	484,36
15/05/2014	05:55:37 550mseg	480,62	482,14	480,12
15/05/2014	06:55:37 550mseg	480,06	482,04	478,64
15/05/2014	07:55:37 550mseg	477,62	479,02	478,32
15/05/2014	08:55:37 550mseg	480,40	480,82	479,84
15/05/2014	09:55:37 550mseg	481,60	481,82	481,22
15/05/2014	10:55:37 550mseg	476,36	476,88	476,18
Promedios		483,30	484,56	482,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Medición de corrientes máximas del motor de AC de 75HP**

Fecha	Hora	Corriente L12 Max	Corriente L23 Max	Corriente L31 Max
14/05/2014	15:55:37 550mseg	58,40	61,40	59,80
14/05/2014	16:55:37 550mseg	57,80	62,90	59,00
14/05/2014	17:55:37 550mseg	55,80	61,00	59,00
14/05/2014	18:55:37 550mseg	55,80	65,20	58,30
14/05/2014	19:55:37 550mseg	59,60	64,30	57,60
14/05/2014	20:55:37 550mseg	54,00	60,60	54,40
14/05/2014	21:55:37 550mseg	52,60	59,30	54,20
14/05/2014	22:55:37 550mseg	52,00	56,50	52,70
14/05/2014	23:55:37 550mseg	52,60	53,70	52,10
15/05/2014	00:55:37 550mseg	53,50	54,20	53,80
15/05/2014	01:55:37 550mseg	53,40	55,40	55,90
15/05/2014	02:55:37 550mseg	54,10	55,30	57,10
15/05/2014	03:55:37 550mseg	45,30	46,20	48,40
15/05/2014	04:55:37 550mseg	45,70	47,20	49,20
15/05/2014	05:55:37 550mseg	44,70	46,70	47,60
15/05/2014	06:55:37 550mseg	42,40	46,00	46,20
15/05/2014	07:55:37 550mseg	45,60	47,70	46,60
15/05/2014	08:55:37 550mseg	44,80	47,80	46,70
15/05/2014	09:55:37 550mseg	45,20	48,00	46,70
15/05/2014	10:55:37 550mseg	44,20	47,10	46,20
Promedio		50,88	54,33	52,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Medición de Potencias máximas en motor de AC de 75 HP

Fecha	Hora	Potencia activa total max (Watts)	W Fund total max	Potencia aparente total max (VA)	VA Fund total max	Potencia reactiva total max (VAR)
14/05/2014	15:55:37 550mseg	38 680,00	39 560,00	49 780,00	39 820,00	4 740,00
14/05/2014	16:55:37 550mseg	38 460,00	39 460,00	49 920,00	39 660,00	3 980,00
14/05/2014	17:55:37 550mseg	36 940,00	38 080,00	48 940,00	38 160,00	3 140,00
14/05/2014	18:55:37 550mseg	36 060,00	36 860,00	50 100,00	36 980,00	3 860,00
14/05/2014	19:55:37 550mseg	36 140,00	37 120,00	50 680,00	37 220,00	3 240,00
14/05/2014	20:55:37 550mseg	33 340,00	34 500,00	46 920,00	34 600,00	3 000,00
14/05/2014	21:55:37 550mseg	32 980,00	33 660,00	46 660,00	33 740,00	2 700,00
14/05/2014	22:55:37 550mseg	32 920,00	33 840,00	45 280,00	33 920,00	2 800,00
14/05/2014	23:55:37 550mseg	32 920,00	33 840,00	44 180,00	33 980,00	3 660,00
15/05/2014	00:55:37 550mseg	33 360,00	34 020,00	45 180,00	34 220,00	4 040,00
15/05/2014	01:55:37 550mseg	33 740,00	34 460,00	45 740,00	34 680,00	4 280,00
15/05/2014	02:55:37 550mseg	34 160,00	34 840,00	46 560,00	35 080,00	4 260,00
15/05/2014	03:55:37 550mseg	28 180,00	28 760,00	39 140,00	28 940,00	3 940,00
15/05/2014	04:55:37 550mseg	27 740,00	28 400,00	39 620,00	28 460,00	2 720,00
15/05/2014	05:55:37 550mseg	27 700,00	28 400,00	38 420,00	28 560,00	3 560,00
15/05/2014	06:55:37 550mseg	27 600,00	28 260,00	37 280,00	28 500,00	4 020,00
15/05/2014	07:55:37 550mseg	28 900,00	29 860,00	38 480,00	30 020,00	3 500,00
15/05/2014	08:55:37 550mseg	28 880,00	29 820,00	38 400,00	29 940,00	2 920,00
15/05/2014	09:55:37 550mseg	28 320,00	29 200,00	38 580,00	29 240,00	2 040,00
15/05/2014	10:55:37 550mseg	28 160,00	28 920,00	37 660,00	29 040,00	3 160,00
Promedio		32 259,00	33 093,00	43 876,00	33 238,00	3 478,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Medición de factor de potencia y armónicos en motor de AC de 75Hp. Medición en la entrada del variador de frecuencia**

Fecha	Hora	Factor de potencia total max	PF Pos total max	<i>Harmonic distortion</i> total max	Desequilibrio de potencia total max
14/05/2014	15:55:37 550mseg	0,78	0,99	30 120,00	1 480,00
14/05/2014	16:55:37 550mseg	0,77	1,00	30 440,00	2 140,00
14/05/2014	17:55:37 550mseg	0,76	1,00	30 960,00	2 100,00
14/05/2014	18:55:37 550mseg	0,72	1,00	33 720,00	4 080,00
14/05/2014	19:55:37 550mseg	0,71	1,00	34 400,00	3 180,00
14/05/2014	20:55:37 550mseg	0,71	1,00	32 100,00	3 280,00
14/05/2014	21:55:37 550mseg	0,71	1,00	32 120,00	3 240,00
14/05/2014	22:55:37 550mseg	0,73	1,00	30 180,00	2 260,00
14/05/2014	23:55:37 550mseg	0,75	1,00	28 480,00	1 120,00
15/05/2014	00:55:37 550mseg	0,74	1,00	29 620,00	1 320,00
15/05/2014	01:55:37 550mseg	0,74	1,00	30 180,00	1 500,00
15/05/2014	02:55:37 550mseg	0,74	0,99	30 720,00	2 060,00
15/05/2014	03:55:37 550mseg	0,72	0,99	26 520,00	2 000,00
15/05/2014	04:55:37 550mseg	0,70	1,00	27 800,00	1 920,00
15/05/2014	05:55:37 550mseg	0,72	1,00	26 020,00	1 560,00
15/05/2014	06:55:37 550mseg	0,74	0,99	24 080,00	2 180,00
15/05/2014	07:55:37 550mseg	0,75	1,00	24 600,00	1 060,00
15/05/2014	08:55:37 550mseg	0,75	1,00	24 380,00	1 160,00
15/05/2014	09:55:37 550mseg	0,74	1,00	25 540,00	1 260,00
15/05/2014	10:55:37 550mseg	0,75	1,00	24 080,00	1 240,00
Promedio		0,74	1,00	28 803,00	2 007,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Medición de energía en motor de AC de 75HP**

Fecha	Hora	Energía activa total med	Energía reactiva total med	Energía aparente total med	Wh adelante total med
14/05/2014	15:55:37 550mseg	107,00	12,00	138,00	107,00
14/05/2014	16:55:37 550mseg	38 205,00	3 962,00	49 584,00	38 205,00
14/05/2014	17:55:37 550mseg	53 862,00	5 098,00	70 253,00	53 862,00
14/05/2014	18:55:37 550mseg	89 572,00	8 141,00	119 226,00	89 572,00
14/05/2014	19:55:37 550mseg	125 072,00	11 449,00	168 751,00	125 072,00
14/05/2014	20:55:37 550mseg	159 431,00	14 064,00	217 479,00	159 431,00
14/05/2014	21:55:37 550mseg	192 081,00	16 725,00	263 362,00	192 081,00
14/05/2014	22:55:37 550mseg	224 648,00	18 662,00	308 917,00	224 648,00
14/05/2014	23:55:37 550mseg	257 247,00	21 390,00	353 131,00	257 247,00
15/05/2014	00:55:37 550mseg	289 775,00	24 161,00	397 505,00	289 775,00
15/05/2014	01:55:37 550mseg	323 014,00	28 027,00	442 591,00	323 014,00
15/05/2014	02:55:37 550mseg	356 624,00	31 860,00	488 451,00	356 624,00
15/05/2014	03:55:37 550mseg	371 258,00	33 583,00	508 964,00	371 258,00
15/05/2014	04:55:37 550mseg	398 681,00	36 352,00	54 765,00	398 681,00
15/05/2014	05:55:37 550mseg	426 021,00	37 801,00	586 937,00	426 021,00
15/05/2014	06:55:37 550mseg	453 311,00	41 207,00	624 137,00	453 311,00
15/05/2014	07:55:37 550mseg	480 648,00	44 436,00	660 900,00	480 648,00
15/05/2014	08:55:37 550mseg	509 175,00	47 349,00	698 997,00	509 175,00
15/05/2014	09:55:37 550mseg	537 604,00	49 990,00	737 279,00	537 604,00
15/05/2014	10:55:37 550mseg	565 363,00	52 416,00	774 811,00	565 363,00

Fuente: elaboración propia.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la medición de ambos motores se utilizó el mismo aparato de medición, dicho aparato fue conectado en la entrada del variador, con un voltaje de entrada de 480v trifásico para ambos casos. El tiempo de medición para ambos casos fue de 19 horas continuas, resumiendo la toma de datos por hora.

3.1. Análisis de resultados del motor DC de 55 KW

Los resultados en este motor de DC de 55KW como los voltajes máximos, las corrientes máximas, las potencias máximas, las armónicas, la distorsión y la energía son datos fiables y reales tomados en un proceso de producción de plástico continuo. El extrusor en donde estuvieron conectados ambos motores fue el mismo. Tomar en cuenta que en la medición del motor de DC de 55KW está incluida la medición del consumo del motor ventilador de AC.

Con base en mediciones realizadas se observa lo siguiente:

- El voltaje de alimentación fue de 482,91 v de AC
- La corriente máxima alcanzada fue de 79,84 amperios
- La potencia activa máxima fue de 45,88 KW
- La potencia Aparente máxima fue de 66,18 KVA
- La potencia reactiva máxima fue de 47,52 KWVAR
- El factor de potencia máximo fue de 0,7
- La distorsión armónica máxima fue de 28,4 KW
- El desequilibrio de potencia Total Max fue de 5,08 KW

- El consumo de energía fue de 719569 WH-245WH haciendo un total de 719324WH esto es 719.324KWH.

3.2. Análisis de resultados del motor de AC de 75 HP

Con base en mediciones realizadas se observa lo siguiente:

- El voltaje de alimentación fue de 488,72v de AC.
- La corriente máxima alcanzada fue de 65,20 amperios.
- La potencia activa máxima fue de 38,68 KW
- La potencia aparente máxima fue de 50,68 KVA
- La potencia reactiva máxima fue de 47.4 KVAR
- El factor de potencia máximo fue de 0,78
- La distorsión armónica máxima fue de 34,4 KW
- El desequilibrio de potencia total max fue de 4,08 KW
- El consumo de energía fue de 565,363 WH – 107 WH haciendo un total de 565,256 WH esto es 565,256 KWH.

A continuación la tabla comparativa de las mediciones de ambos motores:

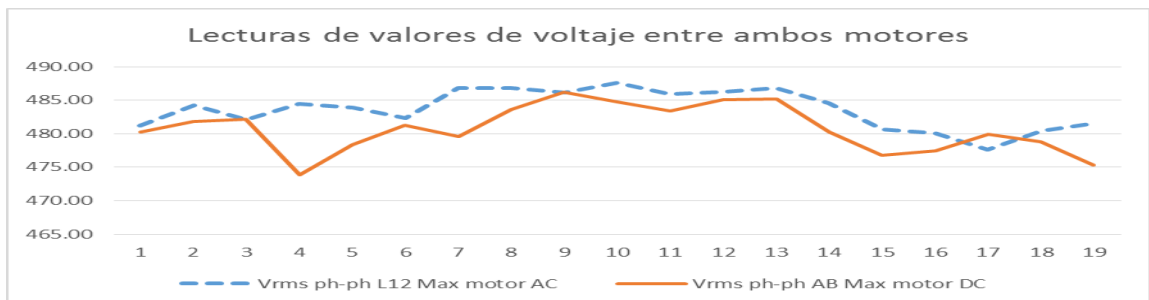
Tabla XIII. **Comparación mediciones**

MOTOR	Vmax. (v)	I _{max} . (A)	P _{max} . (KW)	S _{max} . (KVA)	Q _{max} . (KVAR)	FP _{max} .	Distorsión armónica max. (KW)	Desequilibrio de P total max. (KW)	Energía KWH
MOTOR DE DC	482,91	79,84	45,88	66,18	47,52	0,70	28,40	5,08	719,32
MOTOR DE AC	488,72	65,20	38,68	50,68	47,40	0,78	34,40	4,08	565,26

Fuente: elaboración propia.

En la figura 20 se puede observar el comportamiento de las lecturas de los voltajes rms entre las primeras dos fases.

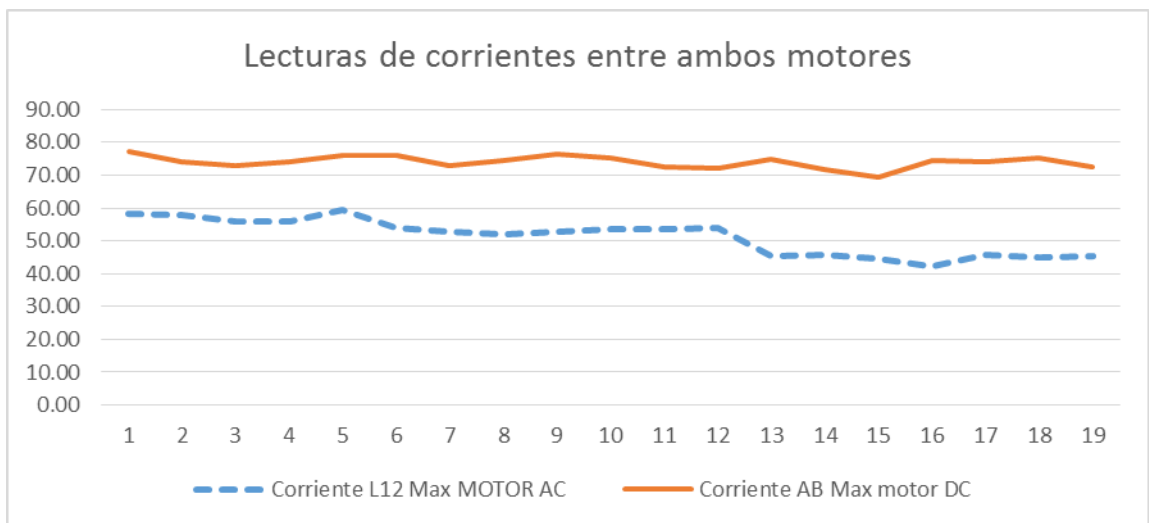
Figura 20. **Lectura de valores entre ambos motores**



Fuente: elaboración propia.

La figura 21 muestra el comportamiento que tuvo el consumo de corriente.

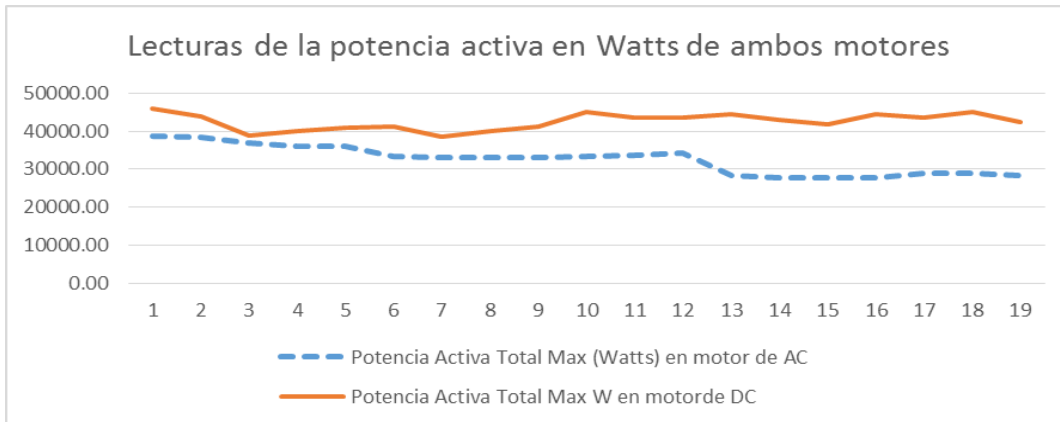
Figura 21. **Consumo corriente**



Fuente: elaboración propia.

El figura 22 muestra las lecturas tomadas de la potencia activa en KW.

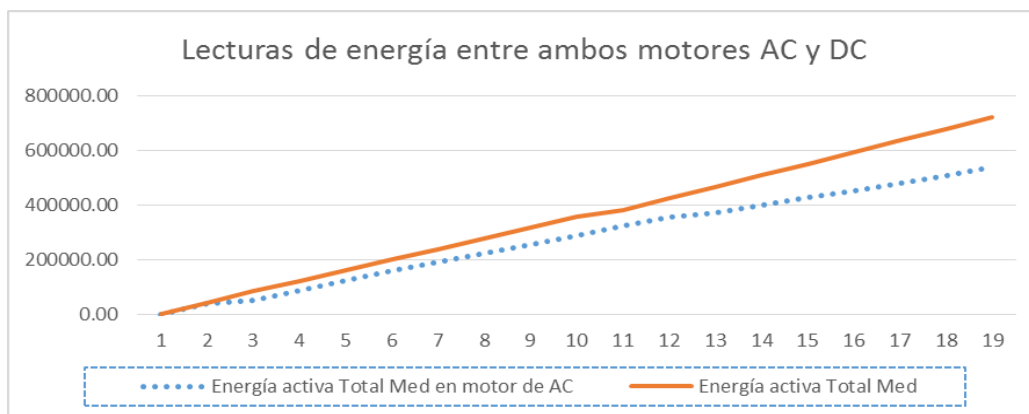
Figura 22. **Potencia activa en KW**



Fuente: elaboración propia.

A continuación se observa la figura de la comparación del consumo de energía de ambos motores de DC y AC.

Figura 23. **Consumo de energía**



Fuente: elaboración propia.

Se puede apreciar en la figura 23 la considerable diferencia del consumo de energía entre ambos motores, siendo el motor de 75HP de AC el motor que consume menos energía.

3.3. Análisis de los costos de energía y de mantenimientos entre ambos motores

A continuación los costos comparativos de energía de marzo, abril, mayo y junio del 2014, en donde se observa que el motor de AC consume 21.42 % de energía menos que lo que consume el motor de DC:

Tabla XIV. **Costos de energía.**

COSTO DE ENERGÍA

AÑO 2014	
MES	Costo en \$/KWH
MARZO	\$ 0,1364
ABRIL	\$ 0,1427
MAYO	\$ 0,1293
JUNIO	\$ 0,0715
Promedio	\$ 0,1200

EQUIPO	Energía KWH	Costo en \$/KWH	Costo Total en \$ de energía consumida	Diferencia
Motor 55KW dc	719,32	\$ 0,1200	\$ 86,3189	21,42 %
Motor 75HP AC	565,26	\$ 0,1200	\$ 67,8307	

Fuente: elaboración propia.

A continuación los costos comparativos de la demanda firme de marzo, abril mayo y junio 2014, en donde se observa que el motor de AC tiene un costo menor del 15,69 % en comparación con el motor de DC.

Tabla XV. **Costo de demanda firme**

COSTO DE DEMANDA FIRME

MOTOR	Pmax. (KW)	Costo de demanda firme	Costo de Potencia	Diferencia
MOTOR DE DC	45,88	\$ 10,50	\$ 481,74	15,69 %
MOTOR DE AC	38,68	\$ 10,50	\$ 406,14	

Fuente: elaboración propia.

Para el caso del costo del mantenimiento según las tablas 1 y 2 se observa que el costo del mantenimiento del motor de AC es 69,51 % menor al mantenimiento del motor de DC. Esto debido a que se incluye en el mantenimiento del motor de DC el mantenimiento de su motor ventilador y su tacómetro.

Tabla XVI. **Mantenimiento de motor**

MOTOR	Costo anual del Mantenimiento	DIFERENCIA
MOTOR DE DC	Q 4 973,21	68,33 %
MOTOR DE AC	Q 1 575,00	

Fuente: elaboración propia.

3.4. Análisis de los costos según la distribución chi cuadrada χ^2

La prueba chi cuadrada χ^2 es considerada como una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (o esperada). Indicando en que medidas las diferencias existentes entre ambas, y de averías, se deben al azar en el contraste de hipótesis. También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia.

Tabla XVII. **Tabla de contingencia**

	MOTOR 55HP AC	MOTOR 55KW DC	TOTAL
Costo total en \$ de energía consumida	67,83	86,31	154,14
Costo total en \$ de demanda firme	406,14	481,74	887,88
Costo del mantenimiento anual	215,75	681,26	897,01
	689,72	1 249,31	1 939,03

Hipótesis nula	H0: El uso de motores de AC en los procesos de extrusión continuos de plástico representan un costo mayor al de utilizar motores de DC
Hipótesis alternativa	H1: El uso de motores de DC en los procesos de extrusión continuos de plástico representan un costo mayor al de utilizar motores de AC

Nivel de significancia:

Se recuerda que se tienen 3 filas y 2 columnas

$$(filas-1) \times (columnas-1) = (3-1) \times (2-1) = 2 \times 1 = 2$$

Valores esperados	MOTOR 55HP AC	MOTOR 55KW DC
Costo Total en \$ de energía consumida	54,83	99,31
Costo Total en \$ de demanda firme	31,82	572,06
Costo del mantenimiento anual	319,07	577,94

$$\sum_{i=1}^N \frac{(obs_i - exp_i)^2}{exp_i}$$

	Observados	Esperados	O-E	(O-E) ²	(O-E) ² /E
AC - Energía	67,83	54,83	13,00	169,05	3,08
AC - demanda	406,14	315,82	90,32	8 157,32	25,83
AC- Manto	215,75	319,07	-103,32	10 674,96	33,46
DC – Energía	86,31	99,31	-13,00	169,05	1,70
DC – demanda	481,74	572,06	-90,32	8 157,32	14,26
DC – Manto	681,26	577,94	103,32	10 674,96	18,47
					96,80

Para un nivel de confianza del 95 %

$$\alpha=0,05$$

Para un nivel de confianza del 95 % según la tabla 7.4.2

Grados Libertad	Probabilidad de un valor superior Alfa(a)				
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60

Fuente: elaboración propia.

Se descarta hipótesis nula HO.

Esto indica que se descarta que el motor de AC representa un gasto mayor. Y que si aplica la hipótesis alternativa que indica que el motor de DC representa un costo mayor al del motor de AC.

CONCLUSIONES

1. El motor de DC para este proceso no es la mejor opción, ya que una vez arrancado el proceso, el extrusor de plástico no para y por consiguiente el motor tampoco el motor adicional de ventilación que este tipo de motores tiene tampoco para, y al sumarle la potencia del motor ventilador adicional incrementa su consumo, debido al incremento de su potencia, también el costo de su mantenimiento es mayor. Se evidenció que con la misma velocidad para sacar la misma producción el motor de DC tuvo que tener o llegar a mayor potencia.
2. El motor de AC es aceptable para este tipo de proceso, ya que se observó que este puede trabajar obteniendo las mismas especificaciones de producción con mejores resultados. El motor de AC evaluado en este estudio mostró menor consumo de potencia, energía y mantenimiento.
3. Al realizar las mediciones en ambos motores, se evidenció que el motor de DC está por debajo en los resultados al motor de AC, es el motor de AC menor en su potencia máxima, en su consumo de energía y en sus mantenimientos. Por ende en lo económico se encontró una diferencia que favoreció al motor de AC. Dichos resultados se apoyaron en un análisis estadístico con la distribución chi cuadrada, la cual también reflejó que el motor de AC es menor en sus costos.

RECOMENDACIONES

1. El motor de DC no es una buena opción para procesos continuos de extrusión de plástico, por lo que se recomienda su cambio para tener una producción con menor costo de operación.
2. El motor de AC para el proceso continuo de producción de plástico es ideal, y se recomienda operarlo con un variador de frecuencia para que el extrusor pueda ser operado a las velocidades requeridas en los procesos.

BIBLIOGRAFÍA

1. FINK, Donald, WAYNE, Beaty. *Manual de Ingeniería Eléctrica*. 13a. ed. México. McGraw-Hill, 1996. 600 p.
2. CHAPMAN, Stephen. *Máquinas eléctricas*. 3a. ed. México: McGraw-Hill, 1998. 761 p.
3. TRIOLA, Mario. *Estadística*. 9a. ed. México: Pearson Educación. 2015. 500 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Especificaciones del motor de 75 HP marca Marathon Electric

Globetrotter® IEC (Metric) Frame, Three Phase Totally Enclosed, B3 Mounting, Rigid Base

Multiplier Symbol F4

HP/ kW	RPM 60/50 HZ	60 HZ VOLTS	50 HZ VOLTS	IEC FRAME	CAT. NO.	MODEL NO.	STOCK	C.T. SPEED RANGE*	LIST PRICE	NOM. EFF.	60 HZ F.L. AMPS	WEIGHT	IEC "L" DIM. (MM)	FOOT NOTES	BS/FF FLANGE
3-2.2	3600/3000	230/460	200/400	90L	R321A	90LT34FH6301	✓	20:1	\$553	86.5	7.2/3.6	42	326	68	A572
	3600/3000	575	480	90L	R421A	90LT34FH6302	✓	20:1	\$553	86.5	2.9	42	326	68	A572
	1800/1500	230/460	200/400	100L	R322A	100LTFC6526	✓	20:1	\$600	89.5	9.0/4.5	84	415	68	A554A
	1800/1500	575	480	100L	R422A	100LTFC6527	✓	20:1	\$600	89.5	3.6	84	415	68	A554A
4-3	1200/1000	230/460	200/400	112M	R323A	112MTFC6576	✓	20:1	\$874	89.5	9.0/4.5	100	470	68	A554A
	3600/3000	230/460	200/400	100L	R351A	100LTFC6501	✓	20:1	\$640	87.5	9.2/4.6	71	415	68	A554A
	3600/3000	575	480	100L	R451A	100LTFC6502	✓	20:1	\$640	87.5	3.7	71	415	68	A554A
	1800/1500	230/460	200/400	100L	R352A	100LTFC6536	✓	20:1	\$651	89.5	11.0/5.5	84	415	68	A554A
5 1/2-4	1800/1500	575	480	100L	R452A	100LTFC6537	✓	20:1	\$651	89.5	4.4	84	415	68	A554A
	1200/1000	230/460	200/400	132S	R353A	132STFC6586	✓	2:1	\$1,058	89.5	13.0/6.5	154	464	68	A556A
	3600/3000	230/460	200/400	112M	R324A	112MTFC6511	✓	20:1	\$824	87.5	12.8/6.4	104	410	68	A555B
	3600/3000	575	480	112M	R424A	112MTFC6512	✓	20:1	\$824	87.5	5.1	104	410	68	A555B
7 1/2-5.5	1800/1500	230/460	200/400	112M	R325A	112MTFC6536	✓	20:1	\$794	89.5	14.0/7.0	104	410	68	A555B
	1800/1500	575	480	112M	R425A	112MTFC6537	✓	20:1	\$794	89.5	5.6	104	410	68	A555B
	1200/1000	230/460	200/400	132M	R326A	132MTFC6586	✓	2:1	\$1,221	89.5	17/8.5	176	502	68	A556A
	3600/3000	230/460	200/400	132S	R327A	132STFC6501	✓	20:1	\$1,033	90.2	17.6/8.8	152	464	68	A550
10-7.5	3600/3000	575	480	132S	R427A	132STFC6503	✓	20:1	\$1,033	90.2	7.0	152	464	68	A550
	1800/1500	230/460	200/400	132S	R328A	132STFC6526	✓	20:1	\$998	91.7	19.6/9.8	150	464	68	A556A
	1800/1500	575	480	132S	R428A	132STFC6527	✓	20:1	\$998	91.7	7.8	105	464	68	A556A
	1200/1000	230/460	200/400	132M	R329A	132MTFC6587	✓	2:1	\$1,469	91.0	23.4/11.7	180	502	68	A556A
15-11	3600/3000	230/460	200/400	132S	R330A	132STFC6502	✓	20:1	\$1,105	90.2	23.2/11.6	163	464	68	A550
	3600/3000	575	480	132S	R430A	132STFC6504	✓	20:1	\$1,105	90.2	9.3	163	464	68	A550
	1800/1500	230/460	200/400	132M	R331A	132MTFC6536	✓	2:1	\$1,225	91.7	26.0/13.0	174	502	68	A556A
	1800/1500	575	480	132M	R431A	132MTFC6537	✓	2:1	\$1,225	91.7	10.4	174	502	68	A556A
20-15	1200/1000	230/460	200/400	160M	R332A	160MTFC6586	✓	2:1	\$1,905	91.0	28.0/14.0	251	615	YD, 68	A557
	3600/3000	230/460	200/400	160M	R333A	160MTFC6511	✓	2:1	\$1,790	91.7	35.2/17.6	260	600	YD, 68	A551
	1800/1500	230/460	200/400	160M	R334A	160MTFC6536	✓	10:1	\$1,756	92.4	37.8/18.9	264	600	YD, 68	A557
	1200/1000	230/460	200/400	160L	R335A	160LTFC6588	✓	2:1	\$2,445	91.7	38.8/19.4	330	675	YD, 68	A557
25-18.5	3600/3000	230/460	200/400	160M	R336A	160MTFC6512	✓	10:1	\$2,100	91.7	46.8/23.4	269	600	YD, 68	A551
	1800/1500	230/460	200/400	160L	R337A	160LTFC6538	✓	2:1	\$2,214	93.0	47.0/23.5	311	600	YD, 68	A557
	1200/1000	230/460	200/400	180L	R338A	180LTFC6588	✓	2:1	\$3,429	91.7	54.0/27.0	385	718	YD, 68	A558
	3600/3000	230/460	200/400	160L	R339A	160LTFC6513	✓	2:1	\$2,556	91.7	57.6/28.8	319	645	YD, 68	A551
30-22	1800/1500	230/460	200/400	180M	R340A	180MTFC6536	✓	20:1	\$2,814	93.6	59.2/29.6	381	680	YD, 68	A558
	1200/1000	230/460	200/400	200L	R341A	200LTFC6588	✓	2:1	\$4,300	93.0	63.0/31.5	467	775	YD, 68	A559
	3600/3000	230/460	200/400	180M	R342A	180MTFC6511	✓	2:1	\$3,038	92.4	68.8/34.4	355	680	YD, 68	A552
	1800/1500	230/460	200/400	180L	R343A	180LTFC6538	✓	20:1	\$3,163	93.6	69.2/34.6	427	718	YD, 68	A558
40-30	1200/1000	230/460	200/400	200L	R344A	200LTFC6589	✓	2:1	\$4,871	93.0	76/38	467	750	YD, 68	A559
	3600/3000	230/460	200/400	200L	R345A	200LTFC6511	✓	20:1	\$4,325	92.4	89.6/44.8	522	750	YD, 68	A553
	1800/1500	230/460	200/400	200L	R346A	200LTFC6538	✓	2:1	\$4,656	94.1	95/47.5	531	750	YD, 68	A559
	1200/1000	230/460	200/400	225M	R347A	225MTFC6586	✓	2:1	\$7,319	94.1	100/50	633	837	YD, 68	A580
50-37	3600/3000	230/460	200/400	200L	R348A	200LTFC6513	✓	10:1	\$5,673	93.0	111.4/55.7	546	750	YD, 68	A553
	1800/1500	230/460	200/400	225S	R349A	225STFC6526	✓	10:1	\$6,460	94.5	117.6/58.8	632	812	YD, 68	A580
	1200/1000	230/460	200/400	250M	R350A	250MTFC6586	✓	2:1	\$10,259	94.1	125/62.5	655	1350	YD, 68	A594
	3600/3000	230/460	200/400	225M	R500	225MTFC6501	✓	10:1	\$8,794	94.1	134/67.0	590	837	YD, 68	A580
60-45	1800/1500	230/460	200/400	225M	R501	225MTFC6526	✓	10:1	\$9,708	95.0	138/69.0	1005	837	YD, 68	A580
	1200/1000	230/460	200/400	280S	R502	280STFC6586	✓	2:1	\$12,954	95.0	152/76.0	975	975	YD, 68	A596
	3600/3000	230/460	200/400	250M	R503	250MTFC6501	✓	2:1	\$12,069	93.6	170/85.0	937	1350	YD, 68	A594
	1800/1500	230/460	200/400	250M	R504	250MTFC6526	✓	2:1	\$11,361	95.4	174/87.0	1030	922	YD, 68	A594
100-75	1200/1000	230/460	200/400	280M	R505	280MTFC6588	✓	2:1	\$14,278	94.5	190/95.0	1100	1026	YD, 68	A596
	3600/3000	230/460	200/400	280S	R506	280STFC6501	✓	2:1	\$14,435	94.1	222/111	1016	975	YD, 68	A596
	1800/1500	230/460	200/400	280S	R507	280STFC6526	✓	2:1	\$13,118	95.4	226/113	1025	975	YD, 68	A596
	1200/1000	230/460	200/400	315S	R508	315STFC6588	✓	2:1	\$17,882	95.0	234/117	1300		YD, 68	A598

Catalog numbers (Cat No.) highlighted in bold blue have efficiency levels that meet EISA requirements

Blue shaded areas are Cast Iron Frames

* Requires nameplate modification

Continuación apéndice 1.

Grados de libertad	Área a la derecha del valor crítico									
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.90	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	—	—	0.001	0.004	0.016	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.071	12.833	15.086	16.750
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.299
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.085	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	11.651	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	13.240	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.042	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	14.848	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	33.196	36.415	39.364	42.980	45.559
25	10.520	11.524	13.120	14.611	16.473	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	18.114	36.741	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.257	16.047	17.708	19.768	39.087	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.954	16.791	18.493	20.599	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672
40	20.707	22.164	24.433	26.509	29.051	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766
50	27.991	29.707	32.357	34.764	37.689	63.167	67.505	71.420	76.154	79.490
60	35.534	37.485	40.482	43.188	46.459	74.397	79.082	83.298	88.379	91.952
70	43.275	45.442	48.758	51.739	55.329	85.527	90.531	95.023	100.425	104.215
80	51.172	53.540	57.153	60.391	64.278	96.578	101.879	106.629	112.329	116.321
90	59.196	61.754	65.647	69.126	73.291	107.565	113.145	118.136	124.116	128.299
100	67.328	70.065	74.222	77.929	82.358	118.498	124.342	129.561	135.807	140.169

De Donald B. Owen, *Handbook of Statistical Tables*, © 1962 Addison-Wesley Publishing Co., Reading, MA. Reimpreso bajo permiso del editor.

Grados de libertad

- $n - 1$ para intervalos de confianza o pruebas de hipótesis con desviación estándar o varianza
- $k - 1$ para experimentos multinomiales o bondad de ajuste con k categorías
- $(r - 1)(c - 1)$ para tablas de contingencia con r renglones y c columnas
- $k - 1$ para la prueba de Kruskal-Wallis con k muestras

Continuación apéndice 1.

Empresas que se visitaron para verificar existencia de motores en Guatemala

- LAZOS DE AMERICA S. A.
 - Esta empresa se dedica a la producción de pita y lazo plástico.
 - No cuenta con motor de DC.
- ALIMENTOS IDEAL S. A.
 - Esta empresa contiene inyectoras sopladoras de plástico.
 - No cuenta con motor de DC.
- MULTILAZOS S. A.
 - Esta empresa produce lazo plástico.
 - No cuenta con motor de DC.
- TEXCOL S. A.
 - Esta empresa produce colchas de algodón.
- DESECHOS PLÁSTICOS HURDELFA S.A.
 - Esta empresa produce esquineros o angulares de plástico.

Fuente: elaboración propia.

