

**“ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA ENSAYO DE MOTORES ELÉCTRICOS ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS DE 2,2 KW CON ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE VARIABLES ELECTROMECAÑICAS PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA ”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTROMECAÑICA**

**Autores:**

**Jorge Puco  
Carlos Sánchez**

**Tutor:**

**Ing. Freddy Salazar Mg.**

# Planteamiento del Problema



Macro



Meso



Micro



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Formulación del Problema

---

¿Cuáles son los efectos y beneficios para los estudiantes y docentes, mediante el diseño e implementación de un módulo didácticos para ensayos de motores eléctricos asíncronos trifásicos de 2,2 kW con adquisición automática de variables electromecánicas para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE extensión Latacunga?



# Justificación



## IMPORTANCIA

El desarrollo de la sociedad en el siglo XXI, se ha caracterizado por la modernidad, avances tecnológicos y electrónicos, siendo la operación de motores eléctricos monofásicos y especialmente trifásicos clave para la reducción de costos y aumento de la eficiencia de trabajo.



## ¿POR QUÉ?

En el módulo se podrá censar, procesar, interpretar y visualizar las variables como: Voltaje, Corriente, Velocidad, Factor de Potencia, Torque Mecánico y Eficiencia, en condiciones estables de funcionamiento.



## BENEFICIARIOS

Los estudiantes de las carreras de Ingeniería en Electromecánica, Electrónica y Mecatrónica de la Universidad podrán comparar los valores teóricos con los medidos en el módulo didáctico.



# Objetivos

General

Analizar la operación de motores trifásicos mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para ensayo de motores eléctricos asíncronos trifásicos de 2.2 kW (3HP) con adquisición automática de variables electromecánicas.

Específicos

Diseñar el módulo para la adquisición de variables electromecánicas de motores de inducción trifásicos hasta de 2.2 KW (3HP).

Implementar el sistema de adquisición de datos, para la operación en estado estable de la máquina.

Comparar las variables electromecánicas obtenidas entre las 2 máquinas asíncronas giratorias con norma IE1 y norma IE3.

Analizar resultados obtenidos de la máquina en funcionamiento en estado estable y del estudio comparativo entre las máquinas con norma IE1, IE3.

# Fundamentación



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Técnica

Las normas de eficiencia se encuentran establecidas en las Comisión Electrotécnica Internacional (CEI), en inglés: IEC (International Electrotechnical Commission), organización que se encargar de definir los estándares internacionales de normalización en los campos: eléctrico, electrónico y de tecnologías relacionadas, a las cuales se conocen colectivamente como "electrotécnica".

**-Norma IEC 60034-30**

## Legal



### **CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

Según el artículo 387, número 2 de la Constitución de la República del Ecuador establece que es responsabilidad del Estado promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación científica y tecnológica para así contribuir a la realización del buen vivir, al "Sumak Kawsay"; (Asamblea Nacional, 2008).

### **Plan Nacional del Buen Vivir**

Objetivo 11. Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica", específicamente el literal 11.1.d "Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios". (PNBV 2013-2017)



**Se puede adquirir variables electromecánicas mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para ensayos de motores eléctricos asincrónicos trifásicos de 2,2kw para el Laboratorio de Control Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.**



# Operacionalización de la variable dependiente

Análisis eléctrico de motores trifásicos.

| VARIABLE   | DIMENSIONES                         | INDICADORES  | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS | UNIDADES |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------|----------|
| <b><u>Dependiente</u></b><br><br>Análisis eléctrico de motores trifásicos. | Indicadores de eficiencia eléctrica | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Rendimiento eléctrico</li> </ul>                  | Ecuaciones              | %        |
|  |                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Factor de Potencia</li> </ul>                     | Ecuaciones              | %        |
|  | Indicadores de eficiencia mecánica  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia en pérdidas <math>I^2R</math></li> </ul> | Ecuaciones              | W        |



# Metodología

## Metodología

Enfoque

Cuantitativo

Modalidad Básica de la  
Investigación

- De Campo  
- Bibliográfica - Documental

Nivel o tipo de la Investigación

Descriptiva



# Población

| EQUIPOS   | NÚMERO | DESCRIPCIÓN                         |
|---|--------|-------------------------------------|
| <b>Motor asincrónico trifásico normal</b>             | 1      | Motor de 2,2 Kw                     |
| <b>Motor asincrónico trifásico de alta eficiencia</b> | 1      | Motor de 2,2 Kw de alto rendimiento |
| <b>Motor CDPT3603 de c.c.</b>                         | 1      | Motor 3HP                           |
| <b>Sensor SENECA Z204-1</b>                           | 2      | Medición de voltaje alterno         |
| <b>Sensor SENECA T201</b>                             | 1      | Medición de corriente alterna       |
| <b>Sensor SENECA T201DCH</b>                          | 1      | Medición de corriente continua      |
| <b>Encoder Modelo E5058-120-3-T-24</b>                | 1      | Medición de velocidad               |
| <b>TOTAL</b>  | 8      |                                     |



# RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN



## Prueba en vacío

### Datos medidos motor M3661TX

#### Baja eficiencia

|      | A     | B     | C   | TOTAL |
|------|-------|-------|-----|-------|
| KW   |       |       |     | 0,14  |
| KVA  |       |       |     | 1,71  |
| KVAR |       |       |     | 1,70  |
| PF   |       |       |     | 0,08  |
| Arms | 4,5   | 4,5   | 4,5 |       |
|      | AB    | BC    | CA  |       |
| Vrms | 219,3 | 219,9 | 220 |       |

### Datos medidos motor EM3611T

#### Alta eficiencia

|      | A     | B     | C     | TOTAL |
|------|-------|-------|-------|-------|
| KW   |       |       |       | 0,12  |
| KVA  |       |       |       | 1,62  |
| KVAR |       |       |       | 1,61  |
| PF   |       |       |       | 0,07  |
| Arms | 4,3   | 4,2   | 4,4   |       |
|      | AB    | BC    | CA    |       |
| Vrms | 217,9 | 218,6 | 219,4 |       |



# Prueba a rotor bloqueado

## Datos medidos motor M3661TX

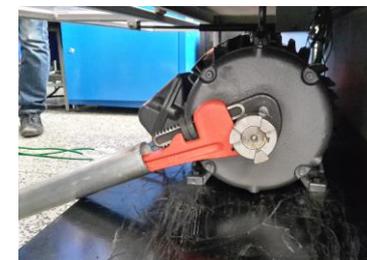
### Baja eficiencia

|             | A     | B     | C     | TOTAL |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>KW</b>   |       |       |       | 1,3   |
| <b>KVA</b>  |       |       |       | 3,8   |
| <b>KVAR</b> |       |       |       | 3,5   |
| <b>PF</b>   |       |       |       | 0,32  |
| <b>Arms</b> | 47    | 48    | 46    |       |
|             | AB    | BC    | CA    |       |
| <b>Vrms</b> | 47,82 | 47,38 | 47,59 |       |

## Datos medidos motor EM3611T

### Alta eficiencia

|             | A     | B     | C     | TOTAL |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>KW</b>   |       |       |       | 2,5   |
| <b>KVA</b>  |       |       |       | 3,8   |
| <b>KVAR</b> |       |       |       | 2,8   |
| <b>PF</b>   |       |       |       | 0,65  |
| <b>Arms</b> | 50    | 51    | 48    |       |
|             | AB    | BC    | CA    |       |
| <b>Vrms</b> | 44,79 | 44,11 | 44,25 |       |



# Valores de mediciones y calculados de los motores asincrónicos trifásicos modelos M3661TX y EM3611T

| Valor    | Motor M3661TX    | MOTOR EM3611T    |
|----------|------------------|------------------|
| $I_0$    | 4,5 A            | 4,2 A            |
| $V_L$    | 219,3V           | 217,9V           |
| $z_0$    | 26,6864 $\Omega$ | 31,5168 $\Omega$ |
| $x_0$    | 26,5869 $\Omega$ | 31,5353 $\Omega$ |
| $I_L$    | 9,4A             | 9,6A             |
| $z_{rb}$ | 2,91 $\Omega$    | 2,6529 $\Omega$  |
| $x_1$    | 1,0958 $\Omega$  | 0,7763 $\Omega$  |
| $x_2$    | 1,6438 $\Omega$  | 1,1645 $\Omega$  |
| $x_M$    | 25,4911 $\Omega$ | 30,759 $\Omega$  |
| $r_1$    | 0,68 $\Omega$    | 0,75 $\Omega$    |
| $R_2$    | 0,3421 $\Omega$  | 1,0984 $\Omega$  |





# Verificación de Hipótesis

**(H1).** Se puede adquirir variables electromecánicas mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para ensayos de motores eléctricos asincrónicos trifásicos de 2,2kw para el laboratorio de control industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

**(H0).** No se puede adquirir variables electromecánicas mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para ensayos de motores eléctricos asincrónicos trifásicos de 2,2kw para el laboratorio de control industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Nivel de Significancia = 0,05

Confiabilidad del 95%

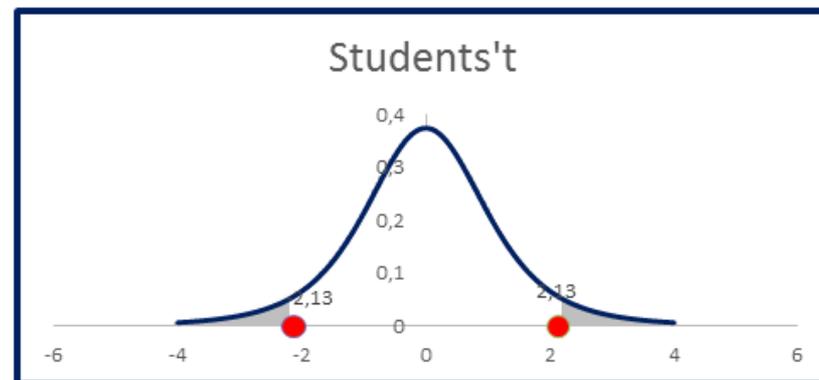
**Valor estadístico t student tabular ( $Xt^2$ )**

$Xt^2 = 2,1318$

## Prueba t para medidas de dos muestras emparejadas

|  | Motor M3661TX | MOTOR EM3611T |
|--|---------------|---------------|
| Media                                  | 134,4         | 72            |
| Varianza                               | 5676,8        | 1408          |
| Observaciones                          | 5             | 5             |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0,775331494   |               |
| Diferencia hipotética de las medias    | 0             |               |
| Grados de libertad                     | 4             |               |
| Estadístico t                          | 2,684870724   |               |

## Representación Gráfica



# Propuesta



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## TEMA:

- ANÁLISIS DE LA OPERACIÓN DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA ENSAYO DE MOTORES ELÉCTRICOS ASINCRÓNICOS TRIFÁSICOS DE 2,2 KW CON ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE VARIABLES ELECTROMECAÑICAS PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

## OBJETIVOS

ANALIZAR LA OPERACIÓN DE MOTORES TRIFÁSICOS MEDIANTE EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA ENSAYO DE MOTORES ELÉCTRICOS ASINCRÓNICOS TRIFÁSICOS DE 2,2 KW CON ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE VARIABLES ELECTROMECAÑICAS PARA EL LABORATORIO DE CONTROL INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA

## JUSTIFICACIÓN

- La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga busca fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos en clase para poderlos desarrollar de una manera práctica por parte de sus estudiantes, fomentando el desarrollo tecnológico en el centro del país.

Desarrollar un módulo didáctico de pruebas para motor asíncrono de 2,2 Kw para la adquisición de variables electromecánicas

Capturar los datos en tiempo real de las variables electromecánicas de los motores M3661TX y EM3611T

Permitir realizar ensayos rápidos y fáciles usando el módulo de adquisición de variables electromecánicas

General

Específicos

# Desarrollo de la Propuesta



La presente propuesta, se realiza en el marco de la implementación de un módulo de adquisición de variables electromecánicas, como necesidad de los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para visualizar mediante graficas en el software Labview, la corriente, voltaje, velocidad, torque mecánico, potencia útil, factor de potencia y eficiencia de los motores asíncronos trifásicos de 2,2 Kw, de esta manera se podrá realizar un análisis de las diferencias entre un motor convencional y uno de alta eficiencia relacionado los conceptos teóricos con la practica en el laboratorio de Control Industrial.

# Sistemas del prototipo

## Sistema de control

### Seccionador



### Pulsadores



### Interruptores

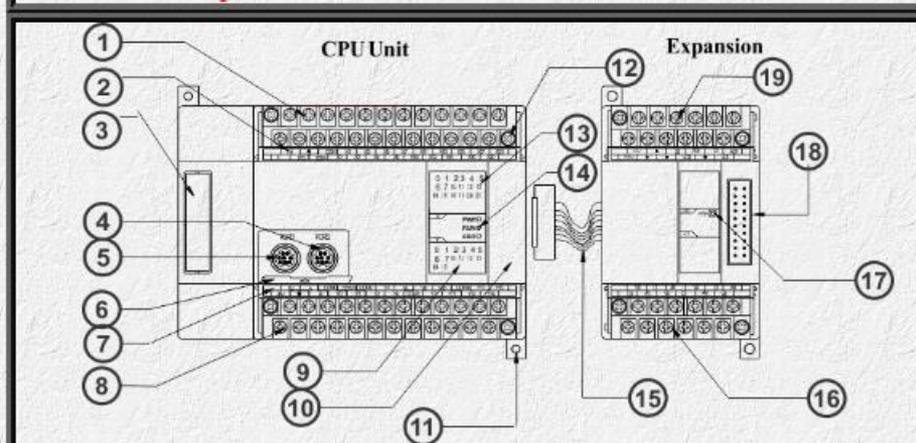




# PLC XINJE XC3-24RT-E



## Each Part's Description



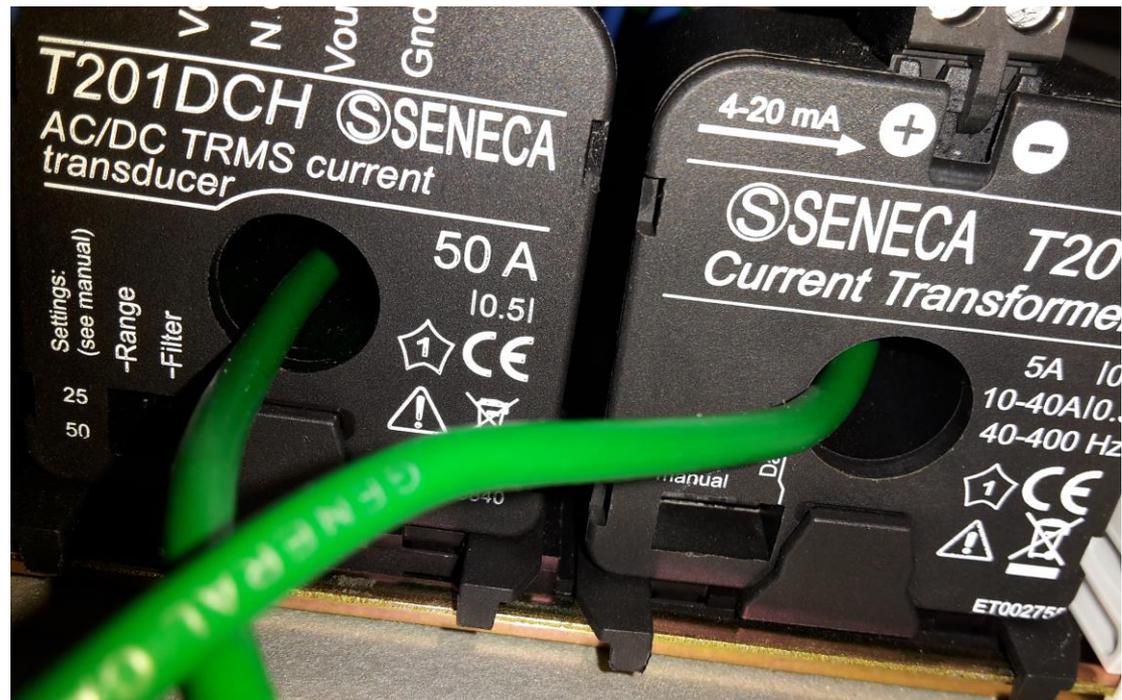
- |     |  |
|-----|--|
| 1.  | Input & power supply terminals         |
| 2.  | Input terminal label                   |
| 3.  | Port to install BD card                |
| 4.  | COM2                                   |
| 5.  | COM1                                   |
| 6.  | Cover plate for COM port               |
| 7.  | Output terminal label                  |
| 8.  | Output & 24V power terminals           |
| 9.  | Output LED                             |
| 10. | Port to connect with expansion         |
| 11. | Installation holes                     |
| 12. | Screws to install/remove the terminals |
| 13. | Input LED                              |
| 14. | LED Output                             |
| 15. | Expansion cable                        |
| 16. | Output terminals                       |
| 17. | Action LED: PWR (power)                |
| 18. | Port to connect with expansion         |
| 19. | Input & power supply terminals         |

# Sensores de voltaje, corrientes

Sensor SENECA Z204-1



Sensor SENECA T201DCH



Sensor SENECA T201

# Encoder



# Contactores

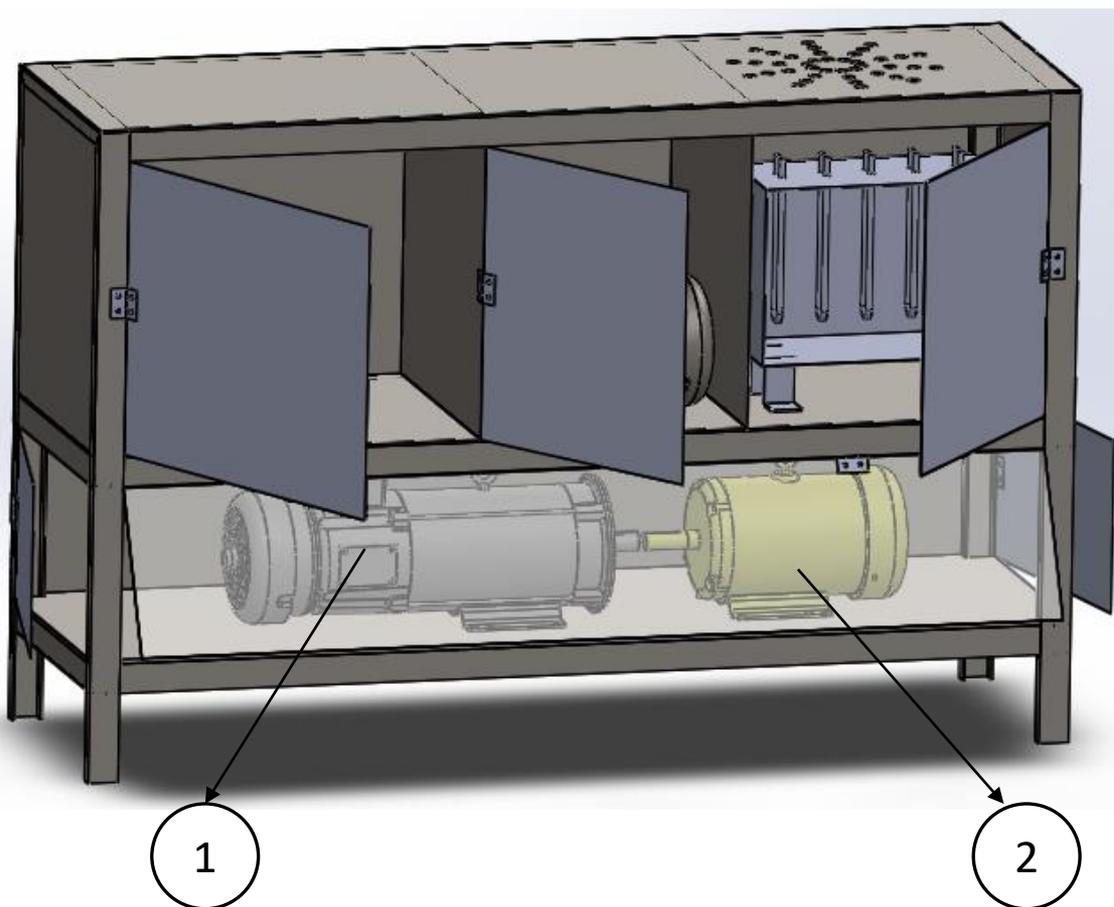


# Interruptor Térmico





# Sistema de potencia: motor - generador

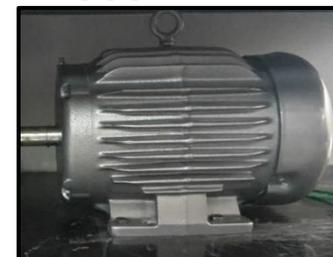


| N° DE ELEMENTO | N° DE PIEZA | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|----------------|-------------|-------------|----------|
| 1              | GENERADOR   | CDPT3603    | 1        |
| 2              | MOTOR       | M3661TX     | 1        |
|                |             | EM3611T     | 1        |



CDPT3603

M3661TX



EM3611T





# Sistema de carga: Resistencias

Para la selección de las resistencias se toma en cuenta la máxima corriente de conexión del motor que va a ser 11,5 Amperios (A), a una potencia de 2,5 Kw del motor y una eficiencia del 91%.

$$P_{O_{real}} = P * eficiencia \quad I_{Resistencia} = \frac{I_{máx}}{\# Resistencias}$$

$$P_{O_{real}} = 2,5 Kw * 91\%$$

$$P_{O_{real}} = 2,3 Kw$$

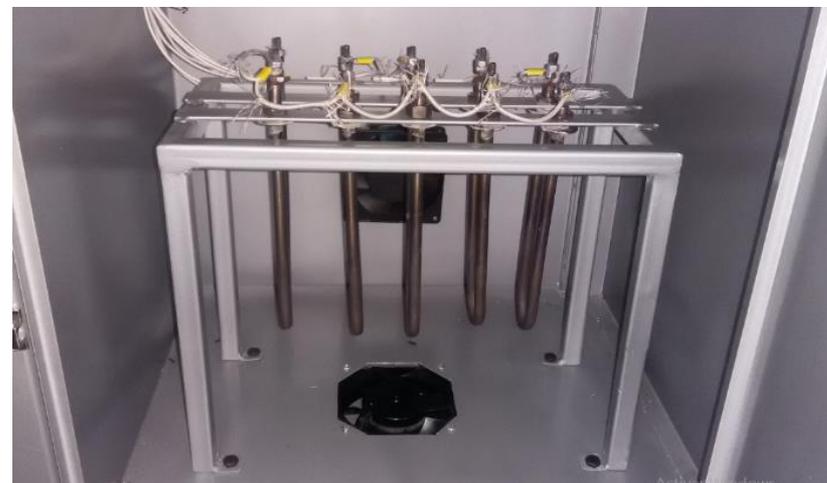
$$I_{Resistencia} = \frac{11,5 A}{5}$$

$$I_{Resistencia} = 2,3 A$$

$$P_{Niquelina} = V * I_{Resistencia}$$

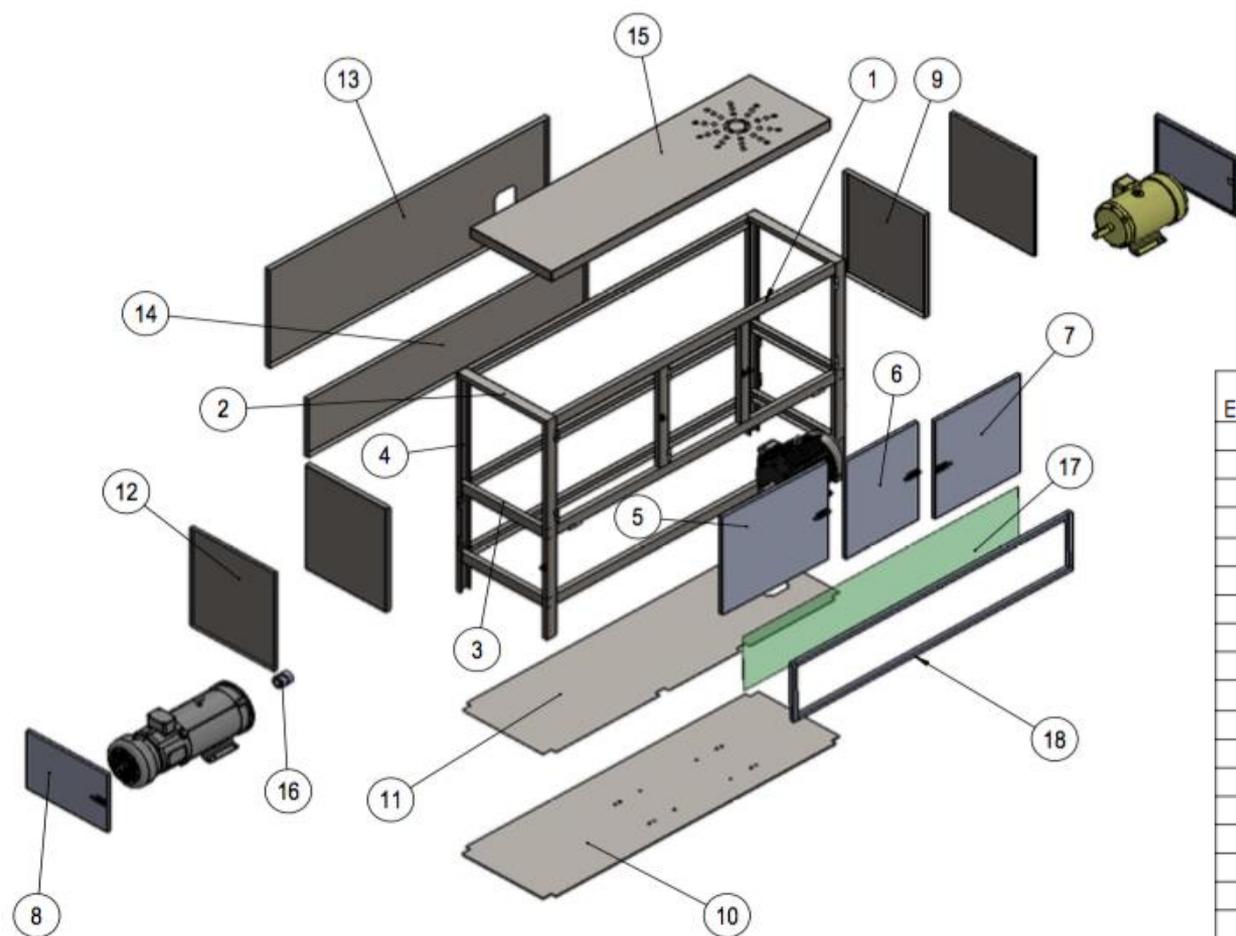
$$P_{Niquelina} = 220V * 2,3 A$$

$$P_{Niquelina} = 500 W$$





# Estructura mecánica



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA               | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|-----------------|----------------------------|-------------|----------|
| 1               | SOPORTE HORIZONTAL 1       | 50X25X3     | 6        |
| 2               | SOPORTE HORIZONTAL 2       | 50X25X3     | 2        |
| 3               | SOPORTE HORIZONTAL 3       | 50X25X3     | 4        |
| 4               | SOPORTE VERTICAL 1         | 50X25X3     | 4        |
| 5               | PUERTA FRONTAL 1           | 575X470     | 1        |
| 6               | PUERTA FRONTAL 2           | 496X400     | 1        |
| 7               | PUERTA FRONTAL 3           | 496X475     | 1        |
| 8               | PUERTA LATERAL 1           | 450X292     | 2        |
| 9               | PLANCHA DIVISOR 1          | 499X462.9   | 1        |
| 10              | PLANCHA INFERIOR           | 1644X500    | 1        |
| 11              | PLANCHA INTERMEDIA         | 1644X498    | 1        |
| 12              | PLANCHA LATERAL 1          | 525X450     | 2        |
| 13              | PLANCHA POSTERIOR 1        | 1547.3X500  | 1        |
| 14              | PLANCHA POSTERIOR 2        | 1550X294    | 1        |
| 15              | PLANCHA SUPERIOR           | 1550X450    | 1        |
| 16              | ACOPLE L-950               |             | 1        |
| 17              | ACRILICO                   | 1527X271    | 1        |
| 18              | ESTRUCTURA PUERTA INFERIOR | 1548X292    | 1        |



# Diseño mecánico del módulo

## Criterios de selección del factor de seguridad

| Forma de carga   | Material dúctil             | Material frágil             |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Estática         | $\sigma_d = \frac{S_y}{2}$  | $\sigma_d = \frac{S_u}{6}$  |
| Repetida         | $\sigma_d = \frac{S_u}{8}$  | $\sigma_d = \frac{S_u}{10}$ |
| Impacto o choque | $\sigma_d = \frac{S_u}{12}$ | $\sigma_d = \frac{S_u}{15}$ |

Fuente: (Mott, 2009)

Según el apéndice A-16 (Mott, 2009) se tiene el material ASTM A-36 que es el material que utilizamos en el módulo (ver anexo K), se tiene la resistencia máxima y resistencia a la cadencia .

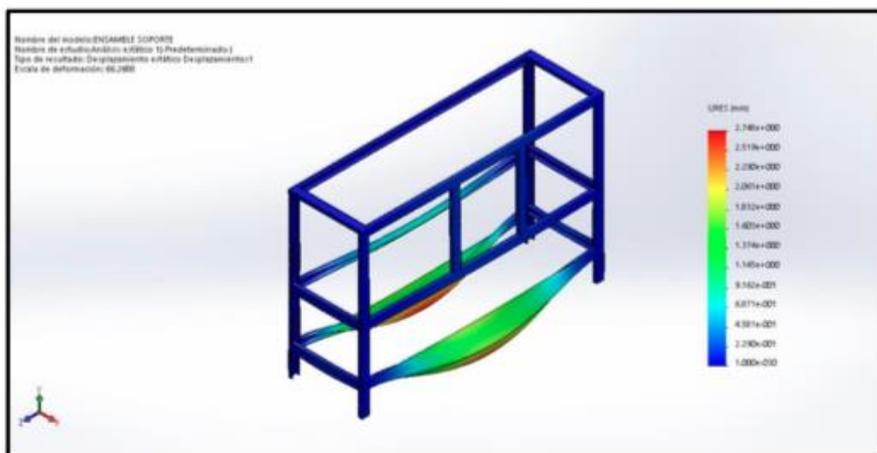
$$\sigma_d = \frac{248 \text{ MPa}}{2} = 144 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{400 \text{ MPa}}{2} = 200 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{200 \text{ MPa}}{124 \text{ MPa}} = 1,61$$



# Factor de seguridad



El resultado obtenido por Solid Works al estudio estático tiene como resultado un factor de seguridad de 2,3 a lo largo de la estructura (ver figura 63), este es el punto más crítico y está sobre el factor de seguridad mínimo admitido que es de 2 para este tipo de estructuras.

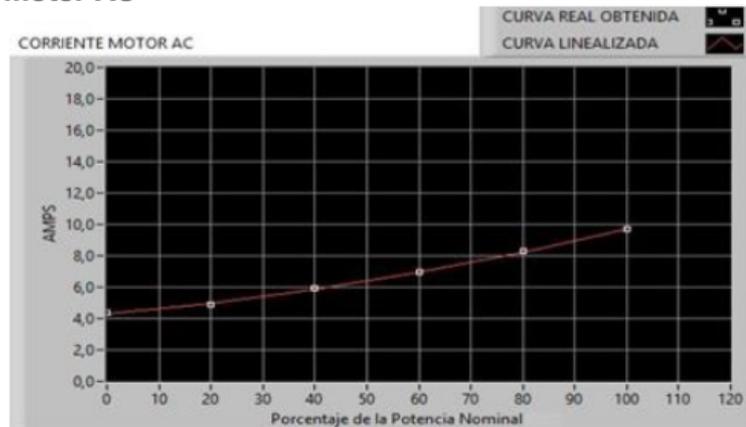
# Práctica motor EM3611T alta eficiencia

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
ESPE**

**Practica #:** 1 Motor EM3611T (Alta Eficiencia) **Fecha:** 21-01-2017  
**Docente:** Ing. Freddy Salazar **Hora:** 9:30 am  
**Operadores:** Puco Jorge – Sánchez Carlos **Proyecto de Titulación**

## REPORTE DE PRUEBA

### Corriente motor AC



**Curva de corriente Motor EM3611T (Alta Eficiencia)**

### Valores de corriente Motor EM3611T (Alta Eficiencia)

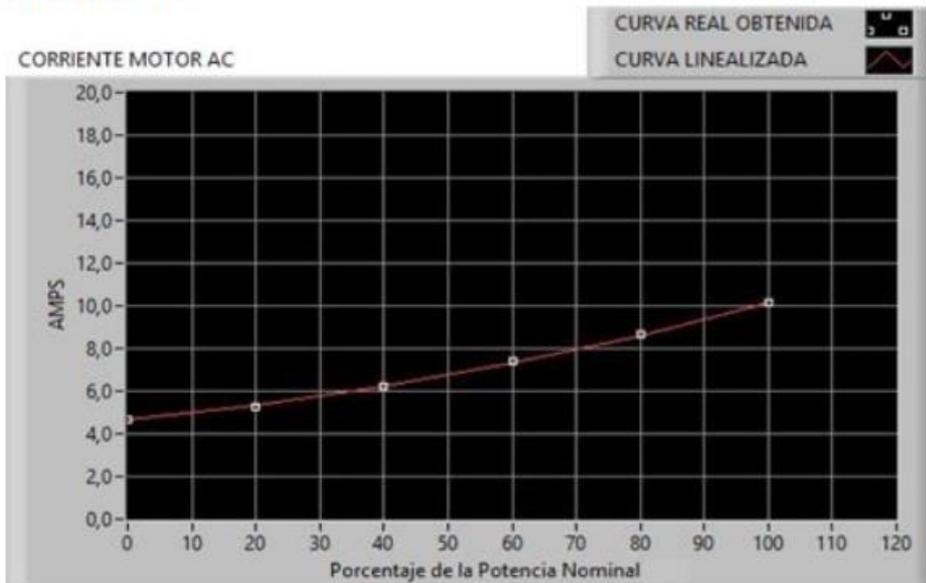
| % Potencia Nominal HP | Corriente (Amp) |
|-----------------------|-----------------|
| Sin Carga             | 4,537           |
| 20                    | 4,871           |
| 40                    | 5,612           |
| 60                    | 6,352           |
| 80                    | 8,085           |
| 100                   | 8,281           |

# Práctica motor M3661TX baja eficiencia

**Practica #:** 2 Motor M3661TX (Baja Eficiencia)      **Fecha:** 21-01-2017  
**Docente:** Ing. Freddy Salazar      **Hora:** 10:30am  
**Operadores:** Puco Jorge – Sánchez Carlos      **Proyecto de Titulación**

## REPORTE DE PRUEBA

### Corriente motor AC



**Curva de corriente Motor M3661TX (Baja Eficiencia)**

### Valores de corriente Motor M36611TX (Baja Eficiencia)

| % Potencia Nominal HP | Corriente (Amp) |
|-----------------------|-----------------|
| Sin Carga             | 4,697           |
| 20                    | 5,326           |
| 40                    | 6,202           |
| 60                    | 7,370           |
| 80                    | 8,139           |
| 100                   | 8,826           |

# Resumen práctica motor EM3611T alta eficiencia y practica motor M3661TX baja eficiencia



## Resumen practica de motor EM3611T.

| %<br>Potencia<br>Nominal<br>HP | Corriente<br>(Amp) | Velocidad<br>(rpm) | Torque<br>(lb-ft) | Potencia<br>(Watts) | Factor<br>de<br>Potencia | Eficiencia |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|------------|
| Sin<br>Carga                   | 4,537              | 1798               | 0                 | 34,54               | 7,04                     | 0          |
| 20                             | 4,871              | 1793               | 1,759             | 580,375             | 30,557                   | 77,092     |
| 40                             | 5,612              | 1787               | 3,537             | 1039,768            | 45,096                   | 84,061     |
| 60                             | 6,352              | 1778               | 5,326             | 1558,401            | 59,693                   | 88,131     |
| 80                             | 8,085              | 1769               | 7,142             | 1968,1              | 70,179                   | 89,734     |
| 100                            | 8,281              | 1760               | 8,968             | 2187,12             | 75,166                   | 89,961     |

## Resumen practica de motor M3661TX.

| %<br>Potencia<br>Nominal<br>HP | Corriente<br>(Amp) | Velocidad<br>(rpm) | Torque<br>(lb-ft) | Potencia<br>(Watts) | Factor<br>de<br>Potencia | Eficiencia |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|------------|
| Sin Carga                      | 4,697              | 1798               | 0                 | 35,424              | 1,931                    | 0          |
| 20                             | 5,326              | 1791               | 1,86              | 588,236             | 28,949                   | 75,061     |
| 40                             | 6,202              | 1784               | 3,837             | 1092,363            | 45,351                   | 81,918     |
| 60                             | 7,37               | 1776               | 5,629             | 1531,216            | 53,783                   | 87,16      |
| 80                             | 8,139              | 1763               | 7,533             | 1956,575            | 58,746                   | 87,37      |
| 100                            | 8,826              | 1752               | 8,942             | 2332,759            | 61,608                   | 87,699     |



# Conclusiones

---

- Al adquirir las variables electromecánicas mediante el módulo didáctico de motores eléctricos asíncronos trifásicos de 2,2 kW se pudo determinar en la tabla 53 y 54 que el motor de alta eficiencia EM3611T tiene una eficiencia del 89,961 en relación al 87,699 del motor M3661TX de baja eficiencia determinado que el motor de alta eficiencia es mayor en un 2,51% que el de baja eficiencia.
- Al implementar el sistema de adquisición de datos en el módulo didáctico se pudo observar las curvas de eficiencia, velocidad, torque, corriente, potencia, factor de potencia y las diferencias que existen entre un motor de alta eficiencia EM3611T y uno de baja eficiencia X3661TX



# Recomendaciones

---

Se recomienda variar el tipo de simulador de carga que se utiliza en el módulo didáctico de adquisición de variables electromecánicas de los motores asincrónicos

Se recomienda seguir los pasos del manual de usuario para la utilización del módulo de adquisición de variables electromecánicas para obtener los resultados esperados.

**Jorge Puco**

*“Lo hago porque puedo, puedo porque quiero, y quiero porque me dijeron que no podía.”*

Bob Marley

**Carlos Sánchez**

*“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.”*

Aristóteles.

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**