



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

# **DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

## **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA OBTENER  
LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO BAJO CARGA DE  
LOS MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA MEDIANTE UNA INTERFAZ HMI,  
PARA EL LABORATORIO DE ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS**

# OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño e implementación de un módulo didáctico que permita obtener las curvas características de funcionamiento en operación bajo carga de los motores de corriente continua, para ser visualizadas en un interfaz HMI industrial.



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener datos de magnitudes físicas como: corriente de armadura y de campo, voltaje de armadura, velocidad del motor y torque aplicado.
- Implementar un circuito que permita el control de carga desde la placa Arduino.
- Desarrollar un programa en la placa Arduino que permita la lectura, escritura, procesamiento de datos, control y comunicación con la pantalla HMI.
- Desarrollar una interfaz HMI amigable con el usuario que permita el control, adquisición, visualización de datos y curvas de funcionamiento de los motores DC.



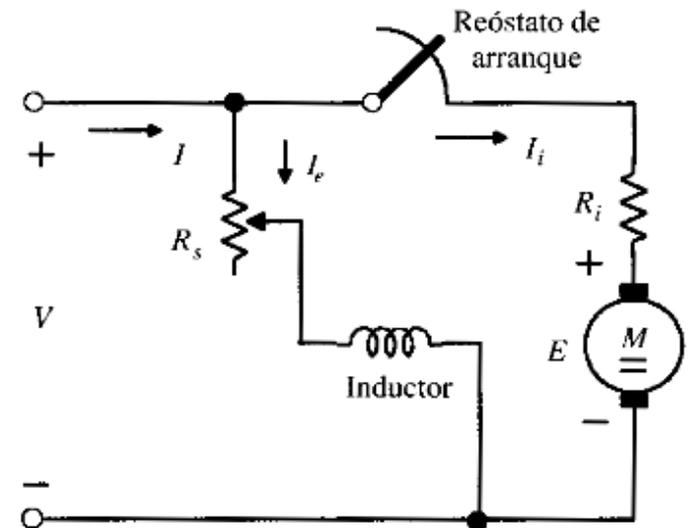
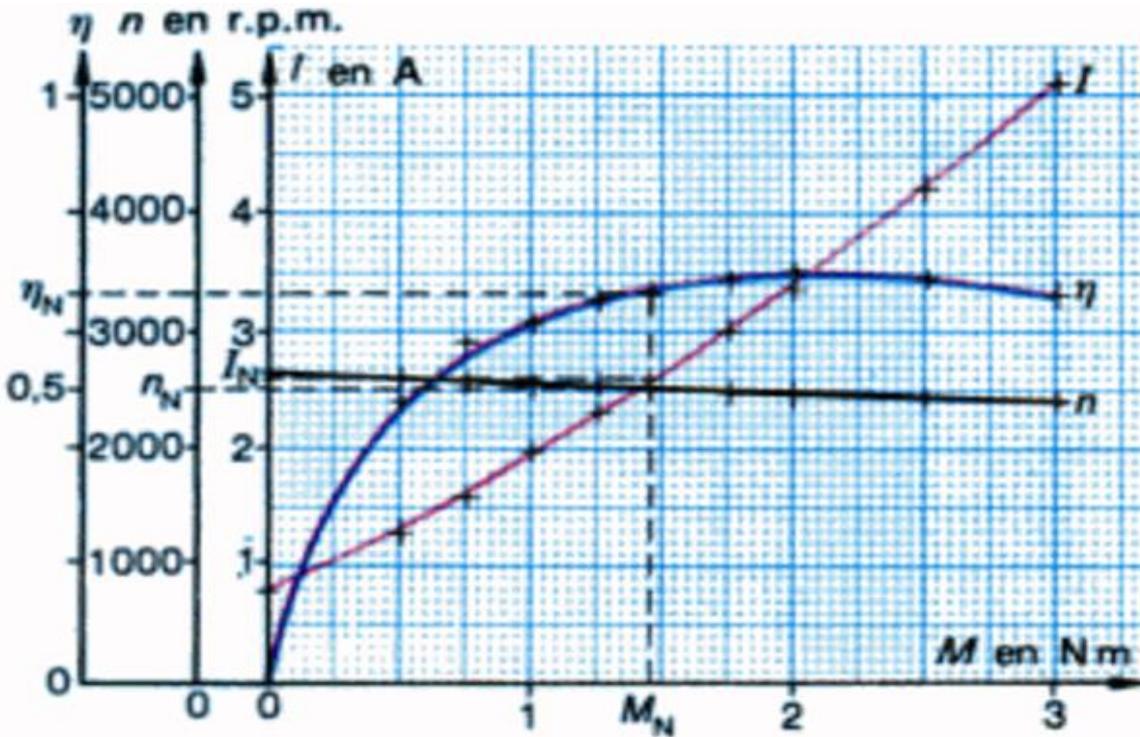
# MOTOR CON EXCITACIÓN DERIVACIÓN

$$E = K_E \Phi n$$

$$I_a = \frac{V - E}{R_a}$$

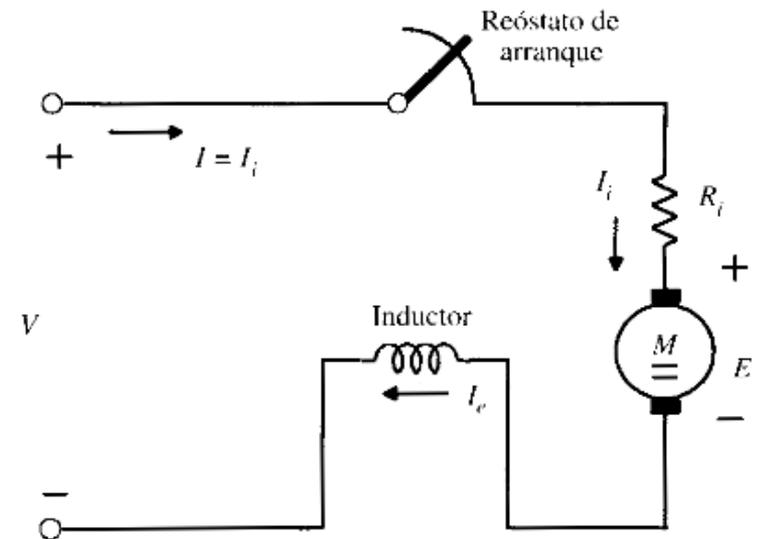
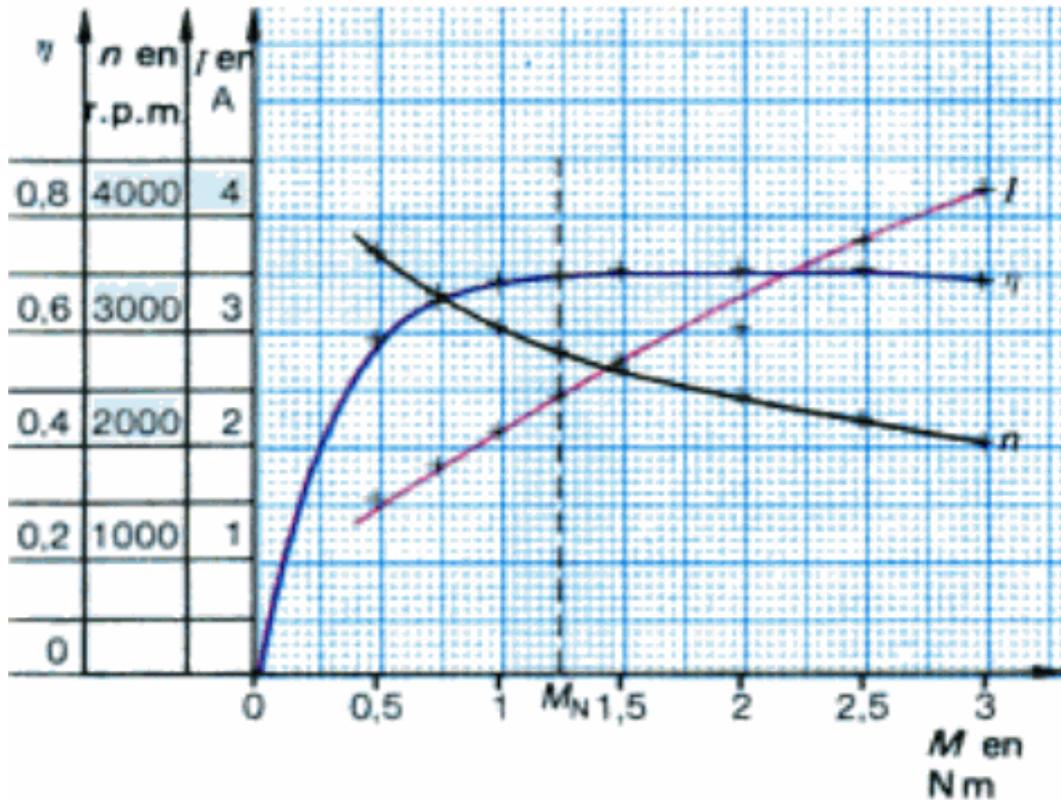
$$n = \frac{V - I_a * R_a}{K_E \Phi}$$

$$T = K_T \Phi I_a$$



# MOTOR CON EXCITACIÓN SERIE

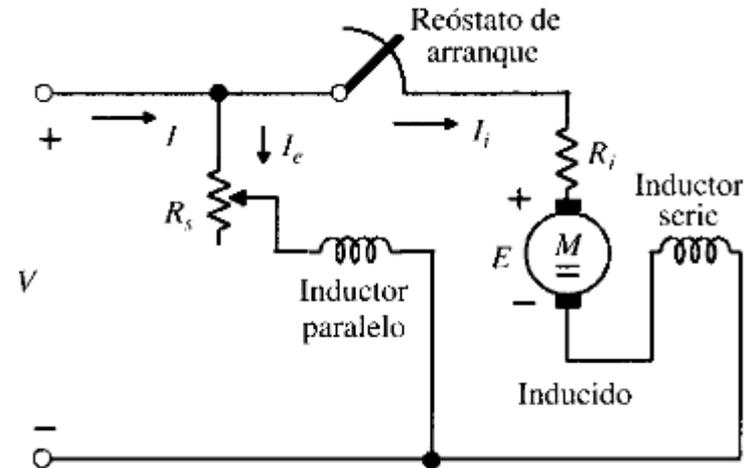
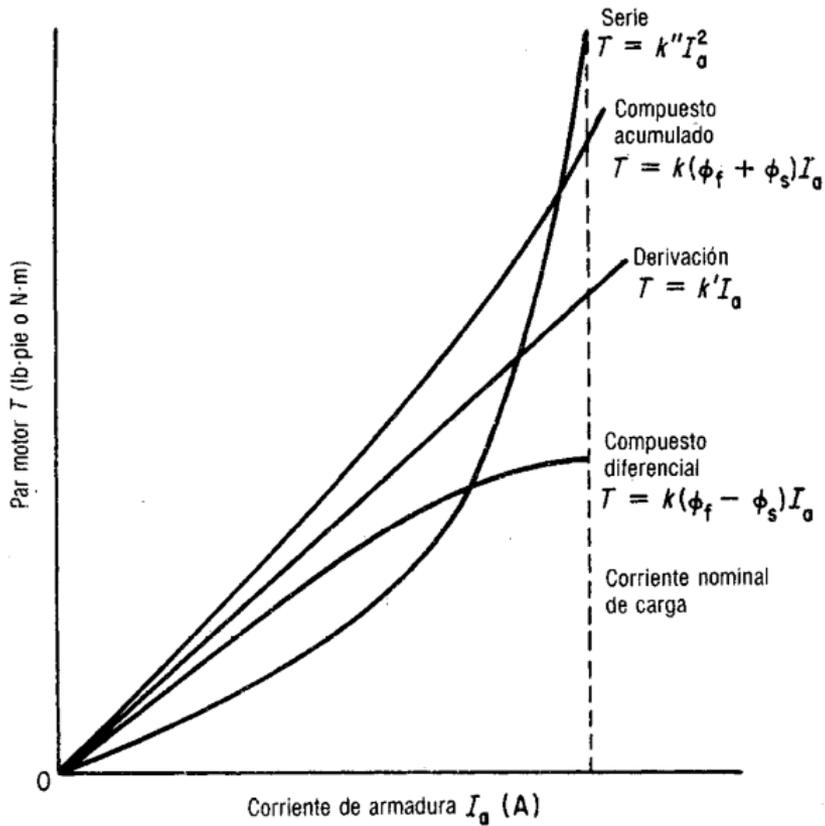
$$n = \frac{V - I_a(R_a + R_s)}{K_E \Phi} \quad \Phi = K_I I_a \quad n = K' \frac{V - I_a(R_a + R_s)}{I_a} \quad T = K'' I_a^2$$



# MOTOR CON EXCITACIÓN COMPUESTA

$$T = K(\Phi_f + \Phi_s)I_a$$

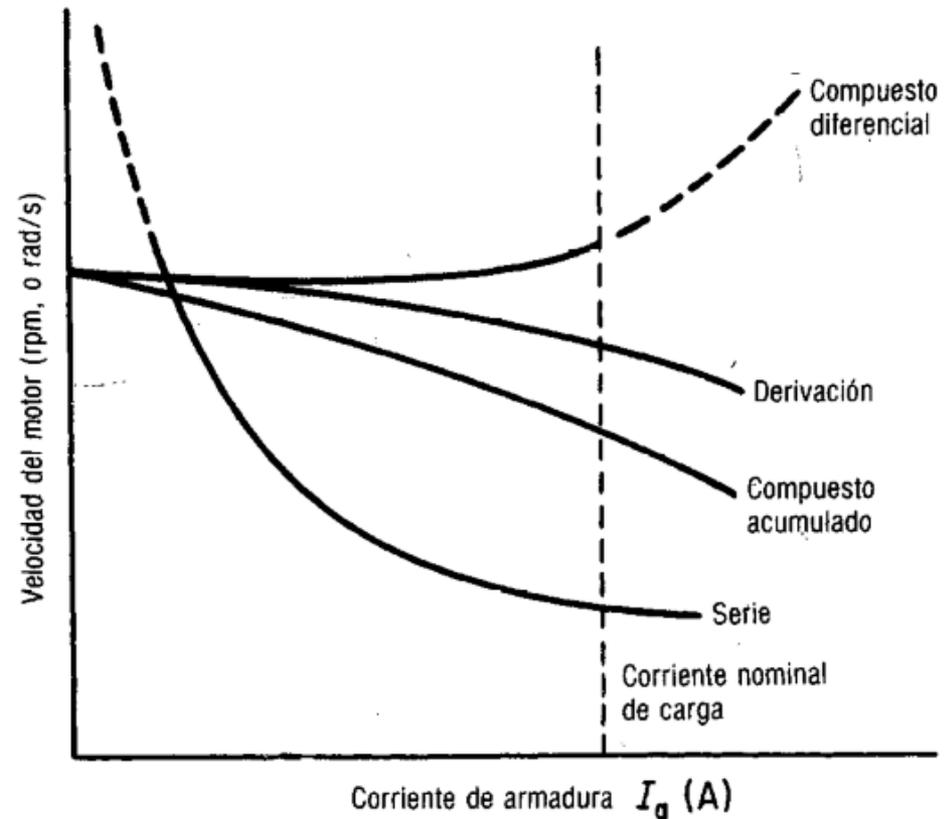
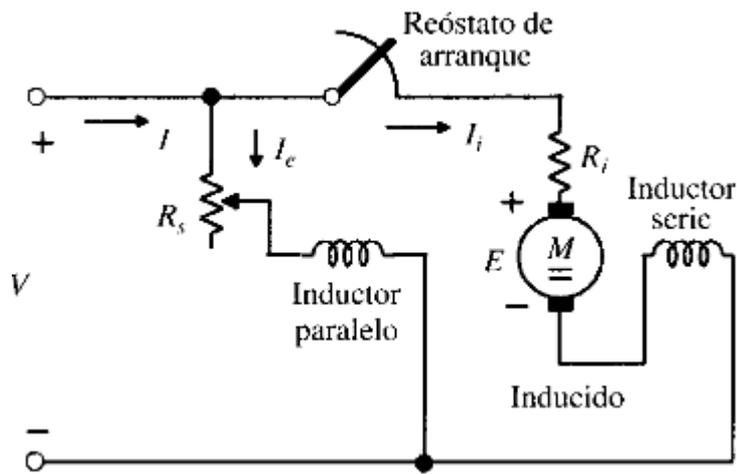
$$T = K(\Phi_f - \Phi_s)I_a$$



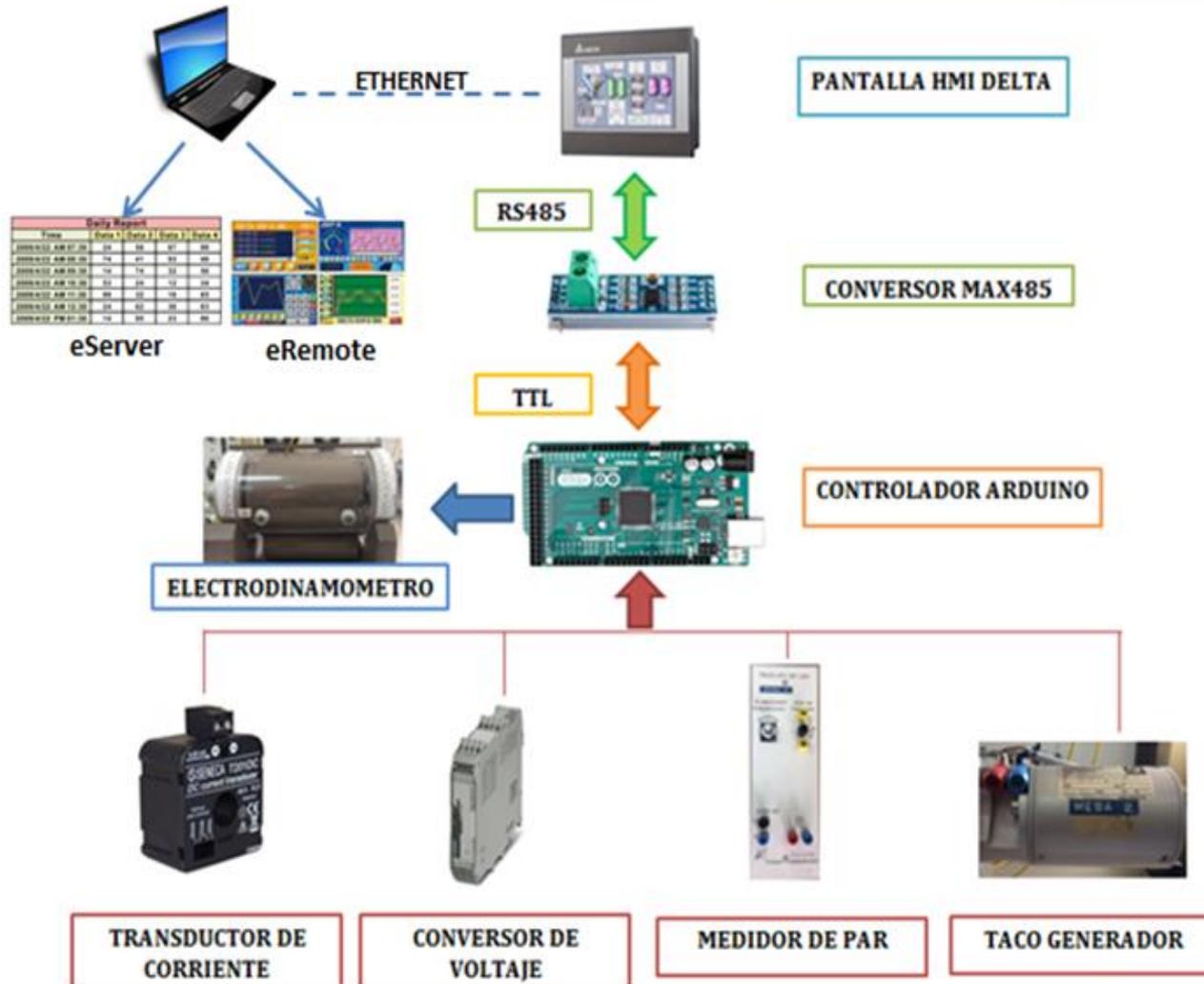
# MOTOR CON EXCITACIÓN COMPUESTA

$$n = K \frac{V - I_a(R_a + R_s)}{\Phi_f + \Phi_s}$$

$$n = K \frac{V - I_a(R_a + R_s)}{\Phi_f - \Phi_s}$$



# ARQUITECTURA DEL PROYECTO





# DESARROLLO DEL SOFTWARE EN LA PLACA ARDUINO



```
void setup()
{
  //Config packets and register
  master.configure(packets, NO_OF_PACKET, regs);

  //Config individual packet: (packet, ID, Function, Address, Number of register, start register)
  master.construct(&packets[PACKET1], hmiID, PRESET_MULTIPLE_REGISTERS, 0, 9, 0);
  master.construct(&packets[PACKET2], hmiID, READ_HOLDING_REGISTERS, 9, 2, 9);
  master.construct(&packets[PACKET3], hmiID, READ_HOLDING_REGISTERS, 12, 2, 11);
  master.construct(&packets[PACKET4], hmiID, READ_HOLDING_REGISTERS, 100, 28, 14);
  master.construct(&packets[PACKET6], hmiID, READ_HOLDING_REGISTERS, 400, 28, 42);
  master.construct(&packets[PACKET7], hmiID, PRESET_MULTIPLE_REGISTERS, 150, 28, 70);
  |
  //Start Modbus
  master.begin(&Serial1, BAUD, BYTE_FORMAT, TIMEOUT, POLLING, RETRIES, TxEnablePin);

  Serial.begin(57600); //debug on serial0

  println("Arduino Modbus Master");
  pinMode(13, OUTPUT);
}
```



# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA



## MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA





**MOTOR DE EXCITACIÓN  
INDEPENDIENTE**



**MOTOR DE EXCITACIÓN  
SHUNT**



**MOTOR DE EXCITACIÓN  
SERIE**



**MOTOR COMPOUND  
ADITIVO**





# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA



## PARÁMETROS DEL MOTOR SHUNT



004.060

**VOLTAJE DE EXCITACIÓN (V) :**

**VOLTAJE DE ARMADURA (V) :**

**CORRIENTE NOMINAL(A) :**

**POTENCIA (W) :**

**VELOCIDAD (RPM) :**

**CORRIENTE MAX (A) :**

<b>Dipl.Ing. (FH) Hubert Barth</b>			
D-7060 Schorndorf			
West-Germany			
Type KGMW 56-2			
Nr.	004.060	IP	00
V	220 DC	A	1,9
KW	0,27	cos $\phi$	
	1380 /min.	Hz	Kl. B
VDE 0530/72			

<b>Dipl.Ing. (FH) Hubert Barth</b>			
D-7060 Schomdorf			
West-Germany			
Type KGNC 56-2			
Nr.	004.030	IP	00
V	220=	A	1,4
KW	0,175	cos $\phi$	
	1450 /min.	Hz	Kl. B
VDE 0530/72			

<b>Dipl.Ing. (FH) Hubert Barth</b>			
D-7060 Schomdorf			
West-Germany			
Type KGR-56-2			
Nr.	004.001	IP	00
V	220 DC	A	1,4
KW	0,17	cos $\phi$	
	/min.	Hz	Kl. B
VDE 0530/72			

SELECCIONAR MOTOR

ADMINSTRADOR DE USUARIO

ADQUISICIÓN DE DATOS



# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

The screenshot shows a software interface titled "ADQUISICIÓN DE DATOS MOTOR SHUNT". It features a top status bar with logos and a main data display area. Below this are control panels for PWM duty cycle and acquisition mode, a real-time graph, and a bottom navigation bar with buttons for motor selection, parameters, data visualization, and characteristic curves. An active alarm is displayed at the bottom.

**ADQUISICIÓN DE DATOS MOTOR SHUNT**

CORRIENTE DE ARMADURA (A)	CORRIENTE DE EXCITACIÓN (A)	VOLTAJE (V)	TORQUE (Nm)	VELOCIDAD (RPM)	POTENCIA ÚTIL (W)	RENDIMIENTO (%)
0.10	0.45	220.00	0.00	1605.6	0.00	0.00

**RELACIÓN DE TRABAJO PWM**

MODO DE ADQUISICIÓN: AUTOMÁTICO

NÚMERO DE PUNTOS: 0

**INICIAR PRUEBA**

09:33:51

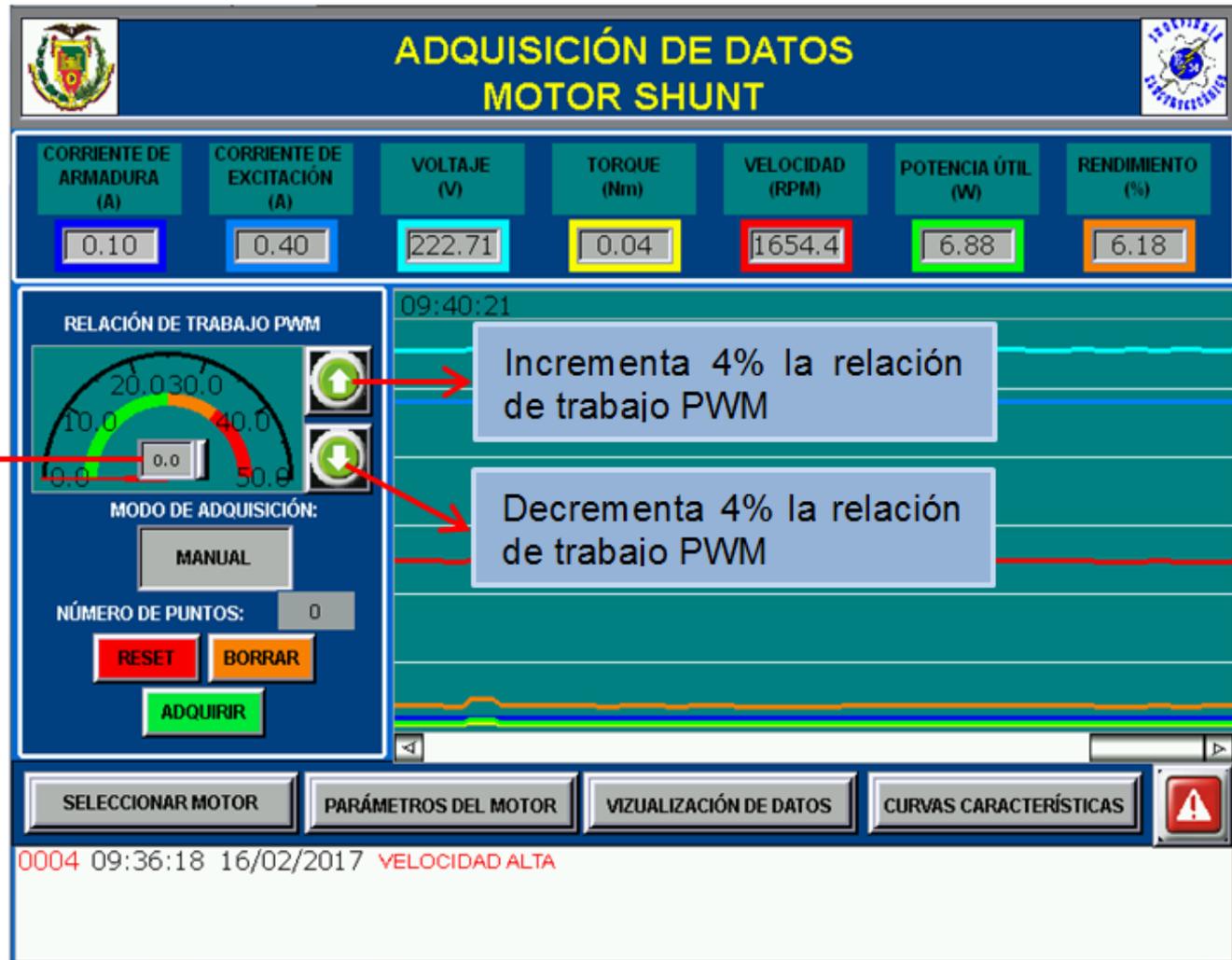
**Visualización gráfica de variables**

**Visualización de alarmas activas**

0004 09:32:47 16/02/2017 VELOCIDAD ALTA



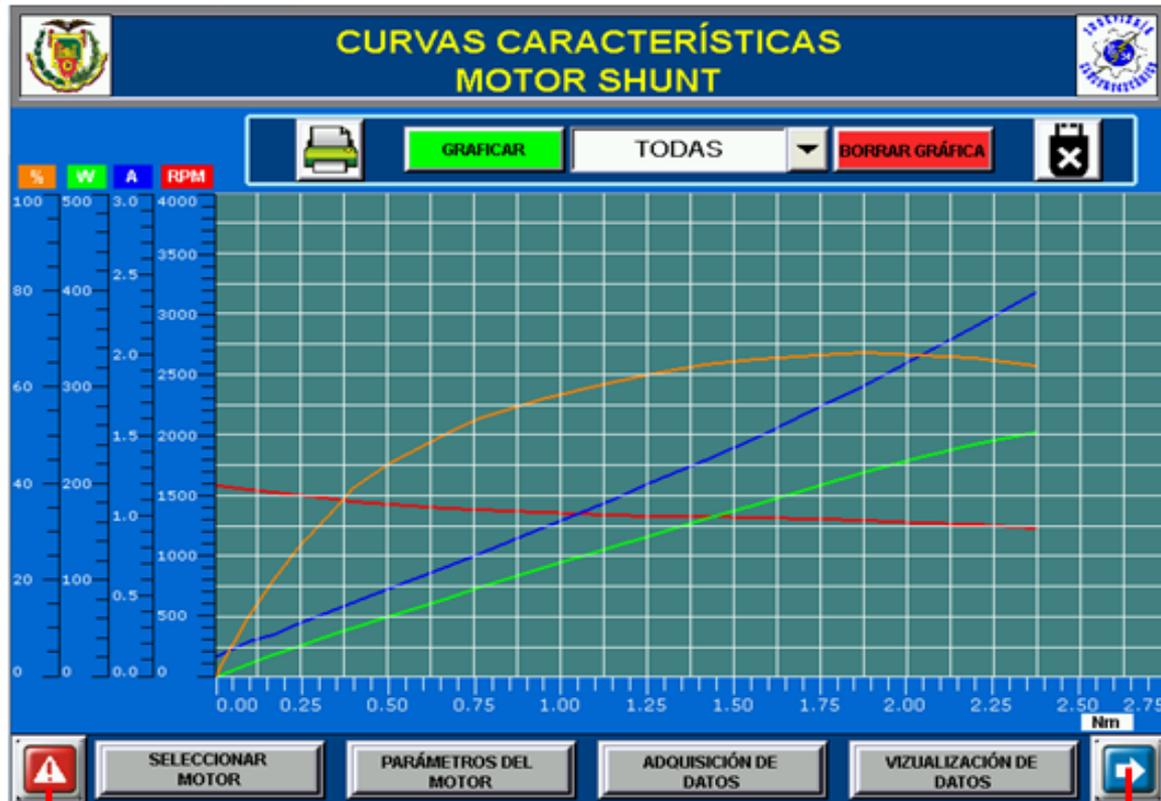
# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA



Entrada numérica para establecer relación de trabajo PWM



# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA



Muestra la ventana de histórico de alarmas

Continúa a la segunda ventana de gráficas de curvas características



# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA

DATOS OBTENIDOS MOTOR SHUNT						
TORQUE (Nm)	VELOCIDAD (RPM)	CORRIENTE DE ARMADURA (A)	CORRIENTE DE EXCITACIÓN (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	RENDIMIENTO (%)
0.00	1605.6	0.10	0.44	220.22	0.00	0.00
0.01	1605.6	0.12	0.44	218.18	1.66	1.36
0.01	1581.3	0.14	0.43	216.83	1.64	1.33
0.10	1552.8	0.17	0.42	214.11	16.14	12.78
0.17	1532.5	0.22	0.42	211.39	27.09	20.02
0.24	1495.9	0.27	0.41	207.77	37.33	26.42
0.35	1459.3	0.33	0.40	203.47	53.11	35.76
0.40	1430.8	0.40	0.39	200.98	59.52	37.92
0.51	1418.6	0.48	0.39	201.21	75.24	42.98
0.67	1406.5	0.57	0.39	200.98	98.00	50.79
0.76	1390.2	0.67	0.39	200.76	109.88	51.63
0.95	1378.0	0.77	0.39	201.21	136.14	58.33
1.14	1361.7	0.88	0.39	200.98	161.44	63.25
1.27	1345.5	1.00	0.39	200.30	177.71	63.83

SELECCIONAR MOTOR    PARÁMETROS DEL MOTOR    ADQUISICIÓN DE DATOS    CURVAS CARACTERÍSTICAS

Realiza una captura de pantalla y la almacena en el dispositivo USB

Expulsa de forma segura el dispositivo USB



# DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA



## HISTÓRICO DE ALARMAS

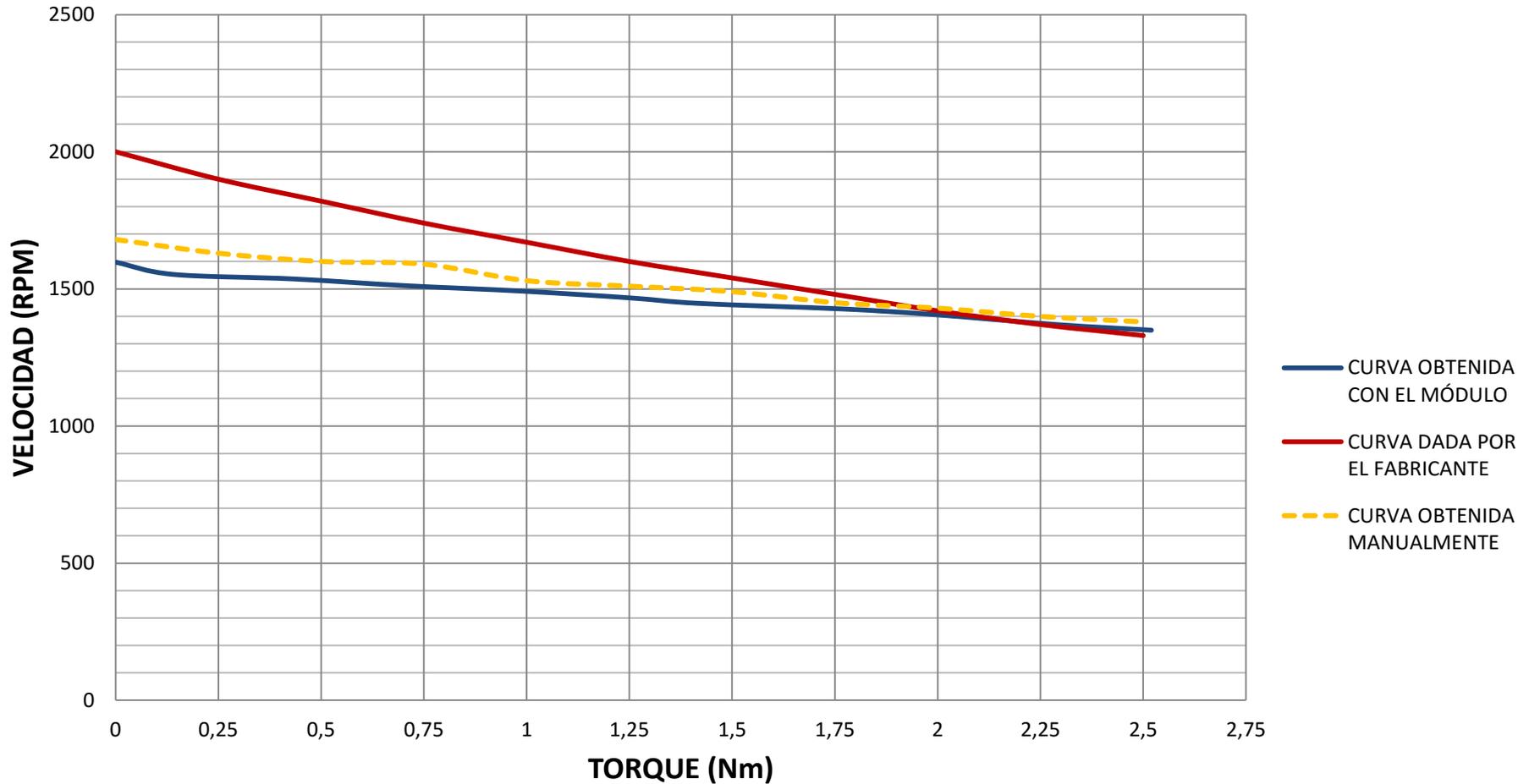


<input type="radio"/>	0001	09:24:33	16/02/2017	VOLTAJE BAJO
<input type="radio"/>	0004	09:32:47	16/02/2017	VELOCIDAD ALTA
<input checked="" type="radio"/>	0001	09:32:56	16/02/2017	VOLTAJE BAJO
<input type="radio"/>	0001	09:34:36	16/02/2017	VOLTAJE BAJO
<input checked="" type="radio"/>	0004	09:35:13	16/02/2017	VELOCIDAD ALTA
<input type="radio"/>	0003	09:35:59	16/02/2017	! PELIGRO   CORRIENTE ALTA
<input checked="" type="radio"/>	0003	09:36:02	16/02/2017	! PELIGRO   CORRIENTE ALTA
<input type="radio"/>	0004	09:36:18	16/02/2017	VELOCIDAD ALTA
<input checked="" type="radio"/>	0001	09:36:27	16/02/2017	VOLTAJE BAJO



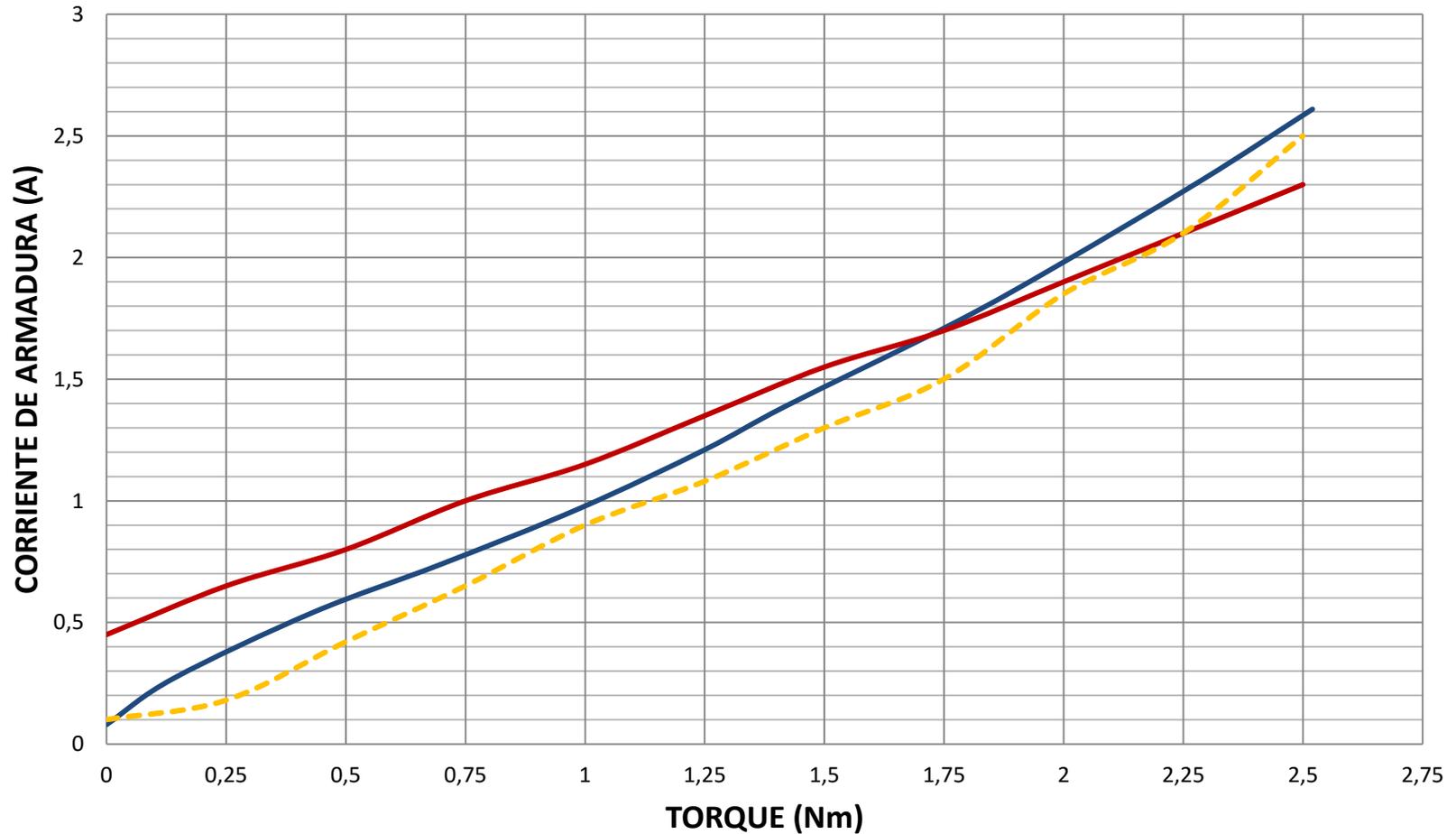
# RESULTADOS OBTENIDOS MOTOR SHUNT

$$n = f(M)$$



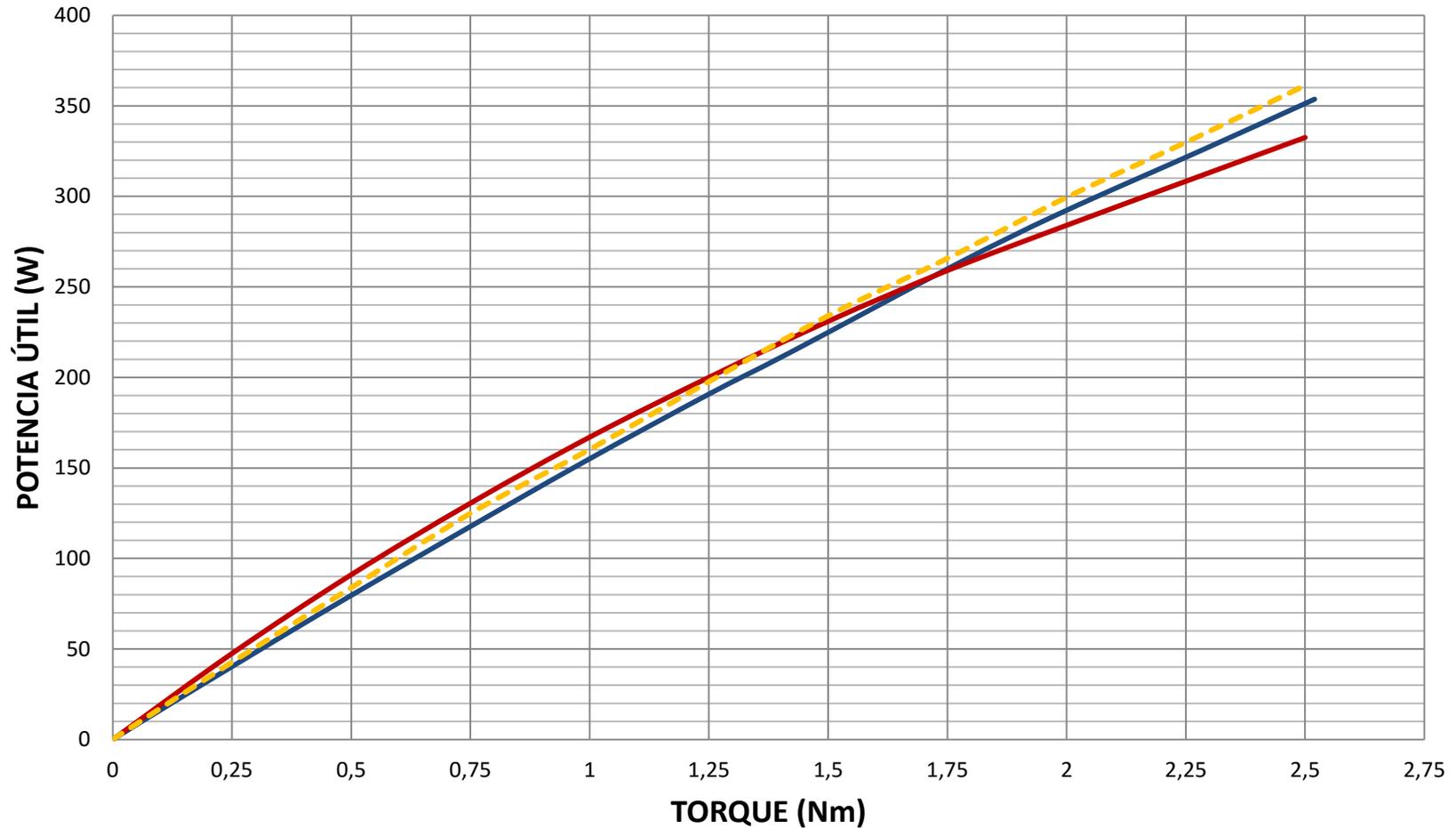
# RESULTADOS OBTENIDOS MOTOR SHUNT

$$I_a = f(M)$$



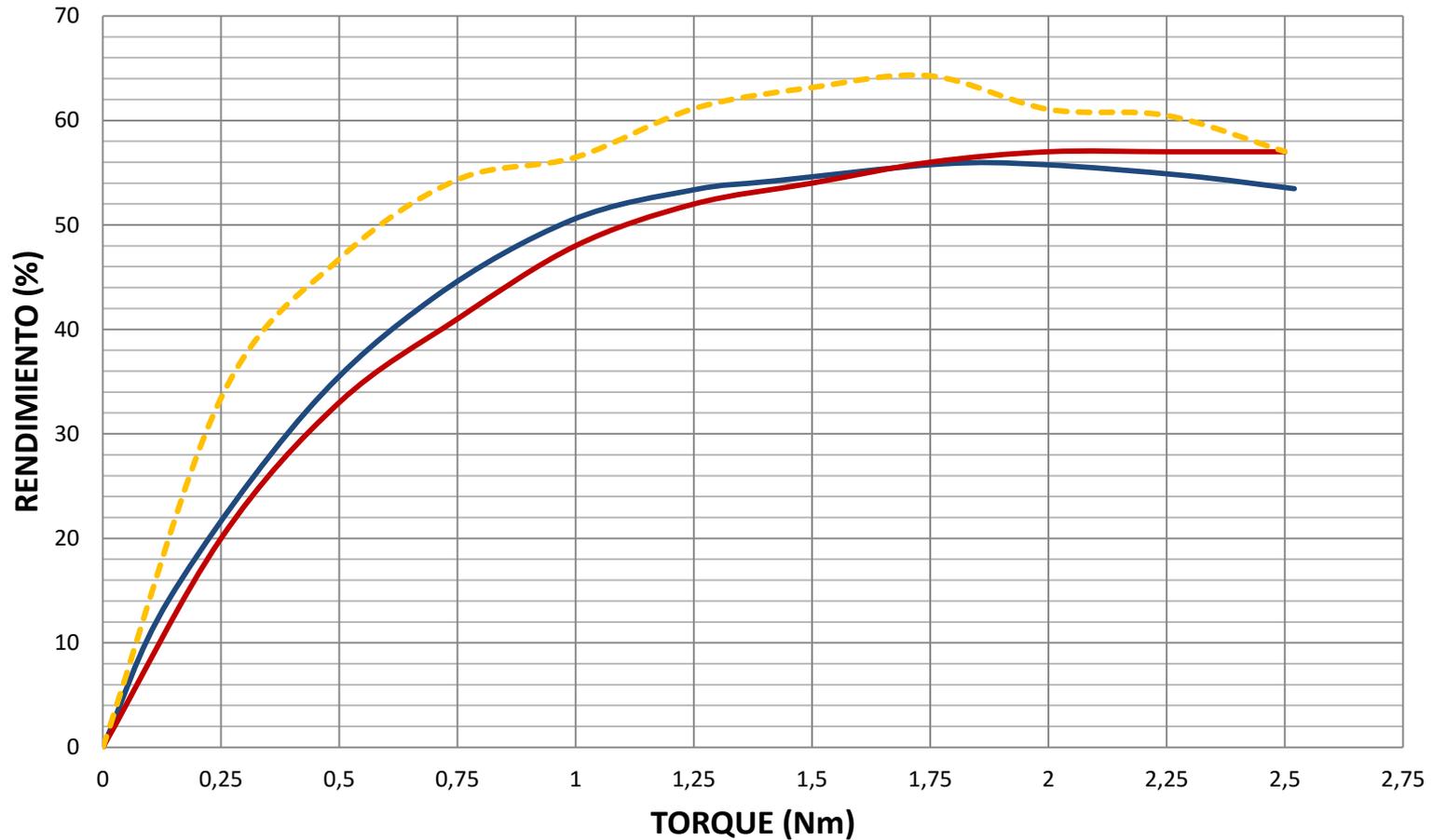
# RESULTADOS OBTENIDOS MOTOR SHUNT

$$P_u = f(M)$$



# RESULTADOS OBTENIDOS MOTOR SHUNT

$$\eta = f(M)$$



# VISTA FRONTAL DEL MÓDULO



# CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un módulo didáctico que permite obtener las curvas características de funcionamiento en operación bajo carga de los motores de corriente continua, las cuales se pueden visualizar en un interfaz HMI industrial; permitiendo actualizar el laboratorio para que docentes y estudiantes puedan realizar prácticas o investigaciones que aporten al desarrollo del país.
- El módulo didáctico le permite al estudiante obtener las curvas características de los motores de corriente continua en menos tiempo de lo que le llevaría hacerlo en forma manual, para optimizar tiempos de estudio, contribuir en su proceso de aprendizaje y reducir el calentamiento excesivo del electrodinamómetro y del motor.
- Mediante el software implementado en la placa Arduino y la pantalla HMI, así como también gracias a los transductores de corriente DC, convertidor de voltaje DC y circuito de control del electrodinamómetro el usuario puede obtener mayor cantidad de datos con más precisión y exactitud que al realizar las pruebas manualmente.



# CONCLUSIONES

- El módulo le concede al usuario un control del electrodinamómetro o mando de freno mucho más preciso y seguro, con la implementación de un circuito electrónico o conversor DC/DC cuya señal de control PWM es generada por el controlador Arduino.
- El error en condiciones de corriente nominal, entre las curvas del fabricante y las obtenidas con el módulo es menor al error entre las curvas del fabricante y las obtenidas manualmente, demostrando de esta manera que el módulo es confiable y que se puede llegar a obtener los mismos o inclusive mejores resultados que en las pruebas manuales con mucha más eficiencia y eficacia.



# Gracias



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