

# DISEÑO DEL CONTROL DE TRACCIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO DENTRO DE LA ESPOL CAMPUS PROSPERINA

Paúl Mantilla Solórzano<sup>1</sup>, Andrei Soltysik Molina<sup>2</sup>, Gustavo Bermúdez Flores<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero en Eléctrica, Electrónica y Automatización 2005;  
E-mail: [mantilla15gye@yahoo.com](mailto:mantilla15gye@yahoo.com)

<sup>2</sup>Ingeniero en Eléctrica, Electrónica y Automatización 2005;  
E-mail: [soltysikandrei@hotmail.com](mailto:soltysikandrei@hotmail.com)

<sup>3</sup>Director de Tesis. Egresado de Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971, Magíster en Ingeniería Eléctrica, Universidad Técnica Federico Santa María (Valparaíso-Chile), 1974;  
E-mail: [gbermudez@fec.espol.edu.ec](mailto:gbermudez@fec.espol.edu.ec)

**Resumen.-** La investigación y el desarrollo del control de tracción aplicado a los motores eléctricos alternos, ha contribuido en el beneficio de muchas áreas y que este no sólo esté limitada al sector industrial. En este caso particular se aprovecha las propiedades de un controlador lógico programable (PLC) para controlar la tracción de un motor eléctrico alterno, que junto a componentes como sensores, inversor, transformador entre otros, es aplicado como una alternativa al transporte público de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (Campus Prosperina) para así desarrollar en el futuro un medio de transporte alterno.

**Abstract.-** The investigation and development of the traction control applied to AC electric motors, has contributed on the benefit of many areas and that this is not only limited to the industrial sector. On this particular case one takes advantage of the properties of a programmable logic controller (PLC) to control the traction of an AC electric motor, that with components like sensors, inverter, transformer etc., it is applied as an alternative to the public transportation of the Escuela Superior Politécnica del Litoral (Campus Prosperina) thus to develop in the future an alternative transport.

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el uso de buses eléctricos en las grandes ciudades es cada vez mayor debido al grave problema de la contaminación que afecta a todos hoy en día. Este trabajo es un principio para que en un futuro el Ecuador pueda desarrollar su propio transporte eléctrico y así aportar al progreso tecnológico del país. El presente trabajo trata el estudio y diseño del sistema de tracción para un motor eléctrico controlado por un PLC, y su sistema de alimentación.

## II. SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

### Cálculo Teórico

Para el cálculo se consideraron los siguientes parámetros para el caso específico de la ESPOL.

El peso total de un bus Botar, propiedad de la ESPOL con capacidad de 40 personas sentadas.

Adicionalmente se tomó a 15 personas paradas, el peso del pantógrafo, el peso del motor eléctrico, y partes electrónicas. Es decir se sobreestimó algunos parámetros.

Peso total del bus: 14500 [kg]

Peso aproximado por persona: 60 [kg]

Peso aproximado de 40 personas: 2400 [kg]

Peso aproximado de 15 personas: 900 [kg]

Peso del pantógrafo + el motor + adicionales: 2000 [kg]

Peso total (bus sobrecargado): 19800 [kg]

Peso total (bus lleno): 18900 [kg]

Peso adherente: 16500 [kg]

### Potencia del Motor Jaula de Ardilla

Se toma en consideración dos velocidades, una velocidad normal y una máxima, con un rendimiento del 85%.

$$P_m = \sqrt{3} * \frac{T * v}{3.6 * 75 * \eta_t}$$

- $T = 336.6$  [kg]  
 $\eta_t = 0.85$   
 $v$  (comercial) = 40 [km/h]  
 $P_{m1} = 101.6$  [HP]
- $T = 336.6$  [kg]  
 $\eta_t = 0.85$   
 $V$  (máxima) = 60 [km/h]  
 $P_{m2} = 152.4$  [HP]
- $P_p = \frac{P_{m1} + P_{m2}}{2} = 127$  [HP] (se escoge el inmediato superior)

### Velocidad

$R =$  Radio de la rueda motriz.

$n_1 =$  Número de revoluciones del piñón montado sobre el eje del motor.

$r_1 =$  Radio del piñón montado sobre el eje del motor.

$r_2 =$  Radio de la rueda dentada sobre el eje del motor

$R = 0.4$  [m]

$r_2 = 45$  [cm]

$r_1 = 12$  [cm]

$$\mu = \frac{r_2}{r_1} = 4.5$$

$v$  (máxima) = 60 [km/h]

$$n_1 = \frac{v \times \mu}{0.377 \times R} = 1790.5 \text{ [rpm]} \text{ (se escoge el inmediato superior)}$$

### Par Motor

Para el par se considera los resultados anteriores.

$$T = 336.6 \text{ [kg]}$$

$$R = 0.4 \text{ [m]}$$

$$\mu = 4.5$$

$$\eta_t = 0.85$$

$$M = \frac{T \times R}{\mu \times \eta_t} = 35.2 \text{ mkg}$$

### Datos Técnicos del Motor

**Tabla I**

*Motor Jaula de Ardilla, 440 V, 60 Hz, 3 fases.*

HP	Velocidad Sincrona [rpm]	Eficiencia		Factor de Potencia		Potencia a Plena Carga [Kw]	Corriente a Plena Carga [A]	Corriente de Rotor Bloqueado [A]
		Plena Carga	½ Carga	Plena Carga	½ Carga			
150	1800	91.0	88.5	0.91	0.79	123.0	177.0	1200

$$KVA = \frac{1.73 \times V \times I}{1000}$$

### Continuo

$$KVA = 134.7$$

### Arranque

$$KVA = 913.4$$

## III. DISEÑO Y CONTROL DEL CIRCUITO ELECTRONICO

### Componentes Principales

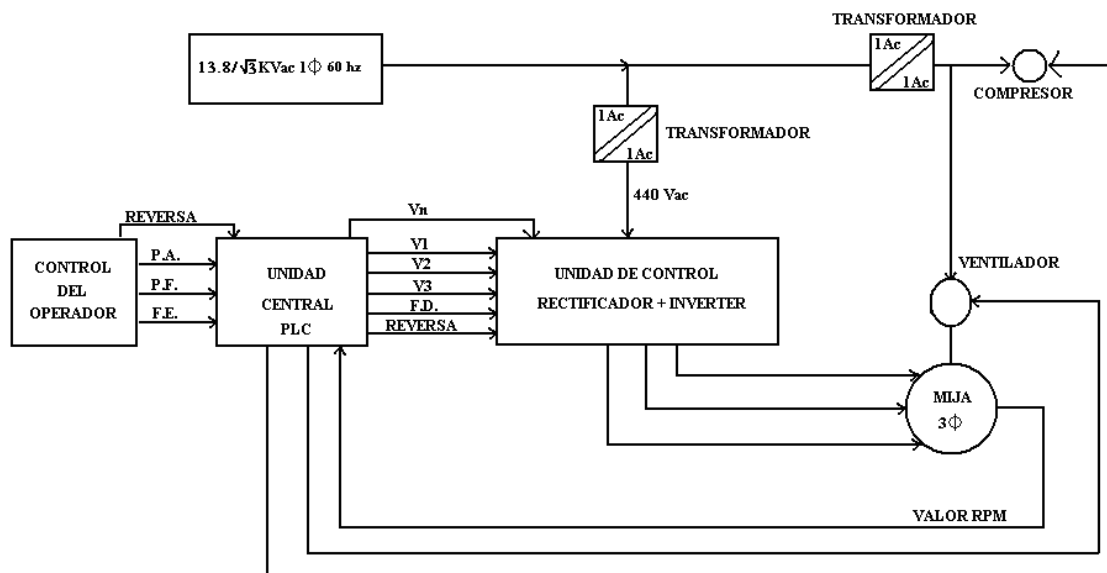
Se presenta los componentes principales para desarrollar la parte de control del bus, la cual estará en una caja apartarayos, la cual protegerá el equipo electrónico contra descargas eléctricas.

- 1 PLC
  - 32 entradas: 5 analógicas y 27 digitales
  - 32 salidas

- Circuito Inversor (Inverter)
  - Entradas:
    - Marcha
    - Freno Gradual
    - Frenado Dinámico
  - Salida 3 $\phi$
  - Potencia de Manejo: 150 HP
  
- Pantógrafo
  - Monofásico
  - Velocidad de diseño: 200 Km/h
  - Voltaje/corriente: 500V/1200A
  - Fuerza de contacto estática: de 50 a 140 N ajustables
  - Control: sistema neumático
  - Colectores: carbonos con sujetadores de aluminio
  - Masa total: 109 Kg
  - Material de cuerpo principal: acero inoxidable
  - Material de otros elementos: aleación de aluminio

#### IV. DIAGRAMA DE BLOQUES

##### Diagrama de Bloques del Regulador de Marcha



**Fig. 1**  
**Diagrama de Bloques del Regulador de Marcha**

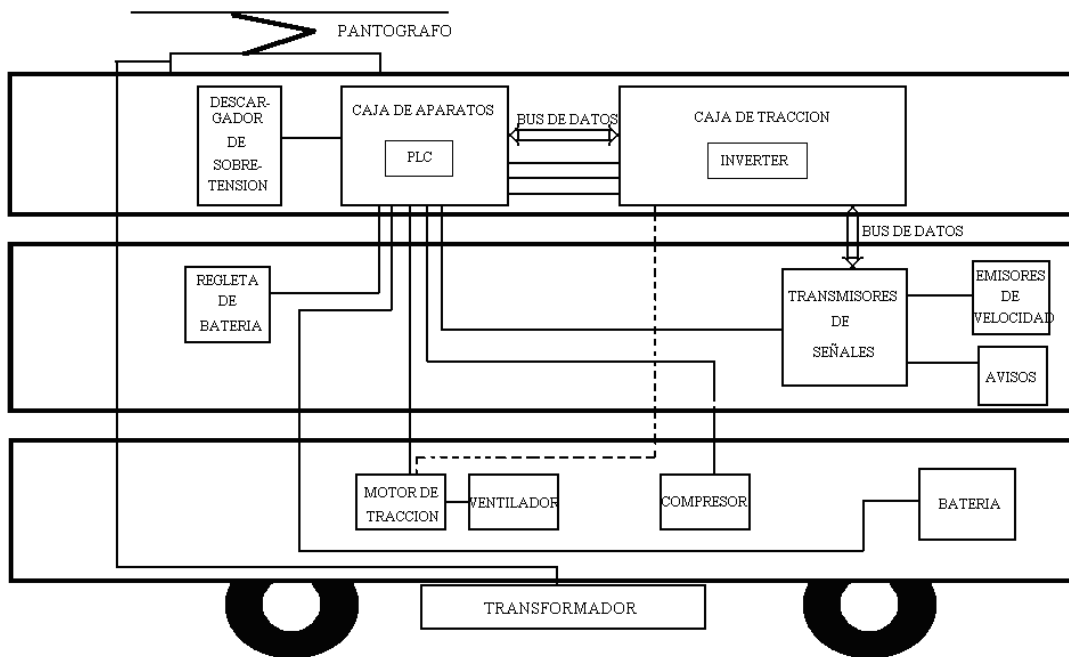
P.A.: Palanca de aceleración  
P.F.: Pedal de freno  
F.E.: Freno de emergencia  
V1 : Velocidad 1  
V2 : Velocidad 2  
V3 : Velocidad 3  
Vn : Velocidad n  
F.D.: Freno dinámico

El diagrama mostrado es un esquema general del sistema de control de la tracción del motor eléctrico. En el cual el mando central es el PLC. El operador solo tendrá pocas entradas para el movimiento del bus (tracción) dependiendo del número de velocidades que se tenga. La velocidad del motor principal es controlada por un *inversor*.

Todo el sistema es alimentado por 13/ $\sqrt{3}$  KV monofásicos el que luego es transformado a 440 VAC monofásicos, a partir de este punto el voltaje es rectificado para alimentar el inversor.

El sistema está realimentado por la señal del tacómetro al PLC para luego pasar a cierta velocidad.

Disposición de Componentes del Equipo Eléctrico



**Fig. 2**  
**Disposición de Componentes del Equipo Eléctrico**

**V. ESPECIFICACIONES PARA EL PANTOGRAFO**

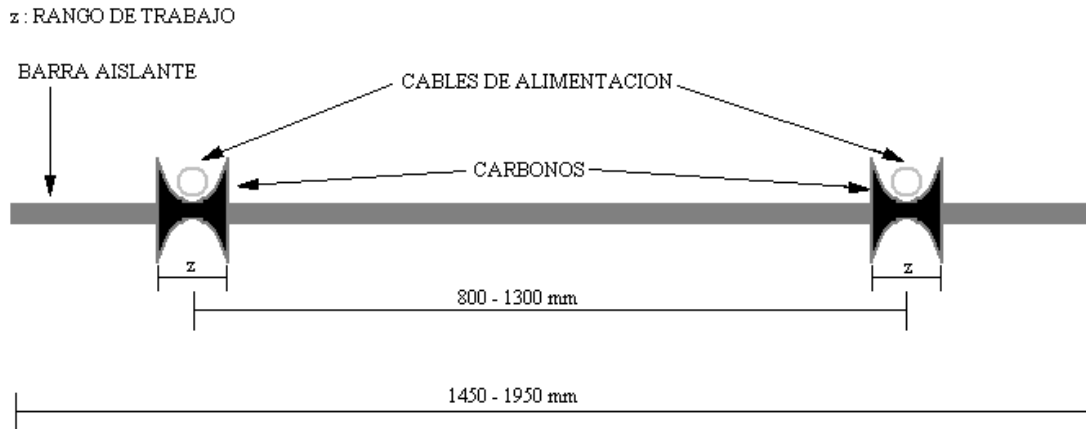
Diseño

El pantógrafo tiene la tarea de transferir el voltaje de las líneas de tensión o también llamadas de alimentación hacia el sistema de tracción del vehículo, esta transferencia de

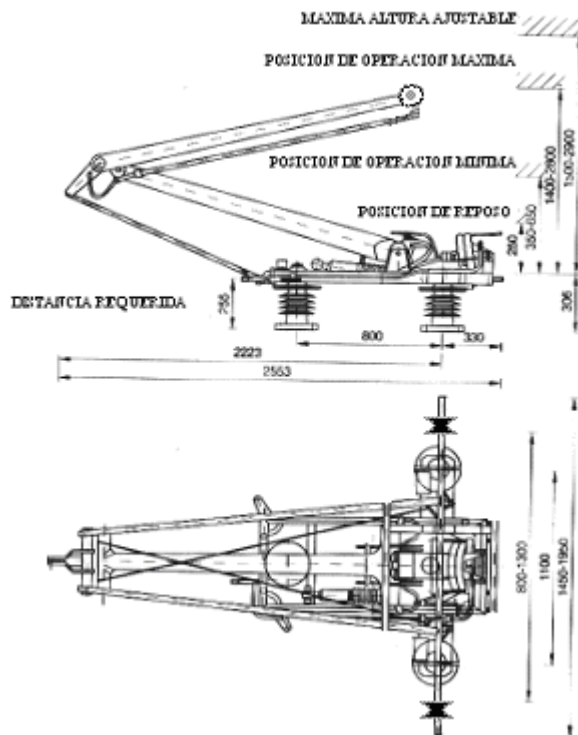
voltaje tiene que ser segura y confiable para cuando la unidad esta estacionaria o en movimiento.

El pantógrafo consiste de una estructura principal, brazos, la cabeza del pantógrafo y el mecanismo para levantar el brazo del pantógrafo.

El pantógrafo que se usa esta basado en el diseño del pantógrafo modelo DSA-350S el cual es usado comúnmente en Europa para trenes.



**Fig. 3**  
**Vista Frontal del Pantógrafo**



**Fig. 4**  
**Pantógrafo DSA-350S**

Como requerimiento básico la cabeza del colector debe siempre mantenerse en la línea de contacto aun en las condiciones más desfavorables principalmente cuando el bus toma las curvas. Para una operación suave del sistema, es solo posible cuando la línea de contacto no se aleja del rango de trabajo de la cabeza del colector durante el trayecto,

por eso es esencial que la línea este siempre en contacto con la cabeza del colector cuando el vehículo este en movimiento.

El pantógrafo tiene una posición de trabajo máxima y mínima. El rango entre estas dos posiciones se llama rango de trabajo. La posición máxima y mínima de trabajo es de aproximadamente 2800 mm y 300 mm con relación al borde superior de la estructura principal del pantógrafo.

## **VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El uso de un PLC para controlar los diversos parámetros del bus eléctrico brinda una excelente alternativa al microcontrolador, ya que este (PLC) disminuye en gran medida el espacio físico utilizado por el cableado, los relés y los controladores, lo cual ahorra dinero y tiempo al personal encargado de armar la parte de control del bus eléctrico. Es mucho más fácil el detectar fallas en el equipo o adicionar modificaciones a este.

Para este proyecto la fuente principal de energía es un voltaje AC monofásico (13 KV), el cual es tomado de las líneas de alta tensión y así poder manejar la potencia que el motor eléctrico requiere; sobre todo el calibre del conductor de la corriente del motor eléctrico. Entonces dentro del bus debe existir un transformador para disminuir al voltaje requerido. Es recomendable un voltaje DC como fuente de alimentación principal, ya que la implementación del bus eléctrico se limita al perímetro de la ESPOL (Campus Prosperina) lo cual se lo puede describir como distancia corta, y la potencia de manejo (motor eléctrico) no es excesivamente grande; sin embargo se requeriría la construcción de una subestación.

El control de velocidad del motor eléctrico alterno, requiere de un inversor que maneje una potencia alta. Es bien sabido que para este manejo de potencias altas, los inversores son de entrada trifásica, lo cual para el proyecto no conviene. Para estos casos particulares se han desarrollado inversores con entrada DC que manejan estas altas potencias, eso significa que dentro del bus debe existir un rectificador para la entrada al inversor.

La aplicación de energías alternativas en diferentes áreas, como lo es el transporte urbano, contribuye al cuidado de la ecología del planeta y aprovecha los diferentes recursos que esta nos brinda.

## REFERENCIAS

- [1] P. Mantilla y A. Soltysik, “Estudio y el Diseño a Escala del Control de Tracción de un Motor Eléctrico para el Transporte Público Dentro de la ESPOL Campus Prosperina”, (Tesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005).
- [2] PROF. Hans Teuchert, La Escuela del Técnico Electricista Tomo XI: Fuerza Motriz y Tracción Eléctrica, Editorial Labor S.A., España 1961, pg. 280-305, 321-341.
- [3] Friedrich Kießling, Rainer Puschmann, Axel Schmieder, Contact Lines for Electric Railways, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin and Munich, Publicis Corporate Publishing, Munich Erlangen 2001.
- [4] A. Steimel, Electric Railway Traction In Europe, IEEE Industry Applications Magazine-November/ December 1996, pg. 6-17.
- [5] UOST (UNIDAD OPERADORA DEL SISTEMA TROLEBUS), Manual de Usuario: Sistema de Transporte Mediante Trolebuses –Quito-, 1995.

---

**Ing Gustavo Bermudez**

**Director de Tesis**



