



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



---

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Morelia

División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Programa de Graduados e Investigación en Ingeniería Eléctrica

**T E S I S**

**ESQUEMA DE GESTIÓN DE CARGA  
DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN  
ESTACIONAMIENTOS INTELIGENTES  
UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA**

Presenta:

**Andrés Cervantes Hernández**

Para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica**

Director de tesis:

**Dr. Edgar Lenymirko Moreno Goytia**

Morelia, Michoacán, México.

Noviembre 2019

## *Resumen*

La incorporación de vehículos eléctricos requiere de la adaptación de la infraestructura, la cual debe ser cambiada para cubrir las necesidades de los Vehículos Eléctricos e Híbridos (VEH), gasolinerías y estacionamientos deben ser modificados para proveer un servicio de carga de baterías que sea eficiente para satisfacer las necesidades de movilidad de los usuarios. Esta tesis busca un esquema de coordinación de carga de VEH por medio de lógica difusa para estacionamientos inteligentes, a través de algunos parámetros de entrada como: el Estado de Carga (SoC), tiempo de conexión, potencia máxima de carga, etc., se puede determinar en qué momento es apropiado realizar la carga de la batería de un vehículo. La lógica difusa descrita en este trabajo permite asignar una calificación de prioridad a cada VEH por medio de reglas de inferencia, aunque es difícil evaluar subjetivamente qué vehículo debe cargarse primero, esto puede ser logrado en un contexto donde sólo se evalúa el SoC y el tiempo de conexión restante de la carga. La estructura del sistema propuesto es escalable y flexible, por lo que pueden incorporarse más variables de evaluación y restricciones para simular un número mayor de condiciones operativas, el sistema está construido usando el software de simulación Matlab®/Simulink®.

# Índice de contenido

Índice de contenido.....	i
Índice de figuras.....	iii
Índice de tablas.....	v
Nomenclatura y variables.....	vi
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Preguntas de investigación.....	2
1.3. Hipótesis.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Metas.....	4
1.6. Justificación.....	4
1.7. Estado del arte.....	5
1.7.1. Retos de la carga de automóviles eléctricos en la red inteligente del futuro.....	5
1.7.2. Integrar un estacionamiento inteligente a la infraestructura actual.....	7
1.7.3. Infraestructura de cargadores del estacionamiento inteligente.....	13
1.7.4. Impacto de los estacionamientos inteligentes en las redes de distribución.....	16
Capítulo 2. Marco teórico.....	22
2.1. Definiciones.....	22
2.2. Metodología.....	24
2.2.1. Determinación de parámetros de las baterías.....	24
2.2.2. Determinación de la arquitectura del estacionamiento inteligente.....	26
2.2.3. Determinación de algoritmos de lógica difusa.....	29

Capítulo 3. Modelado del estacionamiento inteligente.....	31
3.1. Curvas de carga/descarga de baterías de VEH .....	31
3.1.1. Nissan Leaf 2011.....	34
3.1.2. Chevrolet Volt 2013.....	36
3.1.3. Volkswagen E-Golf 2012 .....	38
3.1.4. BMW i3 2014 .....	40
3.1.5. Kia Soul 2015.....	42
3.1.6. Chevrolet Spark 2015.....	44
3.2. Algoritmo de lógica difusa para control de carga .....	47
3.2.1. Determinación de funciones de pertenencia .....	49
3.2.2. Reglas de prioridad.....	53
Capítulo 4. Simulación del estacionamiento inteligente .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.1. Construcción del sistema de pruebas en Matlab® .....	56
4.1.1. Matlab® Fuzzy Inference System .....	56
4.1.2. Matlab® Simulink® .....	62
4.2. Casos de estudio.....	73
4.3. Resultados de las simulaciones .....	74
4.3.1. Caso 1: 5 VEH, Curva C, tiempos arbitrarios fijos. ....	74
4.3.2. Caso 2: 5 VEH, Curva C, tiempos aleatorios .....	78
4.3.3. Caso 3: 5 VEH, corriente máxima, tiempos fijos .....	83
4.3.4. Caso 4: 5 VEH, corriente máxima, tiempos aleatorios .....	87
Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro .....	92
5.1. Discusión de los resultados.....	92
5.2. Trabajos futuros y recomendaciones .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Referencias .....	102