



MAR 2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
UNIDAD INVESTIGACIÓN



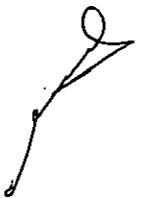
**“CONTROLADOR FUZZY APLICADO A SISTEMAS DE  
FRENADO ABS EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

**Dr. Ing. JACOB ASTOCONDOR VILLAR**

**Callao, 2018**

**PERÚ**

**Dedicatoria**  
A Dios por guiarme, darme salud, fortalezas...  
A mis hijos Lizbeth y Jacob Jr. Porque son mi motivación



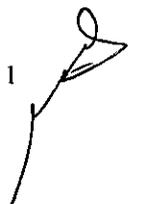
## **Agradecimiento**

Durante la realización de este proyecto, ustedes han sido  
Mi mano derecha y quien me ha guiado en este  
Complicado proceso, por sus consejos,  
Aportaciones y recomendaciones

Gracias a la unidad de investigación de la FIEE

A small, handwritten mark or signature located in the bottom right corner of the page. It consists of a few simple, connected lines forming a stylized shape.

	<b>PAG.</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>1</b>
<b>TABLAS DE CONTENIDO</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>9</b>
1.1.- DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	9
1.2.- FORMULACION DEL PROBLEMA	10
1.3.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	10
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	10
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	10
1.4.- LIMITANTES DE LA INVESTIGACION	10
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>14</b>
2.1.- ANTECEDENTES	14
2.2.- FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS ANTIBLOQUEO ABS	15
2.3.- DESCRIPCION DEL SISTEMA ABS	17
2.3.1.- EL MODULO DE CONTROL ELECTRONICO DE FRENADO (EBCM)	19
2.3.2.- COMPORTAMIENTO HIDRAULICO DEL SISTEMA	21
2.4.- MÓDELO MATEMATICO DEL SISTEMA	26
2.4.1.- MODELAMIENTO DE LA RUEDA	28
2.4.2.- MODELAMIENTO DEL VEHICULO	31
2.5.- DEFINICION DE TÉRMINOS	39
<b>III. HIPOTESIS Y VARIABLES</b>	<b>40</b>
3.1. HIPÓTESIS GENERAL	40
3.2. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	40
3.2.1.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	41
<b>IV. DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>43</b>
4.1.- TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION	43
4.1.1.- ALGORITMOS DE CONTROL ABS	44
4.1.2.- METODO DE CONTROL	46
4.1.3.- ESTRUCTURA DEL CONTROLADOR ABS	54
4.1.4.- IMPORTANCIA DEL COEFICIENTE DE FRICCION	56



4.1.5.- SIMULACION DEL CONTROLADOR DIFUSO	60
4.2.- CONTROLADOR FUZZY DE LA PRESION DE FRENADO	51
4.3.- POBLACION Y MUESTRA	69
4.4.- LUGAR DE ESTUDIO Y PERIODO DESARROLLADO	69
4.5.-TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	69
4.6.- PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO Y ANÁLISIS DE DATOS	69
<b>V. RESULTADOS</b>	70
5.1 RESULTADOS PARA CONDICIONES DE PRUEBA ESTÁNDAR	70
5.1.1.- RESPUESTA DEL SISTEMA EN LAZO ABIERTO	71
5.1.2.- RESPUESTA DEL SISTEMA EN LAZO CERRADO	71
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	72
6.1.- CONTRASTACION Y DEMOSTRACION DE LA HIPOTESIS CON LOS RESULTADOS	72
6.2.- CONTRASTACION Y DEMOSTRACION CON OTROS ESTUDIOS SIMILARES	75
6.3.-RESPONSABILIDAD ETICA DE ACUERDO A LOS REGLAMENTOS VIGENTES	79
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	83
ANEXOS	85
A1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	86
A2. RESUMEN DE LOS PASOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR FUZZY	87

## TABLA DE FIGURAS

Figura 2.1	SISTEMA DE FRENO CONVENCIONAL	16
Figura 2.2	SISTEMA DE FRENO ANTIBLOQUEO ABS	17
Figura 2.3	ASPECTO FISICO DEL CONTROLADOR EBCM	19
Figura 2.4	DIAGRAMA DE BLOQUES DE CONTROLADOR EBCM	19
Figura 2.5	ESQUEMA HIDRAULICO	20
Figura 2.6	INTERVENCION DEL SISTEMA ABS CON MANTENIMIENTO DE LA PRESION	21
Figura 2.7	FRENADO SIN BLOQUEO DE LAS RUEDAS	22
Figura 2.8	INTERVENCION DEL SISTEMA ABS CON MANTENIMIENTO DE LA PRESION	23
Figura 2.9	INTERVENCION DEL SISTEMA ABS CON REDUCCION DE LA PRESION	24
Figura 2.10	DESPLAZAMIENTO DE OBJETO	26
Figura 2.11	RUEDA DEL AUTOMOVIL Y LAS FUERZAS QUE ACTUAN	28
Figura 2.12	SISTEMAS DE FUERZAS EN UNA RUEDA PARA UNA PENDIENTE	28
Figura 2.13	SISTEMA DE FUERZAS EN UN MODULO DE VEHICULO	30
Figura 2.14	DIAGRAMA DE ALGORITMO FUZZY	37
Figura 4.1	DIAGRAMA DE BLOQUES CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CONTROL FUZZY DE FRENOS ANTIBLOQUEO ABS	43
Figura 4.2	CURVA FRICCION- DESLIZAMIENTO $\mu$ -S PUNTO DE EQUILIBRIO INESTABLE	45
Figura 4.3	TIPOS DE FUNCIONES DE PERTENENCIA	47
Figura 4.4	OPERACIONES CON CONJUNTO DIFUSOS	48
Figura 4.5	SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA	50
Figura 4.6	DIAGRAMA DE FLUJOS DE LAS ETAPAS DEL ALGORITMO DE CONTROL POR LOGICA FUZZY	53
Figura 4.7	SISTEMA DE CONTROL ABS	54
Figura 4.8	CURVAS DEL COEFICIENTE DE ADHERENCIA FRENTE AL DESLIZAMIENTO PARA VARIOS TIPOS DE TERRENOS	58
Figura 4.9	DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE FRENOS ANTIBLOQUEO ABS	59
Figura 4.10	CIRCUITO HIDRAULICO DEL CIRCUITO PARA FRENOS MODO MANUAL	60

Figura 4.11	CIRCUITO HIDRÁULICO DEL CIRCUITO PARA FRENOS. MODO AUTOMATICO	61
Figura 4.12	DIAGRAMA DE CONTROLADOR FUZZY CON LAS ENTRADAS Y SALIDAS	64
Figura 4.13	FUNCIONES DE PERTENENCIA DE LA SEÑAL ERROR	64
Figura 4.14	FUNCIONES DE PERTENENCIA DE LA SEÑAL DERIVADA ERROR	65
Figura 4.15	FUNCIONES DE PERTENENCIA DE LA SEÑAL SALIDA PRESIÓN	66
Figura 4.16	PRESENTACIÓN DE LA REGLAS EXPRESADA CON LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA Y DEL CONJUNTO DIFUSO A DEFUSIFICAR	68
Figura 4.17	SUPERFICIE DIFUSA DEL CONTROLADOR	68
Figura 5.1	RESPUESTA DEL SISTEMA DE FRENOS SIN CONTROLADOR	70
Figura 5.2	RESPUESTA DEL SISTEMA DE FRENOS CON CONTROLADOR	71
Figura 6.1	SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO IMPLEMENTADO EN SIMULINK CON CONTROLADOR DIFUSO	72
Figura 6.2	ESTRUCTURA DEL CONTROLADOR IMPLEMENTADO CON ACCIONES PROPORCIONALES Y DERIVATIVAS (PD)	73
Figura 6.3	RESPUESTA DEL SISTEMA DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO PARA UNA FRENADA	73
Figura 6.4	RESPUESTA DEL SISTEMA DE LA VARIABLE DISTANCIA DEL VEHÍCULO	74
Figura 6.5	RESPUESTA DEL TORQUE DE FRENADO	74
Figura 6.6	RESPUESTA DEL VARIABLE DESLIZAMIENTO	75
Figura 6.7	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE FRENOS PARA PRUEBAS ON-OFF	76
Figura 6.8	VARIABLE CONTROLADA DE LA VELOCIDAD CONTROL ON-OFF	77
Figura 6.9	VARIABLE CONTROLADA DE LA DISTANCIA DESPUÉS DEL FRENADO CONTROL ON-OFF	77
Figura 6.10	VARIABLE CONTROLADA DEL DESLIZAMIENTO DURANTE DEL FRENADO CONTROL ON-OFF	78

### TABLA DE CUADROS

Tabla 2.1	PARÁMETROS DE $\mu_0$ , A, B, C, D PARA DIFERENTES CALZADAS	34
Tabla 3.1	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	42
Tabla 4.1	VARIABLE DE ENTRADA ERROR: E(T)	65
Tabla 4.2	VARIABLE DE ENTRADA DERIVADA ERROR: DE(T)	66
Tabla 4.3	VARIABLE DE SALIDA PRESIÓN: P(T)	67

## RESUMEN

Este proyecto de investigación ofrece una visión del control del sistema de frenos ABS en la rama de la ingeniería Automotriz.

El sistema de frenos ABS es utilizado en los vehículos cuando se desplaza en alta velocidad, el control de frenado permite controlar al vehículo sin perder el arrastre o tracción.

En este trabajo se realiza el diseño y modelado de un sistema que permite hacer el control del sistema de frenado ABS utilizando lógica difusa.

Se realiza el modelado considerando el deslizamiento de la rueda del vehículo, luego su simulación con Matlab, del frenado para diferentes tipos de calzada (pistas).

El controlador difuso es diseñado y validado utilizando el toolbox de lógica difusa de Matlab.

Como resultado se pudo comprobar la efectividad de la lógica difusa para trabajar con sistemas no lineales, lográndose el control del frenado para diferentes condiciones de operación con excelentes tiempos de convergencia.

**Palabras claves:** Lógica difusa, frenado, calzada, ABS, control Fuzzy, automóvil



## ABSTRACT

This research project offers a vision of the control of the ABS system in the branch of Automotive Engineering.

The ABS braking system is used in vehicles when traveling at high speed, the braking control allows to control the vehicle without losing the drag or traction.

In this work the design and modeling of a system that allows control of the ABS braking system using fuzzy logic is performed.

Modeling is performed considering the vehicle wheel slip, then its simulation with Matlab, braking for different types of road (tracks).

The fuzzy controller is designed and validated using Matlab's fuzzy logic toolbox.

As a result, the effectiveness of fuzzy logic to work with non-linear systems could be verified, achieving braking control for different operating conditions with excellent convergence times.

**Keywords:** Diffuse logic, braking, driveway, ABS

7 

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación está relacionado con el estudio del:

### **CONTROLADOR FUZZY APLICADO A SISTEMAS DE FRENADO ABS EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ-**

En un vehículo, la finalidad de los frenos es hacer que este el sistema frenos reduzca la velocidad a la cual está desplazándose y luego hacer que las ruedas dejen de girar.

Al aplicar los frenos, debido a la inercia el auto sigue en movimiento sin considerar que las ruedas se encuentren estáticas, lo que producirá pérdida del control sobre el vehículo, luego no permitirá al chofer controlar y podría dirigirse hacia donde desea; el vehículo realiza la trayectoria que la inercia indica en ese momento, produciendo luego el riesgo de tener algún accidente; se indica que la prevención del bloqueo de las ruedas durante el proceso de frenado es de gran importancia para la seguridad de los ocupantes del vehículo

La proceso descrito establece un problema importante de *ingeniería automotriz*, donde la solución del bloqueo de las ruedas en frenadas no previstas (violentas) y manteniendo el control sobre el vehículo es realizado por el **Sistema de frenado anti-bloqueo**, también denominado como **Anti-lock braking system** por sus siglas en ingles ABS

El sistema antibloqueo ABS (Antilock Braking System) constituye un sistema de seguridad principal en un 70% de los vehículos modernos actualmente. Su función es reducir el riesgo de accidentes mediante el control adecuado del proceso de frenado

Con el sistema antibloqueo ABS se impide que ninguna de las 4 ruedas patine, lo que permite dirigir el vehículo y seguir manteniendo el frenado (frenar y dirigir al mismo tiempo).

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

Actualmente el estudio de sistema de frenos antibloqueo ABS es importante porque es necesario conocer su estructura (realizar mantenimiento) y luego innovar (aumentar su eficiencia se los sistemas de frenos), considerando el diseño, simulación y su implementación de controladores ,que realicen la función de adaptar el nivel de presión del líquido en cada freno de rueda con el fin de evitar el bloqueo y cumplir con tres acciones importantes:

**Eliminar la Inestabilidad en proceso de conducción del vehículo:** Durante el proceso de frenado debe garantizarse la estabilidad del vehículo, tanto cuando la presión de frenado aumenta lentamente hasta el límite de bloqueo como cuando lo hace bruscamente, es decir, frenando en situación límite.

**Visibilidad y Dirigibilidad:** El vehículo puede conducirse al frenar en una curva aunque pierdan adherencia alguna de las ruedas.

**Distancia de parada:** Se debe acortar la distancia de parada lo máximo posible.

Por lo indicado se desarrollan diferentes técnicas para controlarlo actualmente, considerando que el control del sistema de frenado es un sistema no lineal, el problema de control de estos dispositivos se realizan mediante la aplicación de diversos controladores, tales como , los diseños de control de modos deslizantes, control Neuro-difuso, controladores PID, Controladores on-off etc.

En este proyecto de investigación se realiza el desarrollo del controlador Fuzzy aplicado al sistema frenos ABS para demostrar su eficiencia, considerando que el sistema de frenos antibloqueo es un sistema no lineal. Una vez realizado el diseño se realiza simulaciones del controlador para verificar su funcionamiento

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida el controlador con lógica Fuzzy del sistema de frenado antibloqueo es más eficiente considerando los problemas de no linealidad del sistema de frenos en la Ingeniería Automotriz?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar y optimizar el controlador Fuzzy aplicado al sistema de freno antibloqueo (ABS) luego mostrar el desempeño del mismo en base a simulaciones e implementación

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- En este proyecto, se presenta un método de control que utiliza la lógica Fuzzy, aplicada a un sistema de frenado antibloqueo (ABS).
- Verificar la eficiencia del método de control por lógica difusa a través de análisis de simulación.
- Aportar a la mejora de la calidad y seguridad de vida de la población, se hace hincapié en como este método de control puede ayudar superar las limitaciones fundamentales que afectan a los sistemas lineales

## **1.4. Limitantes de la investigación**

### **Teórico.**

Para realizar el control del sistema de frenos antibloqueo (ABS) se realiza el modelado del sistema de frenos antibloqueo ABS, conocer las características, su funcionamiento, parámetros y disponer de un prototipo, la información es limitada al respecto.

## **Temporal**

Este trabajo de investigación se desarrolla en los meses de enero a diciembre del 2018

## **Espacial**

El proyecto de investigación se realiza en los laboratorios de la FIEE-UNAC, no contamos con un prototipo del sistema, pero se hace uso de los sistemas informáticos

- **Alcances de la investigación**

Este proyecto de investigación se presenta el principio de funcionamiento del sistema de frenos antibloqueo ABS en forma detallada, así mismo el análisis del sistema en estudio, se utiliza , programas o códigos para su simulación utilizando el software MALAB, Scilab.

- **Codificación de la investigación según UNESCO**

Según la Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología, el presente trabajo se sitúa en el 3317.02 según detalle:

Tecnología de vehículos de motor fuentes (también 3317.01)

- **La importancia y la justificación de la investigación**

### **Aporte Científico y/o Tecnológico de la Investigación**

Basados en la problemática expuesta, el aporte científico y/o tecnológico el enfoque del presente trabajo se estableció sobre los siguientes puntos:

#### **Dimensionamiento del sistema.**

El objetivo del proyecto es diseñar y construir un controlador con lógica Fuzzy para sistemas de frenado antibloqueo ABS

El proyecto consta de tres estructuras principales que son:

**El primer pasó:**



Explicar el sistema de funcionamiento del sistema de frenos convencional sin sistema antibloqueo ABS y del sistema de frenado con antibloqueo ABS en ingeniería automotriz

**El segundo pasó:**

Modelamiento del Sistema de frenado antibloqueo ABS

**Tercer paso: Estudio de la etapa de control.**

El diseño del controlador se basa en el algoritmo de control por software por lógica difusa. , se realiza la justificación teórica del algoritmo de control, para aplicar al sistema de frenado antibloqueo ABS,

**Cuarto paso**

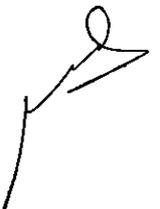
Por último, se realizó la simulación del sistema de control de frenado antibloqueo ABS, con el controlador Fuzzy

- **Justificación.**

**.La ventaja del control de la lógica difusa** es que no estrictamente necesita cualquier modelo matemático de la planta. Está basado en la experiencia del operador de la planta, y es muy fácil de implementar. Por lo tanto, muchos sistemas complejos pueden ser controlados sin conocer el modelo matemático exacto de la planta. Además, la lógica difusa simplifica el tratamiento de las no linealidades en los sistemas.

En la FIEE (Facultad de ingeniería Eléctrica Y Electrónica) con la implementación de la curricula de pre grado se ha incorporado la asignatura **Control Inteligente** y también en la unidad de posgrado se tiene dicha asignatura que barca el control neuronal y control Fuzzy este trabajo será parte de desarrollo de los temas de dichas asignaturas.

Este trabajo de investigación permitirá profundizar el estudio de frenos antibloqueo ABS en la Facultad de Mecánica y Energía (FIME), considerando



que actualmente en su curricula tienen asignaturas en el área de ingeniería automotriz.

**Innovación:** Actualmente se tiene sistema de frenos convencionales en el parque automotor del País con este proyecto se contribuye en el aspecto de aplicación y conocimiento de la técnica control inteligente en el sistema de frenado ABS, para difundir su aplicación

**Evolución:** Con los algoritmos de control desarrollados permiten actualizar y evolucionar un sistema de frenado ABS con inteligencia artificial.

**Económico:** Disponer de un sistema de frenado cuyo mantenimiento es menos costoso.

**Seguridad:** Eliminar los accidentes, mayor seguridad

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES

El presente estudio relacionado con el **CONTROLADOR FUZZY APLICADO A SISTEMAS DE FRENADO ABS EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, tiene como origen en Alemania.

En 1978, la marca alemana presentó al mundo uno de los inventos más importantes en la seguridad activa de los vehículos, los frenos ABS.

Lo que comenzó como un accesorio, se volvió un componente de fábrica en la mayoría de las marcas de vehículos a nivel mundial, lamentablemente este "accesorio" en mercados tercermundistas sigue siendo una pieza cuyo valor agregado solo aplica para vehículos de gama media alta y alta.

Lo mismo ocurre con las motos, para bajar costos, las marcas prefieren vender sus modelos sin el sistema ABS que ofrecerlo como parte integral de la seguridad de sus productos.

La ciencia de este tema tiene que ver con su nombre: **Sistema Antibloqueo de Frenos**, que evita el bloqueo de las llantas y por ende la pérdida de control del vehículo, sin importar si la frenada es a fondo o como diríamos coloquialmente, "en seco".

Vale la pena aclarar que Bosch patentó la idea de evitar el bloqueo de las llantas, en el año 1936, pero solo en 1978 llegó la primera generación de ABS.

#### 2.1.1. Orígenes

En 1936 Bosch registra la patente de un mecanismo para impedir el bloqueo de las ruedas de un vehículo motorizado.

En el año 1971 se desarrolló el primer sistema ABS y siete años más tarde comenzó su comercialización.

En 1978 se inicia la producción en serie del primer sistema antibloqueo ABS en Mercedes-Benz (Clase S) y poco después en BMW (Serie 7).

En 1981 se habían vendido las primeras 100.000 unidades. El ABS se aplica también a los vehículos industriales.

En 1985 se empieza a instalar en carros estadounidenses. El Renault 25 ya lo porta.

En 1986 se cumplió el primer millón de unidades por parte de Bosh.

En 1987 se realiza la producción en serie del sistema regulador de tracción ASR para turismos.

En 1992 se habían cumplido los 10 millones de unidades vendidas.

En 1995 se inició la producción en serie del ABS 5.3 de Bosch y comenzó la producción del Programa de Estabilidad Electrónico (ESP).

En 1999 se alcanzaron los 50 millones de unidades.

En el 2001 se inició la producción del sistema ABS 8, de Bosch.

En el 2003, el ABS cumple 25 años de vida.

En el 2018, el sistema antibloqueo cumple 40 años de vida.

En el 2019 – 30 de agosto cumplirá 41 años de vida el sistema de frenos antibloqueo.

## **2.2. Funcionamiento del sistema de frenos antibloqueo ABS**

El funcionamiento del ABS es similar a si el conductor bombeara el freno repetidas veces antes de detenerse, solo que el sistema es más eficiente y no entra en pánico.

Los conductores están acostumbrados a oír un ruido chirriante cuando alguien, conduciendo a alta velocidad, frena repentinamente. Esto sucede cuando una rueda se bloquea y resbala sobre la superficie del camino.

A partir del uso del ABS estos chirridos no se presentan. La ausencia de ese sonido indica que el sistema está trabajando.



El sistema ABS, mediante sus sensores, efectúa el mismo bombeo que realizaría un conductor de un carro sin el sistema, pero a una frecuencia mucho mayor que la que se logra actuando sobre el pedal.

Los sensores de velocidad de las ruedas miden su velocidad y transmiten la información a una unidad electrónica de control; de esta forma detectan el bloqueo por medio de captosres y envían señales para modificar la presión de frenado, que varía rápidamente y se adapta al requerimiento a que se la somete.

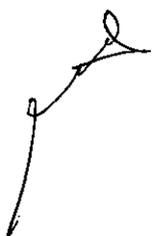
Los sistemas ABS comúnmente usados en los vehículos modernos realizan la operación de disminuir y aumentar la presión de frenado unas 15 veces por segundo.

Con esta información, la unidad electrónica de control determina cuándo una rueda está a punto de bloquearse ¿o se bloqueó? y activa el modulador de presión del freno. También detecta cualquier desperfecto presente en el sistema.

Algunos sistemas controlan únicamente las dos ruedas traseras y otros las cuatro ruedas del vehículo.

En general los sistemas de control sobre las cuatro ruedas proveen mayor estabilidad y control durante el frenado, pero son un poco más costosos.

En los sistemas más evolucionados, en caso de un desperfecto en el sistema antibloqueo, una lámpara de advertencia situada en el panel de instrumentos indica al conductor que el ABS necesita reparación, mientras los frenos normales de vehículo continúan funcionando.



### 2.3. Descripción del sistema ABS

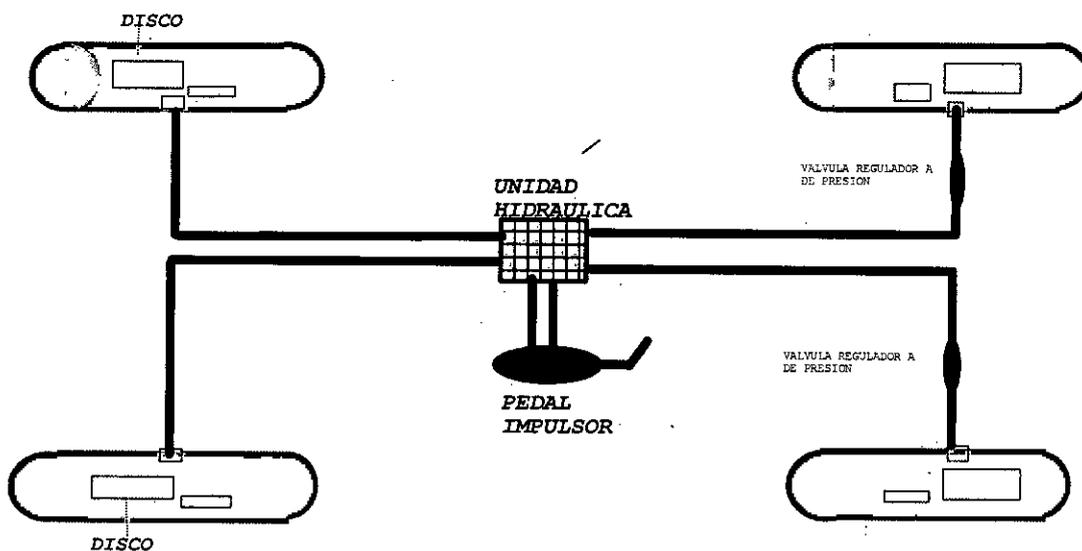
El objetivo de cualquier sistema de frenos de un vehículo es que el conductor pueda disminuir la velocidad a la que se está desplazando, haciendo que las ruedas dejen de girar. Sin embargo, debido a la inercia, es posible que el auto siga en movimiento aunque las ruedas hayan dejado de rodar.

Esto presenta un problema muy serio, ya que si las ruedas no giran pero el coche sigue moviéndose, lo hace sin control sobre la trayectoria que queremos realizar.

Es ahí donde se producen vuelcos y otros accidentes con consecuencias potencialmente graves.

En la figura 2.1 se muestra el sistema de freno sin control ABS

FIGURA N° 2.1  
SISTEMA DE FRENO CONVENCIONAL



Fuente: UNAC (2019): Autoría propia

En ambos esquemas, el circuito de frenos convencional es el mismo, pero en la figura 2.2 el circuito con ABS se le han añadido varios elementos:

- **Hidrógrupo:** formado por válvulas, acumulador de baja presión y conjunto motor-bomba.
- **Sensores de Velocidad de las ruedas:** Los sensores miden la velocidad instantánea en cada rueda. Sensor 1, Sensor 2, Sensor 3, Sensor 4 de velocidad en cada rueda entrega información de velocidad a la computadora.

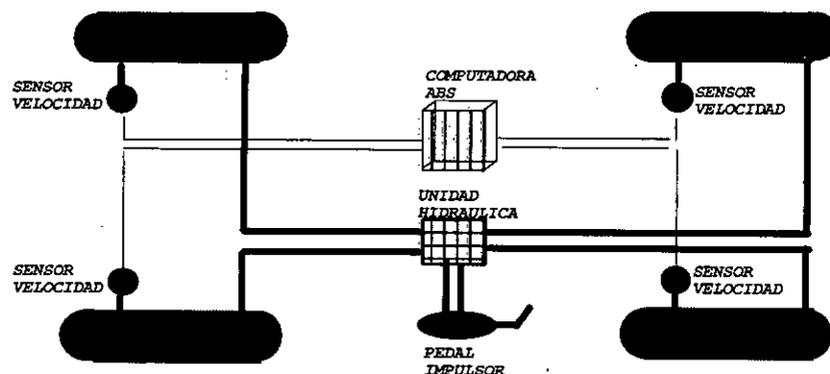
Este sensor electrónico es de efecto **HALL**, es decir funciona con un pequeño campo magnético generado por un imán en el borde del disco de freno ó en el eje, para detectar su rotación.

Cada revolución del disco de freno que se encuentra unido a la llanta, genera una señal para el módulo EBCM.

Este sensor no es reparable, y contiene un circuito integrado internamente, por lo que se pueden revisar cable y conector para evitar fallas por un falso contacto o cable roto.

Por supuesto debe encontrarse firmemente sujeto con su perno correspondiente, pues si se encuentra unos pocos milímetros distantes del borde del disco de freno o eje no podrá detectar la rotación de la llanta respectiva y hará que el ABS se accione en esa llanta de manera incorrecta.

FIGURA N° 2.2  
SISTEMA DE FRENO ANTIBLOQUEO ABS



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

### 2.3.1 El Módulo de Control Electrónico de Frenado (EBCM):

Es el controlador del sistema ABS, controla todo el sistema.

El Módulo de Control Electrónico de Frenado (EBCM) se encarga de monitorear los cuatro sensores y cuando detecta que una llanta se ha bloqueado- es decir no gira, entonces quita la presión de frenado por medio de la Válvula Moduladora de Presión de Frenos (BPMV), de esta manera gira nuevamente y se recupera la tracción y el control.

Entonces Miden las señales a través de los sensores de velocidad de las ruedas y las convierte en señales digitales con el ADC del procesador para que posteriormente puedan ser tratadas en paralelo por DSPs (2). Además, la EBCM trabaja según el principio de redundancia simétrica, los dos DSP son diferentes, tratan la misma información y utilizan un mecanismo de cambio de información jerarquizada para comunicarse.

En caso de que la EBCM detecte algún error, fallo o disconformidad con las señales tratadas, activará una lámpara de señalización en el cuadro de instrumentos y limita el funcionamiento de los sistemas según su capacidad para tratar los errores.

Cuando hay una desigualdad de los valores de los sensores de velocidad, el controlador EBCM, genera una señal de control para quitar presión del líquido de freno porque estaría ocurriendo peligro de bloqueo en alguna de las ruedas.

El controlador EBCM realiza acciones autónomas que utiliza para labores de comprobación de sus periféricos y de su propio funcionamiento, es decir, auto-diagnosis.

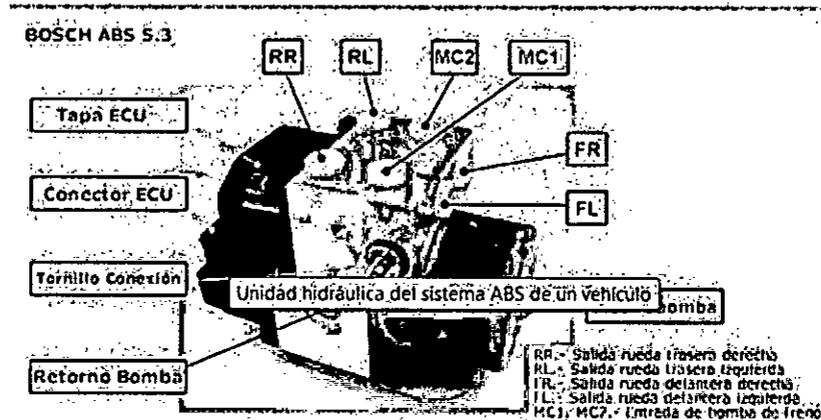
**El proceso de auto diagnosis** es un proceso automático que realiza la EBCM y que sirve para:

- verificar el estado de sus periféricos.
- ser capaz de adoptar una marcha, según algún tipo de avería detectada;



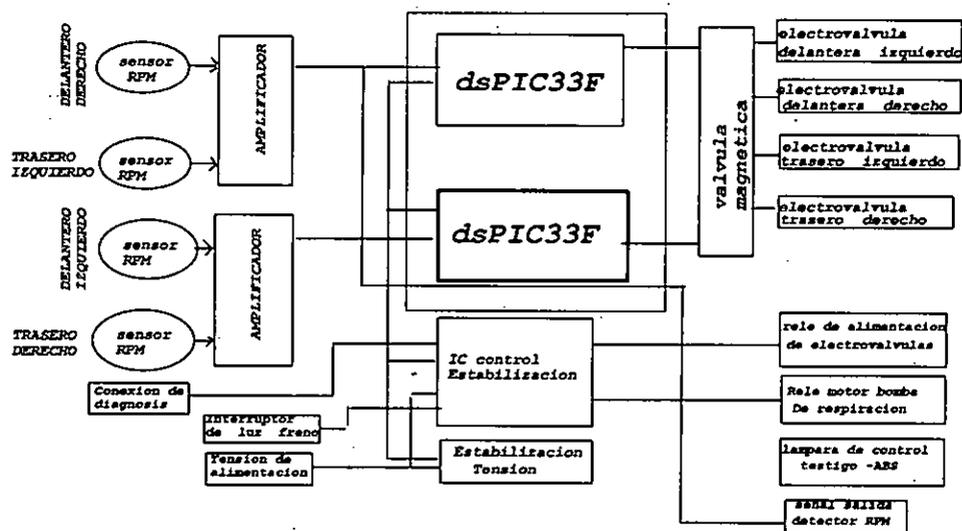
- la ECBM dispone de una memoria interna que permite almacenar fallos detectados que permitan una intervención posterior. Cualquier fallo detectado queda memorizado de manera permanente en la ECBM; incluso si no hay tensión de alimentación.

FIGURA N° 2.3  
ASPECTO FÍSICO DEL CONTROLADOR EBCM



Fuente: (1995) Empresa Bosch ABS

FIGURA N° 2.4  
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTROLADOR EBCM



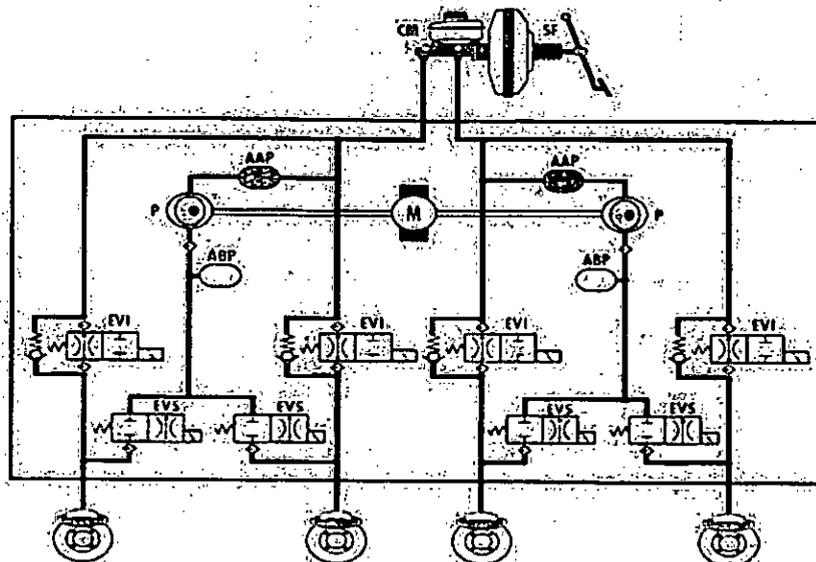
Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

### 2.3.2. Comportamiento hidráulico del sistema

El sistema hidráulico está constituido por un modulador de presión que consta de los siguientes elementos.

- 8 electroválvulas de regulación.
- 4 electroválvulas de carga del líquido de frenos.
- Componentes del sistema.
- 4 electroválvulas de descarga del líquido de frenos.
- La bomba de retomo de dos pistones.
- 2 acumuladores de alta presión.
- 2 acumuladores de baja presión.

FIGURA N° 2.5  
ESQUEMA HIDRÁULICO



Fuente: Manual del entrenador de sistema de frenos antibloqueo Autotrónica tomo 1/3

Donde:

- CM: Cilindro principal.
- SP: Servo freno de depresión.

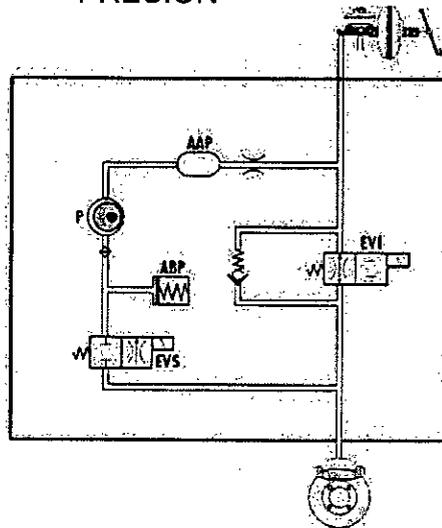
- AAP: Acumulador de alta presión.
- ABP: Acumulador de baja presión.
- M: Motor de la bomba de retorno.
- P: Pistón de la bomba de retorno.
- EVI: Electroválvula de entrada.
- EVS: Electroválvula de descarga.

### Controles

En las condiciones de reposo, el líquido de los frenos llevado al valor de la presión atmosférica ambiente alimenta las zapatas de los frenos a través de la válvula de carga (EVI) normalmente abierta.

Ya que ninguna fuerza está aplicada al pedal del freno, no se tiene ninguna presión en el circuito hidráulico.

FIGURA N° 2.6  
INTERVENCIÓN DEL SISTEMA ABS CON MANTENIMIENTO DE LA PRESIÓN



Fuente: Fuente: Manual del entrenador de sistema de frenos antibloqueo  
Autotrónica Tomo 1/3

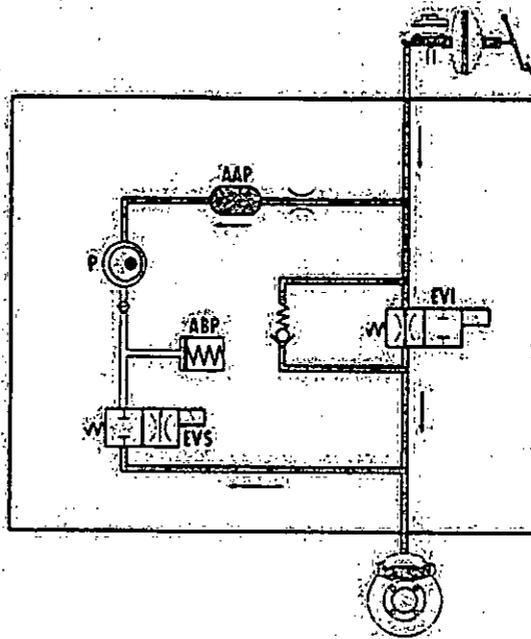
Al aplicar una fuerza al pedal del freno, en el circuito hidráulico se desarrolla una presión proporcional a la fuerza aplicada.

Esta presión se traduce en fuerza de frenado aplicada a las ruedas, con reducción de la velocidad y corrimiento de las gomas.

Los sensores de velocidad informan a la centralita sobre el corrimiento de las ruedas con una frecuencia proporcional a la velocidad de rotación de sendas ruedas.

Cuando las ruedas no están bloqueadas la válvula **EVI** no es controlada por el módulo **ABS**, por lo que la misma permanece abierta permitiendo el paso del líquido presurizado.

FIGURA N° 2.7:  
FRENADO SIN BLOQUEO DE LAS RUEDAS



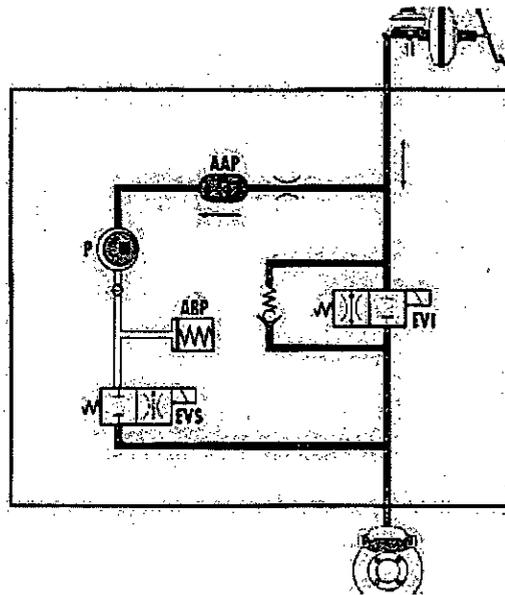
Fuente: Manual del entrenador de sistema de frenos antibloqueo Autotrónica Tomo 1/3

En caso de bloqueo de una o más ruedas la frecuencia de la señal emitida se aproxima al valor cero. El módulo ABS interviene limitando la

presión del correspondiente circuito hidráulico a través de la válvula de carga EVI, la válvula de descarga EVS y la bomba de retomo P.

En una primera fase resulta accionada la válvula EVI para cerrar el paso del líquido hacia el elemento e impedir un ulterior aumento de la presión en el circuito.

FIGURA N° 2.8  
INTERVENCIÓN DEL SISTEMA ABS CON MANTENIMIENTO DE LA PRESIÓN

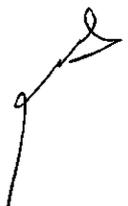


Fuente: Fuente: Manual del entrenador de sistema de frenos antibloqueo Autotrónica tomo1/3

Si la velocidad tiende a disminuir, la centralita ABS interviene para reducir la presión en el circuito hidráulico correspondiente.

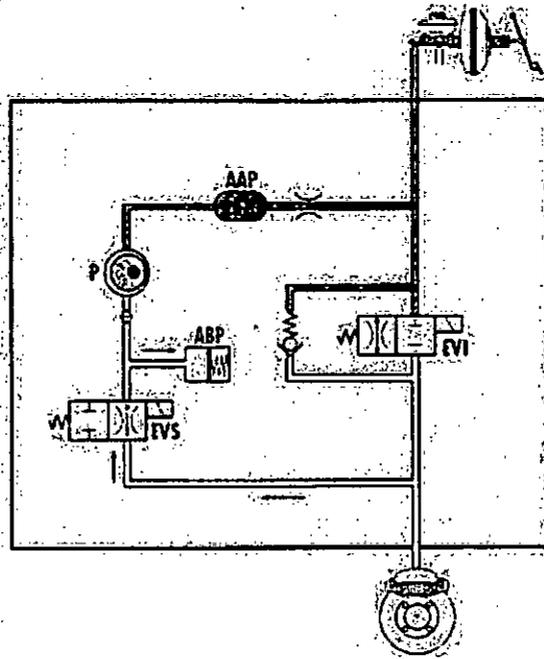
Además de mantener cerrada la válvula EVI, la centralita hace que se abra la válvula EVS para descargar la presión del circuito de freno.

Asimismo, una parte del líquido puede llegar al acumulador de baja presión, mientras está accionada la bomba de retomo que extrae el líquido del circuito y vuelve a presurizarlo para enviarlo otra vez a la bomba de frenos.



El acumulador de alta presión situado entre la bomba de retomo y la bomba de frenos atenúa las pulsaciones hidráulicas evitando asimismo fastidiosos contragolpes en el pedal del freno.

FIGURA N° 2.9  
INTERVENCIÓN DEL SISTEMA ABS CON REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN



Fuente: Manual del entrenador de sistema de frenos antibloqueo Autotrónica

Después de la reducción de la presión que evita el bloqueo de las ruedas, la frecuencia emitida por el sensor de velocidad tiende a aumentar, indicando de esta manera a la centralita electrónica que la rueda vuelve a tener adherencia.

Es preciso aumentar otra vez la presión del circuito para garantizar también reducidas distancias de parada.

La centralita desactiva la válvula EVS (ésta vuelve a cerrarse) y abre la válvula EVI, permitiendo asimismo el restablecimiento de la presión de frenado y la parada del vehículo.

## 2.4. MODELO MATEMÁTICO DE SISTEMA

El sistema de frenado ABS tiene como misión disminuir la velocidad del vehículo considerando los factores indicados, para controlar adecuadamente el vehículo, su estabilidad en la conducción, Dirigibilidad y distancia de parada.

Para realizar control del sistema con frenos ABS es posible con una electrónica con algoritmos y hardware actualizados, Existen factores que intervienen en un proceso de frenada como las condiciones del estado del vehículo, de las ruedas (neumáticos) y de la calzada (pavimento).

Existen dos factores importantes a tener en cuenta para análisis y diseño del controlador Fuzzy en el control del sistema con frenos ABS tales como:

- Deslizamiento ( $S$ ): entre Rueda y pavimento
- Adherencia ( $\mu$ ): entre la rueda( neumático) y la fuerza vertical

Uno de los factores importantes es el **deslizamiento ( $S$ )** se produce cuando la velocidad angular o de giro de la rueda no se corresponde con la velocidad lineal del coche.

Puede darse el deslizamiento tanto por:

- **Aceleración** (al arrancar fuerte sobre una superficie deslizante, las ruedas giran más deprisa de lo que corresponde a la velocidad del coche)
- **Frenada** (al pisar los frenos, si se bloquean las ruedas, giran más despacio de lo que corresponde a la velocidad del coche).

Una de las formas de medir el deslizamiento es el «**coeficiente de deslizamiento aparente**».

Por ejemplo para el caso de frenada:

Si en un instante la rueda gira a 100 rpm (12 km/h en una rueda de 2 m de desarrollo) y la velocidad del eje de la rueda es 14 km/h, hay un coeficiente

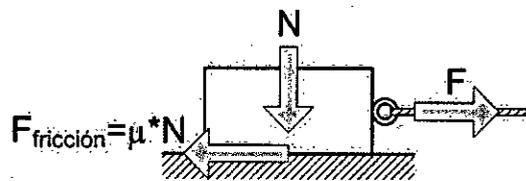


de deslizamiento aparente de un 20 por ciento (aproximadamente) esto es para el caso de frenada.

**Coefficiente de adherencia  $\mu$ .** La física define que la fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza perpendicular a la superficie de contacto entre estos dos cuerpos.

Cuanto aumenta más esta fuerza vertical este aumenta la fuerza de rozamiento

FIGURA N° 2.10  
DESPLAZAMIENTO DE OBJETO



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

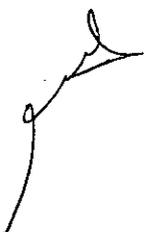
Definición matemática

$$\mu = \frac{F_{\text{friccion}}}{N}$$

Esta definición se puede aplicar, La fuerza de adherencia que un neumático puede proporcionar si aumentamos, cuando se aumenta la fuerza que caiga sobre el pero será algo menor

El valor de este coeficiente de adherencia depende de las características:

- Tipo de vehículo.
- Tipo de los neumáticos.
- Del sistema de frenos.
- Pavimento.
- Velocidad del vehículo.
- Del deslizamiento (S) existente entre rueda y carretera.



### 2.4.1. Modelamiento de la Rueda

La rueda del automóvil, constituye el único punto de unión entre el vehículo y el suelo.

El neumático, con pocos  $\text{cm}^2$  en contacto con el suelo, debe cumplir un gran número de misiones muchas veces contradictorias.

El automóvil al circular varía constantemente su estado, acelera, frena o gira. Estos estados son producidos por un determinado número de fuerzas sobre el vehículo y la su suma de las fuerzas se denomina dinámica del vehículo.

Si la suma de todas las fuerzas es cero, significa que está en reposo o sea parado.

Si la suma de todas las fuerzas es diferente de cero, significa que el automóvil esta en desplazándose.

Todas estas fuerzas varían en función de una magnitud física denominada **aceleración**, responsable de modificar la velocidad y dirección del automóvil.

Para el caso cuando aceleramos el automóvil esto corresponde a una aceleración positiva y cuando frenamos el automóvil se trata de una aceleración negativa.

Fuerzas que intervienen en una rueda

- **Fuerza de tracción** es producida por el motor y genera el movimiento.
- **Fuerza de guiado lateral**, responsables de conservar la direccionalidad del vehículo.
- **Fuerza de adherencia** depende del peso del vehículo que recae sobre la rueda.
- **Fuerza de frenado**, Esta en dirección contraria al movimiento de la rueda. Está relacionado con la fuerza de adherencia y del coeficiente de rozamiento entre el pavimento (pista o otro) y la rueda.

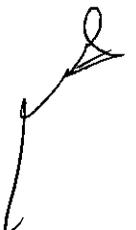
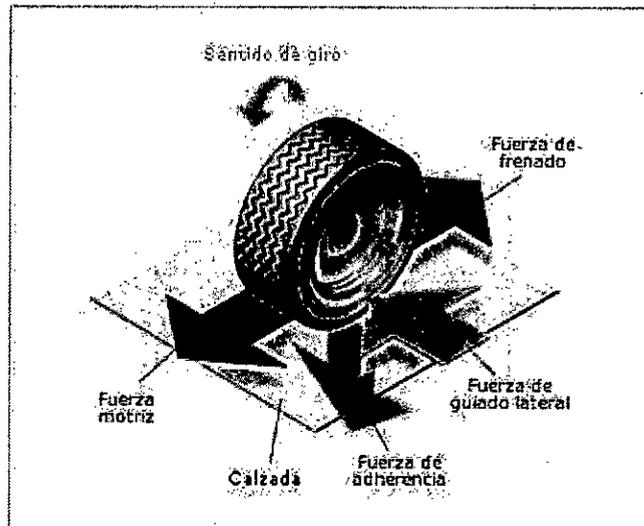
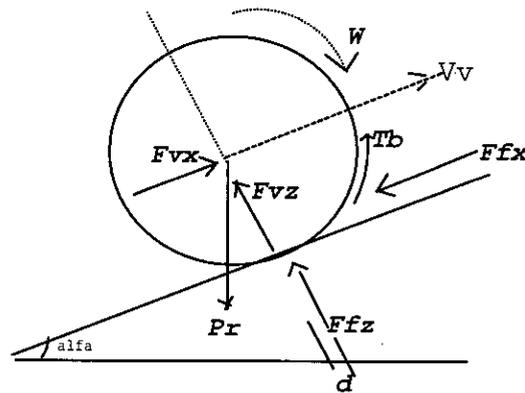


FIGURA. 2.11  
RUEDA DEL AUTOMÓVIL Y LAS FUERZAS QUE ACTÚAN



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

FIGURA N° 2.12  
SISTEMAS DE FUERZAS EN UNA RUEDA PARA UNA PENDIENTE



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

En la figura 2.7 se muestra el sistema de fuerzas y pares para el caso de una rueda del vehículo en una pendiente de  $\alpha$ , considerando este caso se tiene la ecuación 2.1

$$I_r * \dot{\omega} = -T_b - F_{fz} * d + F_{fx} * R_r \quad (2.1)$$

Donde:

- $I_r$  es el momento de la rueda del automóvil
- $m_r$  es la masa de la rueda del automóvil
- $R_r$  es el radio de la rueda del automóvil con carga
- $\alpha$  es la pendiente del lugar donde se encuentra el automóvil
- $d = f_r * R_r$  es la distancia de los neumáticos que origina el par de la resistencia a la rodadura o patinada o arrastre
- $f_r$  es el coeficiente de resistencia a la rodadura o arrastre
- $T_b$  es el par de la frenada
- $P_r = m_r * g$  es el peso de la rueda
- $F_{fz}$  es la reacción normal de la carretera sobre la rueda
- $F_{fx} = \mu * F_{fz}$  es la reacción tangencial del pavimento (o carretera) sobre la rueda y nos representa la fuerza de frenado y que es función de la adherencia del pavimento ( $\mu$ ) y la fuerza de la reacción normal ( $F_{fz}$ ).

La fuerza de la resistencia a la rodadura o arrastre está dado por la fuerza de la reacción normal a la carretera y por El coeficiente de resistencia a la rodadura o arrastre, esto se expresa

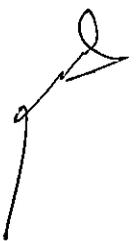
$$F_{rr} = F_{fz} * f_r \quad (2.2)$$

El coeficiente de resistencia a la rodadura o arrastre del vehículo se expresa mediante la siguiente expresión

$$f_r = f_o + f_s * (0.036 * V_v)^{2.5} \quad (2.3)$$

Donde:

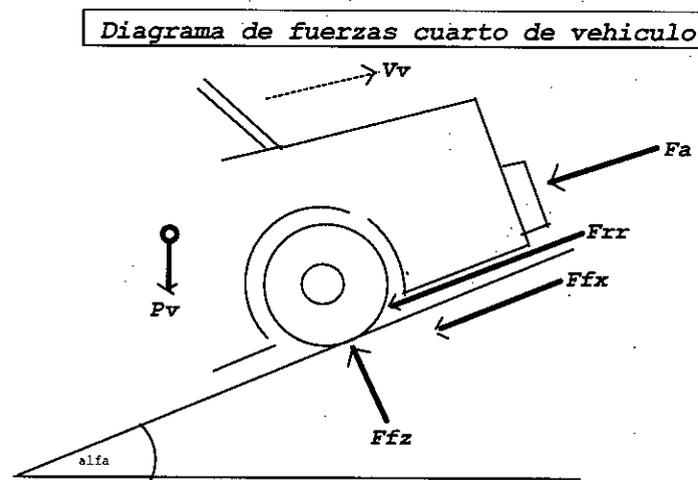
- $f_o$  y  $f_s$  son parámetros que depende del inflado de las llantas (neumáticos)



### 2.4.2. Modelamiento del Vehículo

El modelado del frenado antibloqueo ABS ha sido estudiado por medio de modelos simples (Jansen et al., 1999; Zheng et al., 2006; van Zanten, 2006). Para nuestro caso se considera un cuarto (teniendo en cuenta una rueda) del sistema vehículo tal como se muestra en la figura 2.8

FIGURA N° 2.13  
SISTEMA DE FUERZAS EN UN MODELO DE VEHÍCULO (UN CUARTO)



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

Se indican el sentido de las fuerzas que intervienen y cuando el vehículo está en movimiento se tiene la siguiente ecuación

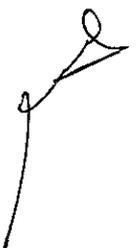
La ecuación dinámica del sistema en la figura 2.8 se considera

$$F_{fz} - P_v = 0 \quad (2.4)$$

$$m_v * \dot{V}_v = -F_{fx} - F_{rr} - P_v * \text{sen}(\alpha) - F_a \quad (2.5)$$

Donde

- $m_v$  es la masa del vehículo (un cuarto) incluye una rueda
- $P_v = m_v * g$  es el peso del vehículo ( un cuarto)



- $F_a = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V_v^2$  es la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo denominado resistencia aerodinámica al avance del vehículo
- $\rho$  es la densidad del aire
- $C_x$  el coeficiente aerodinámico
- $A_f$  es el área frontal del vehículo ( un cuarto del área frontal)

Relacionando las ecuaciones (2.1), (2.4) y (2.5) se presenta las ecuaciones de movimiento del vehículo

$$F_{fx} - F_{rr} - m_v * g * \text{sen}(\alpha) - F_a = m_v * \dot{v}_v$$

$$-T_b + (F_{fx} - F_{rr}) * R_r = I_r * \dot{W} \quad (2.6)$$

Considerando las ecuaciones (2.6), la fuerza de frenado es  $F_{fx}$  es la fuerza a estimar o a medir, esta fuerza está en función del deslizamiento (S) y de la fuerza normal a la carretera (pavimento)  $F_{fz}$ . Se puede aproximar la relación de la fuerza  $F_{fx}$  con el deslizamiento S y la fuerza  $F_{fz}$  considerando relaciones empíricas, Se puede escribir el modelo según Dugoff

$$F_{fx} = \begin{cases} \frac{C_s * S}{1-S}, & \text{si } \frac{C_s * S}{1-S} < \frac{\mu * F_{fz}}{2} \\ F_{fz} * \left[ \mu - \mu^2 \frac{F_{fz}(1-S)}{4 * C_s * S} \right], & \text{si } \frac{C_s * S}{1-S} > \frac{\mu * F_{fz}}{2} \end{cases} \quad (2.7)$$

Donde:

- $C_s$  es la rigidez longitudinal de las ruedas ( neumáticos)

El coeficiente de adherencia ( $\mu$ ) se puede escribir como:

$$\mu = \mu_0 * e^{\frac{PNG * V_v * S}{100}}$$

Donde:

- $\mu_0$  se denomina coeficiente de adherencia para velocidad nula
- $PNG$  se denomina porcentaje de gradiente normalizado que depende de la textura de la carretera (pavimento calzada)

También se puede utilizar otra fórmula más, considerando la ecuación (2.7), es una fórmula que nos relaciona con la ecuación (2.1)

$$\mu = C_f \frac{S * [1 + 3 * S * (1 + \frac{V_v}{V_{max}}) + S^2]}{0.15 + 5 * S^2} \quad (2.8)$$

Donde

- $C_f$  se denomina coeficiente máximo de adherencia para superficie
- $V_{max}$  se denomina velocidad máxima del vehículo con la cual se normaliza las velocidades

La ecuación (2.8) se presenta de otra forma modificando algunos parámetros esto se realiza con la finalidad de obtener una presentación adecuada para la simulación en la presentación de los algoritmos entonces el coeficiente de adherencia se escribe

$$\mu = \mu_0 \frac{S^a * [1 + d * S * (1 + \frac{V_v}{V_{max}}) + S^b]}{0.1563 + 5.2 * S^c} \quad (2.9)$$

Donde:

- $\mu_0, a, b, c, d$  Son parámetros para diferentes de calzada o pavimentos, estos parámetros se dispone considerando la tabla N° 2.1



TABLA N° 2.1  
PARÁMETROS DE  $\mu_o$ , A, B, C, D PARA DIFERENTES CALZADAS

Calzada (pavimento)	$\mu_o$	a	b	c	d
Asfalto seco	1	0.6	1.0	1.45	4
Asfalto húmedo	0.8	0.7	1.5	1.8	3
nieve	0.6	0.9	1.5	1.8	2
Hielo	0.4	1.2	1.5	2.3	0.5

Fuente: UNAC (2018) elaboración propia

### 2.4.3. . Controladores para el sistema de frenos antibloqueo ABS

En un sistema de control de frenos ABS, el controlador realiza la regulación del deslizamiento para un valor óptimo como referencia o señal deseada, el sistema de frenos ABS por ser un sistema no lineal, es difícil de modelar con precisión.

Considerando lo indicado el algoritmo de control Fuzzy es el algoritmo reconocido para ser implementado en sistemas no lineales de alto grado y variables en el tiempo

La teoría de conjuntos difusos es usado en control, modelado, procesamiento de imágenes y señales, sistemas expertos, etc., pero en el campo del control es más usado.

Considerando que los sistemas con controladores difusos son naturalmente no lineales, se los puede configurar para ajustarse a cualquier función, es decir que pueden emular funciones lineales pero en general se trabaja con configuraciones no lineales. En general, pues, se trabaja con configuraciones no lineales, por lo que las herramientas de diseño y análisis de control lineal no serán útiles en estos sistemas borrosos, de todos modos se hacen aproximaciones lineales para utilizar en alguna medida las herramientas bien



conocidas del control lineal, se puede recurrir a esto ya que aún están en desarrollo las herramientas de diseño y análisis de sistemas borrosos.

### **Controlador con lógica borrosa**

Un controlador es un instrumento cuya función es hacer que se cumpla algún objetivo planteado en una planta o proceso.

Existen distintos métodos para lograr los objetivos de control, consideraremos el control realimentado (lazo de realimentación) por ser muy robusto, simple y también el modelo del proceso puede ser aproximado.

En el control del proceso de freno ABS se tienen linealidades y también conocer los parámetros es complejo por estas consideraciones el ingeniero de control se utiliza el método de control fuzzy.

Para el diseño, simulación e implementación de un controlador con lógica difusa se debe tener en cuenta algunos aspectos, las siguientes leyes que ayudan en la etapa de diseño.

1° Ley: "El mejor sistema de control es aquél más simple que realiza el proceso de control".

Considerando las soluciones posibles para que el sistema funcione, se debe optar por la más simple.

2° Ley: "Se debe modelar o estudiar el proceso antes de realizar el control del proceso"

Todas las estrategias de control solucionará el problema si se conoce como trabaja el proceso.

3° Ley: "Todas las variables físicas siempre debe ser controlado".

Se debe garantizar la estabilidad del sistema

El objetivo del controlador con lógica difusa es resolver problemas no lineales de control a partir de soluciones simples o más simples que otras, a partir de la experiencia de trabajar con el proceso, convirtiéndose esta en la base de conocimiento requerida.



## Estructura de un controlador con lógica difusa

El controlador tiene como entradas a la señal de referencia (señal deseada) y la señal medida o realimentado (salida del proceso), como salida del controlador tenemos la señal de control que se conectan a la entrada de los actuadores.

Normalmente las variables de entrada (referencia y salida del proceso) necesitan un procesamiento o requieren de ganancias para que lleguen a la base de reglas del controlador difuso, es decir al sistema de inferencia propiamente dicho, a esta etapa se le llama pre procesado, las operaciones comunes aquí son *escalamiento*, *conversión a digital*, *eliminación de ruido* y *tendencias*, obtención de la señal de error, derivación e integración.

La salida también puede requerir algún tipo de procesamiento, a este se le llama post-procesado.

El tipo de controlador es determinado por el pre procesado, aunque el post-procesado también puede determinar el tipo de controlador.

En la Figura se observa un esquema general del controlador difuso

## Control Difuso Proporcional, Integral y Derivativo

La acción integral ayuda a error en estado estacionario se mantenga al valor cero, junto con el controlador proporcional-derivativo la performance del controlador se incrementa. La estructura básica de un controlador PID es:

$$u_n = K_P [e_n + \frac{1}{T_I} \sum_{j=1}^n e_j * T_d + T_d * \frac{e_n - e_{n-1}}{T_s}] \quad (2.10)$$

El índice n es referido al instante de tiempo.

Para sintonizar nosotros queremos activar y ajustar los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ .

El controlador difuso PID presenta tres términos de entrada: error, error integral, y el error derivativo

Una base de la regla con tres entradas, sin embargo, fácilmente llega a ser bastante grande y, como se mencionó anteriormente, las reglas acerca de la acción integral son una molestia.

Por consiguiente es común separar la acción integral como en el controlador difuso PD+I (DPD+I).

El error integral se computa como:

$$ie_n = \sum_i e_i * T_i \quad (2.11)$$

El controlador es una función de las tres entradas.

$$U_n = [f(GE * e_n, GCE * ce_n) + GIE * ie_n] * GU \quad (2.12)$$

Aproximación lineal es:

$$U_n = [GE * e_n + GCE * ce_n + GIE * ie_n] * GU \quad (2.13)$$

$$U_n = GU * GE \left[ e_n + \frac{GCE * ce_n}{GE} + \frac{GIE}{GE} * ie_n \right] \quad (2.14)$$

Donde los parámetros son:

$K_p$ : Ganancia Proporcional

$T_d$ : Tiempo derivativo

$T_i$ : Tiempo integrativo

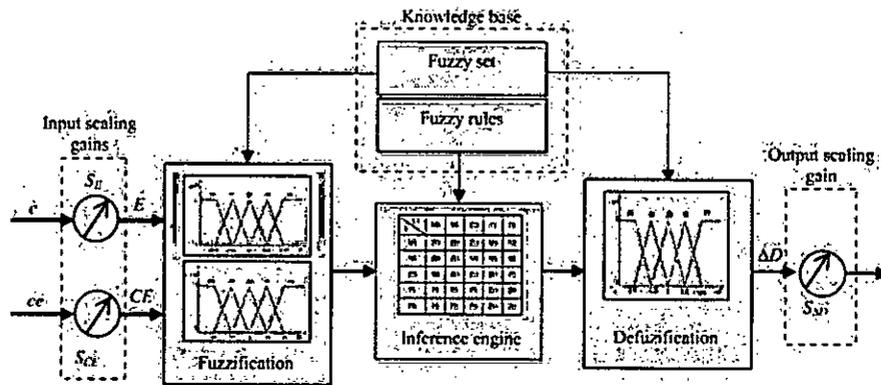
$$K_p = GU * GE, \quad T_d = \frac{GCE}{GE}, \quad \frac{1}{T_i} = \frac{GIE}{GE} \quad (2.15)$$

Este controlador proporciona todos los beneficios de un controlador PID

- Entradas: E → error; CE: → cambio de error
- Salida: D: → variación del ciclo útil



Fig. 2.14  
Diagrama del algoritmo Fuzzy

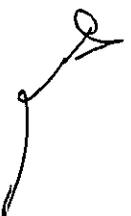


Fuente: UNAC (2018) autoría propia

Las dos entradas alimentadas a FLC son:

Cambio en error:  $CE(k) = E(k) - E(k - 1)$

- Error actual  $E(k)$
- Error anterior  $E(k-1)$



## 2.5. Definición de Términos

**FIS** Sistema de Inferencia Difusa

**FLC** (Fuzzy Logic Control) lógica de control difuso

**FPID** Controlador Difuso Puro

**PD** Proporcional Derivativo

**PID** Proporcional Integral Derivativo

**Wr** Posición angular de la rueda que simula al vehículo.

**Vw** Velocidad angular de la rueda que simula al vehículo.

**S** Deslizamiento es la diferencia relativa de las velocidades de la rueda con respecto al terreno.

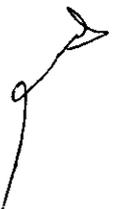
$T_b$  Torque de frenado.

$\mu$  Fricción de contacto entre la rueda y el terreno (adherencia)

$F_{fz}$  Fuerza normal de reacción de la carretera sobre la rueda.

**Fuerza de frenado** Fuerza de Fricción tangencial del terreno sobre la rueda ( $\mu F_{fz}$ ).

**ABS**= Sistema de antibloqueo dispositivo utilizado en automóviles y en modelos avanzados de bicicletas



### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis General

Empleando conocimientos de ingeniería, así como material y equipos disponibles en el mercado; es posible el diseño y la simulación de un sistema de control para sistema de freno antibloqueo ABS utilizando lógica difusa, El algoritmo de control por lógica difusa aplicado, debe generar la señal de control para que el deslizamiento ( $S$ ) se mantenga en el valor deseado o de referencia ( $R_s$ ) según las condiciones del terreno, esto cuando la fuerza de fricción alcanza su máximo Valor.

Considerando que el deslizamiento ( $S$ ) es un parámetro fundamental para el funcionamiento del ABS, la eficiencia del ABS puede variar según las condiciones del terreno, lo que deja un importante compromiso a la hora de diseñar un controlador que pueda regular o controlar el deslizamiento de la rueda.

#### 3.2. Definición de las variables

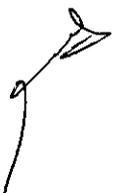
En el presente trabajo de investigación se consideran las siguientes variables.

**S:** Sistema de control de frenos antibloqueo ABS con lógica fuzzy (variable dependiente).

**N:** Necesidad de modelar y controlar la velocidad ( $W$ ), Aceleración lineal ( $\dot{V}_p$ ), distancia en el proceso de frenado antibloqueo ABS con controlador por lógica fuzzy (variable independiente).

**R:** La señal del deslizamiento ( $S$ ) como señal de referencia (punto de consigna), producido por una fuerza de frenado (variable independiente)

##### 3.2.1. Operacionalización de Variable



- **Indicadores de la variable S**

Un sistema de frenos antibloqueo ABS con controlador Fuzzy es un conjunto de elementos que conforman para evitar el bloqueo de la llanta y optimizar la eficiencia de frenado manteniendo al mismo tiempo el control sobre el vehículo, para cumplir con este objetivo es necesario diseñar y simular el sistema de frenado ABS con controlador Fuzzy, esto implica que debemos mantener el **deslizamiento** vehículo en un valor particular, según las condiciones del terreno.

- **Indicador de la variable N**

En un sistema de frenos antibloqueo ABS con control Fuzzy Durante la aceleración o el frenado, las fuerzas de fricción generadas son proporcionales a la carga normal del vehículo, donde el coeficiente de proporción, es el llamado **coeficiente de adherencia o coeficiente de contacto** denotado por  $\mu$  y se demuestra que ' $\mu$ ' es una función no lineal del deslizamiento de la rueda 'S', considerar la rueda, terreno, vehículo

- **Indicador de la variable R**

El valor de deslizamiento de la rueda no tiene que ser necesariamente constante, el deslizamiento de referencia se considera como una función no lineal de algunas variables físicas incluyendo la velocidad del vehículo y depende directamente de las condiciones del terreno



TABLA N°3.1.

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	INDICADORES
T: Sistema con control Fuzzy de frenos antibloqueo ABS , Deslizamiento	T1: Vehículo T2: Controlador Fuzzy T3: Regulación del deslizamiento T3: Par de frenada T3: Algoritmo de control Fuzzy
N: Velocidad Angular, aceleración ,	N1: Nivel del coeficiente de adherencia N2: Nivel del deslizamiento N3: Nivel de presión de las válvulas del sistema hidráulico N4: Terreno en el cual se desplaza el vehículo
R: Valor de consigna del deslizamiento, error del deslizamiento, velocidad de cambio del error del deslizamiento	R1: Valor óptimo del deslizamiento R2: Minimizar el error del deslizamiento R3: Rapidez para acercarnos o alejarnos del valor de consigna del deslizamiento

Fuente: UNAC (2019) Autoría propia



#### IV. DISEÑO METODOLOGICO

Se identificaron, relacionaron y delimitaron las variables y procesos del objeto de estudio, partiendo de la hipótesis se realizó el análisis de los datos colectados que sirvieron para corroborar o contrastar lo expresado en la hipótesis

##### **Hipótesis de partida.**

Para poder diseñar y simular en nuestro laboratorio el sistema de control de frenos antibloqueo por lógica difusa hemos planteado una serie de hipótesis iniciales selección de las variables de entrada al controlador y la salida.

La finalidad es poder aproximarnos a unas condiciones reales prefijadas para el posterior análisis de los resultados.

##### **Los datos de partida son los siguientes:**

- Este proyecto se basa en obtener el modelo matemático de un sistema de frenos antibloqueo ABS con la finalidad de verificar su desarrollo dinámico del sistema de frenos.
- Presentar y evaluar el desarrollo del algoritmo de control por lógica Fuzzy para sistema de frenos antibloqueo ABS, considerando que este controlador se utiliza en la industria por tratarse que el sistema de frenos es no lineal.
- Presentar y evaluar el desarrollo del algoritmo de control por lógica Fuzzy en combinación con el control PID para sistema de frenos antibloqueo ABS.
- Simular el comportamiento de los controladores por lógica Fuzzy y con PID.
- Mostrar las ventajas y desventajas de los esquemas de control simulados y su implementación para futuros trabajos.



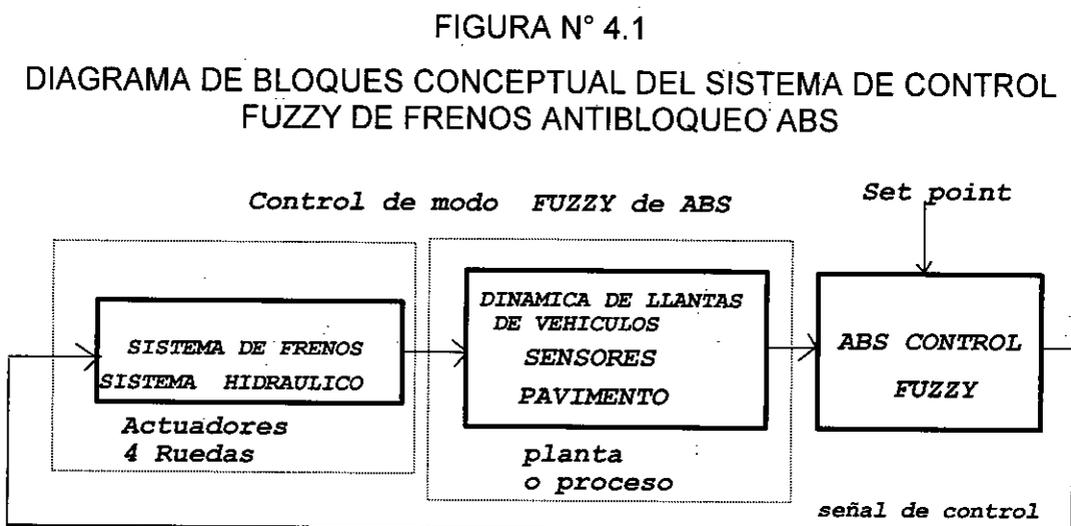
- Estas técnicas constan de muchos aspectos, como la complejidad, la velocidad de convergencia, implementación de hardware, sensores necesarios, costo, rango de efectividad y necesidad de parametrización.

#### 4.1. Tipo y diseño de la investigación

Este proyecto es una Investigación Aplicada (Tecnológica) se engloba dentro del sector de la automoción, y en particular en el área tecnológica de los sistemas de control de frenada de vehículos.

#### Hardware general del sistema.

El modelo de vehículo y la estrategia de control. Se realizaron tal como se ilustra a continuación, en la figura.



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

#### 4.1.1. Algoritmos de control ABS

El desarrollo del control electrónico de freno ABS debe considerarse las siguientes metas:

- a) En un rendimiento Adecuado, el control debe operar en un punto de equilibrio inestable.
- b) Considerar las condiciones de la carretera, entonces el par máximo de frenado puede variar en un amplio rango.
- c) Considerando el neumático la señal de media de deslizamiento, es crucial para el rendimiento del control, es altamente incierta y ruidosa.
- d) En carreteras con disturbios del terreno, la relación de deslizamiento del neumático varía y rápidamente debido al rebote de la llanta.
- e) El coeficiente de fricción de la pastilla de freno varía de acuerdo al uso.
- f) El sistema de frenado contiene retardos de transporte que limitan el ancho de banda del sistema de control

De acuerdo a lo indicado en el marco teórico el sistema ABS consiste en un sistema de freno hidráulico convencional más unos componentes antibloqueo que afectan las características de control del ABS.

Se indica que el control del ABS es un control que presenta un alta no linealidad debido a la complicada relación entre fricción y deslizamiento.

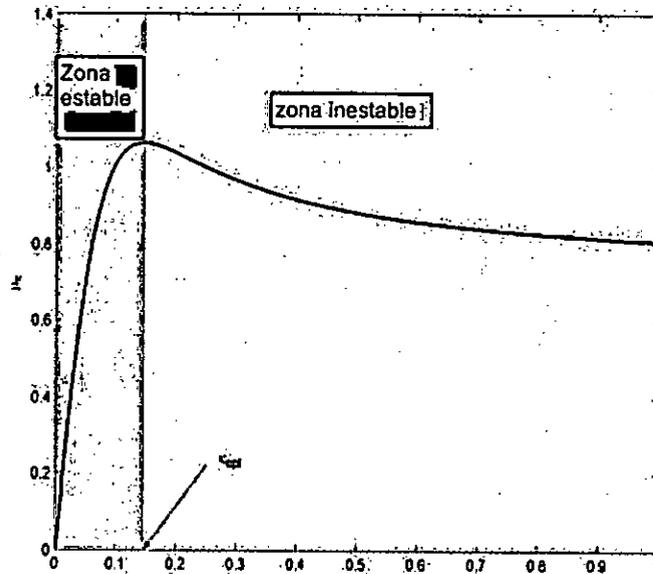
También hay que tomar en cuenta otro aspecto en este sistema de control es que la velocidad lineal de la rueda no se puede medir directamente y se debe estimar.

La fricción entre la carretera y el neumático requiere métodos especiales para medir o se requieren de sensores de alta performance.

La fricción varía notablemente en función de las características de la carretera o el terreno, figura 4.2



FIGURA N° 4.2  
CURVA FRICCIÓN-DESPLAZAMIENTO,  $\mu$ -S. PUNTO DE EQUILIBRIO  
INESTABLE.



Fuente: UNAC(2019) Autoría propia

#### 4.1.2. Método de control

##### a) Lógica Difusa

La lógica difusa se aplica a diversas áreas siendo una de ellas en los sistemas de control. Estos controladores inteligentes tienen la ventaja de poder estabilizar sistemas no lineales y trabajar en procesos complejos como el *control de sistema de freno ABS* permitiendo llevar a cabo estrategias de control usados por operadores humanos, es decir usan las reglas del experto humano de la forma IF-THEN

##### b) Conjunto difuso.

Un conjunto difuso se define como una colección de elementos que existen dentro de un universo donde cada uno de sus elementos puede o no pertenecer a este conjunto en cierto grado.

Este grado de pertenencia es definido mediante una función llamada función de pertenencia

Un conjunto difuso A en un universo U puede ser definido por un conjunto de pares ordenados de elementos x de la siguiente manera:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in U\}$$

Donde:

$\mu_A(x)$  es el grado de pertenencia en el universo de discurso U.

Si el universo de discurso U es continuo, el conjunto difuso se denota por:

$$A = \int_U (\mu_A(x)/x)$$

Si el universo de discurso U es discreto, el conjunto difuso A se escribe según la siguiente ecuación:

$$A = \sum_i \mu_A(x)/x$$

### c) Funciones de pertenencia.

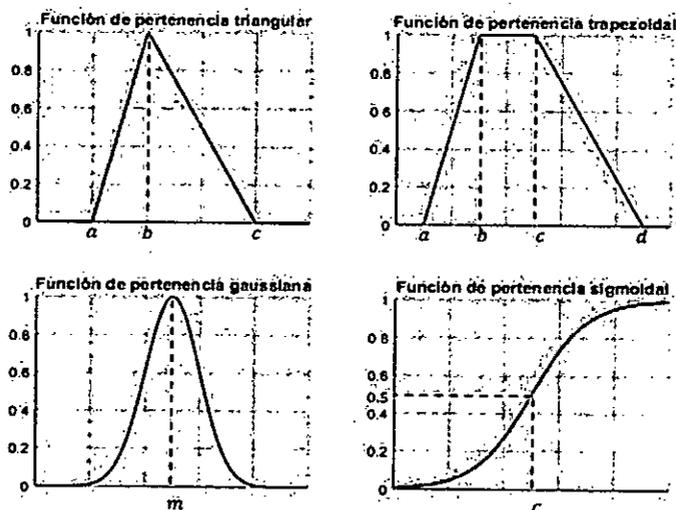
Las funciones de pertenencia o membresía representan el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto difuso, el cual tiene un valor en un rango de 0 a 1

Existen muchas funciones de pertenencia, de las cuales las más comunes son las de tipo triangular, trapezoidal, gaussianas y sigmoideal



FIGURA N° 4.3

TIPOS DE FUNCIONES DE PERTENENCIA



Fuente: UNAC (2019) Autoría Propia

d) Operaciones con conjuntos difusos.

Para dos conjuntos difusos A y B definidos en un mismo universo de discurso U, las operaciones pueden definirse de la siguiente manera:

- **Igualdad:** Los conjuntos difusos A y B serán igual si y solo si:

$$\mu_A(x) = \mu_B(x) \quad \forall x \in U$$

- **Contención:** Se dice que B contiene a A ( $A \subset B$ ), si y solo si:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \quad \forall x \in U$$

- **Complemento:** Se denota al complemento del conjunto A como  $\bar{A}$  definido también en el universo de discurso U, cuya función de pertenencia es definida por:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \Rightarrow \mu_A(x)$$



- **Unión:** La unión o disyunción de dos conjuntos difusos A y B definidos en U, es otro conjunto difuso definido en el mismo universo de discurso cuya función de pertenencia es dada por:

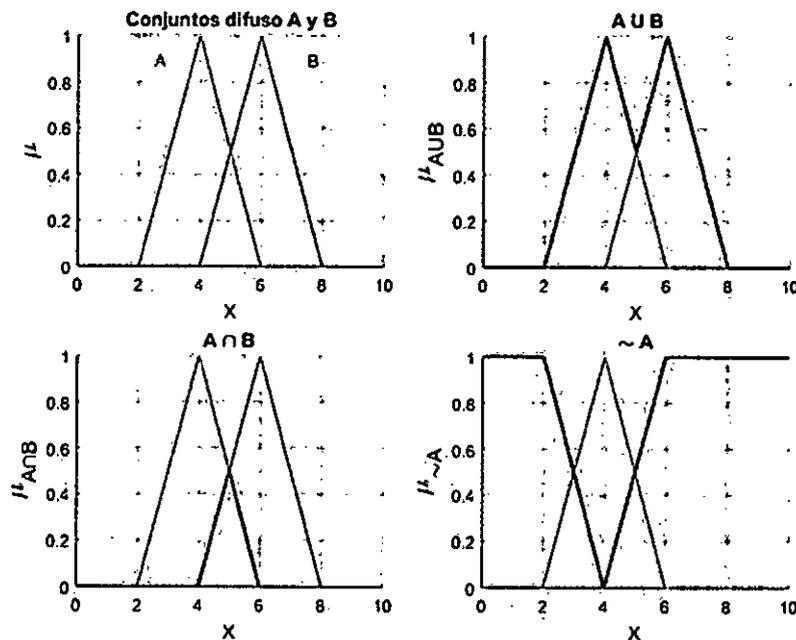
$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- **Intersección:** La intersección o conjunción de dos conjuntos difusos A y B definidos en U, es otro conjunto difuso definido en el mismo universo de discurso cuya función de pertenencia es dada por:

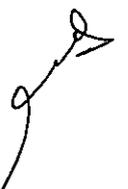
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

Gráficamente se presenta las operaciones

FIGURA N° 4.4  
OPERACIONES CON CONJUNTO DIFUSOS



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia



### e) Variables lingüísticas

Estas variables lingüísticas necesitan un nombre y un valor lingüístico sobre un universo de discurso definido, las cuales darán lugar a sentencias generadas por reglas semánticas posteriormente

De acuerdo Zadeh (1975) una variable lingüística viene definida por:

$$VL \Rightarrow (X, T, U, M),$$

donde:

- X es el nombre de la variable lingüística, X puede ser la velocidad de un carro.
- T es el conjunto de valores lingüísticos que X puede tomar, por ejemplo, para la velocidad de un carro  $T = \{\text{Bajo, Moderado, Alto}\}$ .
- U es el dominio físico actual en la cual la variable lingüística X toma valores numéricos, para el ejemplo para la velocidad sería:  
 $U = [0, V_{max}]$ .
- M es una regla semántica que relaciona cada valor lingüístico en T con un conjunto difuso en U. Por ejemplo,  $M = \text{si la velocidad es Alta entonces Aplicar el freno}$ .

### f) Sistemas de inferencia difusa

La parte fundamental de un sistema difuso consiste de reglas difusas de la siguiente forma:

*IF antecedente THEN consecuente*

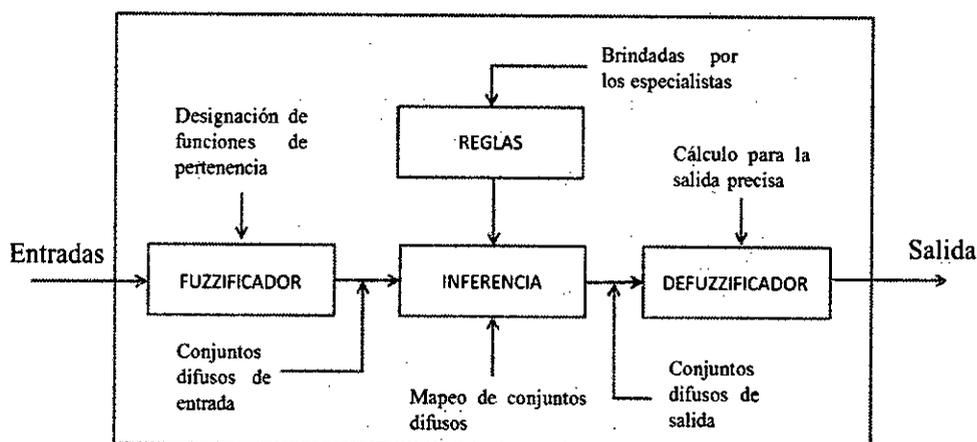
La primera parte de la regla denominada **antecedente** o premisa contiene una o más condiciones relacionadas a las entradas del sistema, mientras que la segunda parte denominada **consecuente** es la acción o función de salida que ejecutará el sistema

Este conjunto de reglas difusas de la forma IF-THEN, es necesario para el diseño de los sistemas de control difusos.



El controlador o sistema esta fundamentalmente constituidos por tres etapas las cuales son presentadas en la Figura 4.5.

FIGURA N° 4.5  
SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA



Fuente: UNAC (2019) Autoría

Donde:

- Entrada es no difuso del regulador
- Fuzificador: Convierte la entrada a conjuntos difusos; donde se asigna un grado de pertenencia
- Sistema de inferencia difusa: Se realiza las reglas difusas , con respecto a la relación de la entrada y salida
- Defuzificador: El conjunto difuso de salida resultante proveniente de todas las reglas establecidas, se realiza la interpretación de la información calculando las salidas precisas

#### g) Implicancias Difusas

La implicación difusa resultante para dos conjuntos difusos A y B viene dado por la siguiente notación:

$$(A \rightarrow B)_{(u,v)} = \mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)$$



Las implicancias difusas MAMDANI son las más empleadas en control. La implicación usada en la presente trabajo de investigación es la de Mamdani la cual permite modelar la relación causal entre las variables difusas tomando el mínimo valor verdadero de los predicados difusos.

Esta implicación viene dada por la ecuación:

$$\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(v)\}$$

#### **h) Inferencia difusa de Mamdani.**

El controlador difuso empleado en la presente trabajo de investigación es el modelo de Mamdani, el cual se caracteriza por usar conjuntos difusos en los antecedentes y consecuentes de las reglas difusas.

Una regla importante en el modelo de Mamdani posee el enunciado IF-THEN y tienen la siguiente forma:

*if x is A then y is B*

Si la regla base tiene dos entradas y una salida tendrá la siguiente forma:

*if x is A and/or y is B then z is C*

El procedimiento para realizar el algoritmo difuso viene dado por las siguientes instrucciones:

- **Fuzificador:**

Realiza la conversión de los valores numéricos dados por  $(x, y) = (x_0, y_0)$  según las escalas de los ejes x e y en valores de grados de pertenencia definidos por:

$$(\mu_x, \mu_y) = (\mu_{Ai}(x_0), \mu_{Bi}(y_0))$$

- **Operación difusa en el antecedente**

Obteniendo el grado del fuzificador, se realiza la operación difusa del conector lógico AND o PROD, vienen dados por la expresión

$$s_i(x_0) = \min(\mu_{Ai}(x_0), \mu_{Bi}(y_0))$$

$$s_i(x_0) = \mu_{Ai}(x_0) * \mu_{Bi}(y_0)$$



- **Implicación de cada regla**

Se realiza la implicación de Mamdani, en donde cada regla contribuirá al consecuente difuso mediante el operador mín o el producto de la expresión la cual tiene por argumentos al disparo proveniente de la operación difusa (si) y la función de pertenencia de salida ( $\mu_{Ci}(z)$ ).

$$D_i(z) = \min(s_i(x_0), \mu_{Ci}(z))$$

$$D_i(z) = s_i(x_0) * \mu_{Ci}(z)$$

El consecuente resultante de cada regla modifica la función de pertenencia  $C_i(z)$ .

- **Agregación:**

Denominado implicación del consecuente de cada regla, es una combinación de todas las reglas evaluadas de forma individual. Se presenta los métodos de operación: máx o sum.

$$C_{agg}(z) = \max(D_i(z))$$

$$C_{agg}(z) = \text{sum}(D_i(z))$$

- **Defuzzificador:**

Este paso de salida consiste en la traducción de la función  $C_{agg}(z)$  en un valor crisp de salida  $z_0$ , para este proyecto se utiliza el método de Centroide.

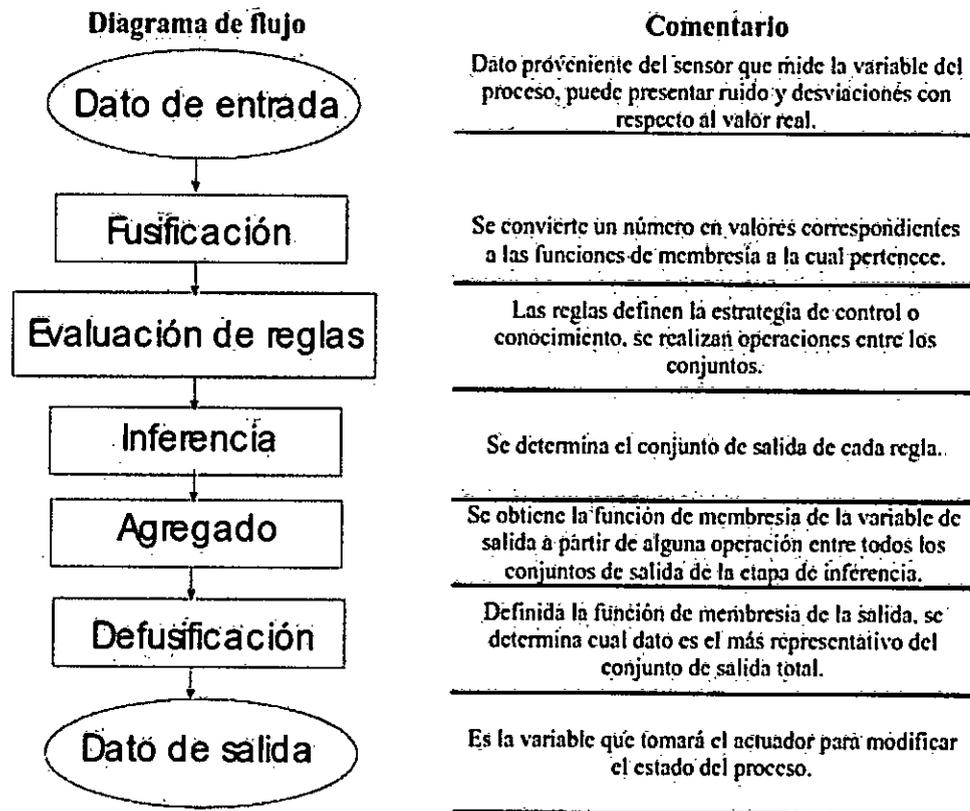
Cálculo del Centroide en forma continua:

$$= \frac{\int z * C_{agg}(z) dz}{\int C_{agg}(z) dz}$$

Cálculo del Centroide en forma discreta:

$$z_0 = \frac{\sum z_i * C_{agg}(z_i)}{\sum C_{agg}(z_i)}$$

**FIGURA N°.4.6**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS ETAPAS DEL ALGORITMO DE CONTROL POR LÓGICA FUZZY**



Fuente: UNAC (2019) autoría propia

#### 4.1.3. Estructura del controlador ABS

El controlador Fuzzy del sistema de frenos ABS se presenta según la figura 4.7

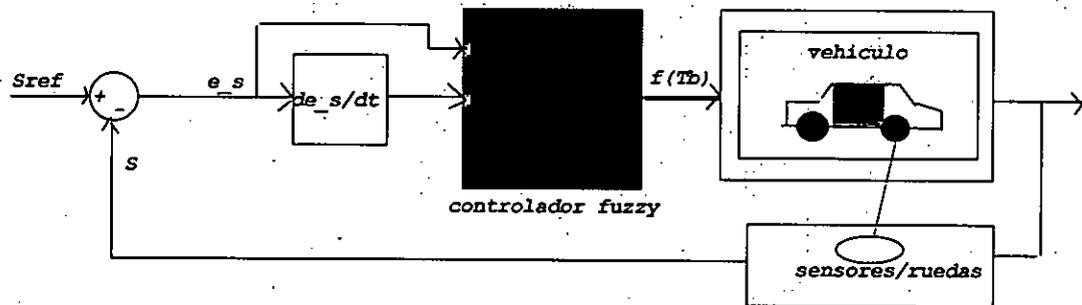
- El sistema dispone del  $S_{REF}$  es la señal de referencia o señal deseada programado por el usuario
- El controlador genera la señal de control para minimizar la señal error  $e_s$ , esta señal se utiliza como entrada al regulador Fuzzy



$$e_s = S_{REF} - S_{med}$$

- Otra señal de entrada del regulador Fuzzy es la derivada del deslizamiento  $\dot{e}_s$  este nos permite ver con que velocidad nos acercamos o alejamos del valor de referencia del deslizamiento

FIGURA N° 4.7  
SISTEMA CON CONTROLADOR ABS



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

- El controlador genera la señal de control basado en el algoritmo de control programado esta señal de control es

$$u(t) = f(T_b)$$

Donde

$T_b$  es el par de frenada

Esta señal activara las válvulas hidráulicas mediante apertura o cierre (on/off) o mediante una señal PWM para la apertura o cierre para activación de las válvulas mediante presión

Consideraciones.

#### Consideraciones:

Los inconvenientes de este control es medir el estado en el que se encuentra el terreno o calzada, e independientemente de cómo se encuentre



controlamos el deslizamiento para un valor fijo de consigna, descartando que tipo o estado de calzada el deslizamiento óptimo sea diferente al marcado como consigna.

El deslizamiento (S) no es un parámetro medible directamente, pero sí puede inferirse mediante la observación del deslizamiento producido por una determinada fuerza de frenado.

Para un pequeño par de frenada produce un deslizamiento muy grande, entonces nos encontramos en una superficie con poca adherencia como el caso del terreno con hielo.

#### 4.1.4. Importancia del Coeficiente de fricción $\mu$ contra desplazamiento longitudinal S

Para alcanzar el objetivo de control del ABS, es necesario regular el deslizamiento (S) de la rueda con el fin de maximizar el coeficiente de fricción  $\mu$  entre la rueda y el terreno.

Entonces el coeficiente de adherencia se escribe según la ecuación (2.9) dado por

$$\mu = \mu_0 \frac{S^a * [1 + d * S * (1 + \frac{V_v}{V_{max}}) + S^b]}{0.1563 + 5.2 * S^c} \quad (4.1)$$

Donde:

- $\mu_0, a, b, c, d$  Son parámetros para diferentes de calzada o pavimentos, estos parámetros se dispone considerando la tabla N° 2.1.

Se presenta la Simulación de la variación de del deslizamiento versus adherencia para diversos terrenos en el proceso de frenado para velocidad de  $V_v = 30 \frac{m}{s}$

### Programa 1: Con Matlab

```
% *****Código para graficar las curvas de adherencia versus Deslizamiento
% *****en terrenos con: Asfalto seco, Asfalto húmedo, Nieve y Hielo
%***** en control de frenado ABS con velocidad del vehículo de  $V_v = 30 \frac{m}{d}$ 

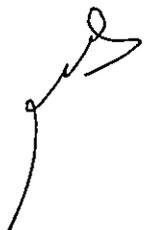
u0=1;
a=0.6;
b=1;
c=1.45;
d=4;
Vv=30;
s=0:0.01:1;
Vmax=120;
x=(1+d*s*(1-Vv/Vmax)+s.^b);
y=0.1563+5.2*s.^c;
z=1./y;
w=x.*z;
u1=u0.*(s.^a).*w;
figure
plot(s,u1, '.');
xlabel('S: Deslizamiento')
ylabel('u: Coeficiente de adherencia')
title('Curva Adherencia versus Deslizamiento')
hold on
%*****
u0=0.8;
a=0.7;
b=1.5;
c=1.8;
d=3;
Vv=30;
s=0:0.01:1;
```



```

Vmax=120;
x=(1+d*s*(1-Vv/Vmax)+s.^b);
y=0.1563+5.2*s.^c;
z=1./y;
w=x.*z;
u2=u0.*(s.^a).*w;
%figure
plot(s,u2,'r--');
hold on
%*****
u0=0.6;
a=0.9;
b=1.5;
c=1.8;
d=2;
Vv=30;
s=0:0.01:1;
Vmax=120;
x=(1+d*s*(1-Vv/Vmax)+s.^b);
y=0.1563+5.2*s.^c;
z=1./y;
w=x.*z;
u3=u0.*(s.^a).*w;
plot(s,u3,'-.');
hold on
%*****
u0=0.4;
a=1.2;
b=1.5;
c=2.3;
d=0.5;

```

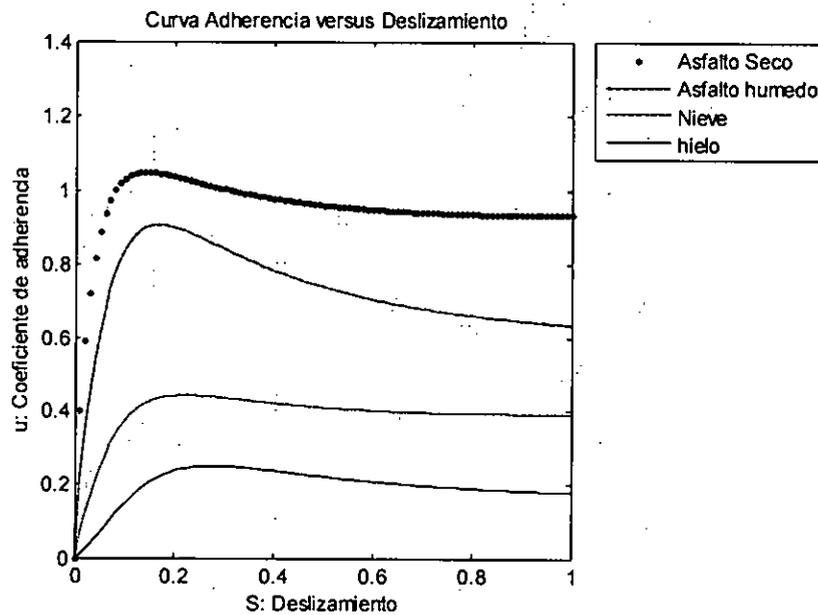


```

Vv=30;
s=0:0.01:1;
Vmax=120;
x=(1+d*s*(1-Vv/Vmax)+s.^b);
y=0.1563+5.2*s.^c;
z=1./y;
w=x.*z;
u4=u0.*(s.^a).*w;
plot(s,u4,'k-')
legend('Asfalto Seco','Asfalto humedo','Nieve','hielo',-1)
hold off

```

FIGURA N° 4.8  
 CURVAS DEL COEFICIENTE DE ADHERENCIA FRENTE AL  
 DESLIZAMIENTO PARA VARIOS TIPOS DE TERRENOS.



Fuente: UNAC (2018) autoría propia

#### 4.1.5. SIMULACIÓN DEL CONTROLADOR DIFUSO

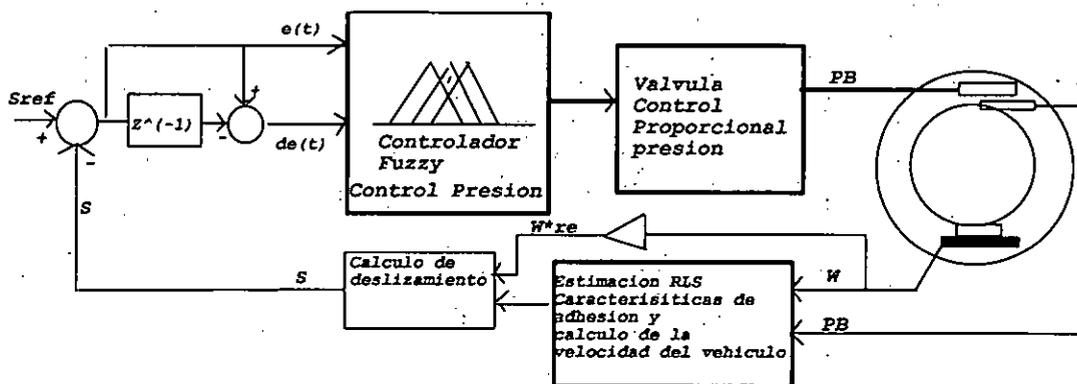
El modelado del sistema de freno ABS con controlador Fuzzy es el que se muestra en la figura del controlador se realizó utilizando la herramienta de Matlab Fuzzy Logic Toolbox. Inicialmente se definen las entradas y salidas utilizando un controlador Mamdani y el método del centroide del área para la defuzificación.

Este procedimiento se lleva a cabo utilizando el editor de sistema de inferencia difusa (FIS editor).

Las reglas difusas son incorporadas al sistema utilizando el editor de reglas del toolbox. Seguidamente con la ayuda del visualizador de reglas se logra evaluar el desempeño del sistema de inferencia difuso ante diferentes variaciones en las variables de entrada corroborando de esta forma el buen desempeño del controlador.

FIGURA N° 4.9

DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL DE FRENOS ANTIBLOQUEO ABS



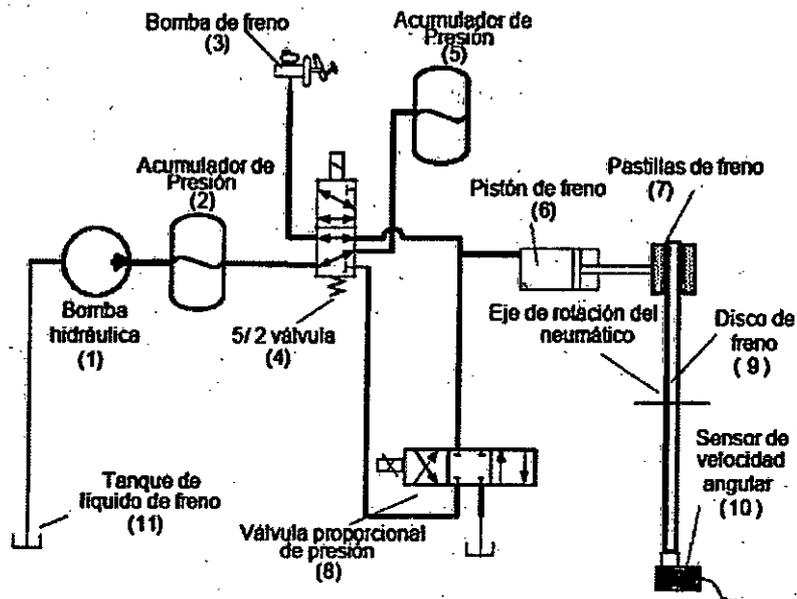
Fuente: UNAC (2019) autoría propia

El sistema de control de frenos ANTIBLOQUEO ABS es un sistema de control lazo cerrado y considerando la figura 4.9 está constituido por los siguientes bloques fundamentales:



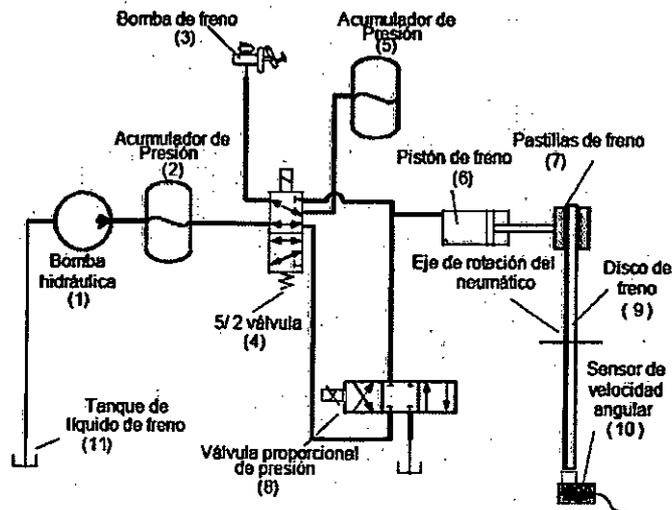
- **La planta (Proceso)** constituido por las ruedas del vehículo, El bloqueo de las ruedas es el responsable de la pérdida de direccionalidad del vehículo, lo que impide por ejemplo el poder sortear un obstáculo cuando las ruedas están deslizando.  
En La rueda está incluido las zapatas para accionar la velocidad cuando se frena y los sensores para medir la velocidad
- **Circuito hidráulico** simplificado con respecto a la configuración tradicional de un sistema ABS convencional.

FIGURA N° 4.10  
CIRCUITO HIDRÁULICO DEL CIRCUITO PARA FRENOS.  
MODO MANUAL



Fuente: (1995) Sistema de frenos Bosch

FIGURA N° 4.11  
CIRCUITO HIDRÁULICO DEL CIRCUITO PARA FRENOS.  
MODO AUTOMÁTICO



Fuente: (1995) Sistemas de frenos Bosch

### Partes del Circuito hidráulico

- a) **Válvula proporcional de presión (elemento 8)**, Realiza el control de presión, cuando se reduce la presión o cuando se aumenta debe ser controlada hasta valores óptimos, no es necesaria por ejemplo la disminución total de la presión en el caso del bloqueo.
- b) **válvula de doble efecto y tres vías, de dos posiciones (Elemento 4)**, Se activa por el sistema de control del circuito hidráulico y es desactivarla cuando el sistema de frenado antibloqueo no funciona correctamente o cuando el usuario así lo decide.
  - **Bloque para estimar el coeficiente de rozamiento  $\mu$  y para determinar la velocidad del vehículo  $V_B(t)$**

Esta etapa del sistema tiene como entrada la velocidad angular de la rueda  $\omega$ , se obtiene por un sensor, y la presión de frenado  $P_B$ , y tiene como salida los valores de velocidad lineal del vehículo  $V_B(t)$  y coeficiente de rozamiento  $\mu$ .

- **Etapa para obtener el deslizamiento existente en cada instante.**



Esta etapa tiene como entrada la velocidad del vehículo  $V_B(t)$ , la velocidad lineal del neumático  $W * r_e$ , y como salida el deslizamiento  $S$ , que se calcula mediante la relación matemática:

$$S(t) = 1 - \frac{W(t) * r_e}{v_B} \quad (4.2)$$

#### 4.2. Controlador Fuzzy de la presión de frenado

##### Diseño de la investigación

El controlador Fuzzy tiene como entrada el error  $e_s(t)$  del deslizamiento que se obtiene relacionando deslizamiento  $s(t)$  y el deslizamiento de referencia  $S_{ref}(t)$ , la otra entrada es la variación de este error en un instante de tiempo  $\dot{e}_s(t)$ ; y la salida es la presión  $P_B(t)$  es un valor entre  $[0,1]$  que indica la presión del circuito de frenado.

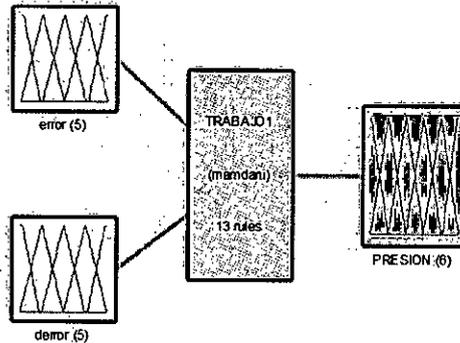
##### a) Rango de la variables del controlador

- **E error**  $e_s(t)$ , se establece un rango de  $[-1 \ 1]$ , ya que los valores de deslizamiento están siempre dentro del rango  $[0,1]$ .
- **Diferencia de error**  $\dot{e}_s(t)$ , se establece un rango entre  $[-2 \ 2]$ .
- **la variable de salida (señal de control) u:** se establece un rango entre  $[-0.2, 1.2]$ .

Para Obtener el valor de la presión en el circuito de frenada, es necesario considerar la ganancia de salida hay que multiplicar el valor de salida del control (u) por la presión máxima del sistema de frenado.



FIGURA N° 4.12  
 DIAGRAMA DE CONTROLADOR FUZZY CON LAS ENTRADAS Y SALIDAS

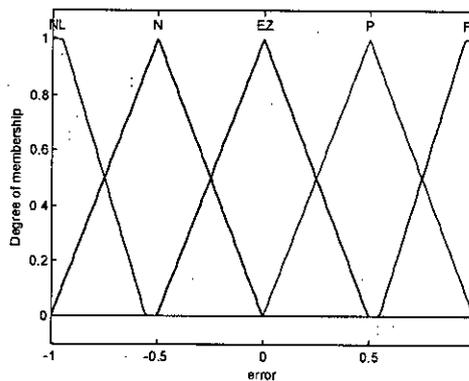


Fuente: UNAC (2019) autoría propia

**b) Funciones de pertenencias**

- Para la variable de entrada 'error'  $e(t)$  : se han programado 3 funciones de pertenencia triangulares y 2 funciones de pertenencia trapezoidales.

FIGURA N° 4.13  
 FUNCIONES DE PERTENENCIA DE LA SEÑAL ERROR



Fuente: UNAC (2019) autoría propia

**Variables lingüísticas**

Las variables son especificadas en cada tabla, para cada señal de entrada y salida del controlador fuzzy

Señal de entrada del controlador: error  $\rightarrow e(t)$  se muestra cinco variables lingüísticas

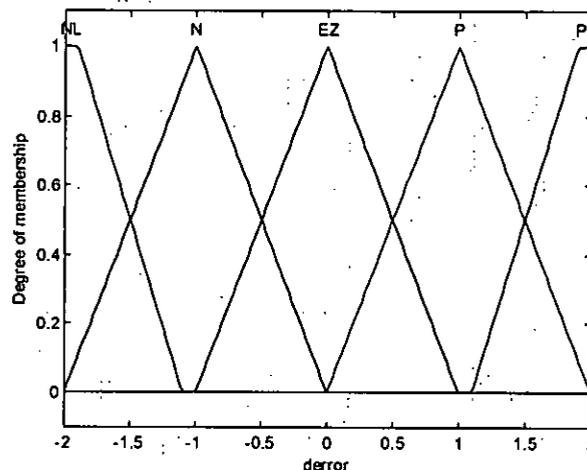
TABLA 4.1  
VARIABLE DE ENTRADA ERROR:  $e(t)$

error $[e(t)]$	
LN	error grande negativo
N	error negativo
ZE	error cero
P	error positivo
LP	error grande positivo

Fuente: UNAC (2018) Autoría propia

- **Variable de entrada derivada del error  $de(t)$ :** se han programado 3 funciones de pertenencia de tipo triangular y 2 de tipo trapezoidal.

FIGURA N° 4.14  
FUNCIONES DE PERTENENCIA DE LA SEÑAL DERIVADA ERROR



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia



Variables lingüísticas de la señal de entrada: derivada error  $\rightarrow de(t)$

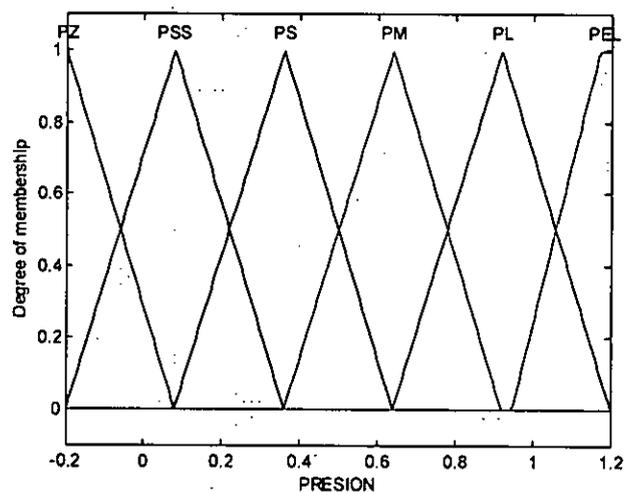
TABLA 4.2  
VARIABLE DE ENTRADA DERIVADA ERROR:  $de(t)$

Derivada de error [der(t)]	
LN	derivada grande negativo
N	derivada negativo
ZE	derivada cero
P	derivada positivo
LP	derivada grande positivo

Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

- **Variable de salida Presión:** se establecen a su vez 6 funciones de pertenencia de tipo triangular y 1 de tipo trapezoidal que definen todo el rango de salida de la variable presión, dentro del rango [0,1].

FIGURA N° 4.15  
FUNCIONES DE PERTENENCIA DE LA SEÑAL SALIDA PRESIÓN



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

Variables lingüísticas de la señal de salida: Presión→p(t)

TABLA N°4.3  
VARIABLE DE SALIDA PRESIÓN: P(T)

PRESION	
PZ	presión Zero
PSS	presión muy pequeño
PS	presión pequeño
PM	presión media
PL	presión grande
PEL	presión muy grande

Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

Una vez que se han establecido las variables de entrada al control y la variable de salida, pudiéndose representar la superficie que genera el sistema de inferencia con los distintos valores de dichas variables, se describe el comportamiento requerido por el control para poder definir las reglas que lo rigen.

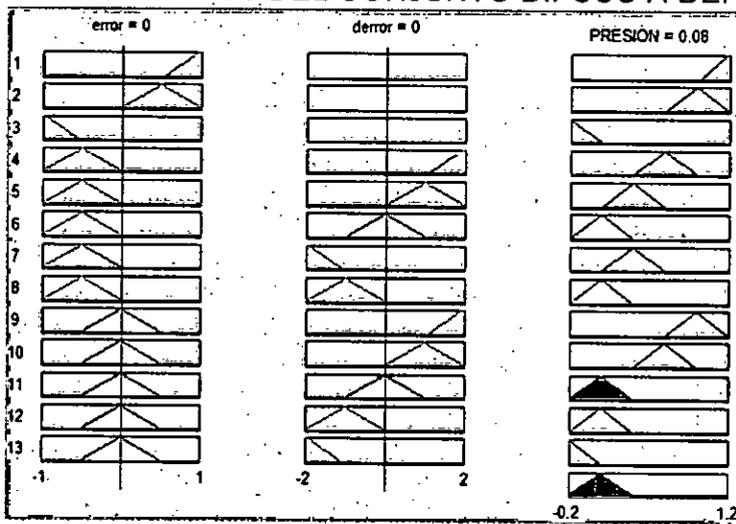
Las reglas quedan definidas de la siguiente forma o según la tabla

1. If (error is LP) then (presión is ELP)
2. If (error is P) then (presión is LP)
3. If (error is LN) then (presión is ZP)
4. If (error is N) and (diferror is LP) then (presión is MP)
5. If (error is N) and (diferror is P) then (presión is SP)
6. If (error is N) and (diferror is ZE) then (presión is SSP)
7. If (error is N) and (diferror is LN) then (presión is SP)
8. If (error is N) and (diferror is N) then (presión is SSP)
9. If (error is ZE) and (diferror is LP) then (presión is LP)
10. If (error is ZE) and (diferror is P) then (presión is MP)
11. If (error is ZE) and (diferror is ZE) then (presión is SSP)
12. If (error is ZE) and (diferror is N) then (presión is SSP)

13. If (error is ZE) and (diferror is LN) then (presión is ZP)

Se Visualización reglas en el punto de operación.

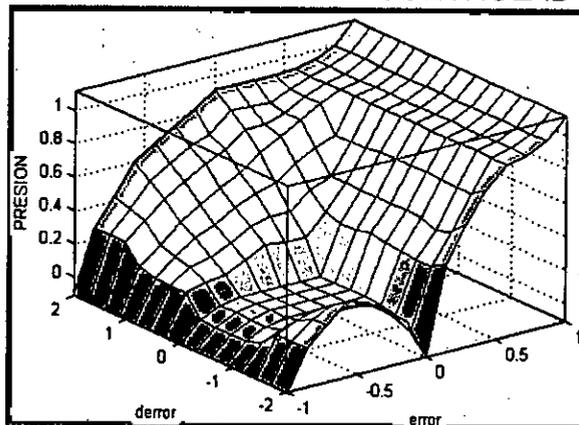
FIGURA N° 4.16  
PRESENTACIÓN DE LA REGLAS EXPRESADA CON LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA Y DEL CONJUNTO DIFUSO A DEFUSIFICAR



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

Visualización en la superficie difusa

FIGURA N° 4.17  
SUPERFICIE DIFUSA DEL CONTROLADOR



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

En la Figura N° 4.16 se ha representado el enunciado de las reglas mediante sus funciones de pertenencia tanto de entrada como de salida, claramente se observa que ninguna de estas funciones es lineal.

En la Figura N° 4.17 se muestra la superficie de control difuso que se obtiene al aplicar la base de reglas y todos los parámetros del controlador difuso, esta superficie de control es no-lineal.

#### **4.3. Población y muestra.**

Por el tipo de investigación experimental no corresponde determinar el tamaño de muestra.

#### **4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado**

Se desarrolla en la Facultad de ingeniería eléctrica y Electrónica y la Facultad de ingeniería Mecánica y Energía FIME-UNAC (Instituto de Motores).

#### **4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Debido a que no se ha determinado el tamaño de la muestra, no corresponde utilizar las técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

#### **4.6. Procedimiento estadístico y análisis de datos**

Se usará herramientas software; Excel y Matlab-Scilab, que permitirán elaborar cuadros y el análisis correspondiente para la validación de las hipótesis.

## V. RESULTADOS

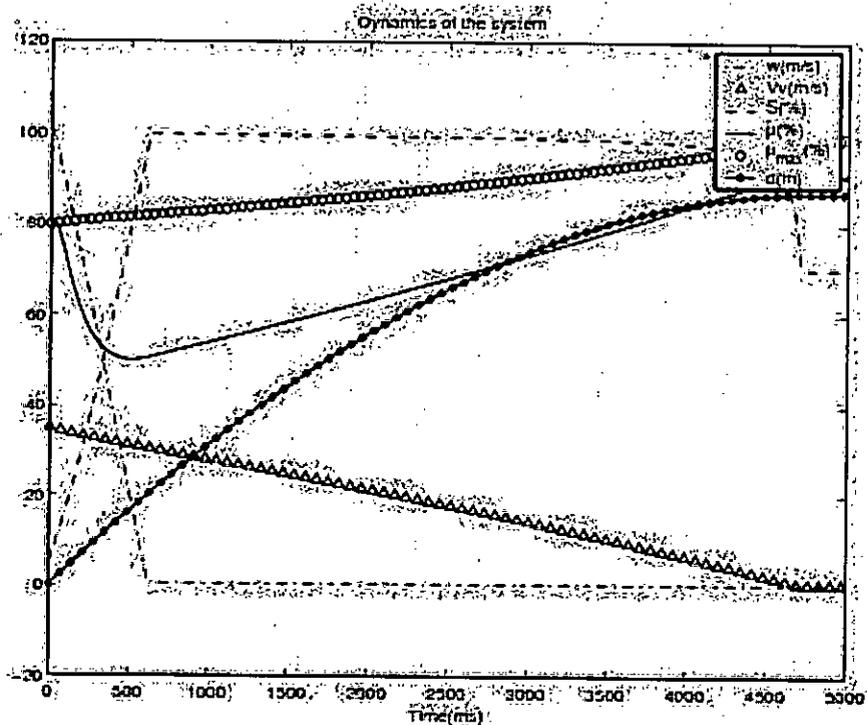
### 5.1. RESULTADOS PARA CONDICIONES DE PRUEBA ESTÁNDAR

#### 5.1.1. Respuesta del sistema en lazo abierto

Para realizar la prueba en lazo abierto del sistema sin controlador se considera las siguientes condiciones iniciales de los siguientes parámetros para una prueba de frenado.

- Velocidad :  $30 \frac{m}{s}$
- Deslizamiento :  $S=4.5 \%$
- Par de frenado constante e igual al máximo del sistema de frenos (2000 Nm)

FIGURA N°. 5.1  
RESPUESTA DEL SISTEMA DE FRENOS SIN CONTROLADOR



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

La adherencia  $\mu$  aumenta y el deslizamiento  $S$  disminuye después del frenado

La velocidad  $V_v$  disminuye y se hace cero después de 4.5s, la distancia  $d$  es de 85m

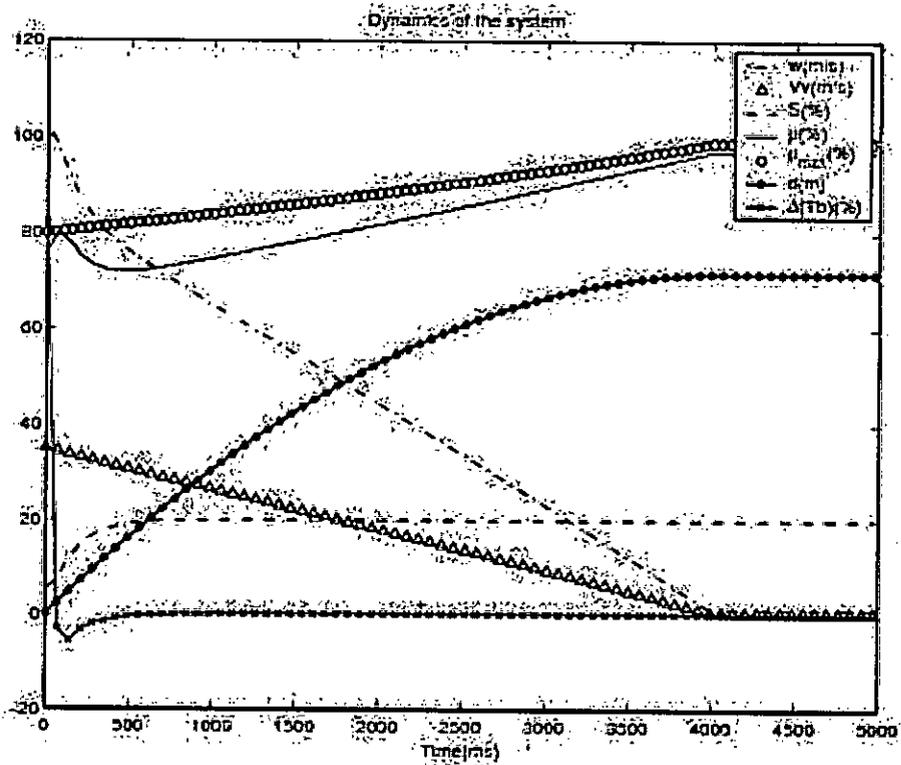
### 5.1.2. Respuesta del sistema en lazo cerrado

Aquí se realiza la simulación del sistema con el controlador Fuzzy

Considerando los parámetros para la prueba se tiene:

- Valor de referencia o deseada de deslizamiento  $S_{ref} = 18\%$
- Deslizamiento del terreno : 11%

FIGURA N°. 5.2  
RESPUESTA DEL SISTEMA DE FRENOS CON CONTROLADOR



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia.

Se observa que el controlador realiza el control, elimina el error en un tiempo de menos de 1seg.

Después de la acción de la frenada la distancia  $d$  es 70m después de 0.38s



## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

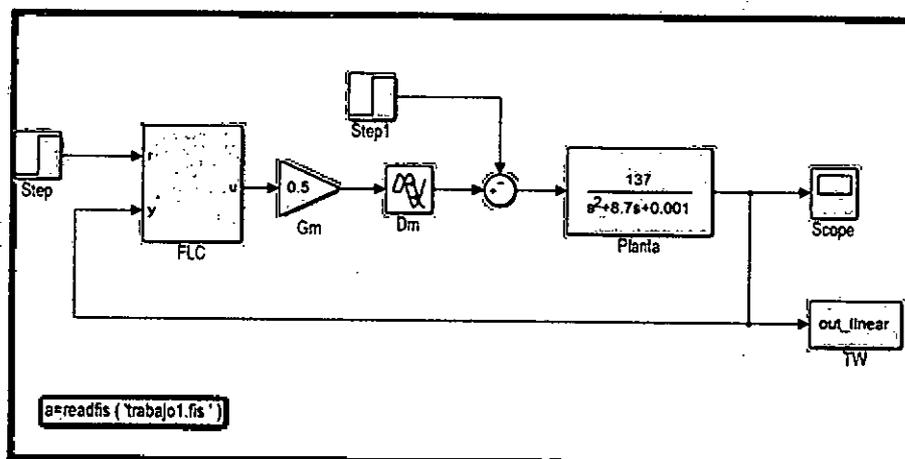
### 6.1. Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

Realizando una solución paramétrica de la planta con las restricciones se obtiene la planta  $G(s)$ .

$$G(s) = \frac{137}{s^2 + 8.7s + 0.001}$$

Esta función de transferencia corresponde al modelo de la planta ABS.

FIGURA N° 6.1  
SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO IMPLEMENTADO EN  
SIMULINK CON CONTROLADOR DIFUSO

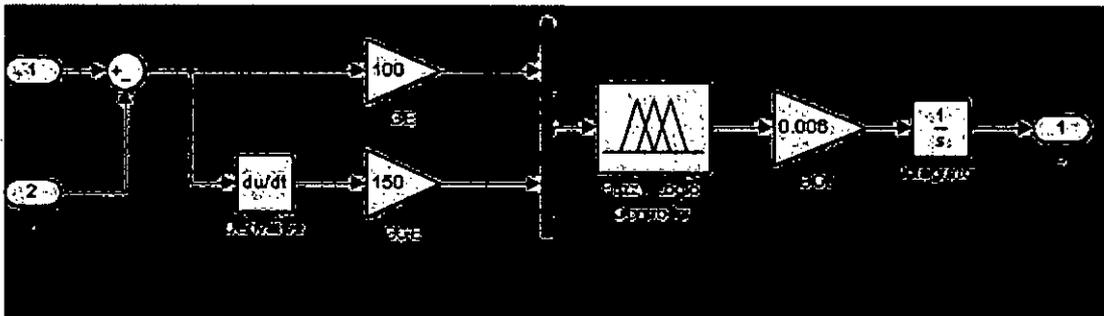


Fuente: UNAC (2019) Autoría Propia

El sistema de control de frenos antibloqueo es implementado en Simulink, los resultados obtenidos se indica en las figuras 5.1 y 5.2 (véase la figura N° 5.1 y 5.2 en la página 69 y 70) La respuesta de este modelo frente a la entrada de la planta se compara con los datos reales obtenidos en la Figura 5.2 (figura N° 5.2 de la pagina 70)

La estructura interna del controlador Fuzzy se muestra en la figura (6.2), se consideró la ganancias de entradas y salidas tal como indica en el diagrama de bloques

FIGURA N° 6.2  
ESTRUCTURA DEL CONTROLADOR IMPLEMENTADO CON ACCIONES PROPORCIONALES Y DERIVATIVAS (PD)

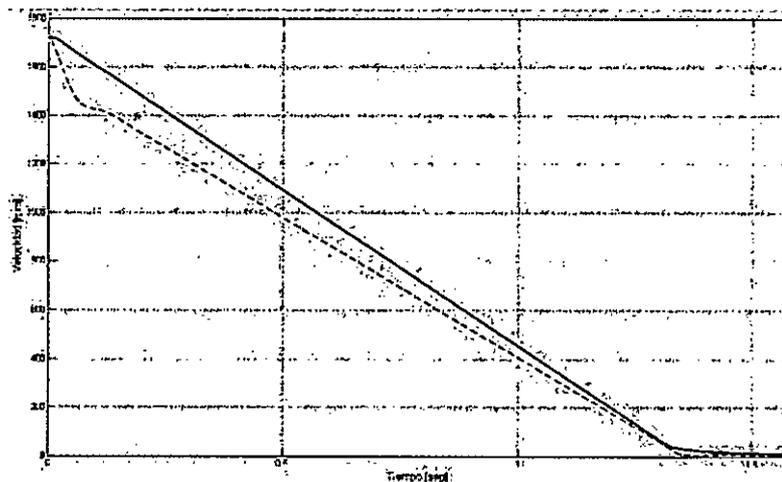


Fuente: UNAC (2019) Autoría Propia

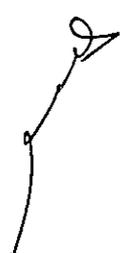
En la simulación de la frenada del vehículo obtiene el desarrollo de la velocidad cuando se produce la frenada.

Se muestra la velocidad del vehículo (línea discontinua) y de la velocidad de la carretera o calzada (línea continua)

FIGURA N° 6.3  
RESPUESTA DEL SISTEMA DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO PARA UNA FRENADA

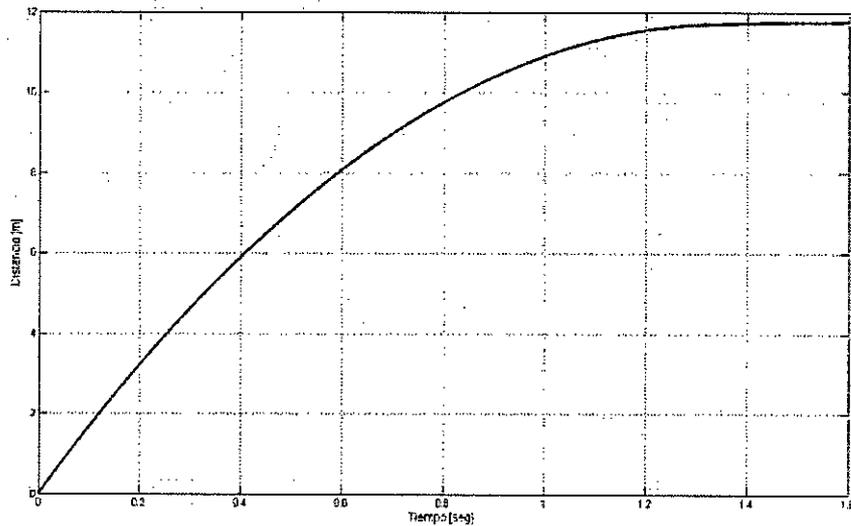


Fuente: UNAC (2019) autoría propia



Después de 1.38 segundos de frenado la velocidad se hace cero con arrastre

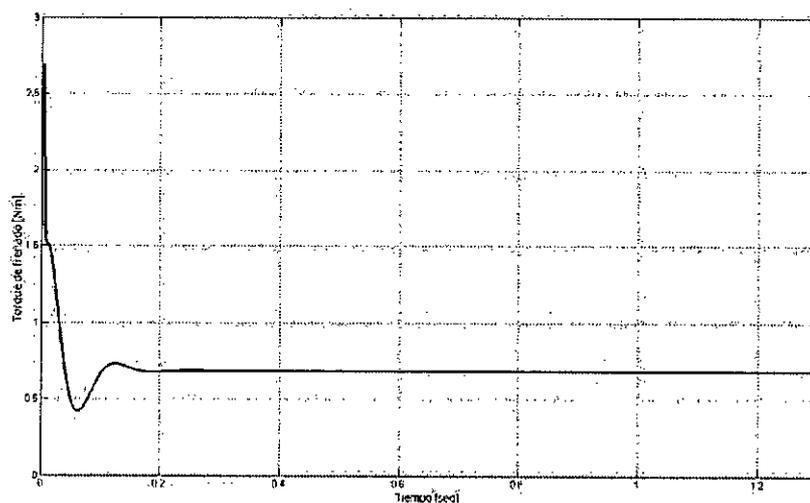
FIGURA N° 6.4  
RESPUESTA DEL SISTEMA DE LA VARIABLE DISTANCIA DEL  
VEHÍCULO



Fuente: UNAC (2019) autoría propia

La señal del torque se muestra en la figura (6.5), inicialmente es alto y luego disminuye

FIGURA 6.5  
RESPUESTA DEL TORQUE DE FRENADO

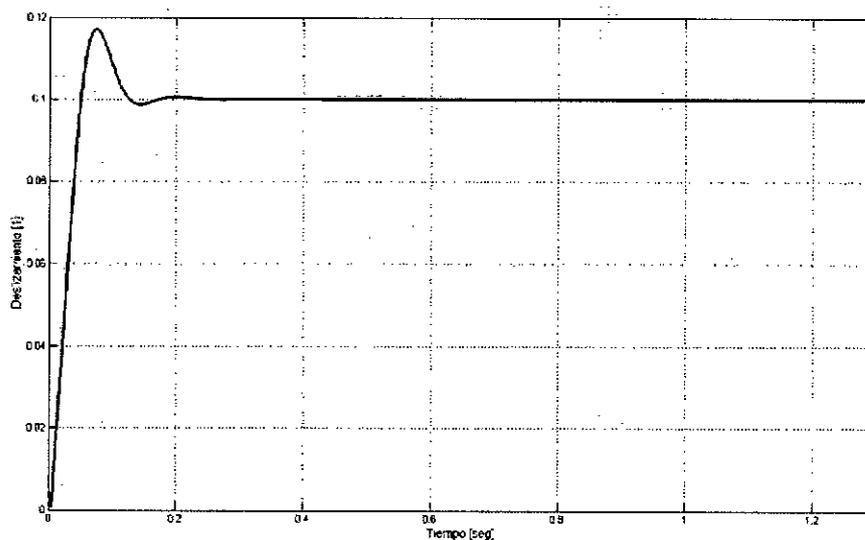


Fuente: UNAC (2019) autoría propia



La salida controlada es el deslizamiento, inicialmente es pequeño, luego se incrementa hasta mantenerse en una referencia preestablecida o sea controlado

FIGURA N° 6.6  
RESPUESTA DEL VARIABLE DESLIZAMIENTO



Fuente: UNAC (2019) autoría propia

## 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Se han realizado el control de sistema de frenado antibloqueo ABS con otros métodos de control, tal es el caso del método de control **ON-OFF**

El control de ON-OFF es el controlador de sistema frenos antibloqueo ABS se realizó Con un valor de deslizamiento para que se mantenga en un valor ideal entre 0.08 y 0.3...

El diagrama de control del sistema de frenos antibloqueo ABS en la estructura de la programación del control, se muestra un bloque **Relay** residente en la biblioteca de Matlab,

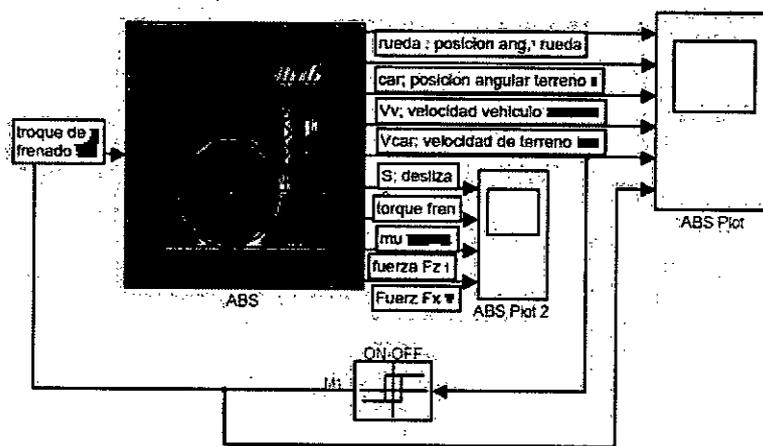
El controlador ON-OFF genera la señal de control que es el torque de frenado que nos es igual a la señal de control por Fuzzy, pero las otras variables si son



muy aproximados tales como: Velocidad ( $V_v(t)$ ), Distancia de frenado  $d(t)$ , deslizamiento  $S(t)$ , Adherencia  $\mu(t)$

Después de modelar el sistema se tiene, la representación del sistema de frenos, en Simulink tal como se detalla en la figura (6.7)

FIGURA N°6.7  
DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE FRENOS PARA PRUEBAS ON-OFF



Fuente: UNAC (2019) Elaboración propia

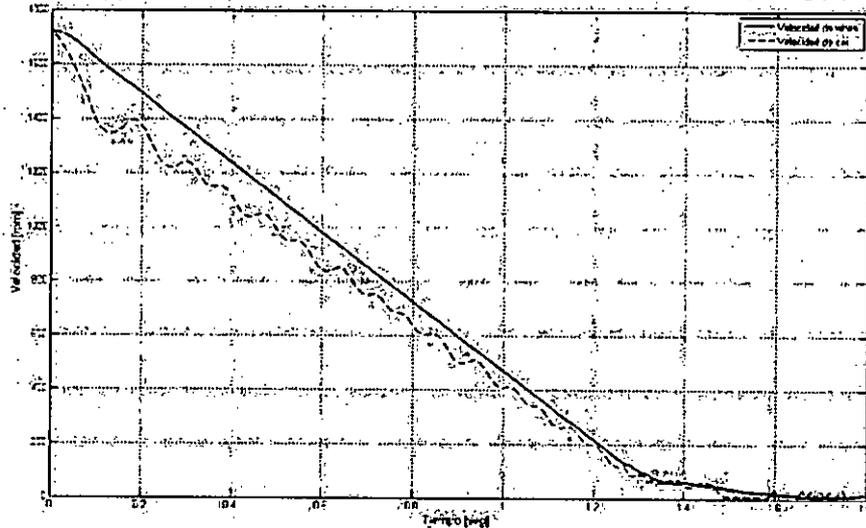
Se considera la figura (6.7) para pruebas del control on-off y comparar con el controlador Fuzzy (véase la figura N° 6.1 en la página 71).

Variable de control Velocidad del vehículo (rueda) y de la carretera (car), se muestra que ambos disponen la misma tendencia de disminución después de realizar el frenado.

Comparando la señal de la velocidad controlada con el controlador fuzzy del sistema ABS el control es más fino, en el control on-off se tiene mucha oscilación



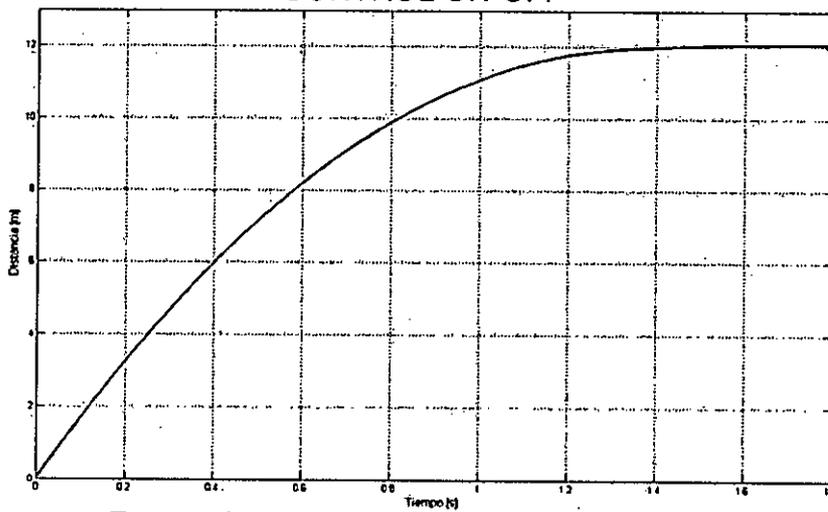
**FIGURA N° 6.8**  
**VARIABLE CONTROLADA DE LA VELOCIDAD CONTROL ON-OFF**



Fuente: Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

Variable distancia después de realizado la frenada es controlado y en ambos casos son casi iguales (12m) tal como se muestra en la figura (6.9)

**FIGURA N° 6.9**  
**VARIABLE CONTROLADA DE LA DISTANCIA DESPUÉS DEL FRENADO CONTROL ON-OFF**

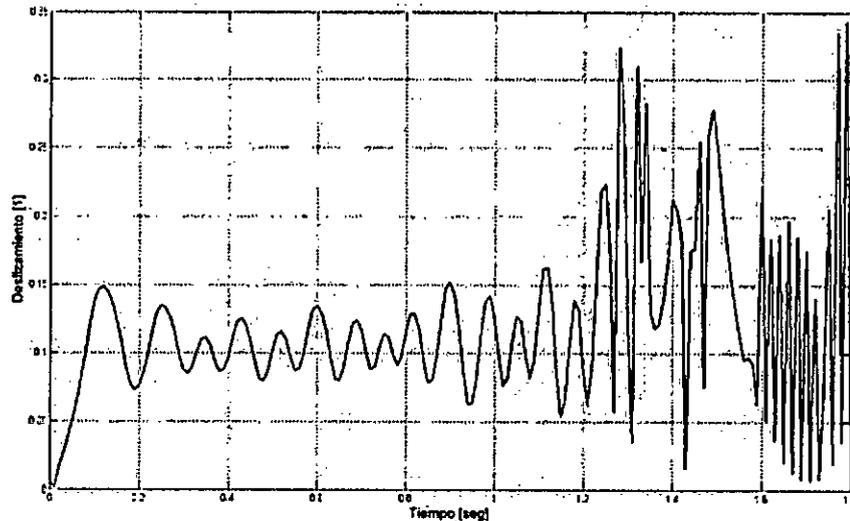


Fuente: Fuente: UNAC (2019) Autoría propia



En este caso con respecto al variable deslizamiento es más ruidoso, el control fuzzy es más fino

FIGURA N° 6.10  
VARIABLE CONTROLADA DEL DESLIZAMIENTO DURANTE DEL  
FRENADO CONTROL ON-OFF



Fuente: UNAC (2019) Autoría propia

La variable deslizamiento tiene mucha oscilación en el control ON\_OFF comparado el control FUZZY, en el sistema con controlador Fuzzy la señal deslizamiento es más fino o continuo

En conclusión se indica que La mayor ventaja del control difuso es que provee una eficiente y efectiva metodología para desarrollar en forma experimental un controlador no lineal sin usar matemática avanzada

Se cuenta con la manipulación de varias variables del controlador, como ser, conjuntos difusos, factores de escalamiento, etc., junto con simulaciones y el método de prueba y error, se puede desarrollar un controlador no lineal con buenas prestaciones. Esta es una ventaja importante desde el punto de vista industrial



**6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe)**  
Se ha realizado de acuerdo a las normas y procedimiento establecidos.

A handwritten signature or mark, possibly a stylized 'D' or a similar character, located in the bottom right corner of the page.

## CONCLUSIONES

Actualmente se tiene en el mercado automotriz automóviles con controladores de frenos ABS y también sin el control ABS, considerando que los vehículos modernos están controlados el sistema de frenos antibloqueo ABS con algoritmos de control sofisticados, este trabajo de investigación nos ha permitido entender el sistema por completo desde la dinámica que lo caracteriza y los detalles que lo compone,

Entonces debe modelarse el sistema y identificar los parámetros, luego realizar el control del sistema de frenos antibloqueo ABS

Un parámetro muy importante a considerar en el diseño de controladores digitales por lógica Fuzzy es el "coeficiente de fricción de contacto o coeficiente de adherencia"  $\mu$ .

Este parámetro "Coeficiente de fricción de contacto o coeficiente de adherencia"  $\mu$  cuando aumenta nos indica que la rueda se está bloqueando,

El **deslizamiento (S)** es la diferencia de las velocidades de la rueda del vehículo y el terreno, este parámetro se debe mantener en un rango de valores permisibles que ayuden a que la rueda no se bloquee, el controlador debe tener como entrada el error del deslizamiento y la velocidad de cambio de error del deslizamiento.

Luego el deslizamiento debe estar controlado en un rango determinado para evitar el bloqueo

En este trabajo de investigación el objetivo es utilizar el controlador Fuzzy



Para generar la señal de control, y hacer variar la presión cuando se produce el frenado aplicado al ABS, es aquí donde aparece la importancia del controlador

En este trabajo de investigación se muestra el comportamiento del ABS y se muestra que está directamente relacionado con el algoritmo de control Fuzzy.

Esto se demostró probando el algoritmo de control Fuzzy y comparando otro con el control ON-OFF.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda diseñar un algoritmo de control que se adapte al ABS de la mejor manera posible para obtener mejores resultados, aplicando algoritmos de control tales como: control basado en pasividad, control por modos deslizantes, control neuro-difuso.

También se recomienda realizar o implementar un laboratorio de control en la FIEE para frenos antibloqueo ABS, considerando que la asignatura de control Inteligente de pregrado y posgrado (Maestría de control y automatización) se tiene programado en la curricula y siendo el tema del control de frenos Antibloqueo ABS de mucha importancia, seguridad, medio ambiente, social y tecnológica.

También será de beneficio para la Facultad de Mecánica y Energía FIME de la UNAC, para estudios en el campo de rama automotriz, en innovación, diseño, mantenimiento



## REFERENCIALES BIBLIOGRAFICAS

1. Arias, F. (1999). El proyecto de investigación: Guía para su elaboración. Caracas. Editorial Episteme.
2. Astrom, K. J. (2000). Limitations on control system performance. *European Journal of Control*, 6(1), 2-20.
3. Ambalal V. Patel, (2004) "*Transformation Functions for Trapezoidal Membership Functions*", *International Journal of Computational Cognition*  
<http://www.YangSky.com/yangijcc.htm> Volume 2, Number 3, Pages 115–135, Septiembre.
4. Bonifacio, A. (2002) "*Redes neuronales y sistemas difusos*". 2° Edición. © RA-MA Editorial.
5. Baños, A., Barreiro, A. (2011). *Reset control systems*. Springer Science and Business Media.
6. Baños, A., Vidal, A. (2007, July). Definition and tuning of a PI+ CI reset controller. In *Control Conference (ECC), 2007 European* (pp. 4792-4798). IEEE.
7. Cerdeira- Corujo, M., Costas, A., Delgado, E., Barreiro, A. (2017). Comparative analysis of gain-scheduled wheel slip reset controllers with different reset strategies in automotive brake systems. In *CONTROL 2016* (pp. 751-761). Springer, Cham.
8. Cerdeira-Corujo, M., Costas, A., Delgado, E., Barreiro, A., Baños, A. (2016, June). Gainscheduled wheel slip reset control in automotive brake systems. In *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), 2016 International Symposium on* (pp. 1255-1260). IEEE.

9. Delgado, E., Barreiro, A., D\_\_az-Cacho, M., Falc\_on, P. (2014, December). Wheel slip reset controller in automotive brake systems. In Electric Vehicle Conference (IEVC), 2014 IEEE International (pp. 1-6). IEEE.
10. Delgado, E., Barreiro, A., Daz-Cacho, M., Falcon, P. (2014) Controlador reseteado de deslizamiento de ruedas para sistemas de frenado. Jornadas de Automática CEA-IFAC.
11. Hao Ying. (2000) "Fuzzy Control and modeling: Analytical foundations and Applications". IEEE Press Series on Biological Engineering.
12. Hao Ying.(1003) "The simplest fuzzy controllers using different inference methods are different nonlinear proportional-integral controllers with variable gains". Automática, vol 29 N° 6, pp. 1579-1589.



**ANEXOS**

**ANEXO A1: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**ANEXO A2: RESUMEN DE DESARROLLO DE CONTROLADOR FUZZY**



**ANEXO A1**  
**Matriz de consistencia**

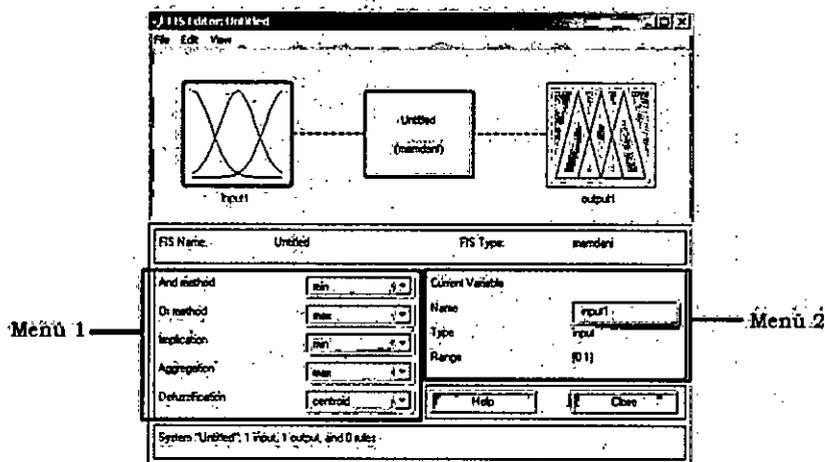
<b>TÍTULO DEL PROYECTO: CONTROLADOR DE SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA EN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO LÓGICA FUZZY”</b>					
<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>MÉTODOS</b>
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿En qué medida el controlador con logica Fuzzy del sistema de frenado antibloqueo es más eficiente considerando los problemas de no linealidad del sistema de frenos en la Ingeniera Automotriz?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO</b></p> <p>¿Cuáles serán las características del sistema de frenos anti bloqueo ABS y modelar el sistema?</p> <p>-----</p> <p>¿Es posible mantener el vehículo con mayor adherencia y controlar el deslizamiento de las ruedas?</p> <p>-----</p> <p>¿Es posible los vehículos equipados con controladores de frenos ABS controlar el deslizamiento de las ruedas en forma óptima?</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Optimización del funcionamiento de un sistema de frenos antibloqueo ABS con controlador Fuzzy y evaluar su desempeño</p> <hr/> <p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>a. Modelar, y simular el sistema de frenos antibloqueo ABS para vehículos de cuatro ruedas</p> <p>b. Abordar el control de Logia Fuzzy sobre distintos tipos de Terreno en simulación y en donde se obtienen</p> <p>c. Aportar a la mejora de la calidad y seguridad de vida de la población l.</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b></p> <p>Empleando conocimientos de ingeniería, así como material y equipos disponibles en el mercado; es posible el diseño y la simulación de un sistema de control para sistema de freno antibloqueo ABS utilizando lógica difusa,</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECIFICO</b></p> <p>Empleando conocimientos básicos de ingeniería, así como material y equipos disponibles en el mercado; es posible el modelamiento y control de un sistema de frenos antibloqueo ABS</p> <hr/> <p>Verificar Ventajas y desventajas de los esquemas de control por logica Fuzzy y establecer condiciones de diseño, como de implementación en sistemas de frenos antibloqueo ABS.</p> <hr/> <p>Cumplir con la premisa de ser económico el sistema de control de frenos antibloqueo, además de ser confiable y competitivo con otros modelos del mercado comercial, mostrando con precisión todo el proceso de desarrollo del sistema.</p>	<p><b>Variable: S</b></p> <p>Sistema de control de frenos antibloqueo ABS con logica Fuzzy</p> <p><b>Variable: N</b></p> <p>Necesidad de modelar y controlar la velocidad (W), Aceleración lineal (<math>V_p</math>), distancia en el proceso de frenado antibloqueo ABS con controlador por logica fuzzy</p> <p><b>Variable: R</b></p> <p>La señal del deslizamiento (S) como señal de referencia (punto de consigna), producido por una fuerza de frenado</p>	<p>Un sistema de frenos antibloqueo ABS con controlador Fuzzy es un conjunto de elementos que conforman para evitar el bloqueo de la llanta y optimizar la eficiencia de frenado</p> <p>-----</p> <p>El <i>coeficiente de adherencia o coeficiente de contacto</i> es una función no lineal del deslizamiento de la rueda ‘S’ – Terreno –Rueda-vehículo</p> <p>-----</p> <p>Valor de consigna del deslizamiento, error del deslizamiento, velocidad de cambio del error del deslizamiento</p>	<p>1. <b>Universo:</b> Zona urbana</p> <p>2. <b>Muestra:</b> Se recomienda toda la población del parque automotriz</p> <p>3. <b>Método:</b> Selección de población- automotriz, el modelo de observación y la unidad experimental.</p> <p>4. <b>Esquema del Proyecto:</b> De acuerdo al esquema</p> <p>5. <b>Técnicas a utilizar:</b></p> <p><b>Para acopio de datos:</b> Observación, entrevista y fichas. Instrumentos a recolectar: Cuestionarios y tesis</p> <p><b>Para el procesamiento de datos:</b> Codificación y tabulación de Datos.</p> <p><b>Técnicas para el análisis e interpretación de datos:</b> Se usará herramientas software; Excel y Matlab, que permitirán elaborar cuadros y el análisis estadístico correspondiente para la validación de las hipótesis.</p> <p><b>Para la presentación de datos.</b> Cuadros, tablas, Gráficos. Esquemas</p> <p><b>Para el informe final:</b> Esquema propuesto</p>

## A2. Resumen de los pasos para implementación del controlador Fuzzy.

### 1. Acceso:

Para acceder al *toolbox fuzzy* se debe digitar la palabra *fuzzy* en la línea de comandos y luego oprimir enter. En el caso de encontrar un error, por no hallarse cargado el toolbox se debe agregar el CD de instalación de Matlab. El menú al cual se debería acceder es el siguiente:

FIGURA N° A1.  
MENÚ PRINCIPAL DEL FUZZY TOOLBOX, FIS EDITOR



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

En el Menú 1, se podrá modificar los métodos de los operadores lógicos and y or, los métodos de implicación, de agregación y de defuzificación.

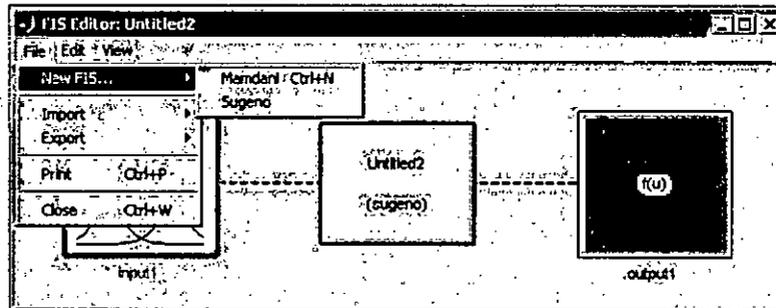
En el Menú 2, se podrá cambiar el nombre de la variable que se encuentre seleccionada, por ejemplo, modificar el nombre "input1" por "flujo de agua".

### 2. Elección de Modelo:

Para elegir el tipo de modelo a usar, Sugeno o Mamdani, se debe acceder al menú

***File -> New FIS... -> Mamdani (Sugeno).***

FIGURA N° A2.  
ELECCIÓN DE MODELO

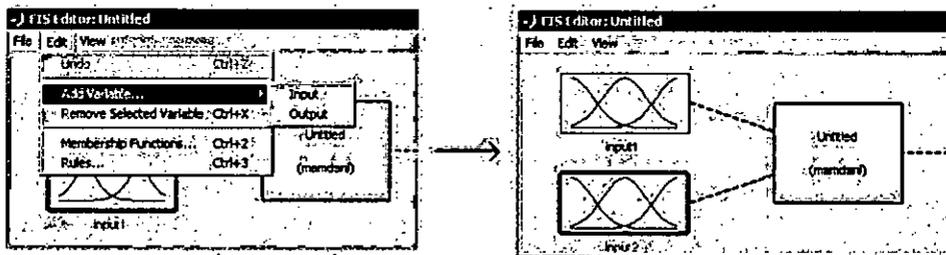


Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

### 3. Variables y Funciones de Pertenencia:

Para agregar alguna variable, ya sea de entrada o de salida, se debe seleccionar el menú *Edit -> Add Variable -> Input (Output)*.

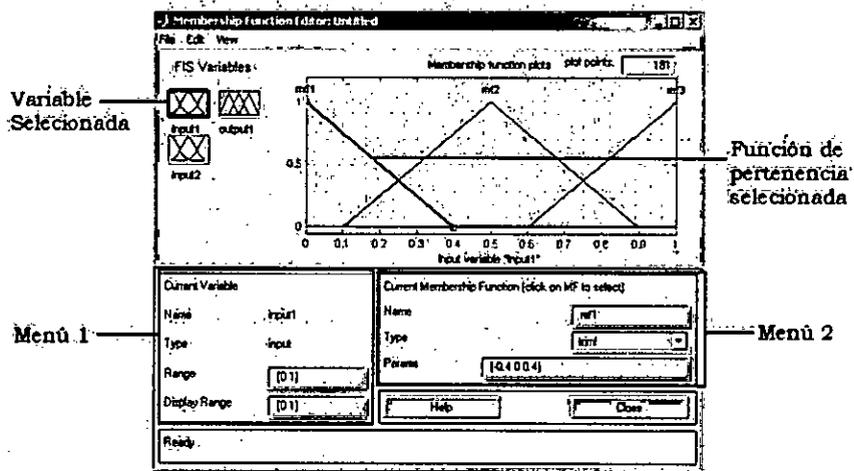
FIGURA N° A3.  
AGREGAR UNA VARIABLE, VISUALIZARLA EN EL MENÚ GRÁFICO.



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

Las funciones de pertenencia, tanto para las variables de entrada como para las de salida, se modifican en un menú especial *Membership Function Editor* que aparece al hacer doble click en la variable de interés.

FIGURA N° A4.  
EDITOR DE FUNCIONES DE PERTENENCIA, MEMBERSHIP EDITOR



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

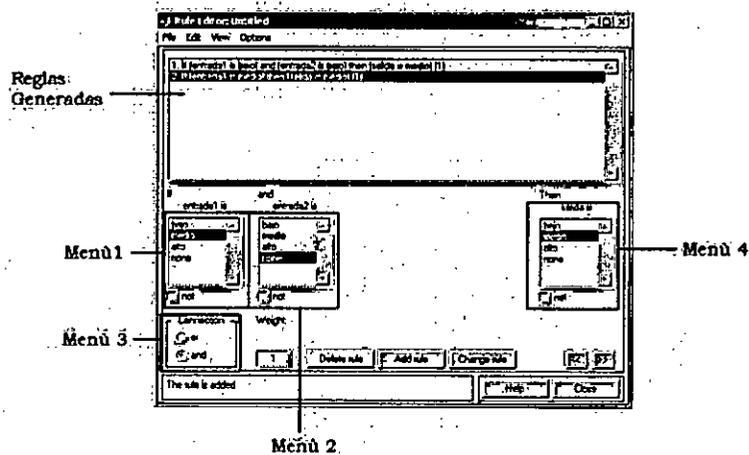
En el Menú 1, se puede modificar el rango de la función de pertenencia, en el cual la estará definida.

En el Menú 2, es posible modificar el nombre de la función de pertenencia, los parámetros de la función de pertenencia y también su forma, la cual está seleccionada triangular en este caso, siendo ésta la más común.

#### 4. Reglas Del Modelo:

Para poder modificar las reglas del modelo se debe acceder al *Rule Editor*, haciendo doble click sobre el modelo.

FIGURA N °A5.  
EDITOR DE REGLAS, RULE EDITOR



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia

Según el número de variables de entrada y salida que existan y sus funciones de pertenencia será el número de reglas que es posible generar. **En el Menú 1** se selecciona el valor que toma la primera variable de entrada. **En el Menú 2**, el valor que toma la segunda variable de entrada (si es necesario es posible negarla marcando *not*).

**En el Menú 3**, se selecciona el tipo de conexión lógica entre ambos valores seleccionados (*and*, *or*).

En el Menú 4, se selecciona la salida que deberá entregar el controlador para los valores de entrada ya indicados.

Luego, se presiona el botón **Add rule**, y la regla es agregada.

Para Eliminar una regla basta seleccionarla y apretar el botón *Delete rule*. Para modificarla se debe hacer click en el botón *Change rule*.

## 5. Implementación:

Para poder implementar el controlador es necesario guardar el trabajo realizado en 1 a 4, con el menú:

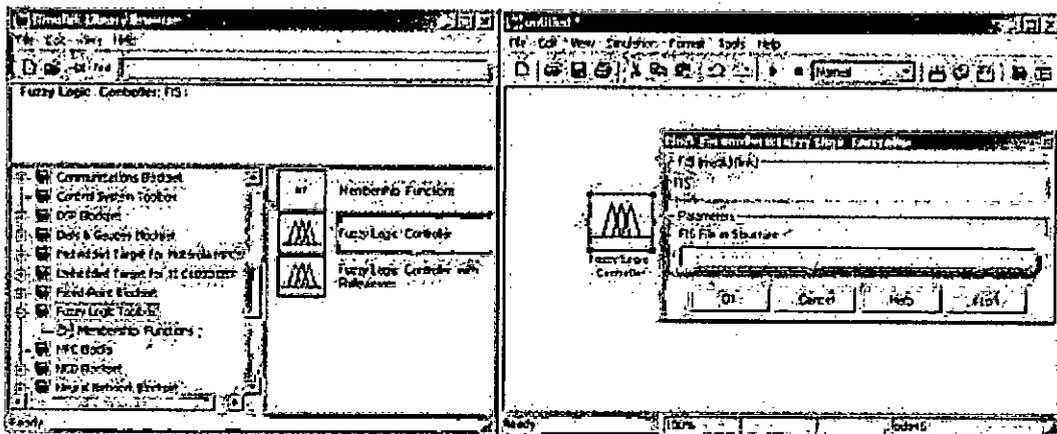
**File -> export to... -> Disk (del FIS Editor),** guardando así el trabajo. Luego, es necesario importar el archivo al workspace, para que luego Matlab lo pueda reconocer y pueda ser implementado en Simulink, para eso se debe acceder al menú

File -> export to... -> workspace.

Si se desea trabajar con un modelo ya guardado se debe importar desde el menú fuzzy primero, y luego exportarlo al workspace.

Luego de esta etapa, se debe cargar el controlador en Simulink, lo cual se hace dentro de un bloque llamado fuzzy logic controller.

FIGURA N °A6.  
BLOQUE FUZZY LOGIC CONTROLLER



Fuente: UNAC (2019) elaboración propia