

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN DE LA MEMORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MOTIVACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES	2
1.2.1 Objetivos Generales	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2.3 Alcances.....	2
1.3 ESTRUCTURA GENERAL	3
Capítulo 2. ANTECEDENTES DE VEHÍCULOS GUIADOS AUTÓNOMAMENTE	4
2.1 ESTADO DEL ARTE DE LOS VEHÍCULOS GUIADOS AUTÓNOMAMENTE	4
2.1.1 Estado del Arte Internacional.....	4
2.1.1.1 DARPA Urban Challenge	4
2.1.1.2 Camiones para la Minería Komatsu	5
2.1.2 Estado del Arte en Chile.....	6
2.2 MODELO DINÁMICO DE UN VEHÍCULO TERRESTRE	7
2.3 LÓGICA DIFUSA.....	10
2.4 EVASIÓN DE OBSTÁCULOS	17
2.5 COMENTARIOS	20
Capítulo 3. IMPLEMENTACIÓN DE MODELO DINÁMICO Y DISEÑO DE CONTROLADOR DIFUSO PARA LA EVASIÓN DE OBSTÁCULOS	21
3.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO TIPO BICICLETA.....	22
3.1.1 Diseño de Pedales.....	22
3.1.1.1 Acelerador	22
3.1.1.2 Freno	24
3.1.2 Datos Empleados.....	25
3.1.3 Implementación en Ambiente de Simulink-MATLAB®	25
3.1.3.1 Descripción de Bloques.....	27

3.1.3.2	Implementación de Actuadores	32
3.2	CONTROL DE DIRECCIÓN Y VELOCIDAD	36
3.2.1	Estructura del Sistema de Control	37
3.2.2	Controlador Difuso de Velocidad.....	37
3.2.3	Controlador Difuso de Dirección.	39
3.3	CONTROL SUPERVISOR DE RUTA DEL VEHÍCULO.....	41
3.3.1	Diseño de la Estrategia de Control	41
3.3.2	Implementación del Control Supervisor.....	45
3.4	DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS	49
3.5	ESTRATEGIA DE CONTROL DIFUSO PARA LA EVASIÓN DE OBSTÁCULOS EN RUTA DE COLISIÓN	54
3.5.1	Diseño de Modulo Evasor de Obstáculos.....	54
3.5.2	Diseño de Módulo de Distancia Relativa	57
3.5.3	Diseño de Módulo de Reducción de Velocidad	59
3.5.4	Diseño de Módulo de Prevención de Vuelco	62
3.5.5	Selección de Reducción de Velocidad y Ángulo Aplicado al Volante para la Evasión de Obstáculos.....	65
3.5.6	Contingencias: Alarma y Parada de Emergencia	67
3.5.7	Implementación del Control Difuso para la Evasión de Obstáculos	69
3.6	COMENTARIOS	74
Capítulo 4.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	76
4.1	VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO TIPO BICICLETA	76
4.2	EVASIÓN de OBSTÁCULOS.....	79
4.3	PREVENCIÓN DE VUELCO Y ALARMA DE SEGURIDAD	86
4.4	PARADA DE EMERGENCIA.	89
4.5	COMENTARIOS	90
Capítulo 5.	CONCLUSIONES.....	92
5.1	TRABAJOS FUTUROS	94
REFERENCIAS	96
ANEXO A	99
ANEXO B	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: DARPA Urban Challenge[4].....	5
Figura 2-2: Modelo Tipo "Bicicleta": Fuerzas Presentes en el Modelo	7
Figura 2-3: Modelo Tipo "Bicicleta": Ángulos de Dirección del Modelo	8
Figura 2-4: Sumatoria de Fuerzas transversales al movimiento del Vehículo	8
Figura 2-5: Sumatoria de Torques del vehículo	9
Figura 2-6: Sumatoria de Fuerzas Longitudinales al Movimiento del Vehículo.	9
Figura 2-7: Conjuntos Difusos	11
Figura 2-8: Función de Pertenencia	11
Figura 2-9: Arquitectura de un Controlador Difuso.....	12
Figura 2-10: Resumen Sistema Difuso Mamdani[23].....	13
Figura 2-11: Fusificación	14
Figura 2-12: Defusificación	14
Figura 2-13: Obtención de Pesos	14
Figura 2-14: Evaluación de Reglas	15
Figura 2-15: Defusificación	15
Figura 2-16: Respuesta al escalón de control PD-Difuso.....	16
Figura 2-17: Pendiente de Señal.....	16
Figura 2-18: Diagrama de bloques de la conformacion de un evasor de obstaculo.	18
Figura 2-19: Sensores en AGV [25] [23] [22].	19
Figura 2-20: Protocolo de Navegacion para Evasión de Obstaculos [30].....	19
Figura 3-1: Diagrama de Módulos	21
Figura 3-2: Aceleración Rápida en Modo "Sport"	23
Figura 3-3: Aceleración Lenta en Modo "Sport"	23
Figura 3-4: Aceleración Rápida en Modo "Normal"	23
Figura 3-5: Aceleración Lenta en Modo " Normal"	24
Figura 3-6: Dimensiones de Volkswagen® Tiguan, entregadas por el fabricante	25
Figura 3-7: Modelo Dinámico del Automóvil VolksWagen Tiguan.....	26
Figura 3-8: Volante, Ángulo de Giro	26
Figura 3-9: Interior del Bloque del Modelo Dinámico Tipo Bicicleta del Automóvil Volkswagen Tiguan	27
Figura 3-10: Bloque de Dirección.....	28
Figura 3-11: Fuerza Perpendicular al eje delantero.....	28
Figura 3-12: Fuerza perpendicular al eje trasero.....	28
Figura 3-13: Fuerza de Roce Aerodinámico	29
Figura 3-14: Velocidad del Centro de Masa	29
Figura 3-15: Torque del Vehículo	30
Figura 3-16: Radio de Giro	31
Figura 3-17: Parametros del Modelo Dinámico.....	32
Figura 3-18: Volante	32
Figura 3-19: Pedales.....	33
Figura 3-20: Conducción Variada, Modo Sport.....	34
Figura 3-21: Conducción Variada, Modo Normal	34
Figura 3-22: Caja de Cambios.....	34

Figura 3-23: Acelerador- F_x	35
Figura 3-24: Acelerador	35
Figura 3-25: Freno.....	36
Figura 3-26: Estructura del Sistema de Control[38]	37
Figura 3-27: Funciones de Pertenencia del Controlador Difuso de Velocidad[38].	38
Figura 3-28: Funciones de Pertenencia de Controlador Difuso de Dirección [34].	40
Figura 3-29: Control Supervisor	42
Figura 3-30: Obtención de Módulo de α y Signo	43
Figura 3-31: Obtención de Ángulo β	44
Figura 3-32: Bloque α	44
Figura 3-33: Error de Convergencia, Control Sin Ganancia	45
Figura 3-34; Ruta Sin Control de Ganancia (toma de muestra cada 10 segundos).....	45
Figura 3-35: Volante Controlado Sin Ganancia.....	46
Figura 3-36: Volante Control Supervisor con Ganancia.	46
Figura 3-37: Error del Control Supervisor con Ganancia	47
Figura 3-38: Ruta Controlada con Ganancia.....	48
Figura 3-39: Control Supervisor de Ruta	49
Figura 3-40: Parámetros del Control Supervisor de Ruta	49
Figura 3-41: Representación Grafica del Sensor Virtual.	50
Figura 3-42: Función de Distribución Gaussiana bivariada.....	51
Figura 3-43: Suma de Funciones de Distribución Gaussiana.....	51
Figura 3-44: Función de Distribución Gaussiana.....	51
Figura 3-45: Objeto Detectado al Centro y Derecha del Vehículo	52
Figura 3-46: Bloque de Parámetros del Sensor	53
Figura 3-47: Protocolo de Evasión de Obstáculos	54
Figura 3-48: INPUT Evasión de Obstáculos: Distancia al Obstáculo [m]	55
Figura 3-49: INPUT Evasión de Obstáculos: Cambio de distancia al obstáculo m	55
Figura 3-50: OUTPUT Evasión de Obstáculos: Señal aplicada al ángulo del Volante.	56
Figura 3-51: INPUT Cercanía Relativa [m]	57
Figura 3-52: OUTPUT Cercanía Relativa.....	58
Figura 3-53: INPUT Reduccion de Velocidad: Cercania Relativa	59
Figura 3-54: INPUT Reducción de Velocidad: Velocidad Real	60
Figura 3-55: INPUT Reducción de Velocidad: Variación de Velocidad	60
Figura 3-56: OUTPUT Reducción de Velocidad.....	61
Figura 3-57: INPUT Prevención de Vuelco: Aceleración Lateral.	63
Figura 3-58: INPUT Prevención de Vuelco: Cambio de aceleración Lateral	64
Figura 3-59: OUTPUT Prevención de Vuelco	64
Figura 3-60: Diagrama de Bloques de la Reducción de Velocidad.....	66
Figura 3-61: Función Sigmoidea.....	66
Figura 3-62: Manto de Soluciones de Modulo de “Cercanía Relativa”	69
Figura 3-63: Manto de Soluciones de Módulo de “Reducción de Velocidad”	70
Figura 3-64: Manto de Soluciones de Módulo de "Prevención de Vuelco"	70
Figura 3-65: Manto de Soluciones de Módulo de "Evasor de Obstáculos"	71
Figura 3-66: Diagrama de Bloques de la Función de Evasión de Obstáculos.....	72
Figura 3-67: Diagrama de Bloque del Control de Evasión de Obstáculos.....	73

Figura 3-68: Parámetros del Control de Evasión de Obstáculos	73
Figura 3-69: Diagrama de Bloques de la Simulación.....	74
Figura 4-1: Dibujo de Vehículo Virtual	76
Figura 4-2: Validación del Movimiento del Vehículo.	77
Figura 4-3: Validación del Acelerador.....	78
Figura 4-4: Ruta del Vehículo: Obstáculo a la Derecha de $\sigma = 0,3[m]$	80
Figura 4-5: Señal de Sensor: Objeto a la Derecha de $\sigma = 0,3[m]$	80
Figura 4-6: Ángulo Volante: Obstáculo a la Derecha de $\sigma = 0,3[m]$	81
Figura 4-7: Velocidad del vehículo: Obstáculo a la Derecha $\sigma = 0,3[m]$	81
Figura 4-8: Ruta del Vehículo: Obstáculo a la Izquierda de $\sigma = 1[m]$	82
Figura 4-9: Señal de Sensor: Objeto a la Izquierda de $\sigma = 1[m]$	83
Figura 4-10: Ángulo Volante: Obstáculo a la Izquierda de $\sigma = 1[m]$	83
Figura 4-11: Velocidad del Vehículo: Obstáculo a la Derecha de $\sigma = 1[m]$	84
Figura 4-12: Ruta del Vehículo: Obstáculo a la Derecha de $\sigma = 10[m]$	84
Figura 4-13: Angulo Volante: Obstáculo a la Derecha de $\sigma = 10[m]$	85
Figura 4-14: Velocidad del Vehículo: Obstáculo a la Derecha de $\sigma = 10[m]$	85
Figura 4-15: Aceleración Lateral del Vehículo: a) $\sigma = 0,3 [m]$, b) $\sigma = 1 [m]$ y c) $\sigma = 10 [m]$	86
Figura 4-16: Ángulo Volante para Análisis de control de Prevención de vuelco.	87
Figura 4-17: Velocidad del Vehículo: Prueba de Control de Prevención de Vuelco	88
Figura 4-18: Señal de Presión Aplicada al Pedal de Freno Durante Actuacion de Control de Prevención de Vuelco	88
Figura 4-19: Ruta Generada por Centro de Masa de Vehículo, Prueba de Control de Prevención de Vuelco.	89
Figura 4-20: Aceleración Lateral, Prueba de Control de Prevención de Vuelco.	89
Figura 4-21: Vehículo en Ruta de Colisión.....	90
Figura 4-22: Sensor en Ruta de Colisión.	90
Figura A- 1: Diagrama de Bloque de Alarma por posibilidad de Vuelco	99
Figura A- 2: Diagrama de Bloque de Freno de Emergencia	99
Figura A- 3: Diagrama de Bloque de Módulo Evasor de Obstáculos	99
Figura A- 4: Diagrama de Bloque de Sensor	100
Figura A- 5: Diagrama de Bloque de sensor Central	100
Figura A- 6: Diagrama de Bloque de Sensor Lateral	100
Figura A- 7: Diagrama de Bloque Rango de Seguridad Central	101
Figura A- 8: Módulo de Selección de Ángulo de Volante	101
Figura A- 9: Diagrama de Bloque de Control Supervisor de Ruta.....	101
Figura A- 10: Variables Obtenidas de la Simulación.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Base de Conocimiento	14
Tabla 2-2: Determinación de Zonas dado el signo del Error y el Cambio del Error.....	16
Tabla 2-3: Base de Reglas Control de Caudal.....	17
Tabla 3-1: Parámetros de Volkswagen® Tiguan	25
Tabla 3-2: Output modelo Dinámico del Vehículo.....	26
Tabla 3-3: Coeficientes de Roce entre Neumáticos de Caucho y diferentes Superficies.....	32
Tabla 3-4: Actuador Volante.....	33
Tabla 3-5: Actuador Pedal Acelerador.....	34
Tabla 3-6: Actuador, Freno.....	36
Tabla 3-7: Base de Reglas de Controlador Difuso de Velocidad [38]	39
Tabla 3-8: Mapa de reglas para el control difuso de Dirección [34].....	41
Tabla 3-9: Ganancias por Velocidad del Control Supervisor de Ruta.....	48
Tabla 3-10: Dispositivos empleados en la adquisición de datos de ruta.....	50
Tabla 3-11: Base de Conocimiento de Evasor de Obstáculo	56
Tabla 3-12: Base de Conocimiento de Cercanía Relativa.....	58
Tabla 3-13: Base de Reglas de Reducción de Velocidad.....	62
Tabla 3-14: Base de reglas del control Prevención de vuelco.....	65
Tabla 4-1: Validación de Acelerador	79