

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



TESIS DE GRADO

**“ROBOT MÓVIL PARA LA BÚSQUEDA DE PERSONAS EN MINAS
SUBTERRÁNEAS”**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN INFORMÁTICA
MENCIÓN: INGENIERÍA DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

POSTULANTE: XENÓN NINA SURCO

TUTOR METODOLÓGICO: M. SC. ALDO RAMIRO VALDEZ ALVARADO

ASESOR: PH. D. YOHONI CUENCA SARZURI

**LA PAZ – BOLIVIA
2017**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE INFORMÁTICA**



LA CARRERA DE INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES PERTENECIENTE A LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la referencia correspondiente respetando normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADOS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

Dedicado a....

A mis papas, que con sus consejos y ejemplo de vida me brindan siempre el apoyo necesario que me fortalece y me dan esa satisfacción de superarme constantemente, que doy gracias a Dios por haberlos conservado conmigo para seguir su ejemplo.

Agradecimientos....

A Dios gracias ante todo, por todo en cuanto ha hecho, hace y hará en mi vida, por toda la bendición con la que llena mis días y el apoyo que me brinda día a día.

A mi tutor M .Sc. Aldo Valdez por las acertadas observaciones que me realizo y que supo dar orientación a mis ideas y palabras, realizar las observaciones precisas, por su apoyo el tiempo que me brindo y la paciencia que tuvo para revisar mi trabajo y darle sentido que buscaba.

A mí asesor Ph. D. Yohoni Cuenca por el asesoramiento y guía para el desarrollo de la presente tesis, también por los consejos acerca de las correcciones debido al conocimiento que tiene.

Y a todos los docentes de la carrera de informática gracias muchas grasas...

RESUMEN

.La tecnología ha provocado cambios importantes en las actividades diarias del hombre, convirtiéndose en un producto fundamental del consumo de la humanidad. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un prototipo de robot móvil que busque y localice a los trabajadores o rescatistas atrapados por derrumbes en una mina subterránea.

Cabe mencionar que la parte analítica del presente trabajo fue desarrollado bajo la metodología de desarrollo de software en V, la cual nos permite desarrollar hardware y software al mismo tiempo, para el análisis y diseño del software, la metodología prometheus tiene una herramienta plugin PDT que nos proporciona una serie de diagramas que facilitan el análisis del desarrollo de los agentes inteligentes. Se combinó las metodologías en V y prometheus mediante la refactorización luego se procede a desarrollar la construcción del agente inteligente, este realizará las acciones que un rescatista minero realiza cuando se encuentra en estas situaciones, como los derrumbes de las minas subterráneas. Para interactuar con el ambiente que es el interior de la mina subterránea se utilizará un prototipo de robot móvil, el cual será armado con arduino, el prototipo contará con un controlador de locomoción difusa, podrá avanzar por su entorno. El agente inteligente recibirá las percepciones mediante la cámara y los sensores del prototipo de robot, con estas percepciones el agente inteligente decidirá si encontró un trabajador herido o seguir buscando hasta localizar al trabajador, si encuentra un obstáculo por los datos obtenidos por la cámara decidirá la acción necesaria y el prototipo de robot lo ejecutará. Al finalizar se evalúa al agente inteligente y al controlador difuso, realizando experimentos en un ambiente con condiciones similares a un accidente minero por derrumbes. Los resultados demostraron que el uso del agente inteligente y la lógica difusa permiten al robot móvil buscar y localizar trabajadores atrapados por estos derrumbes.

PALABRAS CLAVE: Robótica, Agentes inteligentes, Prometheus, Tecnología minera

ABSTRACT

Technology has brought about important changes in the daily activities of man, becoming a fundamental product of the consumption of humanity. The objective of this work is to develop a mobile robot prototype that seeks and locates workers or rescue workers trapped by landslides in an underground mine.

It is worth mentioning that the analytical part of this work was developed in the software development methodology in V, which allows us to develop hardware and software at the same time, for the analysis and design of software, the Prometheus Methodology, has a complement tool PDT that offers a series of diagrams that facilitate the analysis of the development of intelligent agents. The methodologies in V and prometheus are combined by means of refactoring, then the constructions of the intelligent agent are developed, this performs the actions that a miner is carried out when encountering these events such as the collapses of the underground mines. To interact with the environment that is the interior of the underground mine, a mobile robot prototype is used, which is armed with armor, the prototype has a fuzzy locomotion controller for which it can advance through its environment. The intelligent agent received the perceptions through the camera and the sensors of the robot prototype, with these perceptions the intelligent agent will decide if he has found a wounded worker or if he can not look for it, he will not find obstacles for the determined camera. necessary action and the robot prototype will execute it. At the end, the intelligent agent and the fuzzy controller are evaluated, performing experiments in an environment with conditions similar to a landslide accident. the results showed that the use of the intelligent agent and fuzzy logic allows the mobile robot to locate and locate workers trapped by these landslides.

KEY WORDS: Robotics, Intelligent Agents, Prometheus, Mining Technology

INDICE

CAPÍTULO I	1
MARCO INTRODUCTORIO	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.3.1. PROBLEMA CENTRAL	12
1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS.....	12
1.4 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	13
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.5 HIPÓTESIS	13
1.5.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	13
1.6 JUSTIFICACIÓN	14
1.6.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	14
1.6.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	14
1.6.3. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA	15
1.7 ALCANCES Y LÍMITES	15
1.7.1. ALCANCES	15
1.7.2. LÍMITES.....	15
1.8 APORTES	16
1.8.1. PRÁCTICO.....	16
1.8.2. TEÓRICO	16
1.9 METODOLOGÍA	16
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	17
2.2 ROBÓTICA	18
2.2.1 TIPOS DE ROBOTS.....	19
2.2.1.1 ANDROIDES	19
2.2.1.2 INDUSTRIALES	19
2.2.1.3 MÉDICOS	20
2.2.1.4 POLIARTICULADOS	21
2.2.1.5 MÓVILES	22
2.2.1.6 ZOOMÓRFICOS	22

2.2.1.7 HÍBRIDOS	22
2.2.2 ROBOT MÓVIL	23
2.2.2.1 ROBOT MÓVIL CON RUEDAS	23
2.2.2.2 ROBOT MÓVIL CON PATAS	24
2.2.2.3 ROBOTS SUBMARINOS Y AÉREOS.....	25
2.2.3 ROBOTS AUTÓNOMOS Y TELERROBÓTICA	26
2.2.4 ARQUITECTURA BASICAS DE CONTROL	26
2.2.4.1 ARQUITECTURA DELIBERATIVA.....	27
2.2.4.2 ARQUITECTURA REACTIVA.....	27
2.2.4.3 ARQUITECTURA HÍBRIDA	28
2.3. AGENTES INTELIGENTES	28
2.3.1 ¿QUÉ ES UN AGENTE?	29
2.3.2 ESTRUCTURA DE AGENTES	30
2.3.3 TIPOS DE AGENTES INTELIGENTES	31
2.3.3.1 AGENTES REACTIVO SIMPLE	31
2.3.3.2 AGENTES REACTIVOS BASADOS EN MODELOS	32
2.3.3.3 AGENTES BASADOS EN OBJETIVOS.....	32
2.3.3.4 AGENTES BASADOS EN UTILIDAD.....	33
2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES INTELIGENTES DE ACUERDO A CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.....	34
2.4 METODOLOGÍA PROMETHEUS.....	35
2.4.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	37
2.4.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	37
2.4.3 DISEÑO DETALLADO.....	37
2.5 LÓGICA DIFUSA	38
2.5.1 CONJUNTOS DIFUSOS.....	39
2.5.2 FUNCIONES DE PERTENENCIA.....	40
2.5.3 VARIABLES LINGÜÍSTICAS.....	40
2.5.4 REGLAS DIFUSAS	42
2.5.5 INFERENCIA DIFUSA	43
2.5.5.1 INFERENCIA DE MANDANI.....	44
2.5.5.2 INFERENCIA TSK.....	45
2.6. MINERÍA SUBTERRÁNEA	47
2.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEOS	47
2.6.1.1 MÉTODO DE CÁMARAS Y PILARES	48
2.6.1.2 MÉTODO POR CORTE Y RELLENO	49
2.6.1.3 MÉTODO DE HUNDIMIENTO	50
2.7 METODOLOGÍA EN V.....	52
 CAPÍTULO III	 55
 MARCO APLICATIVO	 55

3.1 INTRODUCCIÓN	55
3.2 INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	57
3.2.1. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE	57
3.2.2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE	61
3.2.3 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	61
3.2.3.1 IDENTIFICAR ACTORES	61
3.2.3.2 IDENTIFICAR PERCEPCIONES Y ACCIONES (ENTRADAS / SALIDAS)	62
3.2.3.3 IDENTIFICAR LOS OBJETIVOS DEL SISTEMA	64
3.2.3.4 IDENTIFICAR / DEFINIR ESCENARIOS Y ROLES	66
3.3 DISEÑO DEL SISTEMA Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA	72
3.3.1 ARMADO DEL ROBOT MÓVIL	72
3.3.1.1 DISTRIBUCIÓN DE GRADOS DE LIBERTAD	72
3.3.1.2 ESTRUCTURA DEL ROBOT MÓVIL	73
3.3.1.3 DISEÑO DEL CHASIS	74
3.3.1.4 DISEÑO DE LAS RUEDAS	74
3.3.1.5 DISEÑO DE LA CABEZA	75
3.3.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	75
3.3.2.1 ACOPLAMIENTO DE DATOS Y ROLES	76
3.3.2.2 DETERMINACIÓN DE TIPOS DE AGENTES	76
3.3.2.3 DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA Y DESCRIPTORES	78
3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE Y DISEÑO DETALLADO	80
3.4.1 CONTROL DE LOCOMOCIÓN DIFUSO DEL ROBOT MÓVIL	80
3.4.1.1 FUZZIFICADOR	81
3.4.1.2 REGLAS DE INFERENCIA	83
3.4.1.3 DEFUZZICADOR	85
3.4.2 DISEÑO DETALLADO	85
3.4.2.1 ESTRUCTURA INTERNA DE CADA AGENTE INDIVIDUAL	86
3.4.2.2 DESCRIPTORES DE CAPACIDADES	87
3.4.2.3 DIAGRAMAS Y DESCRIPTORES DE LOS PLANES	89
3.5 CODIFICACIÓN O IMPLEMENTACIÓN.....	95
3.6 VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE Y DISEÑO DETALLADO.....	95
3.6.1 VERIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL DE LOCOMOCIÓN DIFUSO DEL ROBOT MÓVIL	96
3.7. ENTRELAZAMIENTO DE DISPOSITIVOS Y PROTOTIPO FINAL.....	97
 CAPÍTULO IV.....	 100
 PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	 100
 4.1 INTRODUCCIÓN	 100
4.1.1 INVESTIGACIÓN CUALITATIVA	100

4.1.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO.....	111
CAPÍTULO V	113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
5.1 CONCLUSIONES	113
5.2 RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Robot Androides	<u>19</u>
Figura 2.2 Robot Industriales Compañía Abb.....	<u>20</u>
Figura 2.3 Robot Medico Da Vinci Si.....	<u>21</u>
Figura 2.4 Robot Poli Articulados.....	<u>21</u>
Figura 2.5 Robot Zoomórficos	<u>22</u>
Figura 2.6 Robot Híbrido	<u>23</u>
Figura 2.7 Robot Con Ruedas	<u>24</u>
Figura 2.8 Robot Con Patas	<u>25</u>
Figura 2.9 Arquitectura Deliberativa.....	<u>27</u>
Figura 2.10 Arquitectura Reactiva.....	<u>28</u>
Figura 2.11 Agente Reactivo Simple.....	<u>31</u>
Figura 2.12 Agente Reactivo Basado En Modelos.....	<u>32</u>
Figura 2.13 Agente Basado En Objetivos	<u>33</u>
Figura 2.14 Agente Basado En Utilidad.....	<u>34</u>
Figura 2.15 Visión General De La Metodología Prometheus	<u>36</u>
Figura 2.16 Diagrama De Conjuntos Difusos	<u>42</u>
Figura 2.17 Estructura Básica De Inferencia Tsk.....	<u>46</u>
Figura 2.18 Método De Cámaras Y Pilares.....	<u>49</u>
Figura 2.19 Método De Corte Y Relleno	<u>50</u>
Figura 2.20 Método De Hundimiento	<u>52</u>
Figura 2.21 Metodología En V	<u>53</u>
Figura 3.1 Diagrama De Descripción General De Objetivos O Metas	<u>65</u>
Figura 3.2 Diagrama De Descripción General De Escenarios	<u>67</u>
Figura 3.3 Diagrama De Rol Procesador Acceder Zona De Emergencia	<u>68</u>
Figura 3.4 Diagrama De Rol Procesador Acceder Lugar Trabajador Atrapado	<u>69</u>
Figura 3.5 Diagrama De Rol Procesador Obtener Datos Prototipo.....	<u>69</u>
Figura 3.6 Diagrama De Rol Procesador Obtener Datos Cámara	<u>70</u>
Figura 3.7 Diagrama De Descripción General	<u>71</u>
Figura 3.8 Diseño General Del Robot Móvil	<u>72</u>
Figura 3.9 Configuraciones De Los Grados De Libertad.....	<u>73</u>
Figura 3.10 Diseño Del Chasis Del Prototipo De Robot Móvil.....	<u>74</u>
Figura 3.11 Estructura Del Robot Móvil.....	<u>75</u>
Figura 3.12 Diagrama De Descripción General De Acoplamiento De Datos	<u>76</u>
Figura 3.13 Diagrama De Descripción General De Agrupación Por Rol	<u>77</u>
Figura 3.14 Diagrama General Del Sistema.....	<u>78</u>
Figura 3.15 Variable Lingüística Distancia Del Obstáculo.....	<u>81</u>
Figura 3.16 Variable Lingüística Velocidad Del Robot.....	<u>82</u>
Figura 3.17 Ángulo De Giro Del Robot	<u>82</u>
Figura 3.18 Librería Efl para IDE Arduino.....	<u>85</u>
Figura 3.19 Diagrama General De Capacidades Del Agente Rescatista.....	<u>86</u>

Figura 3.20 Diagrama Plan Verificar Condiciones Atmosféricas	90
Figura 3.21 Diagrama Plan Eludir Obstáculos	90
Figura 3.22 Diagrama Plan Intersección entre Túneles.....	91
Figura 3.23 Diagrama Plan Identificar Persona.....	92
Figura 3.24 Diagrama Plan Identificar Pilares	92
Figura 3.25 Diagrama Plan Identificar Nodos.....	93
Figura 3.26 Interfas Del Agente Inteligente rescatista	95
Figura 3.27 Locomoción Difusa Del Prototipo Robot Móvil.....	96
Figura 3.28 Locomoción Difusa Verificación Dos	97
Figura 3.29 Entrelazamiento De Dispositivos.....	98
Figura 3.30 Estructura Del Prototipo De Robot	99
Figura 4.1 Condiciones Para La Realización De Pruebas	100
Figura 4.2 Primer Experimento	101
Figura 4.3 Fotogramas Obtenidos En El Experimento.....	102
Figura 4.4 Fotograma Obtenido Por La Cámara	103
Figura 4.5 Fotograma De Una Persona Desmayada.....	104
Figura 4.6 Reconocimiento De Zona De Emergencia Experiemento 4	105
Figura 4.7 Reconocimiento De Zona De Emergencia Experiemento 5	106
Figura 4.8 Identificación De Una Persona Herida.....	107
Figura 4.9 Reconocimiento De La Zona De Emergencia Experiemnto 7.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Autómatas Mas Famosos	<u>3</u>
Tabla 3.1 Combinación De Los Metodologías En V Y Prometheus.....	<u>56</u>
Tabla 3.2 Elementos Del Prototipo Robot Móvil Parte 1.....	<u>58</u>
Tabla 3.3 Elementos Del Prototipo Robot Móvil Parte 2.....	<u>59</u>
Tabla 3.4 Elementos Del Prototipo Robot Móvil Parte 3.....	<u>60</u>
Tabla 3.5 Actores Del Sistema Inteligente	<u>62</u>
Tabla 3.6 Listado De Las Metas Y Objetivos Del Agente Inteligente	<u>64</u>
Tabla 3.7 Descriptores Del Agente Rescatista	<u>80</u>
Tabla 3.8 Descriptores De Capacidad Identificar Personas	<u>87</u>
Tabla 3.9 Descriptores De Capacidad Identificar Nodos	<u>88</u>
Tabla 3.10 Descriptores De Capacidad Identificar Pilares.....	<u>88</u>
Tabla 3.11 Descriptores De Capacidad Inspeccionar Zona De Emergencia.....	<u>89</u>
Tabla 3.12 Descriptor Plan Inspeccionar Zona De Emergencia.....	<u>93</u>
Tabla 3.13 Descriptor Plan Identificar Personas	<u>94</u>
Tabla 3.14 Descriptor Plan Identificar Pilares.....	<u>94</u>
Tabla 4.1 Datos Obtenidos Tras Experimento 1.....	<u>102</u>
Tabla 4.2 Datos Obtenidos Tras Experimento 2.....	<u>103</u>
Tabla 4.3 Datos Obtenidos Tras Experimento 3.....	<u>105</u>
Tabla 4.4 Datos Obtenidos Tras Experimento 4.....	<u>106</u>
Tabla 4.5 Datos Obtenidos Tras Experimento 5.....	<u>107</u>
Tabla 4.6 Datos Obtenidos Tras Experimento 6.....	<u>108</u>
Tabla 4.7 Datos Obtenidos Tras Experimento 7.....	<u>108</u>
Tabla 4.8 Datos Obtenidos Tras Experimento 8.....	<u>109</u>
Tabla 4.9 Datos Obtenidos Por El Experimento 9.....	<u>110</u>
Tabla 4.10 Datos Obtenidos Experimento 10.....	<u>110</u>
Tabla 4.11 Datos General De Exitos Y Fallas.....	<u>111</u>

CAPÍTULO I

MARCO INTRODUCTORIO

1.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el progreso tecnológico ha provocado cambios importantes trascendentales en las actividades diarias del hombre, más aun la tecnología se convirtió en uno de los productos fundamentales del consumo de la humanidad, muchas de las aplicaciones tecnológicas fueron realizadas gracias a la inteligencia artificial, además es una opción muy importante el cual realiza el estudio de cómo construir sistemas informáticos que realicen tareas que requieran inteligencia de alguna manera.

Dentro de la Inteligencia Artificial el área que ha ganado relevancia en las últimas dos décadas es la robótica, técnica utilizada para la construcción de robots. Esto ha surgido por un lado, por la necesidad de abordar problemas donde los trabajos son demasiado sucios peligrosos o tediosos para los humanos, la robótica ha dado lugar, entre otras cosas, a un proceso de producción mucho más eficiente y un alto grado de calidad en los productos además son utilizados en plantas manufactureras, montaje y ensamblaje de transporte, en exploraciones en la tierra y en el espacio, cirugías, en investigaciones de laboratorio y minería. En los últimos años las aplicaciones en la minería subterránea han aumentado notablemente hasta el punto de convertirse en una necesidad, dando lugar a las aplicaciones siguientes: redes neuronales artificiales para dosificar el flujo de aire en la ventilación minera subterránea, redes bayesianas para la clasificación de documentos de depósitos minerales, prospección geológica remota satelital, redes neuronales para sistemas de acceso a bodegas, compuertas, canales, cortadas y sistemas de iluminación inteligente.

En el presente trabajo, se pretende la construcción de un robot móvil que busque y localice a los trabajadores o rescatistas atrapados por derrumbes ocurridos en el interior de una mina subterránea, aplicando agentes inteligentes cómo cerebro del robot móvil el cual tomara las

decisiones como un rescatista en busca de heridos, interactuando con su entorno, mediante sensores controlados por un control difuso que le permita moverse por su entorno.

1.2 ANTECEDENTES

A lo largo de nuestra historia, el ser humano se ha sentido fascinado con la construcción de las máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimientos de los seres vivos. Los griegos denominaban a estas máquinas como automatos de la cual deriva la palabra actual autómata definida como máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado (Barrientos a et, 1997). Sin embargo la necesidad cada vez más de aumentar la productividad y conseguir productos acabados de una calidad uniforme hacen que la industria gire hacia una automatización basada en computador, lo que ocasiono el interés creciente en el uso de robots capaces de efectuar una variedad de funciones de fabricación en un entorno de trabajo flexible y a un menor costo de producción (González a et, 2006).

Del siglo VIII a XV la cultura árabe heredo y difundió los conocimientos griegos en aplicaciones prácticas de la vida cotidiana de la realeza, como los dispensadores automáticos de agua para beber y lavarse, otro ejemplo relevante de aquella época en el año 1352 es el gallo de Estrasburgo considerado el autómata más antiguo conservado en la actualidad en la parte del reloj de la torre de la catedral de Estrasburgo que al dar la hora movía las alas y el pico. Además no se tiene referencias de autómatas, como el hombre de hierro de Alberto Magno en los años 1204 y 1282 o la cabeza parlante de Roger Bacon en los años 1214 y 1294. Durante los siglos XV y XVI los ingenios descritos y desarrollados por los griegos, además es conocido el león mecánico construido por Leonardo Da Vinci entre los años 1452 y 1519 para el rey Luis XII de Francia. Los siglos XVII y XVIII no se quedaron atrás los ingenios mecánicos tenían algunas características de los robots actuales, fueron creados por artesanos del gremio de la relojería, su misión era entretener a las gentes de la corte y servir de atracción en las ferias, representaban a figuras humanas, animales o pueblos enteros. Son destacables entre otros el pato de Vaucanson y los muñecos de la familia Droz y de Mailladert (Barrientos et al., 1997).

En la siguiente tabla 1.1 se muestra el año, el autor y el nombre de los autómatas más famosos en la historia.

AÑO	AUTOR	AUTOMATA
1352	Desconocido	Gallo de la catedral de Estrasburgo
1499	L. Da Vinci	León mecánico
1525	j. Turriano	Hombre de Palo
1738	J de Vaucanson	Flautista, tamborilero, pato, muñecas mecánicas de tamaño humano
1769	W. Von Kempelen	Jugador de ajedrez
1770	Familia Droz	Escriba, organista, dibujante
1805	H. Maillardet	Muñeca mecánica capaz de dibujar

Tabla 1.1 Autómatas más famosos
Fuente: Barrientos et al., 1997.

La palabra robot fue usada por primera vez en el año 1921. En los años 1890 y 1938 cuando el escritor checo Karel Capek, estrena en el teatro nacional de Praga su Obra Rossum's Universal Robot (R. U. R.). Estos robots servían a sus jefes humanos desarrollando todos los trabajos físicos, al final se rebelan contra sus dueños, destruyendo toda la vida humana (Barrientos et al., 1997).

En 1948, William Grey Walter construye a Elmer y Elsie, las tortugas robots autónomos llamados Speculatrix Machina, porque estos robots exploraban su entorno. Elmer y Elsie, fueron equipadas cada una de dos receptores, uno sensible a la luz y el otro a los choques, evitando los obstáculos en su camino, la tortuga era atraída por la luz moderada, pero no era gustosa de la luz muy intensa. Estos robots demostraron que el comportamiento complejo podría surgir de un diseño simple. Elmer y Elsie sólo tenía el equivalente a dos células nerviosas, eran capaces de expresar cuatro tipos distintos de comportamientos como patrón de explotación, fototropismo positivo, otro negativo y esquivar obstáculos (Grey, 2016).

Entre 1961 y 1963, la Universidad Johns Hopkins desarrolla Beast. El robot Beast utiliza un sonar para moverse. Cuando sus baterías se descargan es capaz de buscar una toma de corriente y aproximarse para enchufarlo automáticamente. En 1969, Mowbot fue el primer robot que automáticamente corta el césped, además detecta incluso cuando hay que proceder al corte del césped (Fernández et al., 2010).

En 1970, el carro seguidor de línea de Stanford era un robot móvil que fue capaz de seguir una línea blanca, usando una cámara para ver las líneas. Más o menos al mismo tiempo entre 1966 y 1972, el Instituto de Investigación de Stanford construyó y realizó la investigación sobre el robot Shakey, llamado así por su movimiento desigual. Shakey tenía una cámara, un telémetro, sensores Bump y un enlace de radio. Shakey fue el primer robot que podría razonar acerca de sus acciones. Esto significa que Shakey se le podría dar órdenes muy generales también el robot podría averiguar los pasos necesarios para llevar a cabo la tarea encomendada (Trilnick, 2016).

El programa Viking de la NASA (1976) envía dos naves espaciales no tripuladas a Marte. En 1980, El interés del público en los robots se incrementa, dando lugar a los robots que podrían ser comprados para uso doméstico. Estos robots sirven de entretenimiento o con fines educativos. Los ejemplos incluyen el robot RB5X capaz de jugar juegos interactivos con hasta 8 personas, todavía existe hoy. El carrito de Stanford es ahora capaz de navegar por su camino a través de carreras de obstáculos y hacer mapas de su entorno (World heritage encyclopedia, 2016).

En 1987, el equipo de Ernst Dickmanns al Bundeswehr en la Universidad de Munich construye los primeros coches robot, que llegan hasta una velocidad de 55 m/h en las calles vacías (Dickmanns, 2016). En 1990, Joseph Engelberger, el padre del brazo robótico industrial, trabaja con sus colegas para diseñar los primeros robots móviles autónomos disponibles en el mercado de los hospitales, que se venden por ayuda idónea. El Departamento de Defensa de Estados Unidos financia el proyecto MDARS-I, sobre la base del robot de seguridad interior de CyberMotion (World heritage encyclopedia, 2016).

En 1991, Edo, Franzi, André Guignard y Francesco Mondada desarrollaron Khepera, un pequeño robot móvil autónomo, dedicada a actividades de investigación. El proyecto fue financiado por el laboratorio de LAMI-EPFL. Entre los años 1993 y 1994, Dante I y Dante II fueron desarrollados por la Universidad Carnegie Mellon. Ambos caminaban y eran utilizados para explorar volcanes activos (Wettergreen et al., 2016).

En 1994, con pasajeros a bordo, los vehículos robóticos gemelos llamados VaMP y Vita-2 de Daimler Benz y Ernst Dickmanns de UniBwM logro conducir más de 1000 kilómetros en una autopista de tres carriles de Paris y en un tráfico pesado estándar a velocidades de hasta 130 km / h. Demuestran la conducción autónoma en los carriles libres, la conducción en convoy y los cambios de carril de la izquierda a la derecha pasando a otros coches (Dickmanns, 2016).

En 1995, uno de los coches robot de Ernst Dickmanns (robot controlado con acelerador y frenos) condujeron más de 1000 kilómetros de Múnich a Copenhague, en el tráfico, a velocidades de hasta 120 m/h, en ocasiones ejecutaba maniobras para adelantarse a otros vehículos (sólo en algunas situaciones críticas asumió el control un conductor de seguridad). La visión activa, se utilizó para hacer frente a la rápida evolución de escenas de la calle (Dickmanns, 2016). En el mismo año el robot móvil programable Pioneer se convierte comercialmente disponible en el mercado a un precio accesible, lo que permite un aumento generalizado de la investigación de la robótica y los estudios universitarios en la próxima década la robótica móvil se convierte en una parte estándar del plan de estudios de las Universidades (World heritage encyclopedia, 2016).

En 1999, Sony presenta a Aibo, un perro robot capaz de ver, caminar e interactuar con su entorno (Aibo, 2016). PackBot es el primer robot recluta del ejercito Norte Americano, PackBot fue creado para misiones de reconocimiento en terreno urbano y semiurbano (iRobot, 2016). En 2001, Inicio del proyecto Swarm-bots. Los robots de enjambres son similares a las colonias de insectos más que todo a las hormigas. Normalmente se componen

de un gran número de robots individuales simples, que pueden interactuar entre sí logrando como equipo realizar tareas muy complejas como alzar objetos pesados (Dorigo, 2016).

En 2002, aparece Roomba, es un robot móvil autónomo que limpia el suelo (iRobot, 2002). Axxon Robótica (2003), compra Intellibot, fabricante de una línea de robots comerciales de limpieza de los pisos y de barrido en los hospitales, edificios de oficinas y otros edificios comerciales. Los robots de cuidado de pisos de Intellibot Robótica funcionan de manera totalmente autónoma, el mapa de su medio ambiente y el uso de una serie de sensores para la navegación permite evadir los obstáculos (Fernández et al., 2010).

En 2004, Robosapien, un robot biomorfo de juguete diseñado por Mark Tilden uno de los expertos en robótica más conocidos de mundo, Robosapien está pre programado con movimientos controlados por un control remoto infrarrojo, diseñado para ser fácilmente modificado (Dinis et al., 2016). El proyecto Centibots tenía como objetivo desarrollar robots que pudieran llevar a cabo labores de vigilancia, el objetivo del proyecto era el desarrollo de tecnología para soportar la actividad de equipos de hasta 100 robots que trabajan juntos para hacer un mapa de un entorno desconocido y la búsqueda de objetos dentro del ambiente. En la primera competencia de llamada DARPA Grand Challenge, los vehículos totalmente autónomos compiten entre sí en un campo de desierto (Darpa, 2016).

En 2005, Boston Dynamics crea un robot cuadrúpedo destinado a transportar cargas pesadas a través de un terreno demasiado áspero para los vehículos. En 2006, Sony deja de producir a Aibo. PatrolBot mapea edificios y actualiza constantemente su posición dentro de unos pocos centímetros mientras viaja dentro de las áreas asignadas, el robot móvil PatrolBot lograba continuar la lucha para ser comercialmente viable. En el Departamento de defensa de EE.UU. cae el proyecto MDARS-I, pero los fondos MDARS-E, un robot de ámbito autónomo sigue en investigación. TALON-Espada, el primer robot comercial con lanzagranadas y otras opciones de armas integradas. Además Asimo de la Honda, un robot humanoide de 130 cm de altura, aprende a correr y subir escaleras (World heritage encyclopedia, 2016).

En 2007, DARPA Urban Challenge Grand, es un concurso organizado por DARPA, la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa, con la participación de vehículos terrestres no tripulados y autónomos en una zona urbana (Darpa, 2016). Kiva system era una empresa de robots inteligentes que proliferan en las operaciones de distribución, Estos robots se mueven como cucarachas por los almacenes y son capaces de mover estanterías y cajones repletos de productos de diferentes pesos (Herranz, 2015).

En 2008, Boston Dynamics lanzó un video de una nueva generación de BigDog capaz de caminar sobre terreno helado y recuperar su equilibrio, cuando es empujado desde un costado (Boston dynamics, 2008). En 2010, El Desafío Internacional robótica terrestre multi autónoma cuenta con equipos de vehículos autónomos, mapas de un gran entorno urbano dinámico, identificar y rastrear a los seres humanos y evitar objetos hostiles en el camino (World heritage encyclopedia, 2016).

En 2016, El Gemini-scout robot móvil fue diseñado por ingenieros de Sandia robotics para reemplazar a los humanos en las primeras etapas de la planificación y la respuesta de rescate durante un accidente minero. El robot puede entrar en situaciones potencialmente peligrosas por delante de los equipos de rescate para evaluar entornos peligrosos y ayudar a determinar qué operaciones deben continuar, no es totalmente automático, es controlado de forma remota (Sandia robotics, 2016).

Ingenieros y estudiantes de la universidad nacional de ingeniería (UNI), diseñaron y presentaron un robot minero capaz de ingresar a un socavón e iniciar un mapeo automático y la exploración del mismo en busca de gases tóxicos, pesa 120 kilos y tiene más de un metro de alto, contiene un sensor de laser de mapeo, sensores de gases y de comunicación, con el fin de detectarlos y mandar de manera inalámbrica la información a una estación manejada por un operador que ve, en tiempo real mediante una computadora, el mapa donde se ubica el robot y también los puntos de peligro para que el operario mande una alerta a los mineros (Roman, 2016).

Los trabajos de investigación similares o que ayudaran a la investigación del presente trabajo son las siguientes:

- TITULO:“TESIS DE GRADO, ROBOTICA EDUCATIVA COMO HERRAMIENTA DIDACTICA PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE MATEMETICAS PARA 5TO DE PRIMARIA”
- AUTOR: Reynaldo Tambo Huchani
- AÑO: 2015
- INSTITUCION: Universidad Mayor de San Andrés, La paz-Bolivia

RESUMEN:

Este trabajo, ataca principalmente el problema de mejorar el rendimiento en el proceso de enseñanza y aprendizaje de matemáticas en el nivel de 5to de primaria, el objetivo de este trabajo es mejorar la enseñanza y el aprendizaje en la materia de matemáticas sobre todo en 5to de primaria para esto la robótica educativa es propia para apoyar las habilidades productivas, creativas y la programación además se convierte en un motor para la innovación cuando produce cambios en las personas en cuanto a sus ideas y actitudes, en las relaciones y modos de actuar y pensar en los estudiantes, como resultado con la robótica educativa se observan en la mejora de los estudiantes en sus habilidades.

- TITULO: “TESIS DE GRADO, ORIENTACION REACTIVA EN ROBOTS LEGO AL INTERIOR DE UN ENTORNO DE TRABAJO NO ESTRUCTURADO”
- AUTOR: Yohoni Cuenca Sarzuri
- AÑO: 2003
- INSTITUCION: Universidad Mayor de San Andrés, La paz-Bolivia

RESUMEN:

Este trabajo, básicamente ataca el problema de orientación de los robots reactivos en un entorno no estructurado, mediante la orientación los robots logran adaptarse a su entorno de vida. Además menciona que la generación de comportamientos como el fototaxismo y el desarrollo de un sistema de orientación basada en un sistema de fuente de estímulos mejora

la navegación de un robot, maneja una arquitectura de subsumption, para el sistema de control utiliza las redes de Petri, para las pruebas utiliza un robot Lego MindStorms. Las pruebas muestran que en promedio de 10 tareas 7 son cumplidas satisfactoriamente.

- TITULO: “ROBOT MOVIL PARA RECONOCIMIENTO DE TERRENOS”.
- AUTORES: Castaños Decena Francisco, Cosme Bustamante Carlos, Martínez Tovar Carlos Uriel
- AÑO: 2011
- INSTITUCION: Escuela superior de ingeniería Mecánica y eléctrica, México D.F.

RESUMEN:

Este trabajo, se basa fundamentalmente, en el estudio de un robot móvil inalámbrico, el problema que se ataca es principalmente reconocer terrenos que son difíciles de acceso para el ser humano. A la vez muestre imágenes en tiempo real que sirvan para trazar una trayectoria el cual sirve para la ubicación de objetos. El robot móvil está diseñado de manera que el operario que lo vaya a controlar no requiera de mucha capacitación de manejarlo, es controlado por un control inalámbrico de radio frecuencia y la visión de cámara ayuda a reconocer los terrenos. El material usado en el prototipo son motores eléctricos, rodamientos, cámara, receptor de frecuencia de la cámara inalámbrica, decodificadora de video para la señal de la cámara de video, servomotores, control de radio frecuencia, receptor del control de radio frecuencia y la tarjeta de potencia de motores.

- TITULO: “TESIS DOCTORAL ROBOTICA MODULAR Y LOCOMOCION APLICACIÓN A ROBOTS APODOS”
- AUTOR: Juan Gonzales Gómez
- AÑO: 2008
- INSTITUCION: Universidad Autónoma de Madrid, Madrid

RESUMEN:

Este trabajo, básicamente ataca el problema de cómo coordinar el movimiento de las articulaciones de los robots modulares para que puedan desplazarse tanto en una como en dos dimensiones. Para aumentar la versatilidad en la locomoción, la robótica modular propone la creación de robots a partir de unos módulos básicos. Además en esta tesis establece una clasificación de los robots modulares según su topología y tipo de conexión, se emplea generadores sinusoidales como controladores para la locomoción de los robots ápodos modulares con topología de una dimensión, de los grupos cabeceo-cabeceo y cabeceo-viraje logrando que los robots se desplacen al menos utilizando cinco modos de caminar diferentes, como resultado se obtuvo generadores sinusoidales como controladores para la locomoción en una y dos dimensiones de los robots apodos modulares, en régimen permanente y sobre superficies planas, homogéneas y sin obstáculos, este controlador es más eficiente para robot con un número de módulos mayor o igual a dos o tres.

- TITULO: “TESIS DE MASTRIA CONTROL DE UN ROBOT TIPO PUMA UTILIZANDO CELDAS NEURONALES ANALOGAS”
- AUTOR: Enrique Martínez Peña
- AÑO: 2008
- INSTITUCION: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Técnico, México

RESUMEN:

Este Trabajo, la investigación busca utilizar un brazo robótico tipo puma de tres grados de libertad, para emular el comportamiento de los movimientos de un brazo humano, bajo un paradigma del generador central de patrones, logrando reducir los patrones requeridos para controlar las extremidades de los seres biológicos, esto se realizó implantando el modelo matemático de las redes neuronales celulares, para obtener un generador central de patrones que genere las señales de excitación que permita movimientos periódicos similares a un brazo humano.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La explotación subterránea de minerales ha sido considerada como una de las actividades más riesgosas que realiza el hombre, excavando la tierra en busca de minerales, además desde el derrumbe de la mina San José ubicado en la comuna Chilena en donde quedaron atrapados 33 mineros, los grupos de rescate empezaron a trabajar ingresando en busca de lugares de acceso, se produjo un nuevo derrumbe que dificultó la búsqueda, estos hechos produjeron en la actualidad estudios en los cuales se muestra la existencia de accidentes mineros. A continuación se mencionan algunas estadísticas de los riesgos de accidente en minas subterráneas.

En 2009, el periódico Perú21 publica que las principales causas de los accidentes fatales en minas subterráneas fueron debido al 48% por derrumbes o deslizamientos de mineral, 16% por intoxicación, asfixia o radiación, 24% por operación de maquinarias, 4% por operaciones de carga y descarga, dejando un saldo de 23 mineros muertos (Peru21, 2016).

En 2016, la Agencia Nacional de Minería (ANM), Colombia determina que el mayor número de accidentes de minas subterráneas se presentaron por derrumbes, el cual es representado por el 38%, el 15% por inhalación de gases y 10% por incendios (ANM, 2016). En 2015, según el servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), de Chile indican que los accidentes en minas subterráneas son por la caída de rocas, los derrumbes y el colapso de subsidencias (Sernageomin, 2015).

Toda mina o galería subterránea está propensa a derrumbes por el gran peso de material que soporta poniendo en peligro a los trabajadores, lo que hace imposible mandar un grupo de rescatistas existiendo una probabilidad de que se derrumbe de nuevo, lo que causa arriesgar más trabajadores por el colapso de los túneles. En Bolivia actualmente no existen informes de accidentes mineros de gran magnitud como los de Chile. Pero en 2016 la razón informa

de 3 muertos y 20 trabajadores atrapados por un derrumbe al interior de la mina Caracoles, ubicada en el municipio paceño de Quime, en la provincia Inquisivi, dedicada a la explotación de estaño (Columba, 2016).

1.3.1. PROBLEMA CENTRAL

¿Cómo buscar y localizar a los trabajadores o rescatistas atrapados por derrumbes en una mina subterránea?

1.3.2. PROBLEMAS SECUNDARIOS

Tomando en cuenta el estudio y las observaciones realizadas, se han identificado los siguientes problemas secundarios.

- La caída de rocas en minas subterráneas, ocasiona que los trabajadores queden atrapados y heridos.
- Los gases o vapores inflamables liberados por derrumbes, pueden ocasionar incendios y explosiones dejando a los trabajadores con quemaduras.
- Los gases o vapores tóxicos liberados por derrumbes pueden provocar la muerte o dejar gravemente lesionados a los trabajadores.
- No se puede mandar grupos de rescatistas para la búsqueda de trabajadores heridos en una mina propensa a derrumbes, lo que ocasiona la pérdida de vidas.
- La falta de oxígeno puede asfixiar a un trabajador minero, provocando la pérdida de la conciencia y desmayos.
- Los trabajadores atrapados demasiado tiempo por un derrumbe están heridos, hambrientos, lo que ocasiona la pérdida de vidas.

1.4 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de robot móvil que busque y localice a los trabajadores o rescatistas atrapados por derrumbes en una mina subterránea.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar el agente inteligente rescatista que realizara decisiones de búsqueda y localización.
- Usar sensores para la alerta de los gases o vapores tóxicos e inflamables liberados por derrumbes.
- Desarrollar un controlador difuso para la locomoción del robot móvil con ruedas
- Definir los componentes electrónicos necesarios en la estructura del prototipo robot móvil para controlar su locomoción
- Brindar apoyo en las labores de los grupos de rescate en el proceso de búsqueda y localización de trabajadores atrapados y heridos por derrumbes en minas subterráneas.

1.5 HIPÓTESIS

El uso de agentes inteligentes y lógica difusa permite que el robot móvil busque y localice a los trabajadores y rescatistas atrapados por derrumbes en una mina subterránea, evitando riesgos humanos.

1.5.1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

A continuación se identificaron las siguientes variables los cuales serán utilizados en la demostración de la hipótesis.

Variable Dependiente: robot móvil busque y localice a los trabajadores y rescatistas.

Variable Independiente: agentes inteligentes y lógica difusa.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Un robot móvil es desarrollado para apoyar a los trabajadores que formaran los grupos de rescate en los hechos catastróficos de una mina subterránea, sin tener que tomar riesgos y no tener más heridos lo cual implica la compra de medicamentos, curación de las lesiones en un hospital, tratamientos carísimos, ecografías, rayos x, ya que todo esto tendría un costo adicional para los trabajadores o empresas mineras, esto también es una de las causas por las que muchos trabajadores quedan lesionados de por vida sin poder trabajar más, por tanto en robot móvil será de un costo mínimo al alcance de las empresas mineras dando seguridad a los grupos de rescate formados para la contingencia de estos hecho catastróficos, reduciendo trabajadores herido.

1.6.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El robot móvil ayudara a las personas que realizaran el rol de rescatistas, cuando exista un derrumbe en una mina subterránea ayudando a buscar y localizar a los trabajadores atrapados además de alertar de algún riesgo como la contaminación del ambiente con gases tóxicos e inflamables, beneficiara a los trabajadores mineros que asumirán el papel de rescatistas, apoyando al bienestar humano de las empresas mineras.

Pero todo esto no sólo mejorará la seguridad minera además se logrará una alta eficiencia en los procesos de rescate, sino que también disminuirá la cantidad de lesionados y mejorará la seguridad de los trabajadores mineros, quienes ya no deberán exponerse a tareas altamente peligrosas como la formación de grupos de rescate y búsqueda ante estos accidentes de la minería subterránea. .

1.6.3. JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

El presente trabajo, proporciona un aporte teórico práctico de importancia en lo que se refiere a las investigaciones en el área de la Inteligencia Artificial y una de sus ramas que es la robótica, combinar dos ramas de la inteligencia artificial, los agentes inteligentes y la lógica difusa el primero para tomar decisiones como un rescatista en el proceso de rescate y el segundo para realizar los movimientos del robot lo más real posible, decididas por el agente rescatista.

El robot móvil en cuestión será un instrumento complementario y rápido, que permitirá la búsqueda y localización de personas en minas subterráneas, además permitirá ver si existe algún riesgo para los rescatistas.

1.7 ALCANCES Y LÍMITES

1.7.1. ALCANCES

- Tomará decisiones como un rescatista humano asiéndolo autónomo.
- Podrá moverse rápido esquivando los obstáculos por más grandes que fuesen.
- Reconocimiento de la zona de emergencia
- Verificar a las personas heridas
- Identificar los soportes de los techos de la mina subterránea
- Dara una alerta de gases tóxicos e inflamables
- Identificar la intersección de los tuneles

1.7.2. LÍMITES

- No está a su alcance rescatar trabajadores físicamente, es decir no abra curaciones tampoco levantar a los trabajadores atrapados, heridos y lesionados, no llevara medicamentos.
- No está a su alcance recargar la batería por sí solo.
- No será resistente a las explosiones e incendios.

1.8 APORTES

1.8.1. PRÁCTICO

El aporte práctico es el prototipo del robot móvil autónomo que es capaz de buscar además localizar a los trabajadores mineros heridos y atrapados en minas subterráneas, de esta manera apoya en las actividades de los grupos de rescate. Implementando Arduino, sensores, lenguaje java y Python.

1.8.2. TEÓRICO

Para esta tesis se utilizara la metodología en V con la metodología prometheus, el aporte teórico de la investigación será toda la recopilación acerca de las metodologías, además de la combinación de estas metodologías obteniendo así todo lo necesario tanto en hardware como en software para la implementación del prototipo de robot móvil para la búsqueda y localización de trabajadores heridos por derrumbes en una mina subterránea

1.9 METODOLOGÍA

La metodología de investigación que se utilizara para la presente tesis, es el método científico esto debido a las etapas que esta presenta y que son necesarias para investigación. Además por la descripción de los datos, este tiene un impacto en las vidas de personas, por tanto, debido a la profundidad de la investigación el tipo de investigación del presente trabajo es la investigación descriptiva.

La metodología de Ingeniería de software y hardware será el Modelo en V o de cuatro niveles porque sus fases nos permite hacer pruebas tanto de hardware como de software, además para el diseño del agente inteligente se utilizara el método prometheus, las herramientas a utilizar son: Arduino, Raspberry pi, sensores y lenguaje java, librería JADE y otros.

2.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial (IA) es una de las ramas de las ciencias de la computación que más interés ha despertado en la actualidad, debido a su enorme campo de aplicación. Se construyó en base a conocimientos y teorías existentes en otras áreas del conocimiento, algunas de las principales fuentes de inspiración y conocimientos que nutrieron a esta área son la filosofía, la lingüística, las matemáticas y la psicología. La búsqueda de mecanismos que nos ayuden a comprender la inteligencia y realizar modelos y simulaciones de estos, es algo que ha motivado a muchos científicos a elegir esta área de investigación además la inteligencia artificial (IA) tiene como modelo natural al ser humano (Ponce, et al., 2014).

La inteligencia Artificial (IA) reúne varios campos (robótica, lógica difusa, algoritmos genéticos, agentes inteligentes, redes neuronales). Varios ejemplos se encuentran en el área de control de sistemas, planificación automática, la habilidad de responder a diagnósticos y a consultas de los consumidores, reconocimiento de escritura, reconocimiento del habla y reconocimiento de patrones. Los sistemas de IA actualmente son parte de la rutina en campos como economía, medicina, ingeniería y la milicia, se ha usado en gran variedad de aplicaciones de software como tutores inteligentes, sistemas expertos, juegos de estrategia como el ajedrez de computador y los videojuegos (Russell & Norving, 2009).

Las distintas definiciones de la inteligencia artificial hacen énfasis en diferentes aspectos; aunque existen similitudes entre ellas por distintos autores. A continuación se presentan algunas de las definiciones iniciales de esta área.

Winston (citado por Ponce et al., 2014) afirma que la inteligencia artificial es el estudio de la computación que observa que una maquina sea capaz de percibir, razonar y actuar. Minsky (citado por Ponce et al., 2014) afirma que la inteligencia artificial es la ciencia de la obtención de máquinas que logren hacer cosas que requerirían inteligencia si las hiciesen los humanos.

Haugeland (citado por Ponce et al., 2014) indica que la inteligencia artificial es un nuevo esfuerzo excitante que logre que la computadora piense. . . máquinas con mentes, en el sentido completo y literal. Luger & Stubblefield (citado por Ponce et al., 2014) indica que la inteligencia artificial es una rama de la ciencia computacional preocupada por la automatización de la conducta inteligente.

Pajares & Santos (citado por Ponce et al., 2014) afirma que la inteligencia artificial es una maquina inteligente, es la que realiza el proceso de analizar, organizar, y convertir los datos en conocimiento, donde el conocimiento del sistema es información estructurada adquirida y aplicada para reducir la ignorancia o la incertidumbre sobre una tarea específica a realizar por esta.

2.2 ROBÓTICA

La robótica es un conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poli articuladas. Dotados de un determinado grado de inteligencia y destinados a la producción industrial y sustitución del hombre en muy diversas tareas. Además la necesidad cada vez más creciente de aumentar la productividad y conseguir productos acabados de una calidad uniforme del producto final, está haciendo que la industria gire cada vez más hacia una automatización basada en computador (Gonzales, et al., 2006).

La palabra robot proviene de la palabra Checa robota, que significa trabajo. Un robot es un manipulador programable multifuncional de uso general con sensores externos que pueden efectuar diferentes tareas de montaje, diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados, a través de movimientos programados con variables para la realización de una diversidad de tareas. Los sensores de un robot permiten interactuar con su entorno de una manera flexible, esto está en contraste con operaciones pre programadas en las cuales a un robot se le enseña para efectuar tareas repetitivas mediante un conjunto de funciones programadas, con estas definición un robot debe poseer inteligencia (Gonzales et al., 2006).

2.2.1 TIPOS DE ROBOTS

Desde un punto de vista muy general los robots pueden ser clasificados en los siguientes tipos.

2.2.1.1 ANDROIDES

Los androides son máquinas antropomórficas capaces de imitar las funciones básicas de los seres humanos tales como caminar, hablar, ver, recolectar, limpiar y trasladar objetos. Los androides actuales poseen la capacidad de realizar actividades complicadas, como ser actividades de danza, alcanzar velocidades de 6 km/hora, pero a excepción de los robots que aparecen en las ferias y espectáculos, no se parecen a las personas y por tanto no son androides (Reyes, 2011).

La figura 2.1 muestra un ejemplo de los robots androides, asimo desarrollado por la compañía Japonesa honda.

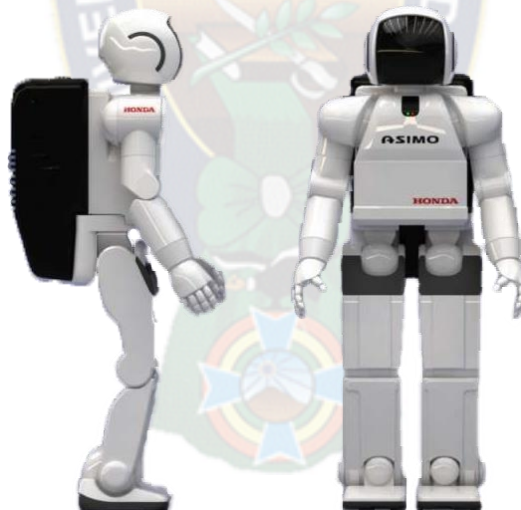


Figura 2.1: Robot androides
Fuente: Reyes, 2011.

2.2.1.2 INDUSTRIALES

Los robots industriales son los más populares, debido a su importancia que ocupan en el sector de las industrias como herramienta clave para la modernización de las empresas.

También son conocidos como brazos robóticos o brazos mecánicos, por analogía a la de un brazo humano, se componen de una base la cual puede rotar 360° grados alrededor de su eje de giro también poseen articulaciones para hombro, codo y una parte mecánica denominada muñeca que le permite orientar la herramienta final. También reciben el nombre de robots algunos electrodomésticos capaces de realizar varias operaciones distintas de forma simultánea o consecutiva, sin necesidad de intervención humana (Reyes, 2011).

La figura 2.2 muestra un ejemplo de los robots industriales desarrollados por la compañía ABB.

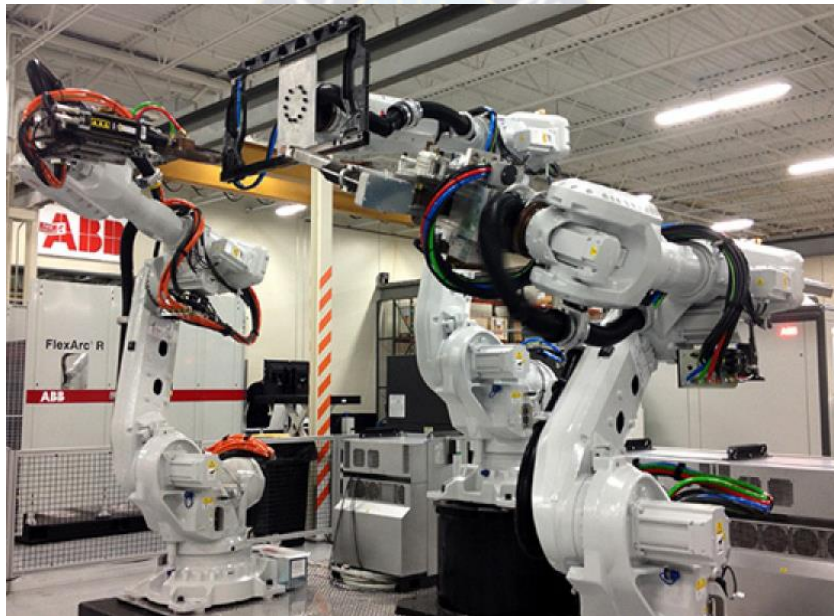


Figura 2.2: Robot industriales compañía ABB.

Fuente : Reyes, 2011.

2.2.1.3 MÉDICOS

Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se logra igualar con precisión los movimientos y funciones de los órganos o extremidades que suplen. Las ventajas más notables de los robots médicos son la precisión y la miniaturización, utilizados en la cirugía cardíaca y pediátrica o neurocirugía.

La figura 2.3 muestra un ejemplo de los robot medicos, Da vinci Si desarrollado para realizar cirugías muy complejas.



Figura 2.3 Robot medico Da vinci Si.
Fuente : Ollero, 2001.

2.2.1.4 POLIARTICULADOS

En este grupo se encuentran los manipuladores y algunos robots industriales, y se emplean cuando es preciso abarcar una zona de trabajo relativamente amplia o alargada, actuar sobre objetos con un plano de simetría vertical o reducir el espacio ocupado en la base. Y con un número limitado de grados de libertad.

La figura 2.4 muestra un ejemplo de los robot poliarticulados, desarrollados.



Figura 2.4: Robot poliarticulados
Fuente: Ollero, 2001.

2.2.1.5 MÓVILES

Cuentan con gran capacidad de desplazamiento, basados en carros o plataformas y dotados de un sistema locomotor de tipo rodante o patas. Siguen su camino por telemando o guiándose por información recibida de su entorno a través de sus sensores. Pueden ser clasificados como terrestres, marinos y aéreos, sin olvidar que los terrestres se desplazan mediante ruedas y patas los cuales brindan estabilidad en terrenos dinámicos (Reyes, 2011).

2.2.1.6 ZOOMÓRFICOS

Los robots zoomórficos, constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres vivos. A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción es conveniente agrupar a los robots zoomórficos en dos categorías principales: caminadores y no caminadores. Las aplicaciones de estos robots serán interesantes en el campo de la exploración espacial y en el estudio de los volcanes, además muchos de estos robots son considerados también como robots móviles. En la figura 2.5 se observa los robots zoomórficos caminadores, llamado AIBO desarrollados por Sony, utilizados como mascotas.



Figura 2.5: Robot zoomórficos
Fuente: Ollero, 2001.

2.2.1.7 HÍBRIDOS

Por ejemplo, un dispositivo segmentado, articulado y con ruedas, tiene al mismo tiempo uno de los atributos de los robots móviles y de los robots zoomórficos. De igual forma pueden

considerarse híbridos algunos robots formados por la combinación de un cuerpo formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales. En la figura 2.6 se observa sus características físicas.

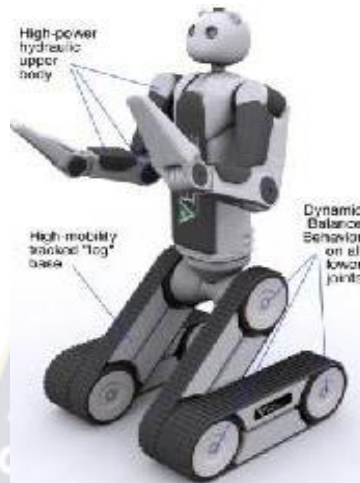


Figura 2.6 Robot híbrido.
Fuente: Ollero, 2001.

2.2.2 ROBOT MÓVIL

La necesidad de extender el campo de aplicación de la Robótica, restringido inicialmente al alcance de una estructura mecánica anclada en uno de sus extremos, trae el desarrollo de los robots móviles el cual se trata de robots que pueden desplazarse fácilmente de un punto a otro, los cuales poseen patas, ruedas u orugas. La programación dada o los mandos especificados son captados por ellos mismos a través de diversos sensores. Este tipo de robots es el que se suele utilizar en las instalaciones industriales, al transportar productos, también se suelen emplear a la hora de investigar áreas donde el ser humano no puede acceder, por ejemplo, se suele emplear en las exploraciones submarinas y en las espaciales (Ollero, 2001).

2.2.2.1 ROBOT MÓVIL CON RUEDAS

Los robots móviles con ruedas son la solución más simple y eficiente para conseguir la movilidad en terrenos suficientemente duros y libres de obstáculos, permitiendo conseguir velocidades relativamente altas.

Por otra parte, excepto en configuraciones muy especiales, no es posible alterar internamente el margen de estabilidad para adaptarse a la configuración del terreno, lo que limita de forma importante los caminos aceptados del soporte. Los robots móviles emplean diferentes tipos de locomoción mediante ruedas que les confieren características y propiedades y propiedades diferentes respecto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad. La mayor maniobrabilidad se consigue en vehículos omnidireccionales (Ollero, 2001).

La figura 2.7 muestra a los robots móviles con ruedas, claramente la característica principal son las ruedas de diferentes tamaños.



Figura 2.7: Robots con ruedas
Fuente: Ollero, 2001.

2.2.2.2 ROBOT MÓVIL CON PATAS

Estos robots en lugar de utilizar ruedas utilizan patas, permiten aislar el cuerpo del terreno empleando únicamente puntos discretos de soporte. Es posible adaptar el polígono de soporte para mantener la estabilidad y pasar sobre obstáculos. Por consiguiente, tiene mejores propiedades que las ruedas para atravesar terrenos difíciles llenos de obstáculos. Asimismo, mediante las patas, es posible conseguir la omnidireccionalidad y el deslizamiento en la locomoción es mucho menor. Además la complejidad de los mecanismos necesarios es mayor, así como el consumo de energía en la locomoción (Ollero, 2001).

La figura 2.8 muestra al robot móvil con patas BigDog desarrollado por la compañía Boston Dynamics.



Figura 2.8: Robots con patas.
Fuente: Ollero, 2001.

2.2.2.3 ROBOTS SUBMARINOS Y AÉREOS

El interés de las aplicaciones tales como la inspección, recogida de datos o mantenimiento de instalaciones en entornos naturales a los que el acceso del hombre resulta muy difícil, o incluso imposible, ha motivado el desarrollo de vehículos robóticos submarinos y aéreos.

Estos vehículos son normalmente el resultado de la evolución de vehículos completamente teleoperados o pilotados por el hombre. Los robots submarinos están equipados con sensores especiales para la navegación dentro del agua como sonar, radar, visión telescópica también poseen sistemas electrónicos complejos que les permiten sumergirse y/o elevarse. Los robots aéreos son aeronaves no tripulados como helicópteros o pequeños aviones operados a control remoto, estos son utilizados para proporcionar imágenes para reconocimiento de terrenos, superficies y en problemas de análisis de tráfico e inspección de edificios (Ollero, 2001).

2.2.3 ROBOTS AUTÓNOMOS Y TELERROBÓTICA

De acuerdo con su grado de autonomía, los robots se clasifican en teleoperados, de funcionamiento repetitivo y autónomo o inteligentes.

En los robots teleoperados las tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación compleja son realizadas por humanos. Es decir, el operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel. El operador recibe realimentación sensorial del entorno o ambiente (imágenes, fuerzas, distancias), los cuales son utilizados para la toma de decisiones del operador para los movimientos del robot móvil en su ambiente. Los robots teleoperados son interesantes para los trabajos de acceso difícil, medios contaminados peligrosos, tareas difíciles de automatizar (Ollero, 2001).

Los robots autónomos o inteligentes son los más evolucionados desde el punto de vista del procesamiento de información. Son máquinas capaces de percibir, modelar el entorno, planificar y actuar para alcanzar objetivos sin la intervención, o con una intervención muy pequeña de supervisores humanos. Pueden trabajar en entornos poco estructurados y dinámicos, realizando acciones en respuesta a contingencias variadas en dicho entorno. Además son capaces de desenvolverse en entornos completamente desconocidos, para ello se coordina todos los sensores de forma que puedan orientarse, moverse si tienen capacidad para ello y poder interactuar con su entorno para realizar la tarea asignada (Ollero, 2001).

2.2.4 ARQUITECTURA BASICAS DE CONTROL

La arquitectura tiene que ver con la organización de la generación de acciones a partir de las percepciones del robot y con el arreglo de módulos de software para un robot móvil. Por ejemplo, ir a la meta (luz) evitando los obstáculos. Se pueden encontrar tres estructuras básicas estas son arquitecturas deliberativas (Mapas y Planes), arquitecturas reactivas y arquitecturas híbridas (Poza & Pozadas, 2011)

a continuación se describirá las tres arquitecturas básicas, deliberativas, reactiva y híbrida.

2.2.4.1 ARQUITECTURA DELIBERATIVA

Según Nilsson (1980), consiste en construir un mapa del ambiente, incluyendo obstáculos y meta. También se debe generar un plan para ir de la posición inicial a la meta evitando los obstáculos y ejecutar el plan. Algunas ventajas de esta arquitectura es tener un modelo del ambiente que permite optimizar las acciones para obtener el mejor plan. Las limitaciones son varias ya que se necesita tener un modelo preciso del ambiente, altos requerimientos de cómputo y memoria, dificultad de operar en un mundo dinámico o desconocido y reacción lenta a situaciones imprevistas. Esta arquitectura está basada en el paradigma de censa, planea y actúa: Se tiene un modelo completo (mapa) del ambiente sobre el cual se construye un plan de acción para realizar la tarea basada en el modelo para luego ejecutar el plan (Poza & Pozadas, 2011).

La figura 2.9 muestra la arquitectura de control deliberativa



Figura 2.9: Arquitectura deliberativa
Fuente: Poza & Pozadas, 2011

2.2.4.2 ARQUITECTURA REACTIVA

Según Brooks (1986), en el enfoque reactivo hay una conexión directa de percepción a acción sin necesidad de un modelo del mundo, normalmente se considera una serie de niveles de comportamiento que realizan diferentes comportamientos en forma paralela. En la siguiente figura se muestra la arquitectura basada en comportamiento. Dentro de esta arquitectura hay

que realizar un manejo de conflictos ya que al existir varios módulos en paralelo pueden existir conflictos, que se resuelven dando prioridades a los diferentes comportamientos donde el comportamiento de mayor prioridad suprime los otros comportamientos, a continuación se muestran dos casos típicos de decisión (Poza & Pozadas, 2011).

La figura 2.10 muestra la arquitectura de control reactiva o basada en comportamientos.

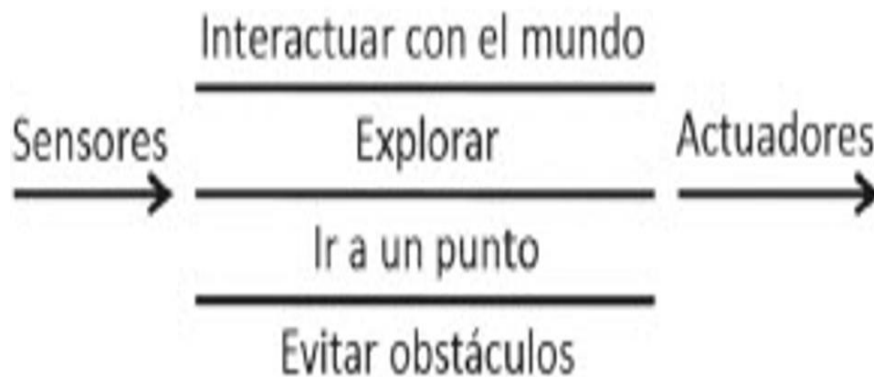


Figura 2.10 Arquitectura reactiva
Fuente: Poza & Pozadas, 2011

2.2.4.3 ARQUITECTURA HÍBRIDA

Según Arkin (1890), esta arquitectura incorpora una capa deliberativa sobre la capa reactiva, es decir son la combinación de arquitecturas deliberativas y reactivas que intentan aprovechar ventajas de ambas, por ejemplo: arquitecturas jerárquicas (3 capas), arquitecturas de pizarrón (*blackboard*), arquitecturas probabilísticas (Poza & Pozadas, 2011)

2.3. AGENTES INTELIGENTES

Esta área de la inteligencia artificial está dedicada a la creación de sistemas que permitan la optimización de actividades humanas, así como emular el comportamiento humano aportando un grado más de inteligencia a la experiencia de sistemas que están simplificando y optimizando actividades, las cuales no habían sido capaces de implementarse antes, para una mejor comprensión del concepto de agentes inteligentes empezaremos primero con la definición de agente (Mancilla, 2016).

2.3.1 ¿QUÉ ES UN AGENTE?

Un agente es una entidad física o virtual capaz de percibir su entorno con la ayuda de sensores y actuar en ese medio utilizando actuadores o efectores (Ponce et al, 2014). El término percepción se utiliza en este contexto para indicar que el agente puede recibir entradas en cualquier instante, la secuencia de percepciones de un agente refleja el historial completo de lo que el agente recibió. En general, un agente toma una decisión en un momento dado dependiendo de la secuencia de percepciones hasta ese instante (Russell & Norvig, 2004).

Un agente inteligente es una entidad software que, basándose en su propio conocimiento, realiza un conjunto de operaciones para satisfacer las necesidades de un usuario o de otro programa, bien por iniciativa propia o porque alguno de éstos se lo requiere (Mancilla, 2016). Un agente inteligente también es un sistema informático, situado en algún entorno, dentro del cual es capaz de realizar acciones de forma autónoma y flexible para así cumplir sus objetivos, recibe entradas sensibles de su entorno y a la vez ejecuta acciones que pueden cambiar este entorno (Russell & Norvig, 2004).

El agente inteligente debe ser capaz de auto ajustarse basándose en los cambios que ocurren en su ambiente de forma tal que un cambio en las circunstancias producirá un resultado esperado, los agentes inteligentes son racionales, es decir hacen lo correcto, lo correcto es lo que le permite obtener el mejor desempeño, medir dicho desempeño se refiere al tiempo en la realización de la tarea además proporcionan una técnica para resolver problemas actuando en representación del usuario, para realizar diversas tareas tales como, búsqueda y filtraje de información, automatización de tareas (Mancilla, 2016).

Para que un agente pueda llamarse inteligente además de autónomo tiene que ser flexible. El término flexible en la autonomía del agente engloba las siguientes características.

Sensible o reactivo (*responsive*). El agente tiene que percibir su entorno (el cual puede ser el mundo físico, un usuario, una colección de agentes, internet, etc.) y responder en un tiempo adecuado ante los cambios que se produzcan en dicho entorno o ambiente.

Oportunista o pro-activo (*proactive*). El agente no sólo ha de reaccionar frente a su entorno, sino que el agente tiene que aprovechar aquellas situaciones que puedan darse en dicho entorno si éstas favorecen la consecución de sus objetivos, ofreciendo una conducta de iniciativa propia.

Social (*social*). El agente también tiene que ser capaz de interactuar, cuando lo considere oportuno, con otros agentes y humanos con el objetivo de completar sus actividades o ayudar a la realización de las tareas de los otros.

Autonomía. Un agente opera sin la intervención directa de un humano, además tiene control sobre sus acciones y su estado interno. Además se un agente es autónomo si es capaz de actuar basándose en su experiencia, se adapta aunque el entorno cambie.

Orientación hacia el objeto final. Divide su tarea compleja en varias actividades pequeñas para así poder lograr la meta compleja.

Racionalidad. El agente siempre actuará para lograr sus metas y nunca actúa de forma que evite la consecución de las mismas, es decir siempre realiza lo correcto. **Adaptabilidad.** El agente debe ser capaz de ajustarse a los hábitos, formas de trabajo y necesidades del usuario aprendiendo y basando su comportamiento en el aprendizaje. **Colaboración,** El agente debe ser capaz de determinar información importante ya que el usuario puede proporcionar información ambigua.

2.3.2 ESTRUCTURA DE AGENTES

El trabajo de la inteligencia artificial es diseñar el programa del agente que implemente la función del agente que proyecta las percepciones en las acciones, se asume que el programa se ejecutara en algún tipo de computador con sensores físicos y actuadores conocido como arquitectura (Russell & Norvig, 2004). La estructura general de un agente inteligente está definida por la siguiente formula.

$$\text{Agente} = \text{Programa Agente} + \text{Arquitectura}$$

Programa Agente, es el que se encarga del procesamiento de todas las entradas o estímulos provenientes del entorno, es decir elige o relaciona el estímulo con la respuesta racional posible para el problema que se presenta en el entorno.

Arquitectura, Se refiere la parte hardware (sensores y efectores), proporciona al programa las percepciones del entorno que se obtienen a partir de los sensores e indica a los efectores los comandos asociados a las acciones que tienen que ejecutar.

2.3.3 TIPOS DE AGENTES INTELIGENTES

Según Russell & Norvig (2004) presentan los cuatro tipos básicos de programas para agentes inteligentes que encarnan los principios que subyacen en casi todos los sistemas inteligentes.

2.3.3.1 AGENTES REACTIVO SIMPLE

El tipo de agente más básico es el agente reactivo simple. Estos agentes seleccionan las acciones sobre la base de las percepciones actuales, ignorando el resto de las percepciones históricas, es más tienen la admirable propiedad de ser simples, pero poseen una inteligencia muy limitada. Funcionará sólo si se puede tomar la decisión correcta sobre la base de la percepción actual, lo cual es posible sólo si el entorno es totalmente observable. La figura 2.11 muestra el diagrama esquemático de un agente reactivo simple el cual actúa según percepciones sin considerar las consecuencias de sus actos, es decir según como es el entorno en ese momento.

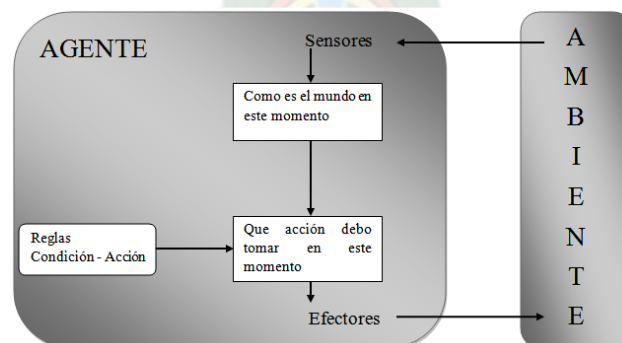


Figura 2.11 Agente reactivo simple
Fuente: Russell & Norvig, 2004

2.3.3.2 AGENTES REACTIVOS BASADOS EN MODELOS

Son conocidos por almacenar la información de las partes del mundo de han visitado. O lo que es lo mismo, el agente debe tener algún tipo de estado interno que dependa de la historia percibida y que de ese modo refleje por lo menos alguno de los aspectos no observables del estado actual, el estado interno cambiara según el ambiente y la meta que persiga el agente inteligente, la actualización de la información de estado interno según pasa el tiempo requiere utilizar dos tipos de conocimiento. Primero, se necesita alguna información acerca de cómo evoluciona el mundo independientemente del agente. Segundo, se necesita más información sobre cómo afectan al mundo las acciones del agente. Este conocimiento acerca de cómo funciona el mundo, tanto si está implementado con un circuito booleano simple o con teorías científicas complejas, se denomina modelo del mundo.

La figura 2.12 muestra el diagrama esquemático de un agente reactivo basado en modelos el cual tiene un estado interno y también un modelo del mundo según secuencia de percepciones

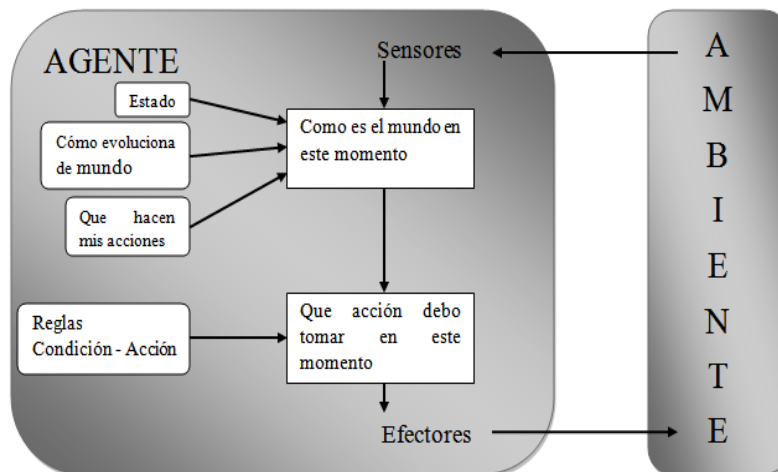


Figura 2.12 Agente reactivo basado en modelos
Fuente: Russell & Norvig, 2004

2.3.3.3 AGENTES BASADOS EN OBJETIVOS

El conocimiento sobre el estado actual del mundo no es siempre suficiente para decidir qué hacer. En otras palabras, además de la descripción del estado actual, el agente necesita algún

tipo de información sobre su meta o objetivo que describa la situaciones que son deseables, por tanto el agente basado en objetivos almacena información del estado del mundo así como un conjunto de objetivos que se intenta alcanzar, y que a su vez es capaz de seleccionar la acción que eventualmente lo guiará hacia la consecución de sus objetivos. Además hay que tener en cuenta que la toma de decisiones basada en objetivos es diferente de las reglas de condición-acción descritas en anteriormente.

La figura 2.13 muestra el diagrama esquemático de un agente basados en objetivos, este piensa en las consecuencias de sus actos (realiza simulaciones), es decir, según como podría ser el entorno tras sus acciones.

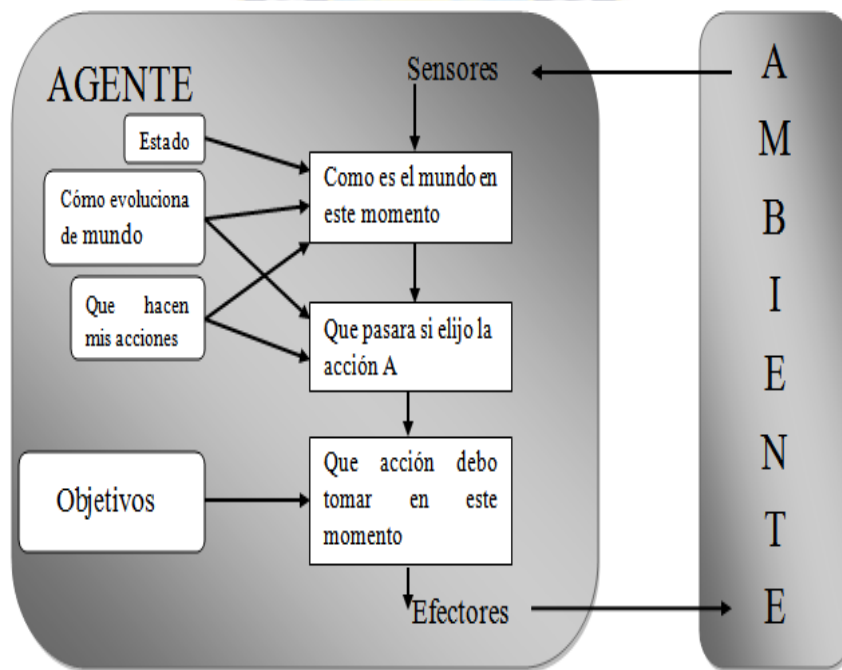


Figura 2.13 Agente basados en objetivos
Fuente: Russell & Norvig, 2004

2.3.3.4 AGENTES BASADOS EN UTILIDAD

Las metas por si solas no son suficientes para generar comportamiento de gran calidad en la mayoría de los entornos. Es decir los objetivos no bastan para asegurar un comportamiento ideal, cuando existen varias formas de lograr un objetivo, o cuando existen varios objetivos,

se comparan en función de su utilidad. Se escojera la acción más útil. Por tanto se utiliza un modelo del mundo, junto con una función de utilidad que calcula sus preferencias entre los estados del mundo. Después selecciona la acción que le lleve a alcanzar la mayor utilidad esperada, que se calcula haciendo la media de todos los estados resultantes posibles, ponderado con la probabilidad del resultado.

La figura 2.14 muestra el diagrama esquemático de un agente basado en utilidad, cuando existen varias formas de lograr un objetivo se elige una acción más útil basado en una función de utilidad.

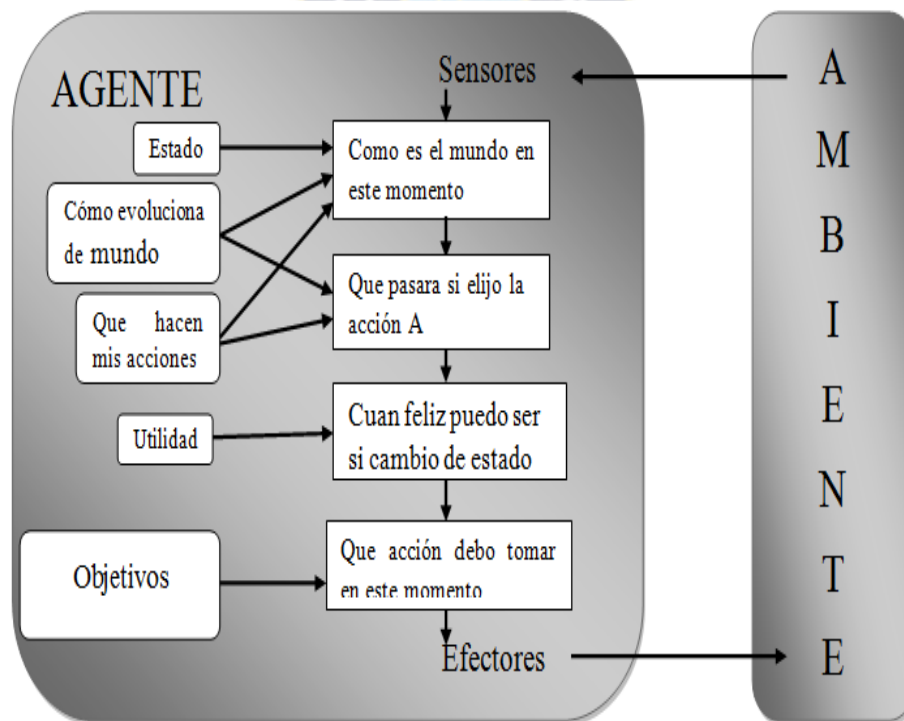


Figura 2.14 Agente basado en utilidad
Fuente: Russell & Norvig, 2004

2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES INTELIGENTES DE ACUERDO A CARACTERÍSTICAS ESPECIALES

Según Mancilla (2016) indica que una de las alternativas para clasificar a los agentes inteligentes es el siguiente.

- **Agentes Deliberantes o Proactivos.** son agentes que poseen mucho conocimiento del entorno en el que se encuentran y son capaces de crear nuevos planes y adelantarse a lo que va a ocurrir en su entorno. En esta clasificación encontramos el modelo BDI (*Belief, Desire, Intention*) y BVG.
- **Agentes Reactivos.** son sistemas estímulo respuesta que actúan a partir de la observación directa y continua del entorno. Se adaptan perfectamente a los entornos dinámicos ya que no tienen que actualizar ninguna representación interna del entorno como los agentes BDI.
- **Agentes Estacionarios.** Son un tipo de agente que no posee la capacidad de desplazarse y salir del entorno.
- **Agentes Móviles.** Son agentes que tienen la capacidad de desplazarse a través de una red, de esta forma cambian el entorno en el que se ejecutan. Se reduce el consumo de recursos en la máquina en la que se encontraba inicialmente el agente.

2.4 METODOLOGÍA PROMETHEUS

Prometheus es una metodología para el desarrollo de agentes inteligentes creada por Lin Padghan y Michael Winikoff, en el cual se define un lenguaje de modelado relativamente sencillo, que forma parte de los fundamentos de AUML junto con otras metodologías además prometheus ha sido desarrollado de manera conjunta con Agent Oriented Software, su ambiente de desarrollo PDT (Prometheus Design Tool) (Padghan & Winikoff, 2004).

La metodología soporta todas las fases del ciclo de desarrollo de software y se diferencia de otras metodologías por su nivel de detalle que cubre todas las actividades requeridas para el desarrollo de SMA, su evolución se ha dado con experiencias académicas y aplicaciones en la industria apoyando el desarrollo de agentes DBI (Belief, Desire, Intention), pero las fases iniciales de la metodología puede aplicarse a cualquier tipo de sistema multi-agente por lo

cual es muy flexible (Padghan & Winikoff, 2004).

La figura 2.15 indica los principales artefactos de diseño que surgen de cada una de las fases, así como algunos de los elementos intermediarios y las relaciones entre los artefactos.

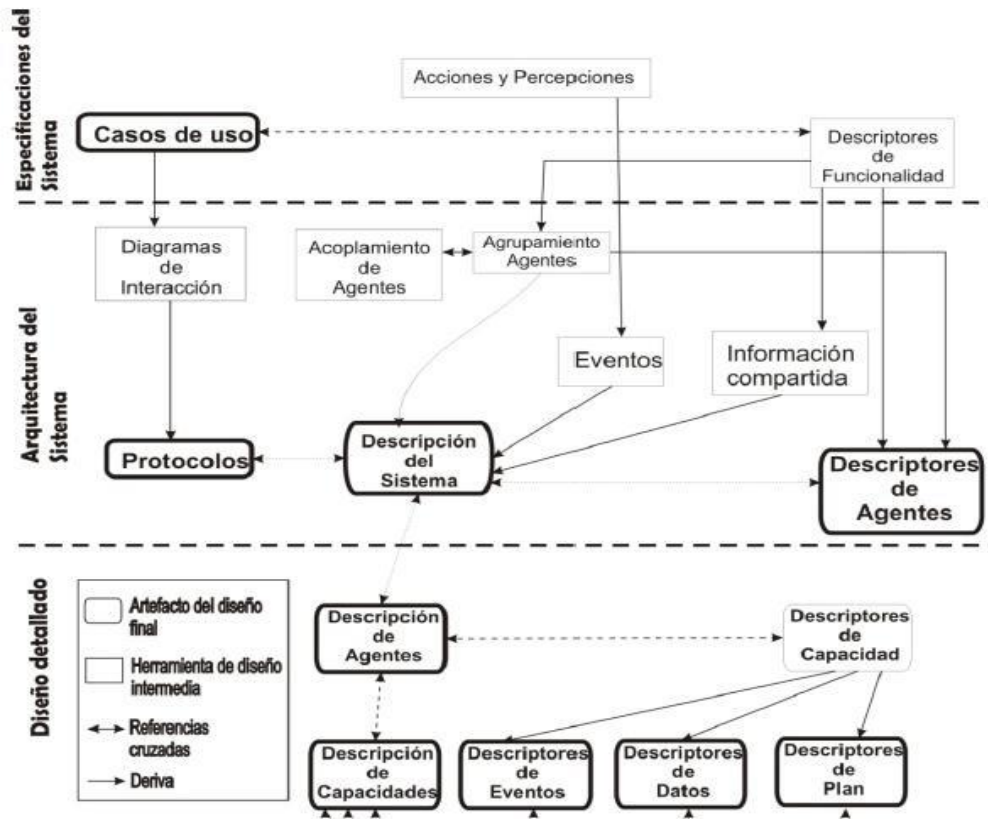


Figura 2.15 Visión general de la metodología prometheus.
Fuente: Padghan & Winikoff, 2004

La figura 2.15 se divide horizontal y verticalmente. Las tres regiones horizontales forman las tres fases de la metodología discutida anteriormente. La región mas a la izquierda (consiste en escenarios, diagramas de interacción, protocolos de interacción y diagramas de proceso) se ocupa de las descripciones del comportamiento dinámico del sistema. La región vertical media (acoplamiento de datos, conocimiento, visión general del sistema, descripción del agente y capacidad) trata con las descripciones del sistema mientras que los artefactos restantes (la region derecha) dan descripciones detalladas para cada agente del sistema. La metodología prometheus consiste de tres fases:

2.4.1 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Esta fase involucra actividades que consiste en determinar el ambiente. Las cuales se desarrollan de forma iterativa: definir objetivos y funcionalidades del sistema, determinar los escenarios que capturarán el uso del sistema y definir las interfaces del sistema. El ambiente es definido en términos de percepción de la información que proviene del medio ambiente y de las acciones de los agentes que afectan su medio ambiente, se define los objetivos y las funcionalidades para alcanzar estos objetivos, las funcionalidades son descritas mediante escenarios usando casos de uso, el proceso básico a seguir es el siguiente: descripción de alto nivel del sistema, identificar los actores, objetivos del sistema incluyendo subobjetivos, roles o funcionalidades que cubren los objetivos, escenarios, percepciones y acciones, también llamados entradas y salidas (Padghan & Winikoff, 2004).

2.4.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Esta fase involucra tres actividades, se debe definir los tipos de agentes del sistema, diseñar una estructura global del sistema y definir las interacciones entre agentes. Cada tipo de agente se describe usando un descriptor de agente que describe su ciclo de vida, sus funcionalidades, los datos que utiliza y los datos que produce, sus objetivos, los eventos a los que debe responder, sus acciones y las interacciones que realiza con otros tipos de agentes. La estructura del sistema es plasmado en un diagrama de vista general que provee a los diseñadores y a los que implementan el sistema una descripción de como el sistema funciona en forma global, mostrando los tipos de agente, los enlaces de comunicación entre ellos, los datos, las restricciones del sistema y su ambiente. Además se hace uso de tres diagramas que nos facilitarán las decisiones: diagrama de agrupación de roles, diagrama de relación entre agentes y diagrama de acoplamiento entre datos y roles (Padghan & Winikoff, 2004).

2.4.3 DISEÑO DETALLADO

Esta fase se detallan los aspectos internos de los agentes y cómo ejecutarán sus tareas dentro del sistema global. Se centra en definir las capacidades, los eventos internos, los planes y en

detallar la estructura de datos para cada tipo de agente que se ha identificado en los pasos anteriores. Las capacidades de los agentes son descritos mediante un descriptor de capacidades que contiene información tales como qué eventos serán recibidos. Existen otros descriptores de menor detalle como el descriptor de planes individuales, descriptor de eventos y descriptor de datos. Esta fase involucra también la construcción de diagramas de vista general de agentes que junto con el descriptor de capacidades presentan un buen nivel de detalle de los componentes de la arquitectura interna de los agentes y sus interacciones, los pasos básicos son: desarrollar la estructura interna de cada agente individual, identificar las capacidades de cada agente empezando con sus funcionalidades, generar los descriptores de capacidades, diagramas de visión general del agente, descriptores de los planes, descriptores de los eventos, descriptores de los datos y descriptores de los mensajes externos y internos (Padghan & Winikoff, 2004).

2.5 LÓGICA DIFUSA

La lógica difusa es una rama de la Inteligencia artificial que le permite a una computadora analizar información del mundo real en una escala entre lo falso y verdadero en otras palabras todo es cuestión de grado. La lógica difusa fue creada para emular la lógica humana y tomar decisiones acertadas a pesar de la información. Es una herramienta flexible que se basa en reglas lingüísticas dictadas por expertos. Por ejemplo, la velocidad de un automóvil es una variable que puede tomar distintos valores lingüísticos, como “alta”, “media” o “baja”. Estas variables lingüísticas están regidas por reglas que dictan la salida del sistema. (Ponce, 2010).

En otras palabras, la lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos basados en grados de membresía o pertenencia, cuya función es modelar información lo más real posible igual a la del ser humano maneja en su diario vivir. Este modelado se hace con base en reglas lingüísticas que aproximan una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema (composición). Esta lógica presenta rangos de membresía dentro de un intervalo entre 0 y 1, a diferencia de la lógica convencional, en la que el rango se limita a dos valores: el cero o el uno (Ponce, 2010).

2.5.1 CONJUNTOS DIFUSOS

Zadeh propone en 1965 por primera vez la noción de Conjunto Difuso. Este hecho marca el principio de una nueva teoría denominada Teoría de Conjuntos Difusos. La teoría de conjuntos difusos es un intento de desarrollar una serie de conceptos para tratar de un modo sistemático el tipo de imprecisión que aparece cuando los límites de las clases de objetos no están claramente definidos. Un conjunto difuso puede definirse como una clase en la que hay una progresión gradual desde la pertenencia al conjunto hasta la no pertenencia; o visto de otra forma, en la que un objeto puede tener un grado de pertenencia definido entre la pertenencia total (valor uno) o no pertenencia (valor cero). Desde esta perspectiva, los conjuntos convencionales (o conjuntos crisp) pueden verse como un caso particular de conjuntos difusos, es decir sería un conjunto difuso que sólo admite dos grados de pertenencia 1 o 0 (Gonzales, 2016).

Un conjunto difuso puede definirse de forma general como un conjunto con límites difusos. Sea U el Universo del discurso, y sus elementos se denotan como x . En la teoría clásica de conjuntos se define un conjunto A se define sobre U mediante la función característica de A como μ_A .

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{cuando } x \in A \\ 0 & \text{cuando } x \notin A \end{cases}$$

Este conjunto mapea el universo U en un conjunto de dos elementos, donde la función $\mu_A(x)$ es 1 si el elemento x pertenece al conjunto A y 0 si el elemento x no pertenece al conjunto A . Si generalizamos esta función para que los valores asignados a los elementos del conjunto caigan en un rango particular y así indicar el grado de pertenencia de los elementos a ese conjunto, tendremos una función de pertenencia de un determinado conjunto difuso.

La función de pertenencia μ_A por la que se define un conjunto difuso A , sería:

$$\mu_A = U \rightarrow [0, 1]$$

Donde $\mu_A(x) = 1$ si x está totalmente en A , $\mu_A(x) = 0$ si x no está en A y $0 < \mu_A(x) < 1$ si x está parcialmente en A . Este valor entre 0 y 1 representa el grado de pertenencia (también llamado valor de pertenencia de un elemento x a un conjunto A).

La necesidad de trabajar con conjuntos difusos surge del hecho que existen conceptos que no tienen límites claros. Un conjunto difuso se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, etiqueta lingüística o adjetivo. En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores del intervalo entre 0 y 1, y la transición del valor entre cero y uno es gradual y no cambia de manera instantánea como pasa con los conjuntos clásicos (Gonzales, 2016).

Un conjunto difuso en un universo en discurso puede definirse como lo muestra la ecuación:

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

Donde $\mu_A(x)$ es la función de pertenencia, x son los elementos del universo, U es el universo en discurso, cuando más cerca este la pertenencia del conjunto A al valor de 1, mayor será la pertenencia de la variable x al conjunto A .

2.5.2 FUNCIONES DE PERTENENCIA

Se puede decir que la función de pertenencia o característica proporciona una medida de grado muy similar a la de un elemento U con el conjunto difuso. La forma de una función de pertenencia utilizada, depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema y puede variar en función de la cultura, geografía, época o punto de vista del usuario, la única condición que debe cumplir una función de pertenencia es que tome valores entre 0 y 1, con continuidad (Vargas, 2009).

2.5.3 VARIABLES LINGÜÍSTICAS

Para representar el conocimiento en razonamiento aproximado tenemos que utilizar variables lingüísticas. Una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en

un lenguaje natural o artificial. De esta forma, una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no tengamos una definición concreta; es decir, lo que no podemos describir en términos numéricos (Gonzales, 2016).

Así, una variable lingüística está caracterizada por una quintupla:

$$(X, T(X), U, G, M)$$

Donde X es el nombre de la variable. $T(X)$ Es el conjunto de términos de X , es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).

U : es el universo del discurso (o dominio subyacente). Por ejemplo, si hablamos de temperatura “Cálida” o “Aproximadamente”, el dominio subyacente es un dominio numérico (los grados centígrados).

G : Es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en $T(X)$, como podrían ser “muy alto”, “no muy bajo”.

M : es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado $M(X)$, donde $M(X)$ denota un subconjunto difuso en U .

Los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

Términos primarios: “bajo”, “alto”,...

Modificadores: “Muy”, “más”, ”menos”, ”cerca de”,...

Conectores lógicos: Normalmente NOT, AND y OR.

Normalmente se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de éstos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (por ejemplo, con “muy” y “alto” construimos el término compuesto “muy alto”). Una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática: “Muy alto, no muy bajo...” (Gonzales, 2016).

La figura 2.16 muestra un ejemplo del uso de variables lingüística, función de pertenencia, universo del discurso.

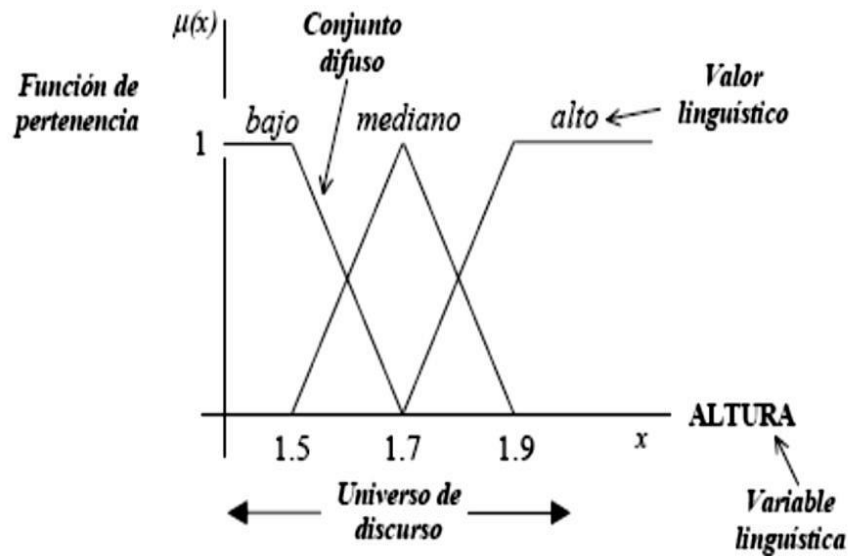


Figura. 2.16 Diagrama de conjuntos difusos
Fuente: Vargas, 2009

2.5.4 REGLAS DIFUSAS

El razonamiento aproximado se utiliza para representar y razonar con conocimiento expresado en forma de primitivas atómicas, enunciadas en lenguaje natural. Por ejemplo “La velocidad tiene un valor positivo grande”. La transformación de esta expresión en lenguaje natural, en términos de variables lingüísticas se realiza como se indica a continuación: primero se selecciona un símbolo V para representar la variable física “velocidad”, luego se elige un símbolo PG para representar el valor particular “positivo grande” de la variable física “velocidad” y por último la expresión en lenguaje natural pasa a ser: V es PG (Gonzales, 2016).

A este tipo de expresión se le denomina proposición atómica difusa.

La interpretación de la expresión atómica anterior viene dada por la pertenencia de la variable física velocidad V al conjunto difuso PG, es decir $\mu_{PG}(v)$, donde v denota un valor arbitrario del universo del discurso U. Esta interpretación determina el grado en que la expresión es satisfecha dado un valor específico de la variable V.

Usando este concepto de proposición difusa y conectores lingüísticos con “y”, “o” y “no” es posible componer proposiciones difusas más complejas “A es X y B es Y”, “A es no X”, etc., el significado de estas proposiciones difusas compuestas viene dado por la interpretación de los conectores lingüísticos. Esta interpretación se hace en base a las operaciones de intersección, unión y complemento que, como se vio anteriormente, se realiza mediante T-normas, T-conormas y el operador complemento elegido.

Hay que tener en cuenta que, el grado de satisfacción de una expresión constituye un conjunto difuso y, por tanto, estos conectores deben interpretarse mediante operadores de conjuntos difusos. Una **regla difusa** (regla de producción difusa if-then) es expresada simbólicamente como:

IF <proposición difusa> THEN <proposición difusa>

Donde <proposición difusa> puede ser una proposición difusa atómica o compuesta. Podemos definir una proposición sencilla de este tipo mediante:

p: IF X es A THEN Y es B

El antecedente y consecuente de una regla puede tener múltiples partes. Veremos a continuación cómo se trabaja con estos formatos de reglas.

En los sistemas de reglas clásicos, si el antecedente es cierto, el consecuente es también cierto. En sistemas fuzzy donde el antecedente es difuso, todas las reglas se ejecutan parcialmente, y el consecuente es cierto en cierto grado (si el antecedente es cierto con cierto grado de pertenencia, el consecuente es cierto también el cierto grado). Predefinir los conjuntos difusos para antecedentes y consecuentes y luego asociar los datos a esos conjuntos.

2.5.5 INFERENCIA DIFUSA

La inferencia difusa puede definirse como el proceso de obtener un valor de salida para un valor de entrada empleando la teoría de conjuntos difusos. Existen dos tipos de inferencia: el

modelo de Mamdani y el de TSK (Takagi, Sugeno y Kang). Se llama reglas difusas al conjunto de proposiciones IF-THEN que modelan el problema que se quiere resolver. Una regla difusa simple tiene la forma:

“si x es A entonces y es B“

Donde x e y son variables lingüísticas, A y B son valores posibles de estas variables lingüísticas, A y B serán representados por conjuntos borrosos sobre el universo del discurso de las variables x e y.

2.5.5.1 INFERENCIA DE MANDANI

Es posiblemente el método más ampliamente utilizado, propuesto por Ebrahim Mamdani en 1975. El proceso se realiza en cuatro pasos: fuzzificación de las variables de entrada, evaluación de las reglas, agregación de las salidas de las reglas y defuzzificación. Veamos a continuación las etapas de inferencia.

- Fuzzificación. El primer paso consiste en tomar los valores de las entradas y determinar el grado de pertenencia de estas entradas a los conjuntos difusos asociados. El valor naturalmente estará limitado en el universo del discurso de la variable. En nuestro caso, x e y estarán limitadas al universo del discurso de X e Y respectivamente.
- Evaluación de Reglas. Tomamos las entradas anteriores y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número (el valor de verdad) se aplica al consecuente.
- Agregación de las salidas. La agregación es el proceso de unificación de las salidas de todas las reglas; es decir, se combinan las funciones de pertenencia de todos los consecuentes previamente recortados o escalados, combinando para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida.

- Defuzzificación. El resultado final habitualmente es necesario expresarlo mediante un valor en esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida. Existen varios métodos de defuzzificación, pero probablemente el más ampliamente usado es el centroide; que calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas con igual masa.

$$\text{Centroide} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)}$$

2.5.5.2 INFERENCIA TSK

Como hemos visto, el modelo de inferencia de Mamdani requiere algún tipo de método para la defuzzificación. En general, este método no es muy eficiente desde el punto de vista computacional. Podemos disminuir el tiempo de inferencia empleando una función matemática en el consecuente, de forma que el formato general de regla en inferencia TSK es:

p: IF x es A AND y es B THEN z es f(x; y)

Este tipo de método proporciona mayor eficiencia, pero no presentan un marco tan natural para la representación del conocimiento humano. Un tipo habitual de representación del consecuente es un singleton (punta discreta), que toma valor uno en un valor puntual del universo del discurso y cero en cualquier otro punto (Gonzales, 2016). Empleando este tipo de aproximación (ampliamente utilizada), tomando las reglas el siguiente formato:

p: IF x es A AND y es B THEN z es k

Siendo k un valor constante para el singleton. La salida crisp en este caso se obtiene mediante una sencilla agregación (media de pesos W_A) de estos singletons.

$$W_A = \frac{\sum(\mu(k_i) \times k_i)}{\sum \mu(k_i)}$$

En general el método de mamdani se utiliza más ampliamente porque se presta a la representación de conocimiento experto logrando describir el conocimiento experto de una forma intuitiva, este método es empleado en aplicaciones de control y optimización.

La figura 2.17 muestra el proceso al momento de utilizar la inferencia TFK, con las reglas anteriores se realiza el proceso.

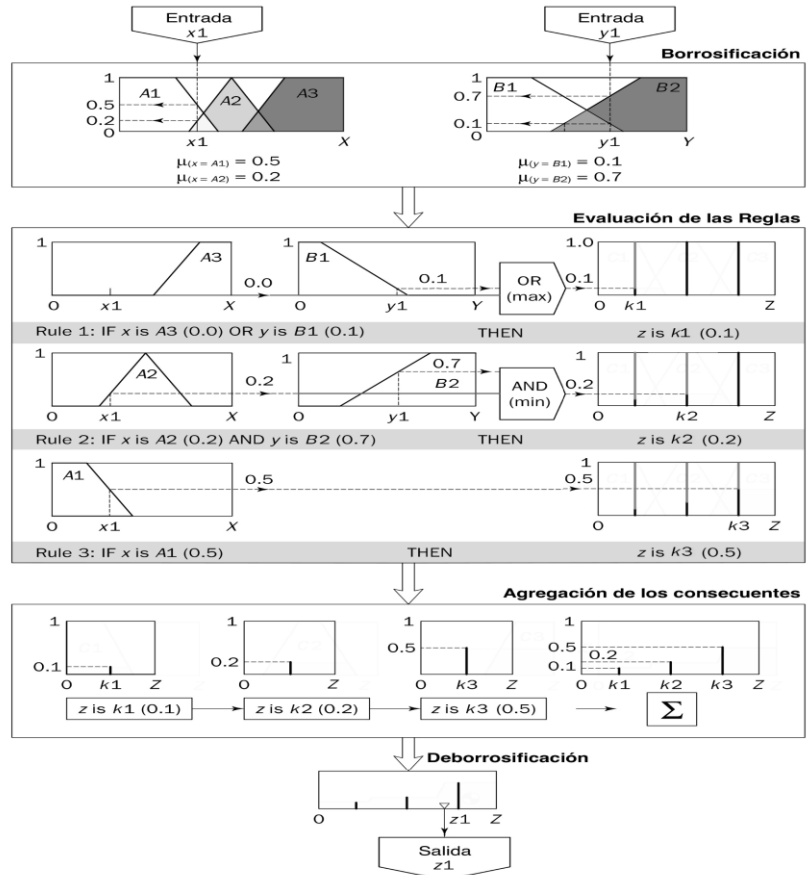


Figura 2.17 Estructura básica de inferencia TSK
Fuente: Gonzales, 2016

En general el método de Mamdani se utiliza más ampliamente porque apareció antes, y porque se presta más a la representación de conocimiento experto. Nos permite describir el conocimiento experto de una forma intuitiva. El principal inconveniente es su alto coste computacional, por lo que para aplicaciones de control y problemas de optimización se emplea más frecuentemente el método de inferencia TSK (Gonzales, 2016).

2.6. MINERÍA SUBTERRÁNEA

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad y se puede definir como aquella destinada al aprovechamiento selectivo de los materiales que se encuentran en la corteza terrestre, es decir por debajo de la superficie del terreno, con el fin de satisfacer las necesidades básicas o suntuarias de los seres humanos. El término se refiere generalmente a la extracción y el procesamiento de materiales de origen inorgánico como también materiales de origen orgánico como el carbón, el petróleo y el gas natural. La extracción y transporte de los minerales que se encuentran al interior de la montaña o a gran profundidad bajo el suelo, se realiza a través de túneles o galerías, así como cámaras que conducen a la superficie. Los métodos más empleados son mediante túneles y pilares.

La minería subterránea o en ciertas ocasiones denominada minería de subsuelo es aquella explotación de recursos mineros, se realiza mediante la construcción de túneles o galerías, con el objetivo de penetrar la roca para poder llegar a los yacimientos.

Las minas subterráneas se abren en zonas con yacimientos minerales prometedores, el pozo es la perforación vertical principal y se emplea para el acceso de las personas a la mina y para sacar el mineral. Un sistema de ventilación situado cerca del pozo principal lleva aire fresco a los mineros y evita la acumulación de gases peligrosos. Un sistema de galerías transversales conecta el yacimiento de mineral con el pozo principal a varios niveles, que a su vez están conectados por aberturas llamadas alzamientos. Las gradas son las cámaras donde se extrae el mineral. Para poder acceder al yacimiento de mineral hay que excavar una red de galerías de acceso, que se suele extender por la roca de desecho que rodea el yacimiento.

2.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEOS

Plá y Herrera (2002) afirma que dentro de los métodos que entendemos como convencionales y utilizables en el momento actual como corresponde a las limitaciones enumeradas citamos los siguientes.

- **POR SOPORTE NATURAL DEL TERRENO**
 - Cámaras y pilares
 - Subniveles
- **POR SOPORTE ARTIFICIAL SISTEMÁTICO**
 - Cámaras almacén
 - Corte y relleno
 - Entibación cuadrada
 - Testeros
- **POR HUNDIMIENTO DEL TECHO**
 - Tajos largos
 - Por bloques
 - Por subniveles
 - Por rebanadas horizontales.

A continuación se describirá los métodos de explotación subterránea más importantes y utilizados en la actualidad.

2.6.1.1 MÉTODO DE CÁMARAS Y PILARES

Son aquellos métodos de operación en que se transfieren las tensiones, a los pilares que lo sostienen. Se puede utilizar algún sistema artificial y adicional para sostener el hueco, como es el empleo de bulones o cables para mantener el techo, pero la mayoría de las tensiones son soportadas por las propias columnas creadas en los huecos producidos por la explotación. Se explotan las cámaras de mineral y se dejan de explotar deliberadamente una serie de áreas y /o volúmenes de mineral o roca para conseguir el sostenimiento del conjunto. Los pilares pueden ser de una sección más o menos cuadrada o rectangular, aunque en algunos casos son redondeados y suelen dejarse entre techo y muro en los yacimientos sedimentarios de una potencia o espesor limitado. Se llaman de parte a los pilares transversales o de costilla cuando son longitudinales y se trazan normalmente de techo a muro del depósito mediante la creación de unas galerías paralelas entre sí, que dan lugar a los pilares previos de parte y

posteriormente se trabaja recuperando una parte de esos pilares para crear los pilares definitivos (Ramírez et al., 1991).

No existe una recuperación total del yacimiento y el porcentaje recuperado es función, para unas condiciones determinadas, del correcto estudio geomecánico que determine, con un margen razonable de seguridad, el ancho del pilar y la estabilidad del conjunto. Una variante muy utilizada en la minería metálica de masas verticales y relativamente anchas es el denominado método de subniveles con la posibilidad de emplear grandes cámaras con barrenos descendentes en paralelo y con voladura en retirada (VCR) o bien en cámaras menores con barrenos ascendentes en abanico, con grandes voladuras para almacenar el mineral en tolvas o piqueras, desde donde se extrae con palas en el nivel inferior.

La figura 2.18 muestra los pilares y también las cámaras después de extraer el mineral, luego de usar el método de explotación de cámaras y pilares



Figura 2.18 método de cámaras y pilares
Fuente: Plá y Herrera, 2002.

2.6.1.2 MÉTODO POR CORTE Y RELLENO

Plá y Herrera (2002) afirma que se trata de un método en el que se sustituye el mineral arrancado por un material estéril más o menos preparado (estéril exterior, residuos de flotación, mezclas preparadas y cementadas) para que sostenga el hueco generado. Existen las siguientes variantes.

a) Corte y relleno ascendente. Método que trabaja sobre el piso artificial del relleno introducido y ataca el mineral en el cielo del tajo. La secuencia del arranque avanza desde la base a la cabeza de una cámara, por lo que la masa del mineral deberá ser suficientemente competente.

b) Corte y relleno descendente. Método que trabaja sobre el piso de mineral quedando el techo en relleno, lo que exige un material resistente y rígido para su mantenimiento. La secuencia de arranque avanza desde la cabeza a la base de la cámara, y puede aplicarse para cualquier tipo de roca, aunque no fuera competente.

La figura 2.19 muestra el corte y también el relleno de las cámaras después de extraer el mineral aplicando el método de corte y relleno horizontal.

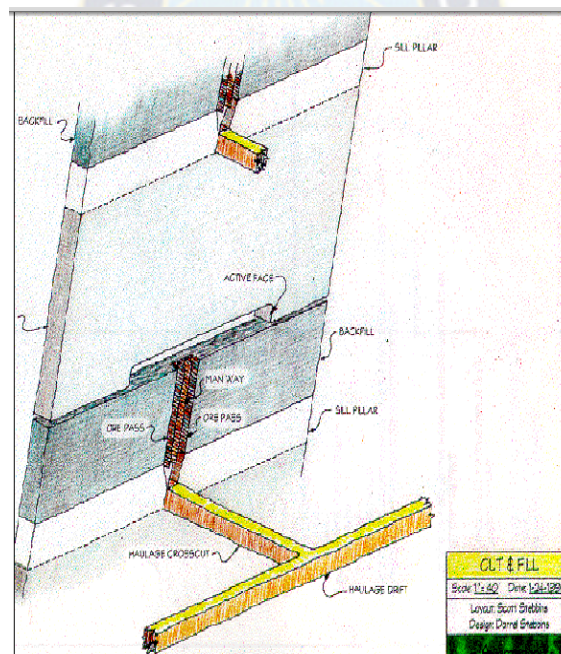


Figura 2.19 método de corte y relleno
Fuente: Plá y Herrera, 2002.

2.6.1.3 MÉTODO DE HUNDIMIENTO

Ramírez et al. (1991) afirma que se trata de un método en el que no se actúa sobre el hueco generado dando lugar, en un momento determinado, al hundimiento del techo de la cámara

de explotación, llevándose a cabo un cierto auto rellenó por el material colapsado. La esencia del arte minero del método está en el adecuado control del momento, la magnitud y el lugar del hundimiento. Existen las siguientes variantes las cuales describen situaciones particulares al momento de utilizar el método de hundimiento:

a) Hundimiento por subniveles. Creación de unas cámaras en yacimientos grandes y verticales, con autonomía de cada subnivel y secuencia descendente de arranque, carga y hundimiento del techo. Desde la galería superior del subnivel se arranca el mineral, mediante perforación y voladura, que cae sobre el piso inferior del subnivel en donde se almacena para su extracción desde unas galerías transversales.

b) Hundimiento por bloques. Explotación en retirada desde un extremo al otro del yacimiento, en el que el hueco creado se va rellenando con el techo de estéril que inevitablemente se mezcla con el mineral situado en el piso de la cámara. La dilución se controla por medio de una carga selectiva hasta que haya demasiado estéril. El gran problema del método está en la capacidad de control del hundimiento, siendo la situación ideal la del hundimiento continuo como sucede en el sistema de tajo largo "Long Wall". El extremo negativo ocurre cuando el techo no hunde o lo hace de golpe, en cuyo caso hay que recurrir a un hundimiento provocado mediante voladura.

c) Otras variantes del hundimiento y especialmente aplicables a los yacimientos carboníferos son el método de sutirage, abataje u ordeño que se emplea en la cuenca leonesa para capas de gran potencia y también en el popular método de tajo largo en el Reino Unido y otros países sajones para capas de carbón horizontales y con poca potencia. El hundimiento por rebanadas horizontales se emplea en los yacimientos masivos con formas irregulares pero no alargadas, con pequeño tamaño o bajo buzamiento.

d) Los métodos por hundimiento requieren siempre unos importantes estudios geomecánicos y causan grandes efectos medio ambientales en la superficie del terreno afectado por el mismo.

La figura 2.20 muestra la implementación del método de hundimiento controlado y almacenamiento listo para la extracción del mineral.

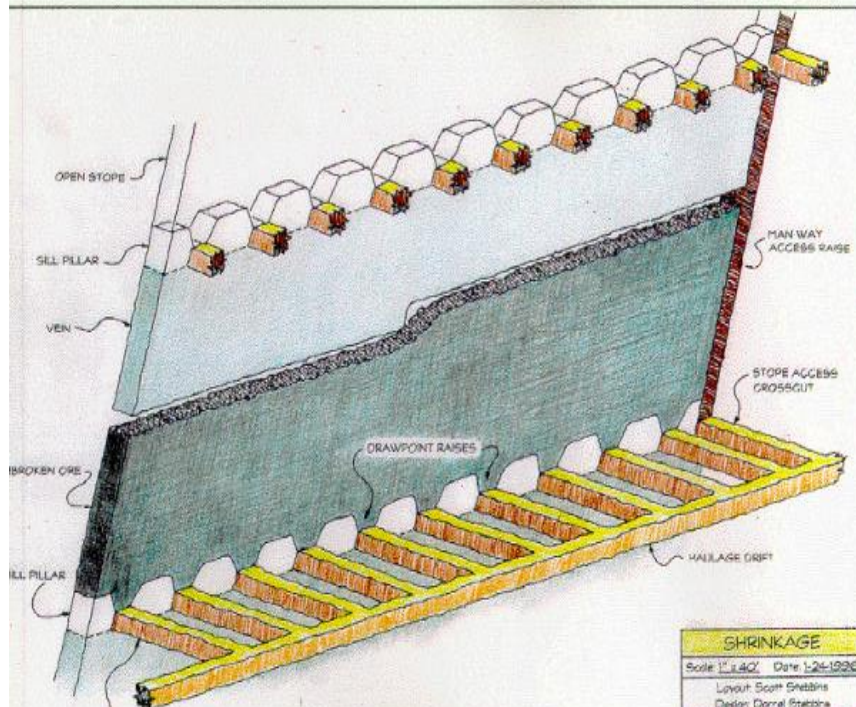


Figura 2.20 método de hundimiento
Fuente: Plá y Herrera, 2002.

2.7 METODOLOGÍA EN V

El modelo en V se desarrolló con el objetivo de optimizar el método de la cascada, en el método en cascada, los defectos estaban siendo encontrados muy tarde en el ciclo de vida, ya que las pruebas se introducían al finalizar el proyecto. En el método en v las pruebas empiezan lo más pronto posible, es por esto que V significa “Validación y Verificación”.

El método en V, define un procedimiento uniforme para el desarrollo de sistemas, que tiene una serie de pasos en el ciclo de vida de un proyecto. En la cual se describen las actividades y resultados que deben producirse durante el desarrollo del producto. En el lado izquierdo de la V se descomponen las necesidades y la creación de las especificaciones del producto. El lado derecho de la V representa la verificación de las piezas y su integración [Blum, 2007].

La figura 2.21 muestra la metodología en V utilizada en la presente tesis.

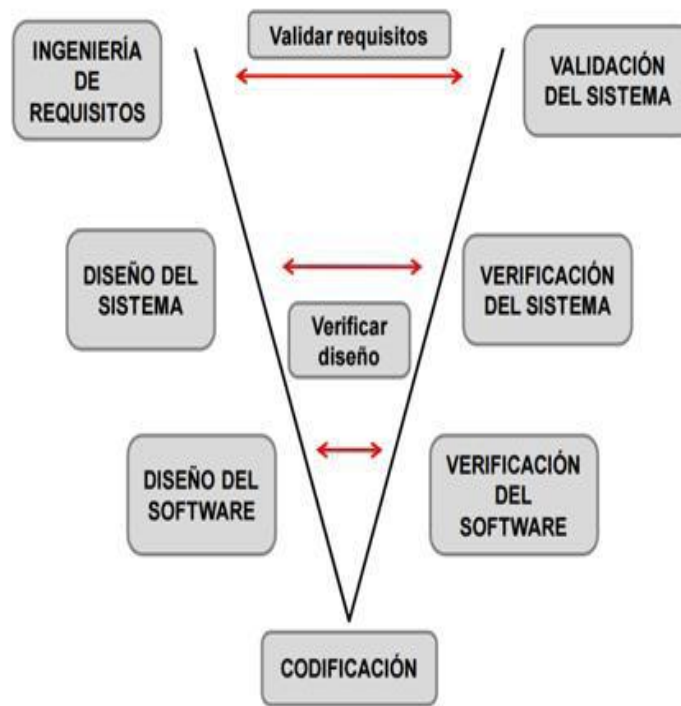


Figura 2.21: Metodología en V.
Fuente: Blum, 2007

La metodología en V consta de 4 etapas, en las cuales las fases se enlazan es decir para cada fase existe una fase correspondiente o paralela de verificación o validación. Esta estructura obedece al principio de que para cada fase del desarrollo debe existir un resultado verificable.

En la misma estructura se advierte también que la proximidad entre una fase del desarrollo y su fase de verificación correspondiente va decreciendo a medida que aumenta el nivel dentro de la V. La longitud de esta separación intenta ser proporcional a la distancia en el tiempo entre una fase y su homóloga de verificación.

Nivel 1 Análisis de requerimientos y especificaciones

Orientado al “cliente”. El inicio del proyecto y el fin del proyecto constituyen los dos extremos del ciclo. Se compone del análisis de requisitos y especificaciones, se traduce en un documento de requisitos y especificaciones.

Nivel 2 Análisis funcional

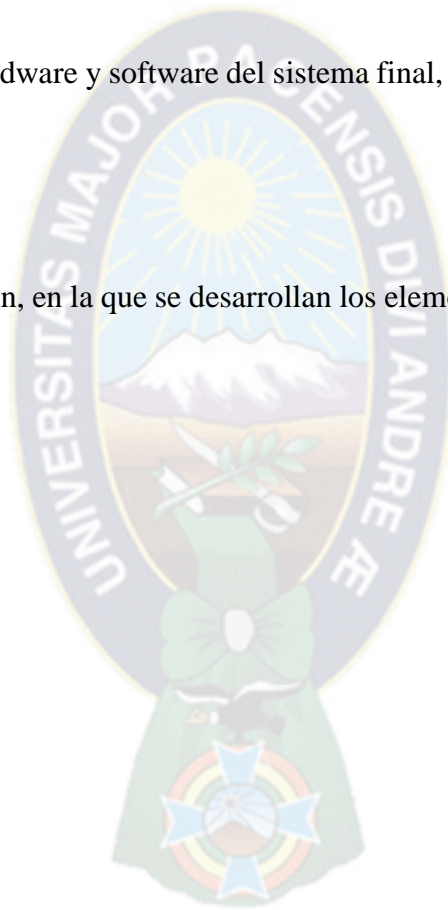
Se enfoca a las características funcionales del sistema propuesto. Puede considerarse el sistema como una caja negra, y caracterizarla únicamente con aquellas funciones que son directa o indirectamente visibles por el usuario final, se traduce en un documento de análisis funcional.

Nivel 3 Arquitectura del sistema

Define los componentes hardware y software del sistema final, a cuyo conjunto se denomina arquitectura del sistema.

Nivel 4 Implementación

Es la fase de implementación, en la que se desarrollan los elementos unitarios o módulos del programa [Blum, 2007].



3.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo tiene como finalidad desarrollar el prototipo del robot móvil de búsqueda y localización de personas atrapadas por derrumbes en las minas subterráneas. Como se utilizara hardware y software se hara uso de las metodologías en V y prometheus. El cual servirá para explicar todo el desarrollo necesario para la comprobación o refutación de la hipótesis planteada en la investigación, a su vez dicha especificación y desarrollo se apoya en el “Marco Teórico” (Capitulo II) en el cual se expusieron todos los puntos necesarios para el desarrollo de la investigación.

En la tabla 3.1 se describe la relación entre las metodologías de desarrollo de software las cuales son metodología en V y la metodología prometheus.

FASES		ARTEFACTOS	ARTEFACTOS
Método V	Prometheus	MÉTODO V	PROMETHEUS
<p><u>Nivel 1</u></p> <p>Ingeniería de requerimientos.</p> <p>Validación del sistema.</p>	<p>Especificaciones del sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de requisitos y especificaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los actores. • Identificar entradas / salidas (percepciones y acciones). • Identificar los objetivos del sistema. • Identificar roles (funcionalidades). • Identificar / definir escenarios.
<p><u>Nivel 2</u></p> <p>Diseño del sistema.</p> <p>Verificación del sistema.</p>	<p>Arquitectura del sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se enfoca en las características funcionales del sistema propuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar los agentes del sistema. • Diagrama de agrupación de roles a agentes. • Diagrama de relación entre agentes. • Diagrama de acoplamiento entre datos y roles.

<p><u>Nivel 3</u></p> <p>Diseño del software.</p> <p>Verificación del software.</p>	<p>Diseño detallado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes de hardware y software del sistema final. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura interna de cada agente individual. • Descriptores de capacidades. • Diagramas de vision general del agente. • Descriptores de los planes. • Descriptores de los eventos. • Descriptores de datos.
<p><u>Nivel 4</u></p> <p>Codificación.</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de los elementos unitarios o módulos 	

Tabla 3.1: Combinación de los metodologías en V y prometheus.

Fuente: propia

A continuación se describen las etapas de numeración de la interrelación entre metodologías para una mejor comprensión del capítulo, se detallara cada una de las fases y procesos de la refactorización.

Etapa 1 - INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS, VALIDACIÓN DEL SISTEMA Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

En la primera etapa refactorizamos la fase de especificaciones del sistema de la metodología prometheus en la fase de ingeniería de requerimientos de la metodología en V. además se implementara de manera conjunta en ambas metodologías de los artefactos y procesos de las mismas.

A continuación se describe el desarrollo de los artefactos y procesos en el orden aplicado:

Requerimientos de hardware, requerimientos de software y especificaciones del sistema: Identificar los actores, entradas / salidas (percepciones y acciones), los objetivos del sistema, identificar / definir escenarios y roles (funcionalidades).

Etapa 2 - DISEÑO DEL SISTEMA, VERIFICACIÓN DEL SISTEMA Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En la segunda etapa refactorizamos la fase de arquitectura del sistema de la metodología prometheus en la fase de diseño del sistema de la metodología en V. además se implementara de manera conjunta en ambas metodologías de los artefactos y procesos de las mismas.

A continuación se describe el desarrollo de los artefactos y procesos en el orden aplicado: Armado del prototipo robot y arquitectura del sistema: acoplamiento de datos y roles, identificar los agentes del sistema, agrupación de roles a agentes, relación entre agentes

Etapa 3 - DISEÑO DEL SOFTWARE, VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE Y DISEÑO DETALLADO

En la terera etapa refactorizamos la fase de diseño detallado de la metodología prometheus en la fase de diseño del software de la metodología en V. además se implementara de manera conjunta en ambas metodologías de los artefactos y procesos de las mismas.

A continuación se describe el desarrollo de los artefactos y procesos en el orden aplicado: Control de locomoción difuso del robot móvil, diseño detallado: Estructura interna de cada agente individual, descriptores de capacidades, descriptores de los planes, descriptores de los eventos y descriptores de datos.

Etapa 4 – CODIFICACIÓN

En esta etapa se realiza la implementación, en la que se desarrollan los elementos unitarios o modulos del programa.

3.2 INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

3.2.1. REQUERIMIENTOS DE HARDWARE

En este punto se describirá los elementos electrónicos los cuales se utilizaran para el armado del prototipo de robot móvil y la implementación del agente inteligente.

Los elementos a usar en la construcción del prototipo de robot móvil se detallan a continuación en la tabla 3.2, tabla 3.3 y tabla 3.4.





CANTIDAD	ELEMENTO	GRAFICO	VOLTAJE
1	Placa Arduino		5V-500 mA
1	Cable de Alimentacion		5V-100 mA 9V-3300 mA
1	Protoboard		-
	Cables de conexión macho-macho		-

Tabla: 3.2: Elementos del prototipo robot móvil parte 1.

Fuente: propia

CANTIDAD	ELEMENTO	GRAFICO	VOLTAJE
3	sensor ultrasónico		4.5 V- 10 mA 5V -15 mA
1	Sensor de Monóxido de Carbono MQ7		5V-500 mA
2	Servo motores modelo G995		5V-500Ma
1	Barras de aluminio		-

Tabla: 3.3: Elementos del prototipo robot móvil parte 2.

Fuente: propia






CANTIDAD	ELEMENTO	GRAFICO	VOLTAJE
1	Raspberry pi 3		5V - 1 ^a
1	Regulador de voltaje Lm2596		18V – 5V
	Fuentes de alimentación		5V a 9V
4	Motor Dc con caja reductora y rueda de goma		5V a 6V
1	Motor Shield v1		5V a 9V

Tabla: 3.4: Elementos del prototipo robot móvil parte 3.

Fuente: propia

3.2.2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

Se estableció en la ingeniería de requerimientos que el software a usar es Arduino o conocido también como IDE para Arduino. Utilizada para escribir el software, lo que se denomina sketch, ya que este software se puede emplear en todos los sistemas operativos, además de ser un software libre. También se utilizara raspberry pi 3, el cual viene con un sistema operativo basado en Linux llamado raspbian, para la implementación del agente inteligente explicado más adelante.

3.2.3 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

En esta etapa se empieza con el desarrollo del agente inteligente, el cual se encarga de realizar las decisiones en el proceso de búsqueda y localización de los trabajadores atrapados por derrumbes. Además de tener capacidades para identificar personas, identificar intersección entre túneles, inspeccionar la zona de emergencia y verificar pilares en mal estado.

A continuación se describe el comportamiento dinámico del agente inteligente. Con los artefactos siguientes: Identificar los actores, entradas / salidas (percepciones y acciones), los objetivos del sistema, identificar / definir escenarios y roles (funcionalidades).

3.2.3.1 IDENTIFICAR ACTORES

Para el desarrollo del agente inteligente es necesario identificar los posibles usuarios o actores que interactuaran con el sistema inteligente, en este nivel abstracto es necesario identificar los actores cuidadosamente, la identificación de los actores del sistema será descrita a continuación.

La tabla 3.5 muestra los actores encontrados en el sistema inteligente, también sus características de cada uno de los actores. Los actores son todas las personas o sistemas externos asociados con el sistema, encontrar los actores es una de las piezas más fundamentales es por donde se empieza a abstraer la información recopilada, en este caso se ha encontrado tres actores principales.

ACTOR	CARACTERÍSTICAS
AcUsuario	<ul style="list-style-type: none"> • No se comunica directamente con el agente, solo tendrá directa con el sistema. • El actor será el que alimente al sistema con la fuente eléctrica.
AcCámara	<ul style="list-style-type: none"> • Representa al dispositivo sensor visión del interior de la mina subterránea que sirve para registrar imágenes estáticas o en movimiento.
AcPrototipoRobot	<ul style="list-style-type: none"> • Es el que recibe los datos de información externa es decir las percepciones que luego devuelve en forma numérica. • Recibe las decisiones tomadas por la información enviada y a la vez interactúa con el entorno externo que se describe como el interior de la mina subterránea.

Tabla 3.5: Actores del sistema inteligente.

Fuente: propia

3.2.3.2 IDENTIFICAR PERCEPCIONES Y ACCIONES (ENTRADAS / SALIDAS)

Las Percepciones son todos los tipos de información que entran en el sistema desde el entorno o ambiente en este caso el interior de una mina subterránea, Mediante dispositivos físicos llamados sensores del robot y la cámara. Las percepciones encontradas son las siguientes.

Herido, son las personas heridas o atrapadas por los derrumbes al interior de la mina subterránea.

Obstáculos, son las rocas o escombros de tamaño normal que impiden pasar o avanzar hacia otro lugar del interior de una mina subterránea.

Gases, son los gases tóxicos que pueden ser liberados por derrumbes, además se encuentran en el interior de una mina subterránea.

Flamas, la emisión de calor producida por la combustión de una materia.

Entrada, es la entrada de la mina subterránea.

Túnel bloqueado, es cuando el túnel o cámara de la mina subterránea esta totalmente cerrado por rocas o escombros probocados por derrumbes.

Paredes, son los muros laterales de una mina subterránea.

Nodo, es un punto de intersección de las cámaras o túneles subterráneas.

Pilares, son los soportes, rigido que sirve para soportar los techos de la mina subterránea.

Implementos de seguridad, son los elementos del equipo de protección para mineros como el casco, lentes de seguridad, orejeras, lámparas, respiradores, guantes de protección, cinturón, overol, luces y botas de seguridad.

Las acciones son todo lo que envía desde el sistema hacia el medio ambiente. A continuación se describen las acciones necesarias para interactuar con el ambiente de la mina subterránea.

Camino error. Ruta mala elegir otra.

Persona herida. Persona localizada.

Posición de la persona herida. Izquierda, derecha y frente.

Posición implemento de seguridad. Izquierda, derecha y frente.

Esquivar obstáculo. Eludir las rocas o escombros de tamaño normal que impiden pasar o avanzar hacia otro lugar del interior de una mina subterránea.

Esquivar implemento de seguridad. Eludir el casco, lentes de seguridad, orejeras, lámparas, respiradores, guantes de protección, cinturón, overol, luces y botas de seguridad.

Avanzar nodo. Moverse a otro túnel.

Túnel cerrado. El túnel está totalmente colapsado.

Gas tóxico. La atmósfera está contaminada.

Fuego. Existe fuego en la mina subterránea.

Ruta nueva. Es cuando se elige otra ruta para seguir buscando a los trabajadores atrapados.

3.2.3.3 IDENTIFICAR LOS OBJETIVOS DEL SISTEMA

En este proceso, la metodología de desarrollo de agentes inteligentes se definirá el objetivo principal para el cual se desarrolla el agente inteligente, dicho objetivo será alcanzada con los objetivos secundarios. En la tabla 3.6 se describen los objetivos encontrados.

TIPOS DE OBJETIVOS	DESCRIPCIÓN
Objetivo principal	<p>Buscar y localizar a personas atrapadas por derrumbes en mina subterránea sin ser lastimado por los obstáculos o nuevos derrumbes.</p>
Objetivos Secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener datos necesarios del prototipo robot • Obtener datos de la cámara, se utilizara reconocimiento de objetos. • Detectar las situaciones de las posiciones de una persona herida. • Detectar la intersección de tuneles subterráneas. • Detectar los implementos de seguridad del trabajador minero. • Esquivar rocas. • Eludir pilares. • Esquivar implementos de seguridad. • Eludir túnel totalmente bloqueado. • Monitorea de flamas. • Monitores de gases.

Tabla 3.6: Listado de metas y objetivos del agente inteligente
Fuente: propia

La figura 3.8 muestra el diagrama de descripción general de los objetivos del agente inteligente.

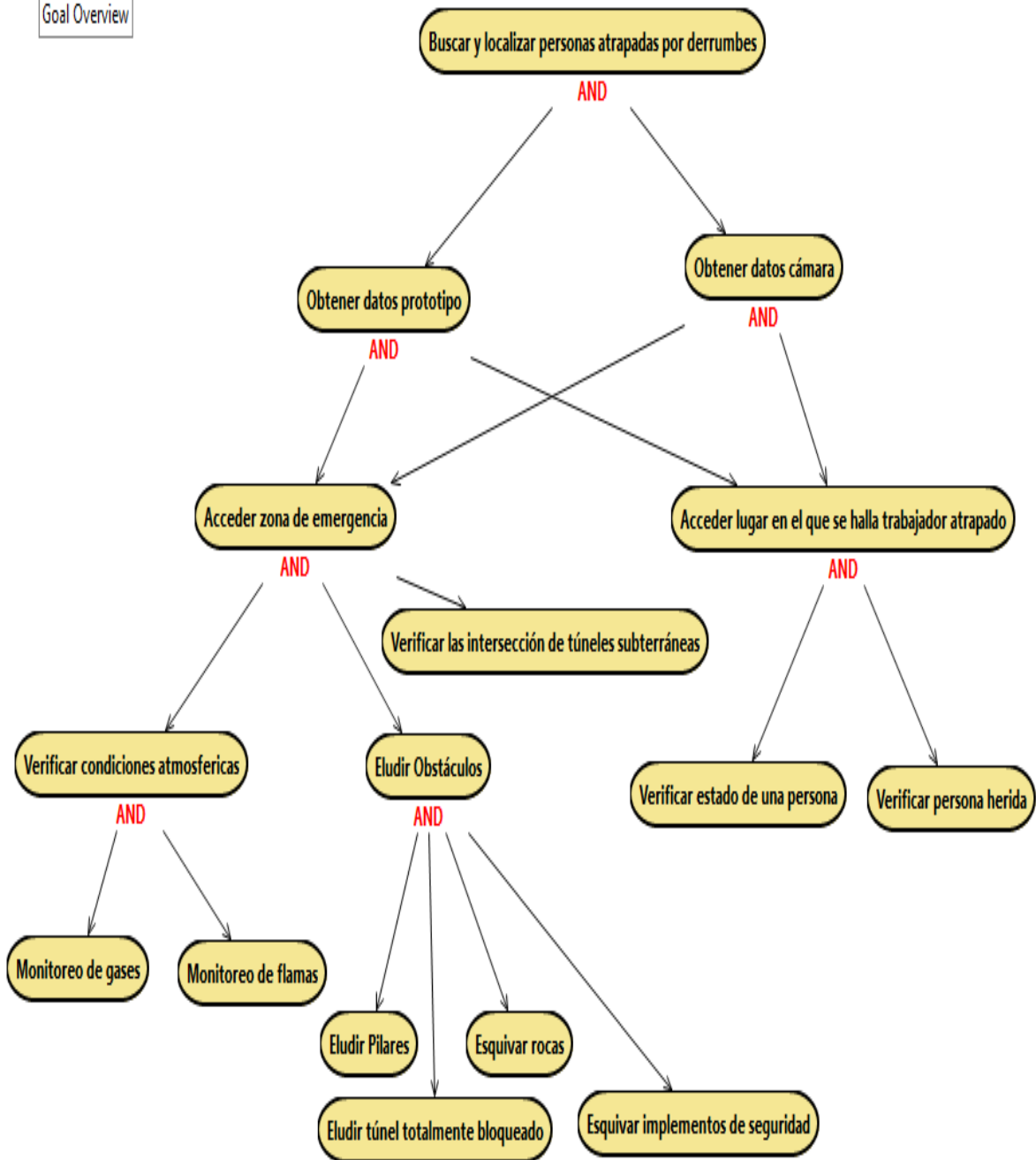


Figura 3.1: Diagrama de descripción general de objetivos
Fuente: propia

En la figura 3.1 se observa el objetivo principal, se definió como, buscar y localizar a personas atrapadas por derrumbes en mina subterráneas y también los objetivos secundarios: obtener datos del prototipo robot, datos de la cámara, acceder a la zona de emergencia y

acceder al lugar en el que se halla el trabajador atrapado. Los objetivos mencionados son de forma general. A su vez el objetivo acceder zona de emergencia se divide en dos objetivos más: verificar condiciones atmosféricas y eludir obstáculos, el objetivo acceder al lugar en el que se halla el trabajador atrapado en dos objetivos más: verificar estado de la persona, verificar persona herida.

3.2.3.4 IDENTIFICAR / DEFINIR ESCENARIOS Y ROLES

Los escenarios son procesos que el sistema utiliza para manejar las percepciones y producir las acciones. En el sistema se logró identificar cuatro escenarios de alto nivel que se describirán a continuación.

Obtener datos de la Cámara. Escenario que se encarga de adherir al sensor visión y almacenar los datos obtenidos.

Obtener datos prototipo robot. Escenario que se encarga de adherir al prototipo robot y almacenar datos obtenidos.

Acceder zona de emergencia. Escenario que representa todos los procesos necesarios para encontrar a la persona herida o atrapada.

Acceder lugar en el que se halla el trabajador atrapado. Escenario que se encarga de averiguar en que porción de espacio se sitúa la persona herida o atrapada.

En este proceso de la metodología de desarrollo para agentes inteligentes, los escenarios son detallados, por el cual conocemos la secuencia de pasos en forma de guion que describen un posible comportamiento del sistema frente a una situación dada, que utiliza el sistema para manejar las percepciones y luego producir las acciones, por lo cual se mostrara cada escenario del sistema.

En la figura 3.2 se muestra los detalles de los escenarios encontrados y los sub-escenarios que serán utilizados por el sistema.

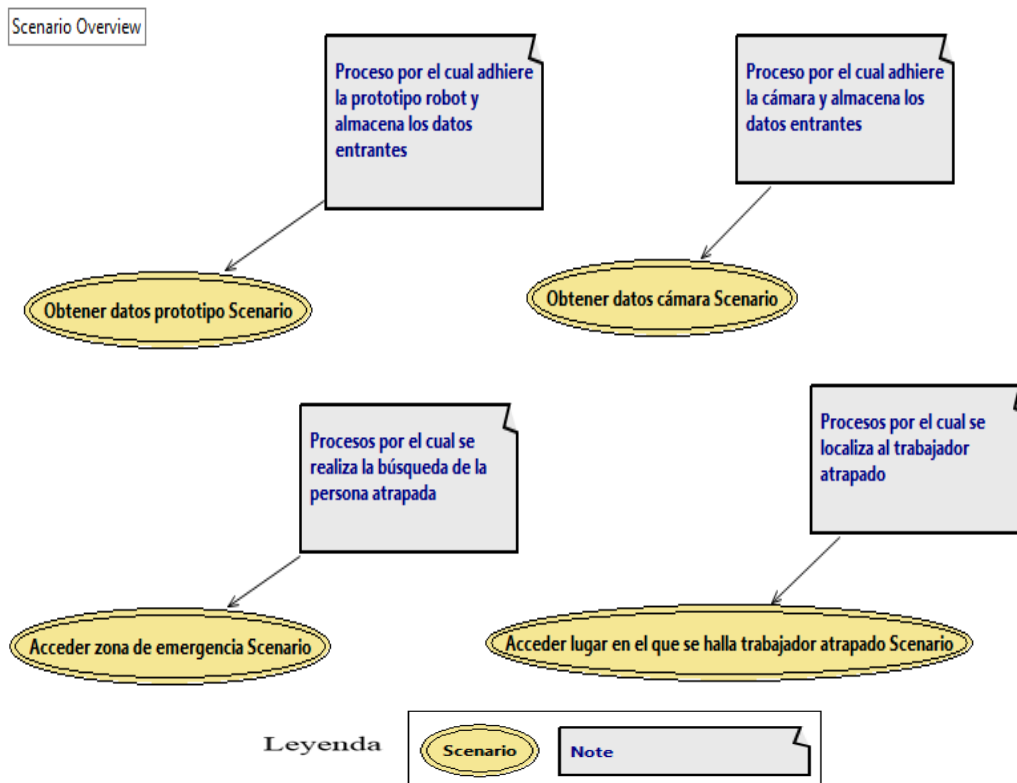


Figura 3.2: Diagrama de descripción general de escenarios
Fuente: propia

Los escenarios de sistema se detallan en el diagrama general de escenarios (véase figura 3.2). Los escenarios principales, Obtener datos prototipo, Obtener datos cámara, describen el flujo básico de una entrada y salida de los datos que son almacenados en el sistema. Los escenarios Acceder zona de emergencia y acceder al lugar en el que se halla trabajador atrapado son variantes de estos escenarios. El primero describe la situación en la que el rescatista accede al lugar de siniestro por el camino más seguro, más corto, adoptando la ruta y puntos de acceso preferentes. El segundo describe la situación en la que el especialista en rescate va identificando la porción de espacio donde se encuentra la persona atrapada, en que estado está: consciente o desmayado.

La siguiente etapa del proceso es agrupar objetivos similares en roles, cada rol debe tener un alcance limitado, y debe poder describirse completamente con una o dos oraciones. La agrupación se realiza utilizando el diagrama de roles del sistema, dentro del cual cada

percepción y acción también forman parte de los roles, y deben estar vinculadas a un rol de la misma manera que los objetivos, cada percepción y acción debe ser parte de algún rol, también pueden ser parte de múltiples roles.

A continuación se describirán los roles identificados en el sistema.

La figura 3.3 muestra el rol llamado procesador acceder a la zona de emergencia, junto con las percepciones, acciones y su objetivos vinculados a dicho rol.

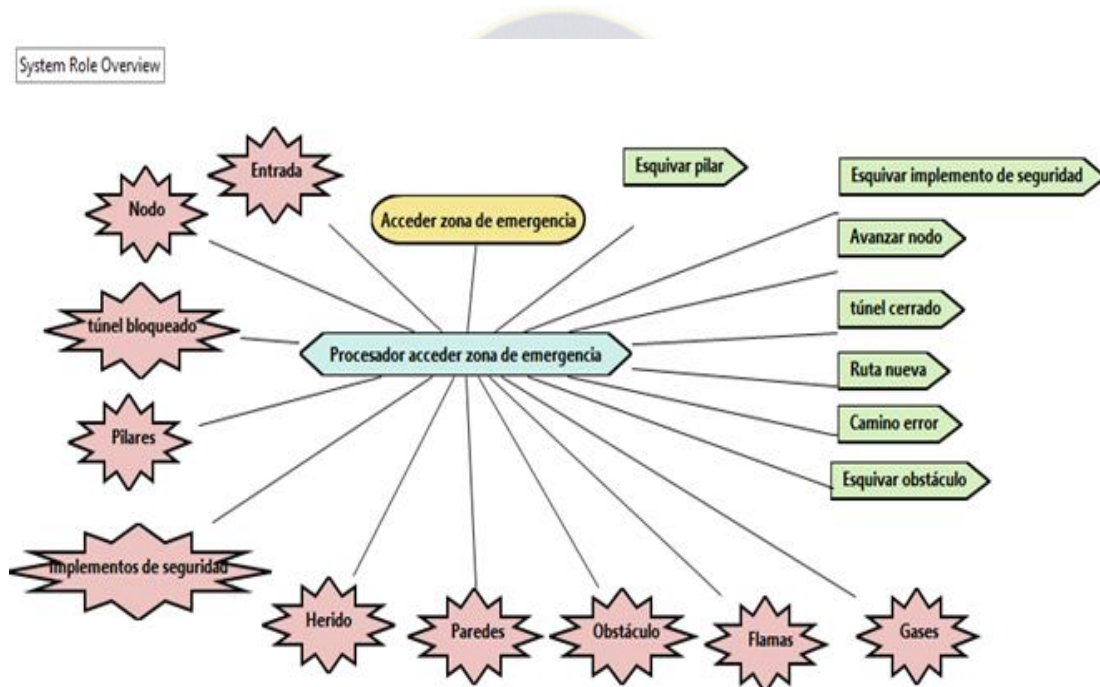


Figura 3.3: Diagrama del rol procesador acceder zona de emergencia.

Fuente: propia

En la figura 3.3 se observa como se vinculan las percepciones, acciones y objetivo del rol, el rol se ocupa del reconocimiento, es decir se realiza la inspección de todos los trabajos necesarios que se realizara al momento del rescate como que condiciones atmosfericas, encuentra, si hay derrumbes parciales o totales y pilares débiles o apunto de colapsar. Además de ir viendo a los trabajadores atrapados o heridos al interior de la mina subterránea.

La figura 3.4 muestra el rol llamado procesador acceder lugar trabajador atrapado, junto con las percepciones, acciones y su objetivos vinculados a dicho rol.

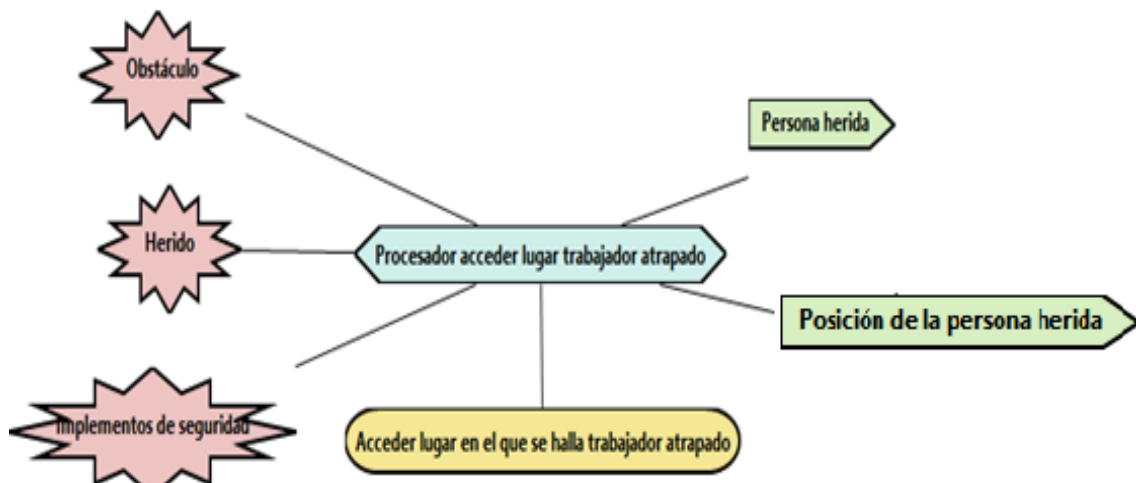


Figura 3.4: Diagrama del rol procesador acceder lugar trabajador atrapado.

Fuente: propia

En la figura 3.4 se observa como se vinculan las percepciones, acciones y objetivo del rol, el rol se ocupa de localizar, es decir acercarse al lugar y luego confirmar que sea una persona y no una falsa alarma.

La figura 3.5 muestra el rol llamado procesador acceder obtener datos prototipo, junto con las percepciones, acciones y su objetivos vinculados a dicho rol.

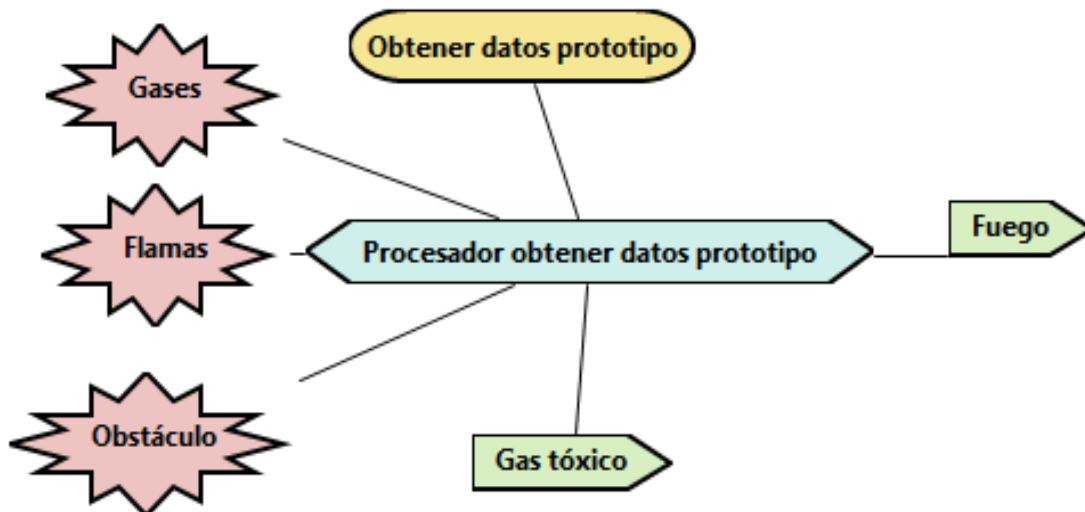


Figura 3.5: Diagrama del rol procesador obtener datos prototipo.

Fuente: propia

En la figura 3.5 se observa como se vinculan las percepciones, acciones y objetivo del rol, el rol se ocupa unicamente de recibir datos de prototipo robot, traducirlo al formato apropiado y luego almacenarlo en un almacen de datos apropiado.

La figura 3.6 muestra el rol llamado procesador acceder obtener datos cámara, junto con las percepciones, acciones y su objetivos vinculados a dicho rol.

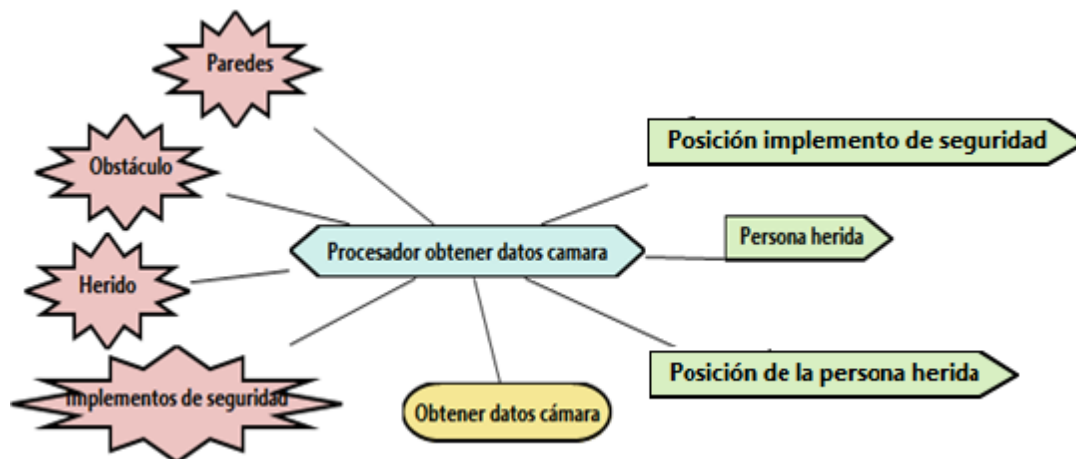


Figura 3.6: Diagrama del rol procesador obtener datos cámara.
Fuente: propia

En la figura 3.6 se observa como se vinculan las percepciones, acciones y objetivo del rol llamado obtener datos cámara, el rol se ocupa unicamente de recibir datos de la cámara, luego traducirlo al formato apropiado, además de almacenarlo en la base de datos, para utilizarlos como percepciones.

En esta etapa se realizara un análisis general de cómo será nuestro sistema y la interacción del mismo con los agentes, para la realización de este análisis se hará una descripción minucioso de las iteraciones y relaciones entre los componentes del sistema.

Para las relaciones existentes en el diagrama generado en esta etapa, describe cada elemento y las relaciones entre los mismos, la relación entre los usuarios y los escenarios del sistema por los cuales se tendrán acceso a las bases de datos. Una vez procesados dichos estímulos y tomando las acciones correspondientes a cada uno de ellos, el agente se comunicara con el

sistema mediante los protocolos establecidos para realizar la acción correspondiente al estímulo y comunicarse con las bases de datos distribuidas.

En la figura 3.7 se muestra el diagrama general de análisis usando toda la información propuesta anteriormente. Se observa la relación controlador de locomoción difusa del robot con el agente inteligente y el entorno.

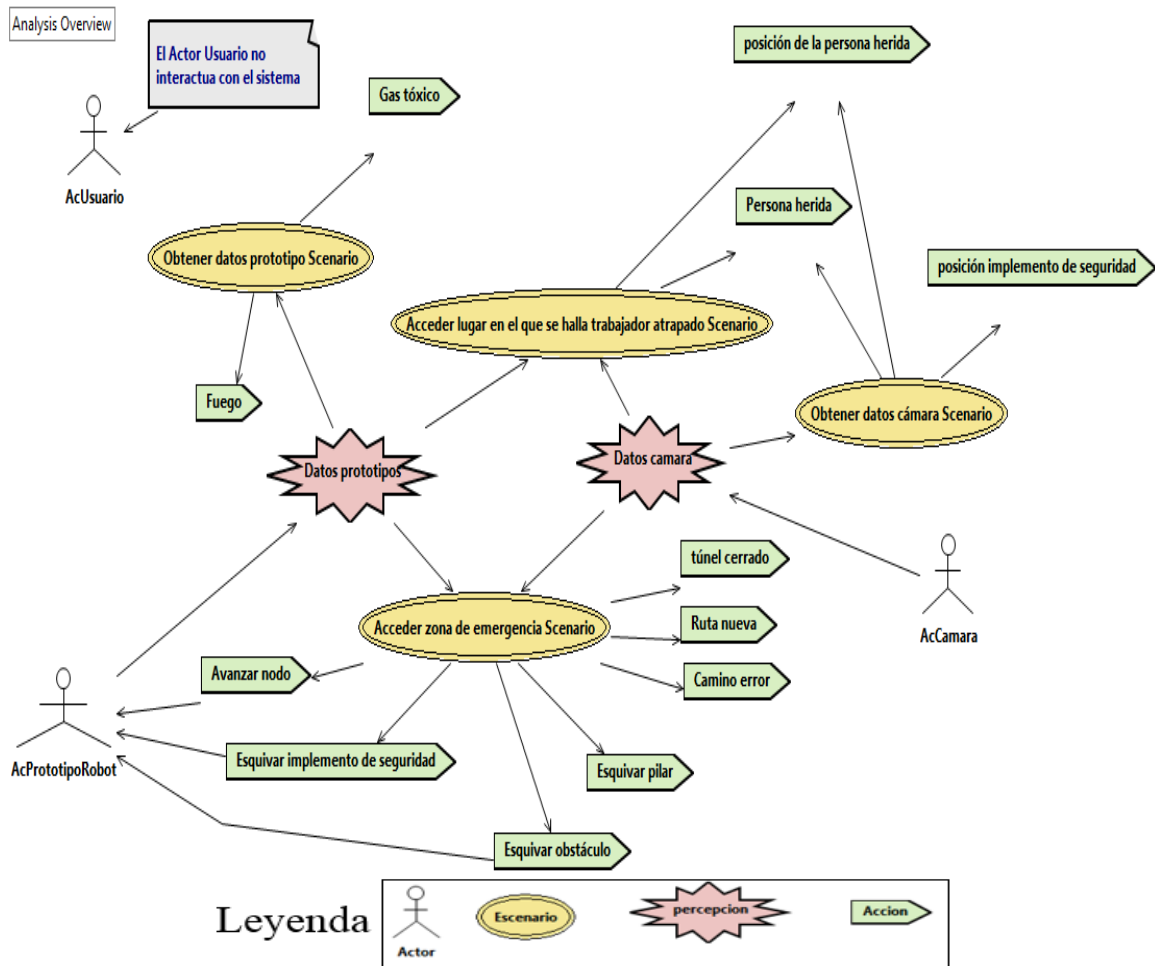


Figura 3.7: Diagrama de descripción general
Fuente: propia

La figura 3.7 muestra un esbozo de las interacciones que se producen entre el sistema y el entorno, los escenarios y percepciones y las acciones definidas anteriormente son necesarias para el diseño del diagrama. Este diagrama no es un esbozo final sino es un vistazo al sistema por lo que puede cambiar más adelante.

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA Y ARQUITECTURA DEL SISTEMA

3.3.1 ARMADO DEL ROBOT MÓVIL

Para el armado del robot móvil, se tomó en cuenta toda la literatura revisada en el anterior capítulo, los robots con ruedas muestran características favorables para desenvolverse en terrenos planos o en ambientes dinámicos, como al interior de una mina subterránea, para ello se utilizara todos los elementos mencionados en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4 para lo cual es necesario tener en cuenta la estructura, actuadores y sensores.

La figura 3.8 muestra el diseño del prototipo de robot móvil que se desarrollara en el transcurso del avance del prototipo.

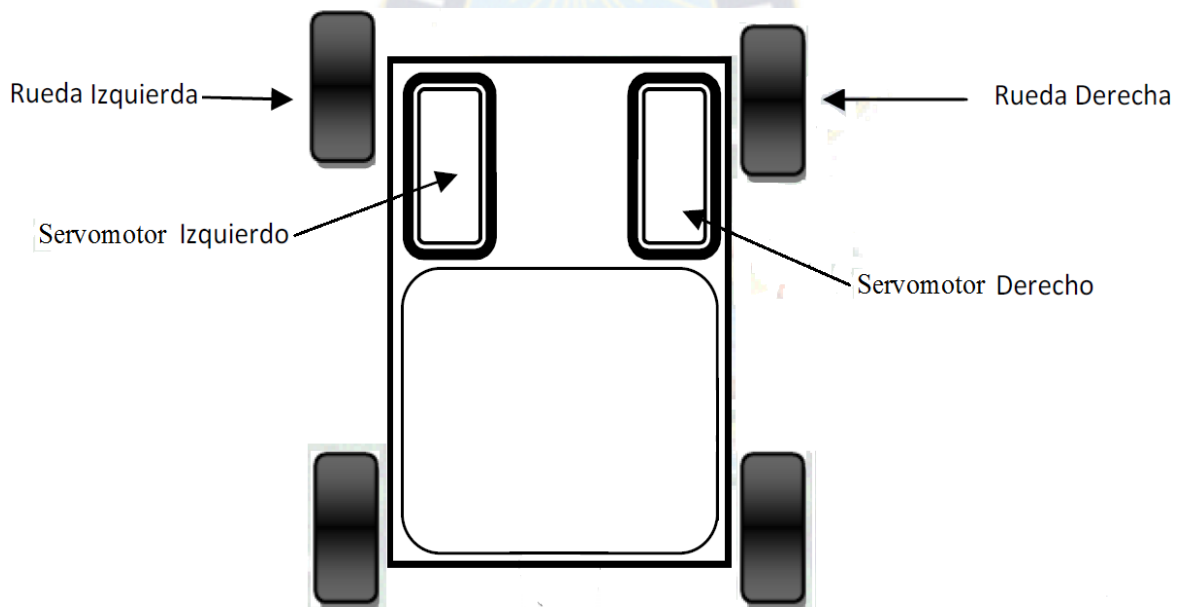


Figura 3.8: Diseño general del robot móvil.
Fuente: propia.

3.3.1.1 DISTRIBUCIÓN DE GRADOS DE LIBERTAD

Tres grados de libertad proveen de una buena solución para obtener gran movilidad en el robot móvil, el cual tiene tres grados de libertad cuando se mueve sobre una superficie plana, estos tres grados de libertad (x , y , Q) nos dan la distancia y el ángulo, es decir, sin considerar

de donde arranca, si le damos x, y, Q el robot debe poder moverse a esa posición. El diseño de la cabeza está formado por un grado de libertad que genera el movimiento vertical.

A continuación se muestran la configuración de todos los grados de libertad del robot móvil que consta de cuatro ruedas.

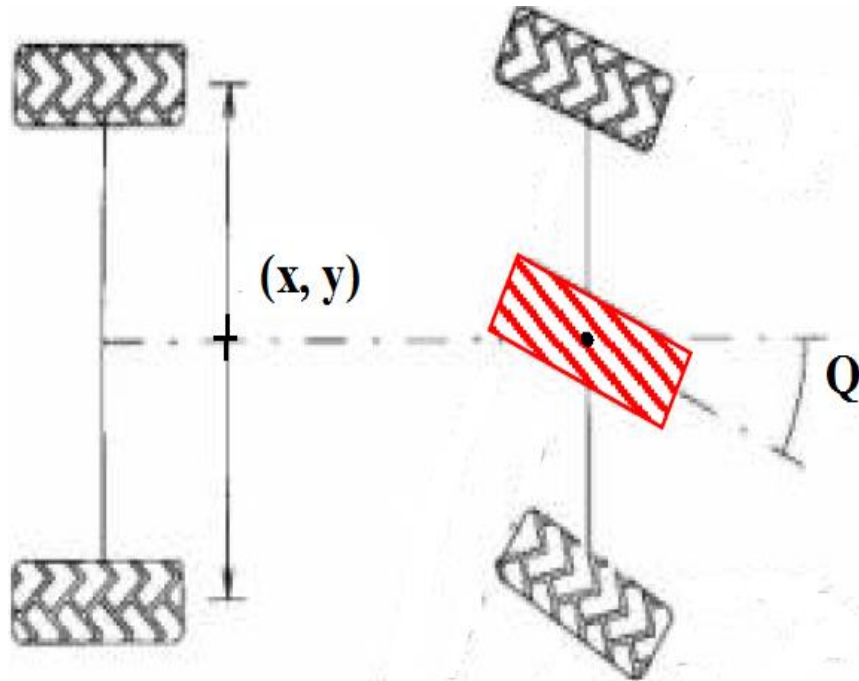


Figura 3.9: Configuraciones de los grados de libertad
Fuente: propia

La configuración de los grados de libertad es muy importante, ya que es necesario para el rango de movimiento de los servomotores, esto determina los posibles movimientos que puede generar cada rueda.

3.3.1.2 ESTRUCTURA DEL ROBOT MÓVIL

Las medidas para el diseño del prototipo robótico se consideraron en base al tamaño del servomotor modelo G995 y los motores de corriente continua de las ruedas, tratando de mantener la estabilidad adecuada para un mejor desempeño del prototipo. Para la estructura del robot móvil se dividió en tres componentes principales: el chasis, las ruedas y cabeza.

3.3.1.3 DISEÑO DEL CHASIS

El diseño del chasis es una parte fundamental, ya que debe soportar la unión de todos los elementos, la cabeza y además debe sostener los componentes extras, como las baterías, las placas arduino y sensores por tal motivo se dejó un espacio en el centro del chasis para colocar allí el centro de masa del robot móvil, el tamaño es 27 x 15.5 centímetros de largo y ancho respectivamente.

La figura 3.10 muestra el diseño del chasis del prototipo de robot móvil el cual soportara todos los elementos el descritos anteriormente.

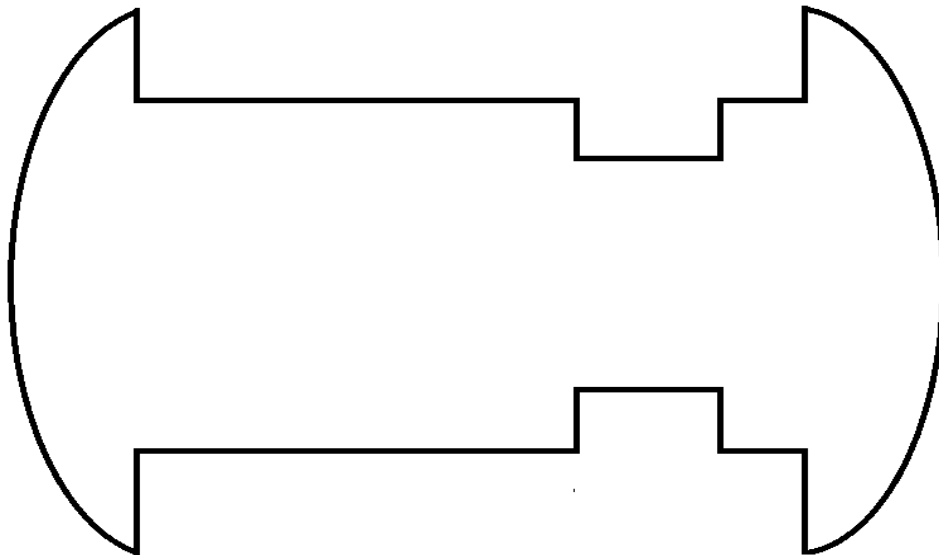


Figura 3.10: Diseño del chasis del prototipo de robot móvil
Fuente: propia.

3.3.1.4 DISEÑO DE LAS RUEDAS

Para la elección de las ruedas del robot móvil, se consideraron aspectos como capacidad de carga, tamaño de la rueda, además de la compatibilidad con el resto de los componentes del robot, el prototipo robot consta de cuatro ruedas.

En el esqueleto de las ruedas se utilizará las barras rectangulares de aluminio las cuales son muy ligeras en cuanto a peso, además es resistente a la corrosión, en este punto se tendra en

cuenta que los motores de las ruedas y los servomotores se uniran a las piezas de aluminio. Sostenidos por tornillos incrustados en cada servomotor y motor de las ruedas.

3.3.1.5 DISEÑO DE LA CABEZA

El diseño de la cabeza está compuesto por un servomotor, colocado en el cuello del robot que genera un movimiento vertical. Además es el que sujeta a la cámara que representa como la cabeza del robot móvil. A continuación se muestra la estructura de la cabeza del robot Móvil.



Figura 3.11: Estructura de la cabeza del robot móvil
Fuente: propia

La figura 3.11 muestra la estructura de la cabeza la cual está formada por una cámara sujeta por las barras rectangulares de aluminio las cuales son muy ligeras en cuanto a peso, además es resistente a la corrosión.

3.3.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En esta etapa se continua con el desarrollo del agente inteligente para esto se tomaran los artefactos producidos en la etapa anterior para identificar tipos de agentes que serán utilizados por el sistema y asignarles roles, para luego agruparlos por funcionalidades comunes. En este

caso se utilizara un agente el cual es donominado agente rescatista.

3.3.2.1 ACOPLAMIENTO DE DATOS Y ROLES

En la figura 3.12 se muestra la información general de acoplamiento de datos según el rol que cumple el agente.

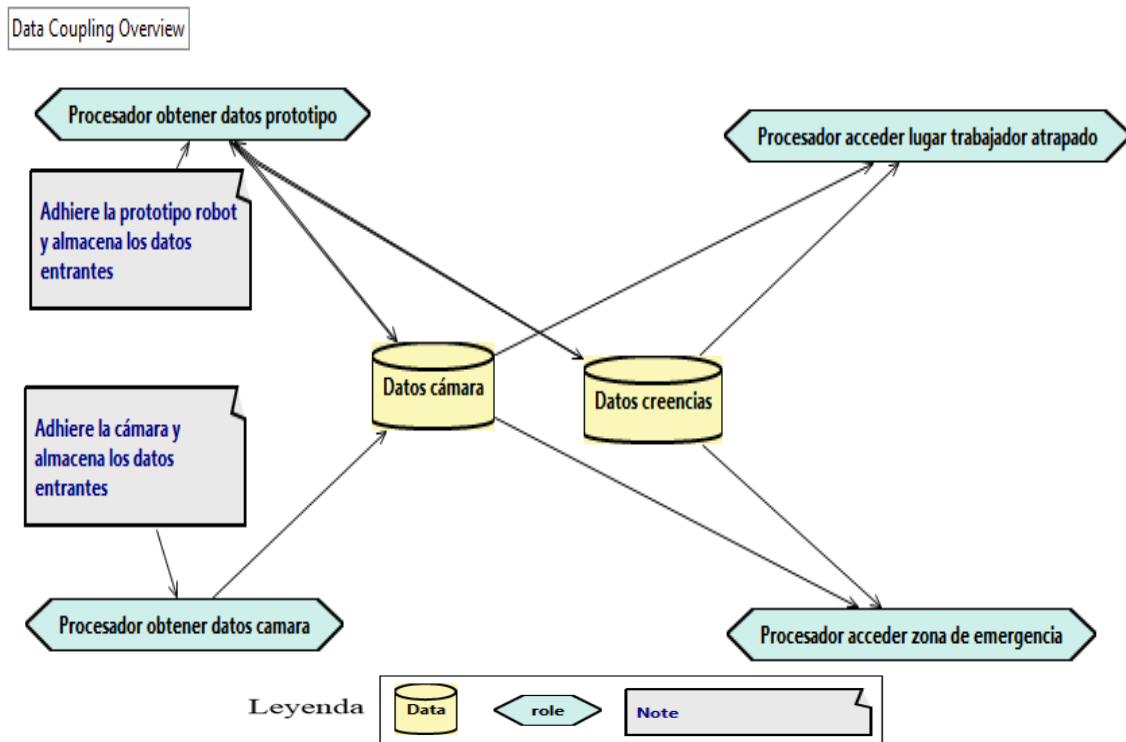


Figura 3.12: Diagrama de descripción general de acoplamiento de los datos

Fuente: propia

En la figura 3.12 se observa que roles producen datos y también si los roles realizan la lectura de los mismos datos. Además, los roles que usan los mismos almacenes de datos deben asignarse al mismo tipo de agente.

3.3.2.2 DETERMINACIÓN DE TIPOS DE AGENTES

Para la determinación de los tipos de agentes, se tendrá que verificar los roles principales, cada rol defenido anteriormente, sera agregado a un grupo formado por roles comunes, cada

grupo sera asignado a un agente. Para ello se debe especificarse según las funcionalidades que realizará, esto es necesario para determinar cuántos tipos de agente son necesarios en el sistema.

En la figura 3.13 se muestra los roles encontrados y el único grupo encontrado con un solo agente. Las funciones que cumplira en agente Rescatista son cuatro.

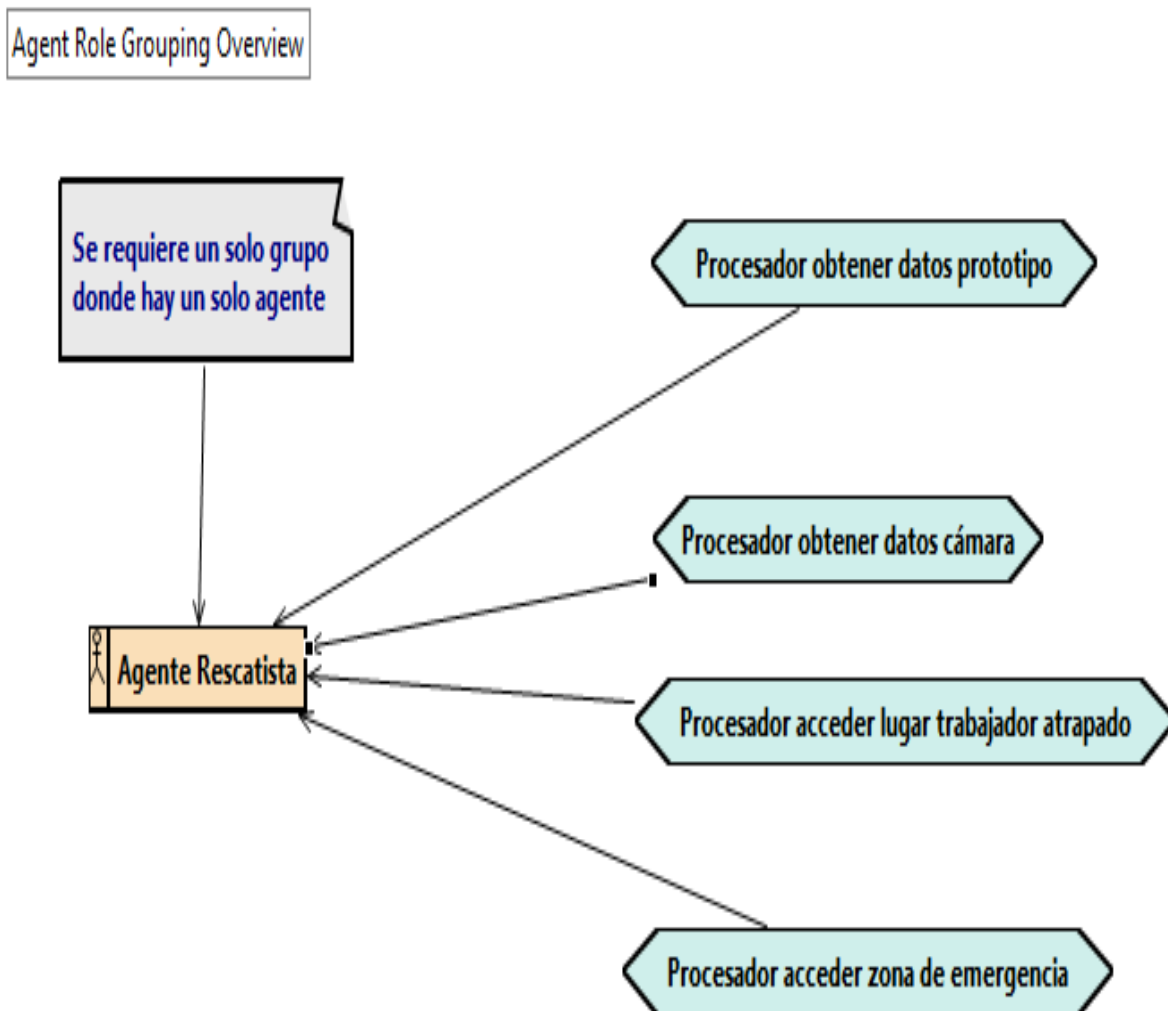


Figura 3.13: Diagrama de descripción general de agrupación por rol.
Fuente: propia.

En la figura 3.13 se observa el unico grupo de roles formados por: procesador obtener datos prototipo, procesador obtener datos cámara, procesador acceder zona de emergencia y

procesador acceder lugar trabajador atrapado, además del unico agente denominado rescatista. Los roles son asignados según el tipo de dato al cual se acopla mejor el agente.

3.3.2.3 DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA Y DESCRIPTORES

La figura 3.14 muestra el diagrama general del sistema el cual indica la cantidad de agentes encontrados y las base de datos relacionada con el agente. No existe protocolos de comunicación entre agente por que solo es un agente el cual es denominado agente rescatista.

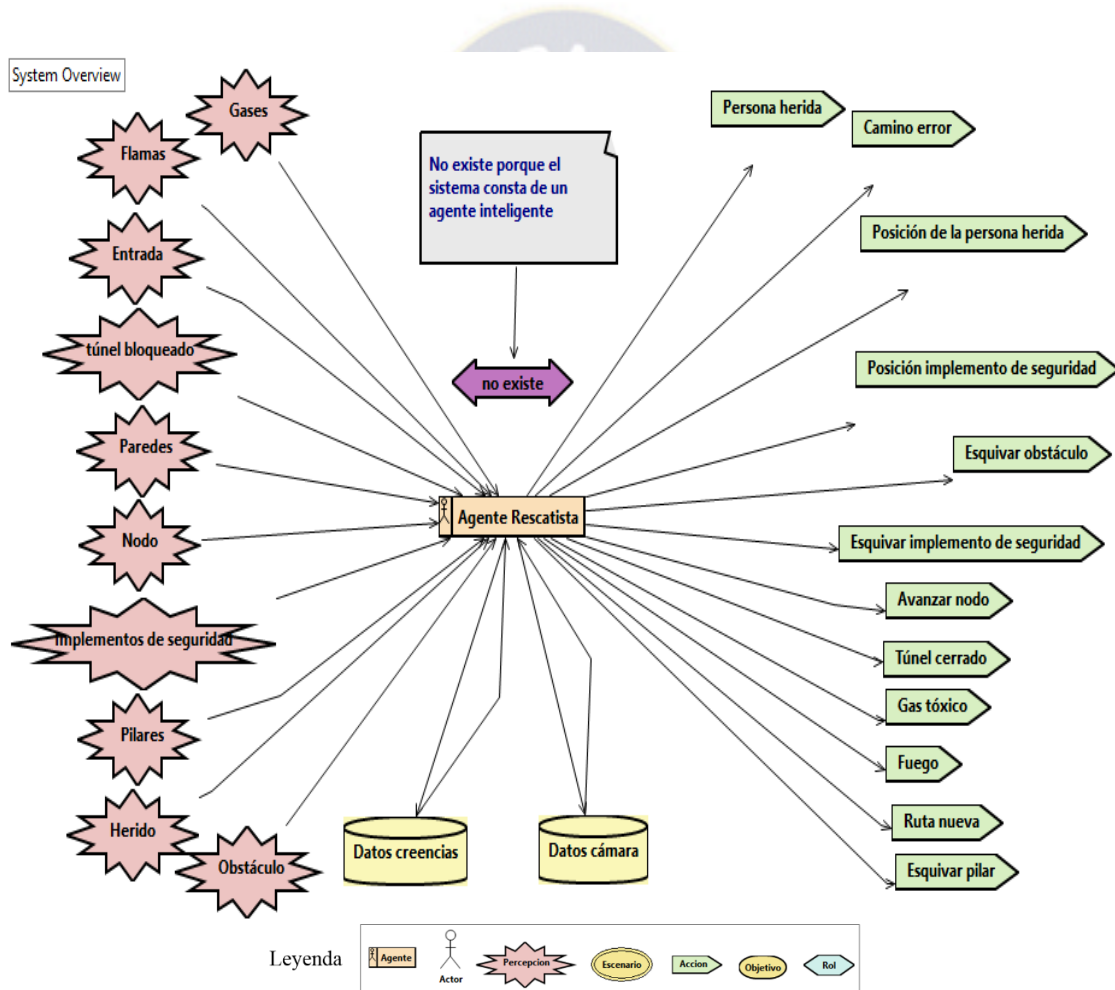


Figura 3.14: Diagrama general del sistema
Fuente: propia

Para cada uno de los agentes, es apropiado completar todos los campos relevantes en el descriptor del agente. A continuación se describirá el descriptor del agente inteligente.

La tabla 3.7 muestra el descriptor del agente rescatista. El cual es utilizado para conocer más acerca de sus propiedades y relaciones del agente.

Agente			
Nombre	Rescatista		
Descripción	<p>Buscar y localizar a personas heridas que hay en el interior de una mina subterránea sin ser lastimado por los obstáculos o nuevos derrumbes de rocas que pueda haber.</p> <p>Los obstáculos pueden estar en cualquier lugar de la mina, además se puede encontrar con túneles o galerías obstaculizadas totalmente, es decir tapados completamente por rocas o escombros que cubren el total del túnel o galería no aviendo paso hacia el frente.</p>		
Cardinalidad Mínima	1	Cardinalidad Máxima	1
Duración	Ilimitada	Inicialización	Entrada mina subterránea
En caso de fallo	Nada	Percepciones	Herido, paredes, implementos de seguridad, pilares, obstáculo, nodo, túnel bloqueado, entrada, gases y flamas.
Acciones	Esquivar pilar, gas tóxico, fuego, posición implemento de seguridad, persona herida, túnel cerrado, camino error, esquivar implemento de seguridad, esquivar obstáculos, posición de la	Usa datos	Datos cámara y datos creencias

	persona herida, ruta nueva y avanzar nodo.		
Produce datos	Datos cámara.	Datos internos	Por definir
Objetivos	Acceder zona de emergencia, acceder lugar en el que halla trabajador atrapado, obtener datos cámara, obtener datos prototipo,	Roles	Procesador acceder zona de emergencia, procesador acceder lugar trabajador atrapado, procesador obtener datos prototipo y procesador obtener datos cámara.
Protocolos	Nada		

Tabla 3.7: Descriptor del agente rescatista.
Fuente: propia.

3.4 DISEÑO DEL SOFTWARE Y DISEÑO DETALLADO

A continuación se realizara el diseño del control difuso el cual se utilizara para el control de locomoción del prototipo de robot móvil que le permitira desplazarse por su entorno, también se desarrollara la estructura interna de cada agente en este caso del agente rescatista, capacidades y planes.

3.4.1 CONTROL DE LOCOMOCIÓN DIFUSO DEL ROBOT MÓVIL

En este punto se desarrolla el controlador difuso, el cual se encargara de controlar la locomoción del prototipo de robot móvil, para lograr un control efectivo por medio de la lógica difusa, dicho control debe tener ciertas características las cuales permitirán manipular las variables lingüísticas: distancia al obstáculo, velocidad del carrito y ángulo de giro. Con el fin de que el prototipo de robot móvil pueda avanzar y dirigir por cualquier lugar.

A continuación se realizan los tres procesos necesarios para el desarrollo del controlador fuzzificador, regla de inferencia y defuzzificador.

3.4.1.1 FUZZIFICADOR

En la fuzzificación se asignara grados de pertenencia a cada conjunto difuso que forman las variables lingüísticas de entrada y salida, a su vez cada conjunto difuso estará representada por una función de membrecía o también llamado función de pertenencia para cada conjunto difuso de cada variable lingüística propuesta a continuación.

En la figura 3.15 se muestra los conjuntos difusos y las funciones de pertenencia de la variable lingüística distancia del obstáculo.

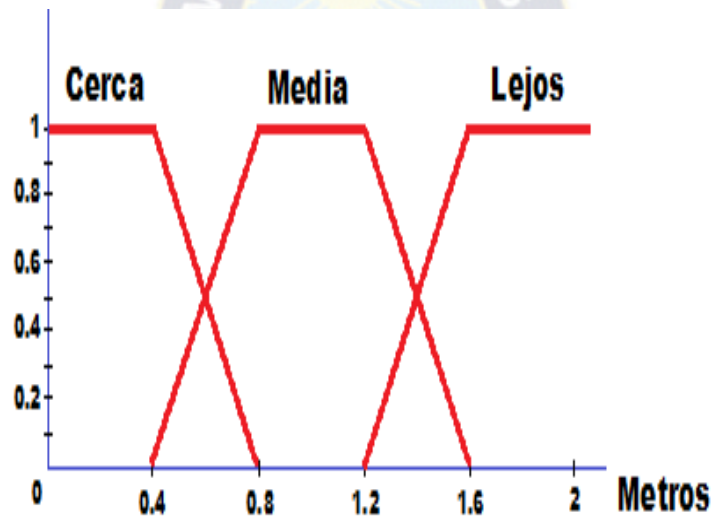


Figura 3.15: Variable lingüística distancia del obstáculo

Fuente: propia

En la figura 3.15 muestra la variable lingüística distancia del obstáculo, se decidió por tres términos lingüísticos o conjuntos difusos los cuales son cuando la distancia del obstáculo este “cerca”, cuando la distancia del obstáculo este “Media” y cuando la distancia del obstáculo este “lejos”. Esta variable lingüística es de entrada.

La figura 3.16 se muestra los conjuntos difusos de la variable lingüística velocidad del robot y las gráficas de las funciones de pertenencia.

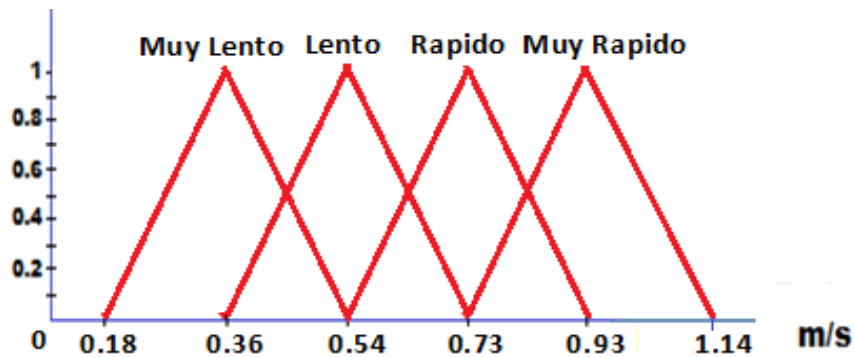


Figura 3.16 Variable lingüística velocidad del robot

Fuente: propia

En la figura 3.16 muestra la variable lingüística velocidad del robot, se decidió por 4 valores lingüísticos o también llamado conjuntos difusos los cuales se definen, cuando la velocidad del robot es “muy lenta”, cuando la velocidad del robot es “lento”, cuando la velocidad del robot es “rápido” y cuando la velocidad del robot es “muy rápido”. Esta variable lingüística es de salida.

La figura 3.17 muestra los conjuntos difusos de la variable lingüística ángulo de giro del robot y las gráficas de las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

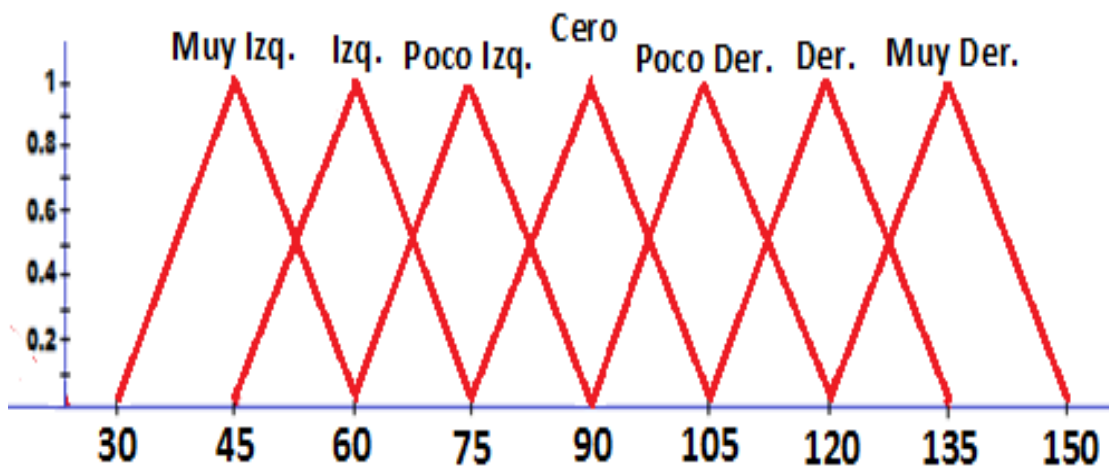


Figura 3.17 Ángulo de giro del robot

Fuente: propia

La figura 3.17 muestra la variable lingüística ángulo de giro del robot, se decidió por siete valores lingüísticos los cuales son, cuando el robot gira “muy izquierda”, cuando el robot

gira “izquierda”, cuando el robot gira “poco izquierda”, cuando el robot gira “cero”, cuando el robot gira “poco derecha”, cuando el robot gira “derecha” y el robot gira “muy derecha”. Esta variable lingüística es de salida.

La posición del obstáculo con respecto al robot, se tomara los valores de izquierda, derecha y frente los cuales serán obtenidos por el agente inteligente diseñada más adelante.

3.4.1.2 REGLAS DE INFERENCIA

Para las reglas de inferencia se utilizara las afirmaciones del tipo SI-ENTONCES, proposiciones que expresa el conocimiento que se dispone sobre la relación entre antecedente y consecuente, es decir determinara el comportamiento del evasor de obstáculos difuso. A continuación se describirán las reglas necesarias para el control difuso.

Regla 1:

IF Distancia es Cerca THEN Velocidad es Muy lento

Regla 2:

IF Distancia es Lejos And Velocidad es Muy lento THEN Velocidad es Rápido

Regla 3:

IF Distancia es Lejos And Velocidad es Lento THEN Velocidad es Rápido

Regla 4:

IF Distancia es Media And Velocidad es Muy rápido THEN Velocidad es Lento

Regla 5:

IF Posición es Derecha And Velocidad es Baja THEN Giro es algo izquierda

Regla 6:

IF Posición es Derecha And Velocidad es Rápido THEN Giro es algo izquierda

Regla 7:

IF Posición es Izquierda And Velocidad es Muy lenta THEN Giro es algo Derecha

Regla 8:

IF Posición es Izquierda And Velocidad es Rápido THEN Giro es algo Derecha

Regla 9:

IF Posición es Frente And (Velocidad es Lento Or Velocidad es Muy lento) THEN Giro es Todo Izquierda

Regla 10:

IF Posición es Frente And (Velocidad es Rápido Or Velocidad es Lento) THEN Giro es Todo Derecha

Regla 11:

IF (Posición es Izquierda Or Posición es Frente) And Velocidad es Rápido THEN Giro es Todo Derecha

Regla 12:

IF (Posición es Derecha Or Posición es Frente) And Velocidad es Muy lenta THEN Giro es Todo Izquierda

Regla 13:

IF (Posición es Izquierda Or Posición es Frente) And Velocidad es Rápido THEN Giro es Todo Derecha.

Regla 14:

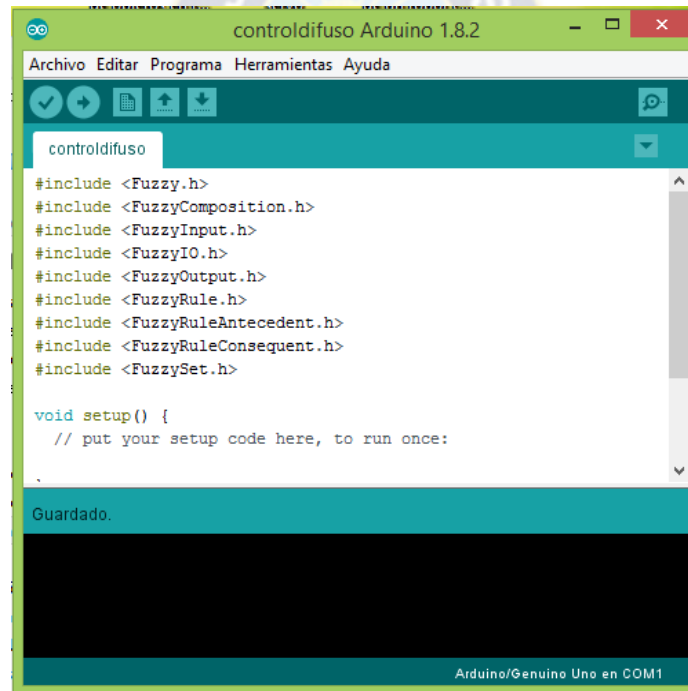
IF (Posición es Derecha Or Posición es Izquierda) And Velocidad es Muy Rápido THEN Giro es Todo Izquierda.

3.4.1.3 DEFUZZICADOR

El resultado final habitualmente es necesario expresarlo mediante un valor en esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida se utilizara el método del centroide.

$$Centroide = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)}$$

En la figura 3.18 se muestra las librerías utilizadas para la implementación de locomoción difusa del robot móvil. Esta librería se llama eFll utilizada en arduino 1.8.2.



```
controldifuso Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
controldifuso
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzySet.h>

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
```

Guardado.

Arduino/Genuino Uno en COM1

Figura 3.18: Librería eFLL para IDE Arduino
Fuente: propia

3.4.2 DISEÑO DETALLADO

En esta etapa continuamos con el desarrollo del agente inteligente, se realiza una descripción detallada de las capacidades, planes y eventos vinculados a cada agente inteligente para así poder cumplir con los objetivos (ver tabla 3.6) para los que es diseñado.

Cada agente es refinado en términos de sus: capacidades, eventos internos, planes, reacción a estímulos, jerarquía de estímulos.

3.4.2.1 ESTRUCTURA INTERNA DE CADA AGENTE INDIVIDUAL

El diagrama general de capacidad, captura la estructura de los planes para la capacidad y los eventos asociados con estos planes para verificar el correcto o coherente funcionamiento de los protocolos asociados a los estímulos y las acciones que afectan o ejecuta el agente.

La figura 3.19 muestra el diagrama general de las capacidades definidas para el agente rescatista.

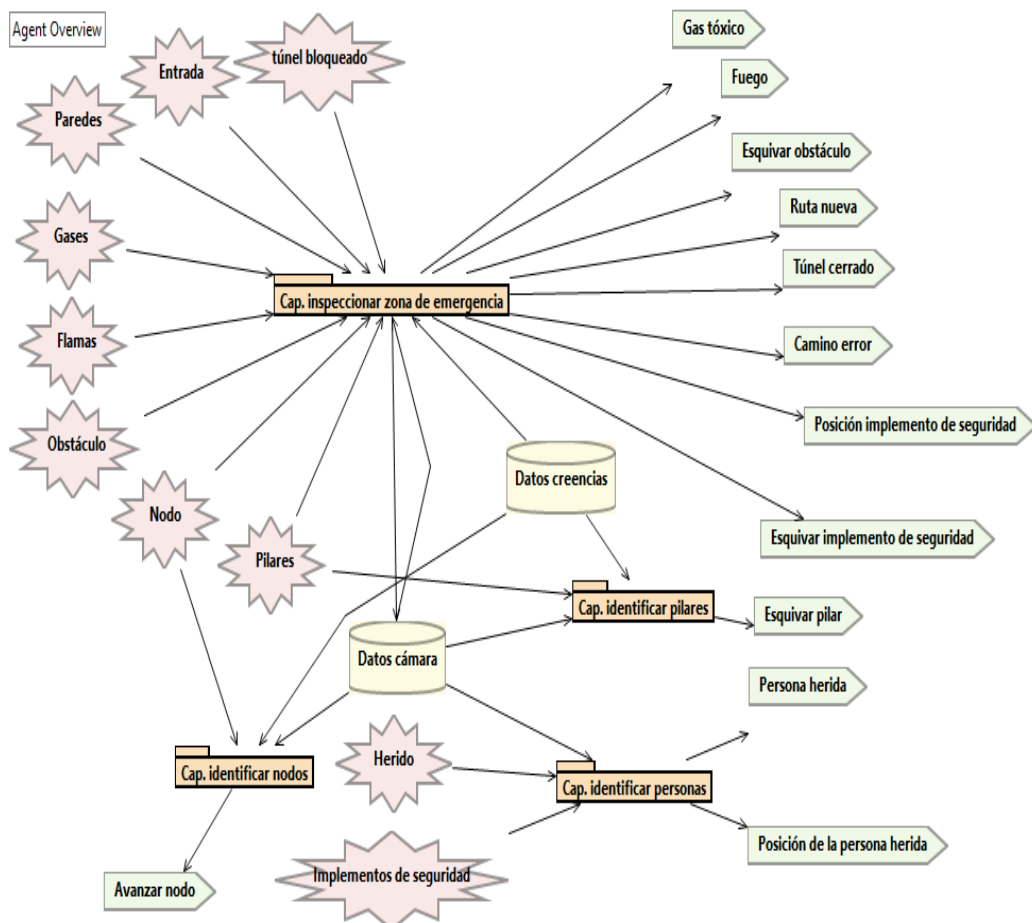


Figura 3.19: Diagrama general de capacidades del agente rescatista.
Fuente: propia.

En la figura 3.19 se observa las capacidades asignadas al agente rescatista con el fin de que realice las acciones correctas en el momento de estar en zona de emergencia del derrumbe minero.

3.4.2.2 DESCRIPTORES DE CAPACIDADES

La tabla 3.8 muestra el descriptor relacionado a la capacidad llamada identificar personas, el cual describe una capacidad del agente rescatista.

Capacidad	
Nombre	Identificar personas.
Descripción	Identifica si es una personas heridas y no un obstáculo.
Objetivo	Identifica personas.
Protocolos	Ninguno
Mensajes entrantes	Ninguno
Mensajes salientes	Ninguno
Mensajes internos	Ninguno
Percepciones	Herido, implementos de seguridad
Acciones	Persona herida, posición de la persona herida
Datos usados	Datos cámara
Datos producidos	Ninguno
Datos internos	Por definir
Planes incluidos	Plan identificar persona
Capacidades incluidas	Ninguno

Tabla 3.8: Descriptor de capacidad identificar personas.

Fuente: propia.

El la tabla 3.8 se observa las características de la capacidad identificar persona, el objetivo de esta capacidad es identificar personas, es decir con la información obtenida por la cámara se sabra si existe una personas trapada o herida, una de los planes es si existe algun movimiento capturado por la cámara se empieza a verificar si existe una persona mediante el recomocimiento de objetos.

La tabla 3.9 muestra el descriptor relacionado a la capacidad llamada identificar nodos, el cual describe una capacidad del agente rescatista.

Capacidad	
Nombre	Identificar nodos
Descripción	Identificar una intersección de túneles de una mina subterránea.
Objetivo	Identifica intersección de túneles
Protocolos	Ninguno
Mensajes entrantes	Ninguno
Mensajes salientes	Ninguno
Mensajes internos	Ninguno
Percepciones	Nodo
Acciones	Avanzar nodo
Datos usados	Datos cámara, datos creencias
Datos producidos	Ninguno
Datos internos	Por definir
Planes incluidos	Plan identificar nodos
Capacidades incluidas	Ninguno

Tabla 3.9: Descriptor de capacidad identificar nodos.

Fuente: propia.

La tabla 3.10 muestra el descriptor relacionado a la capacidad llamada identificar pilares, el cual describe una capacidad del agente rescatista.

Capacidad	
Nombre	Identificar pilares
Descripción	Identificar los soportes que sirven para soportar los techos de la mina subterránea
Objetivo	Identifica soportes que soportan los techos de la mina subterránea.
Protocolos	Ninguno
Mensajes entrantes	Ninguno
Mensajes salientes	Ninguno
Mensajes internos	Ninguno
Percepciones	Pilares
Acciones	Esquivar pilar
Datos usados	Datos cámara, datos creencias
Datos producidos	Ninguno
Datos internos	Por definir
Planes incluidos	Plan identificar pilares
Capacidades incluidas	Ninguno

Tabla 3.10: Descriptor capacidad identificar pilares

Fuente: propia.

La tabla 3.11 muestra el descriptor relacionado a la capacidad llamada inspeccionar zona de emergencia, el cual describe una capacidad del agente rescatista.

Capacidad	
Nombre	Inspeccionar zona de emergencia
Descripción	Inspecciona la mina subterránea
Objetivo	Acceder zona de emergencia
Protocolos	Ninguno
Mensajes entrantes	Ninguno
Percepciones	Pilares, gases, nodo, obstáculos, paredes, túnel bloqueado entrada y flamas.
Acciones	Túnel cerrado, esquivar obstáculos, gas tóxico, posición implemento de seguridad, camino error, esquivar implemento de seguridad, ruta nueva y fuego.
Datos usados	Datos cámara, datos creencias
Datos producidos	Datos cámara
Datos internos	Por definir
Planes incluidos	Plan eludir obstáculos, Plan verificar condiciones atmosféricas y Plan intersección entre túneles.
Capacidades incluidas	Ninguno

Tabla 3.11: Descriptor de capacidad inspeccionar zona de emergencia.

Fuente: propia.

El la tabla 3.11 se observa las características de la capacidad inspeccionar zona de emergencia, el objetivo es acceder a la zona de emergencia, es decir con la información obtenida por la cámara y los sensores ingresar cuidadosamente realizando las acciones correctas para eludir escombros, atmósfera contaminada, si un túnel esta totalmente bloqueado tomar la acción de elegir otra ruta además si existe fuego tomar la acción de no avanzar y si existe algún movimiento pasar a la capacidad identificar persona. También si existe intersección de túneles usar capacidad identificar nodos.

3.4.2.3 DIAGRAMAS Y DESCRIPTORES DE LOS PLANES

La figura 3.20 muestra el plan verificar condiciones atmosféricas asociado a la capacidad de inspeccionar la zona de emergencia, también las percepciones, acciones y las bases de datos relacionadas a este plan.

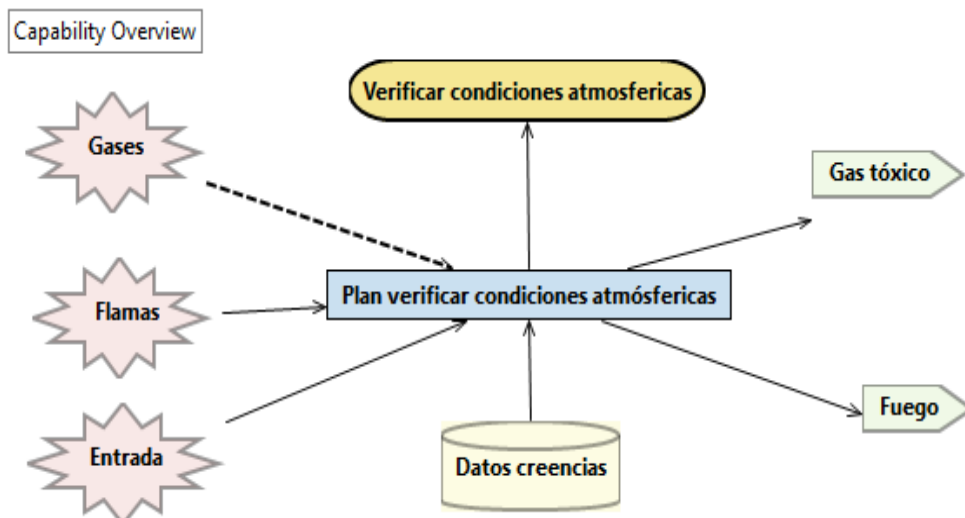


Figura 3.20: Diagrama plan verificar condiciones atmosféricas.
Fuente: propia.

En la figura 3.20 se observa uno de los tres planes que usa la capacidad llamada acceder zona de emergencia, el plan verificar condiciones atmosféricas desarrolla los pasos necesarios para saber si existe gases tóxicos y inflamables liberados por los derrumbes.

La figura 3.21 muestra el plan eludir obstáculos asociado a la capacidad de inspeccionar la zona de emergencia, también las percepciones, acciones y las bases de datos relacionadas a este plan.

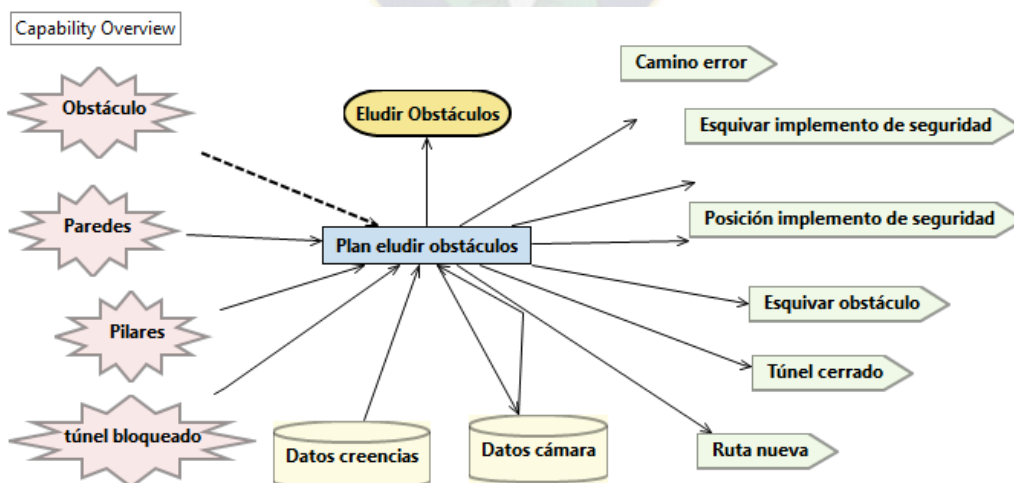


Figura 3.21: Diagrama plan eludir obstáculos.
Fuente: propia.

En la figura 3.21 se observa el segundo plan que usa la capacidad llamada acceder zona de emergencia, el plan eludir obstáculos desarrolla los pasos necesarios para no chocar y además avanzar por los escombros o rocas liberados por los derrumbes.

La figura 3.22 muestra el plan eludir obstáculos asociado a la capacidad de inspeccionar la zona de emergencia, también las percepciones, acciones y las bases de datos relacionadas a este plan.

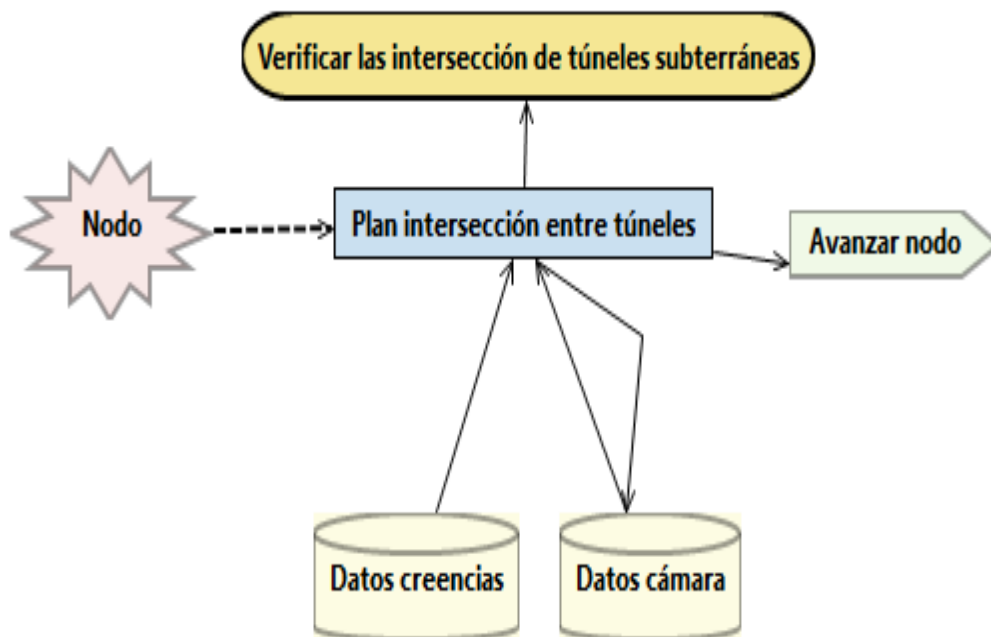


Figura 3.22: Diagrama plan intersección entre túneles.
Fuente: propia.

En la figura 3.22 se observa el tercero y último plan que usa la capacidad llamada acceder zona de emergencia, el plan intersección entre túneles desarrolla los pasos necesarios que al momento de encontrarse con dos o hasta tres túneles, elija uno de ellos y siga buscando a las trabajadores atrapados por los derrumbes.

La figura 3.23 muestra el plan asociado a la capacidad de identificar a las personas, que se encontrarán en el interior de una mina subterránea, también las percepciones, acciones y la base de datos relacionadas a este plan.

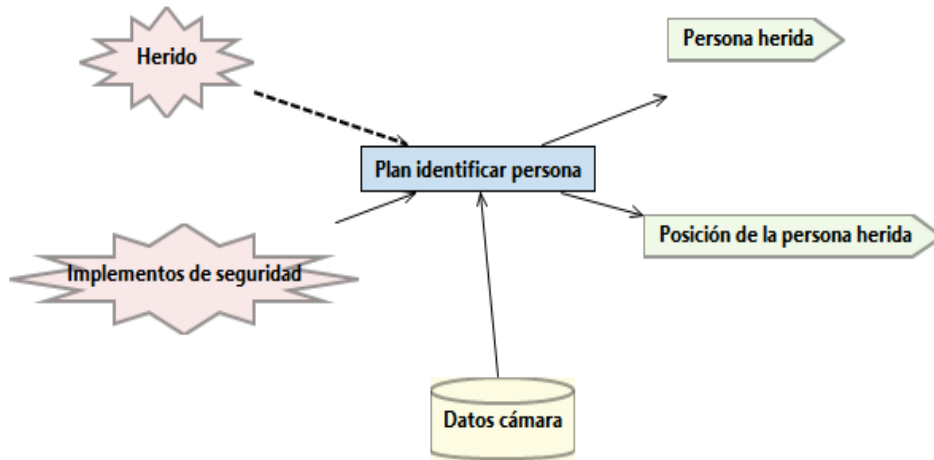


Figura 3.23: Diagrama plan identificar persona.
Fuente: propia.

En la figura 3.23 se observa el unico plan que usa la capacidad llamada identificar persona, el plan identificar personas se encarga de saber si es una persona o es un obstáculo mas.

La figura 3.24 muestra el plan asociado a la capacidad de identificar los pilares, que se encontrarán en el interior de una mina subterránea, también las percepciones, acciones y las bases de datos relacionadas a este plan.

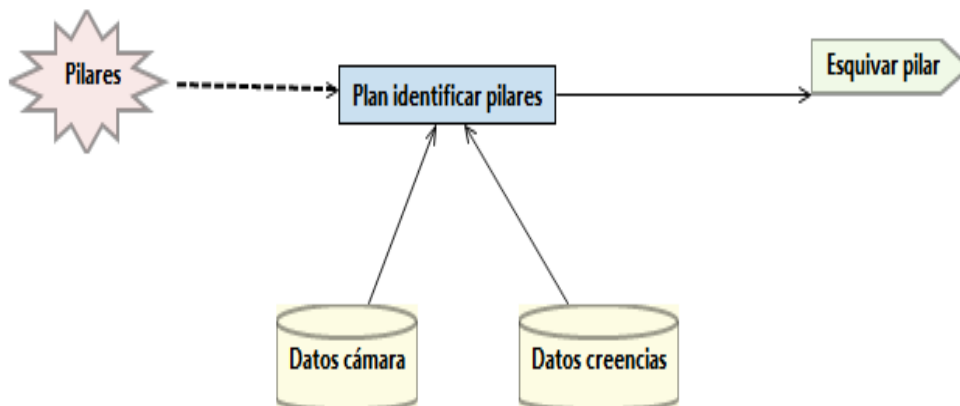


Figura 3.24: Diagrama plan identificar pilares.
Fuente: propia.

La figura 3.25 muestra el plan asociado a la capacidad de identificar los nodos que se encontrarán en el interior de una mina subterránea, también las percepciones, acciones y las bases de datos relacionadas a este plan.

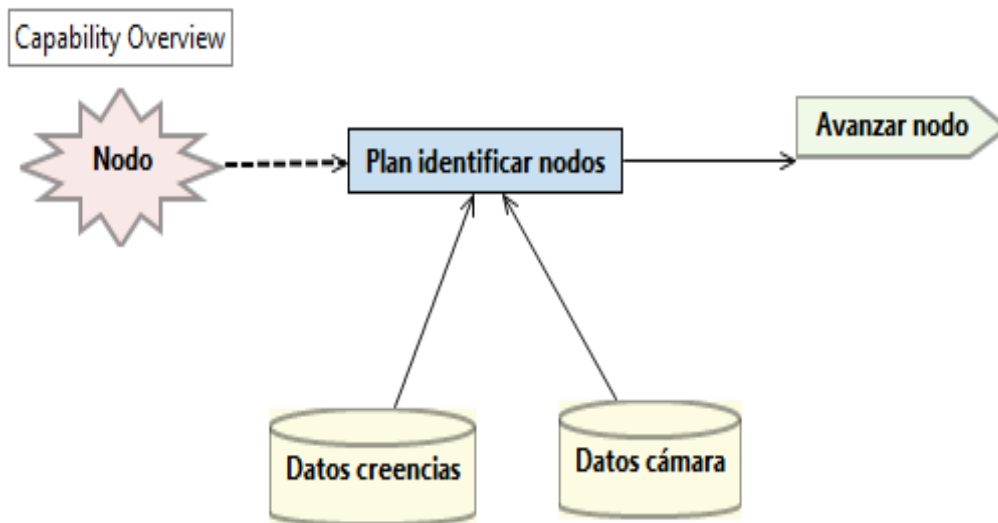


Figura 3.25 Diagrama plan identificar nodos.
Fuente: propia

La tabla 3.12 muestra el descriptor relacionado con el plan para inspeccionar la zona de emergencia.

Plan	
Nombre	Inspeccionar zona de emergencia.
Descripción	Desarrolla los pasos necesarios para realizar un reconocimiento de la mina subterránea.
Iniciador	Modo normal.
Mensajes entrantes	Ninguno.
Mensajes salientes	Ninguno.
Datos usados	Datos cámara, datos creencias.
Datos producidos	Datos cámara.
Fallo	Ninguno.
Recuperación de fallo	innecesario.
Procedimiento	Código del plan.

Tabla 3.12: Descriptor plan inspeccionar zona de emergencia.
Fuente: propia

La tabla 3.13 muestra el descriptor relacionado con el plan para identificar a las personas que se encontrarán al interior de la mina subterránea.

Plan	
Nombre	Identificar personas.
Descripción	Desarrolla los pasos necesarios para saber si es una persona herida o solo un obstáculo mas.
Iniciador	Modo normal.
Mensajes entrantes	Ninguno.
Mensajes salientes	Ninguno.
Datos usados	Datos cámara.
Datos producidos	ninguno.
Fallo	Ninguno.
Recuperación de fallo	innecesario.
Procedimiento	Código del plan.

Tabla 3.13: Descriptor plan identificar personas.
Fuente: propia.

La tabla 3.14 muestra el descriptor relacionado con el plan para identificar los pilares que se encontrarán en el interior de la mina subterránea.

Plan	
Nombre	Identificar pilares.
Descripción	Desarrolla los pasos necesarios para saber si es un soporte del techo de la mina subterránea
Iniciador	Modo normal.
Mensajes entrantes	Ninguno.
Mensajes salientes	Ninguno.
Datos usados	Datos cámara, datos creencias.
Datos producidos	Ninguno.
Fallo	Ninguno.
Recuperación de fallo	innecesario.
Procedimiento	Código del plan.

Tabla 3.14: Descriptor plan identificar pilares.
Fuente: propia.

3.5 CODIFICACIÓN O IMPLEMENTACIÓN

En esta etapa se realizara el desarrollo de algoritmos del agente inteligente rescatista y la locomoción del prototipo de robot móvil ademas de los algoritmos para la interpretar los datos obtenidos por los sensores del prototipo robot móvil y datos de la cámara.

Figura 3.26 muestra la interfaz del agente rescatista el cual interactua con su ambiente por medio del prototipo de robot móvil, la interfaz nos muestra la ruta por donde se desplazo realizando la búsqueda de las personas heridas o atrapadas y la información de las percepciones encontradas al momento de realizar la inspección de la zona de emergencia

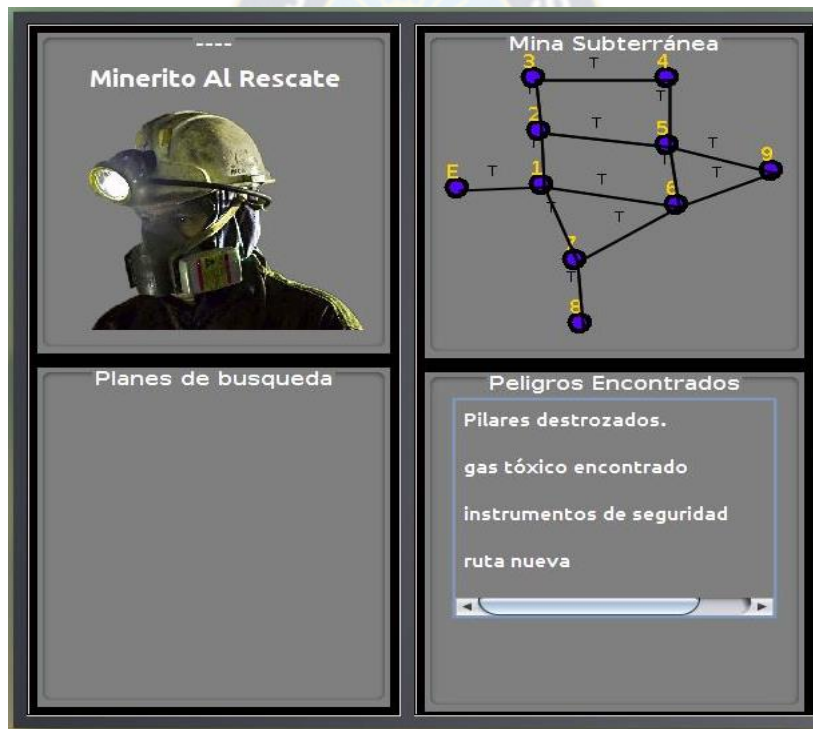


Figura 3.26: Interfas del agente inteligente rescatista
Fuente: propia.

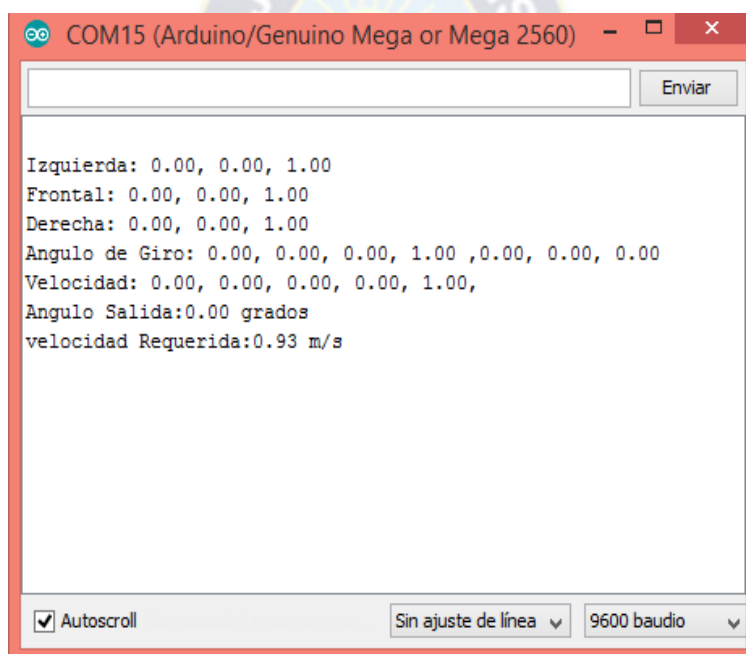
3.6 VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE Y DISEÑO DETALLADO

Una vez desarrollado el algoritmo y plasmado en un lenguaje de programación de arduino procedemos a hacer las pruebas respectivas.

3.6.1 VERIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL DE LOCOMOCIÓN DIFUSO DEL ROBOT MÓVIL

En esta etapa del ciclo de la metodología, se procede a elaborar las pruebas de activación, del control de locomoción. Es decir el si se detecta un obstáculo a la derecha del robot, el control de locomoción difuso dara como resultado, basandose en las reglas de inferencia descristas anteriormente el angulo para lograr esquivar el obstáculo.

La figura 3.27 muestra una prueba del algoritmo de locomoción difusa cuando el obstáculo esta en una posición alejada del robot móvil.

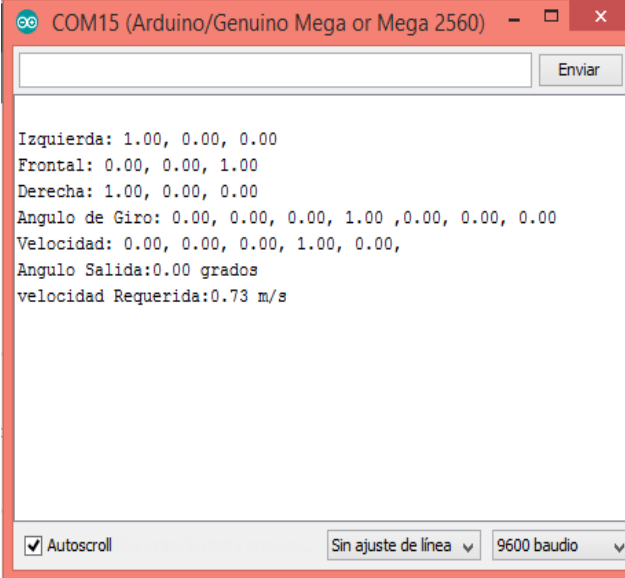


```
COM15 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560) - [x]
Enviar
Izquierda: 0.00, 0.00, 1.00
Frontal: 0.00, 0.00, 1.00
Derecha: 0.00, 0.00, 1.00
Angulo de Giro: 0.00, 0.00, 0.00, 1.00 ,0.00, 0.00, 0.00
Velocidad: 0.00, 0.00, 0.00, 0.00, 1.00,
Angulo Salida:0.00 grados
velocidad Requerida:0.93 m/s
 Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio
```

Figura 3.27: Locomoción difusa del prototipo robot móvil.
Fuente: propia.

En la figura 3.27 se muestra los resultados de la verificación, el cual consiste en lo siguiente, un obstáculo es detectado en una posición alejada de la ubicación del prototipo de robot móvil el programa encontrar el angulo apropiado para esquivarlo, en esta cituación podemos observar que no necesita de un angulo por tanto la salida es 0.0, pero con una velocidad de 0.93 m/s para que avance el prototipo robot móvil.

La figura 3.28 muestra una situación el cual verifica el algoritmo de locomoción difusa cuando los obstáculos se encuentran a la derecha, izquierda y al frente pero en un posición alejada.



```
COM15 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)
Enviar
Izquierda: 1.00, 0.00, 0.00
Frontal: 0.00, 0.00, 1.00
Derecha: 1.00, 0.00, 0.00
Angulo de Giro: 0.00, 0.00, 0.00, 1.00, 0.00, 0.00, 0.00
Velocidad: 0.00, 0.00, 0.00, 1.00, 0.00,
Angulo Salida: 0.00 grados
velocidad Requerida: 0.73 m/s
Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio
```

Figura 3.28: Locomoción difusa verificación dos.
Fuente: propia.

En la figura 3.28 se muestra los resultados de la verificación, el cual consiste en lo siguiente, los obstáculos son detectados en la izquierda, derecha y al frente pero en una posición alejada de la ubicación del prototipo de robot móvil, el programa define el ángulo apropiado para esquivarlo, en esta situación podemos observar que no necesita de un ángulo por tanto la salida es 0.0, pero con una velocidad de 0.73 m/s para que avance el prototipo robot hacia adelante.

3.7. ENTRELAZAMIENTO DE DISPOSITIVOS Y PROTOTIPO FINAL

En este punto se debe entrelazar todos los dispositivos, es decir, unir los distintos dispositivos utilizados, para optimizar el prototipo robot móvil y que pueda alcanzar todos los objetivos propuestos anteriormente, además de conocer el funcionamiento de los dispositivos. A continuación se describirá lo siguiente.

La figura 3.29 muestra el entrelazamiento de dispositivos para lograr optimizar el prototipo robot móvil.

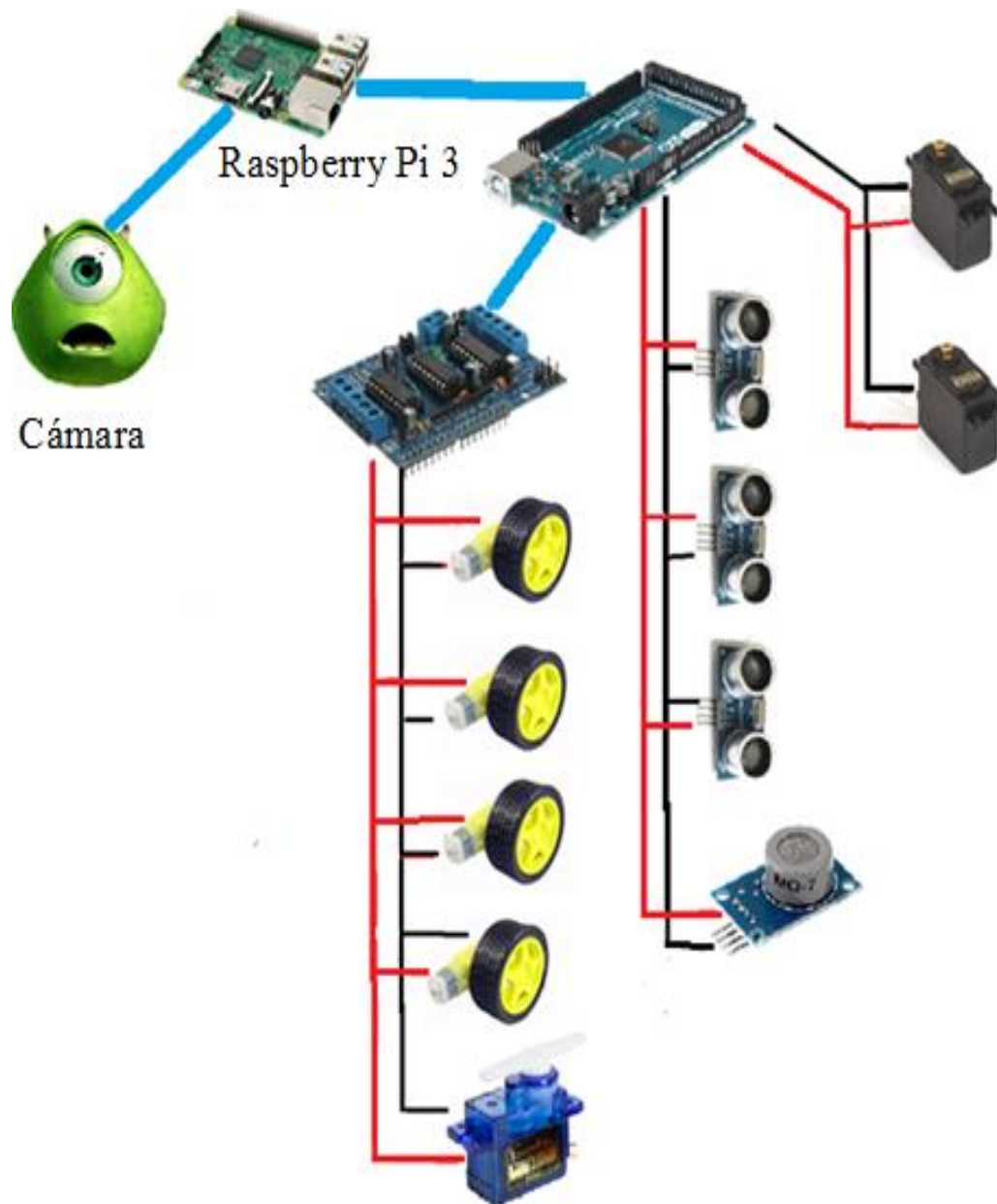


Figura 3.29: Entrelazamiento de Dispositivos.
Fuente: propia.

En la figura 3.29 se observa los dispositivos utilizados en el robot móvil, los cuales son entrelazados para conocer el funcionamiento general del circuito electrónico del prototipo.

La figura 3.30 muestra el prototipo de robot móvil completamente armado después de realizar el entrelazado de elementos.

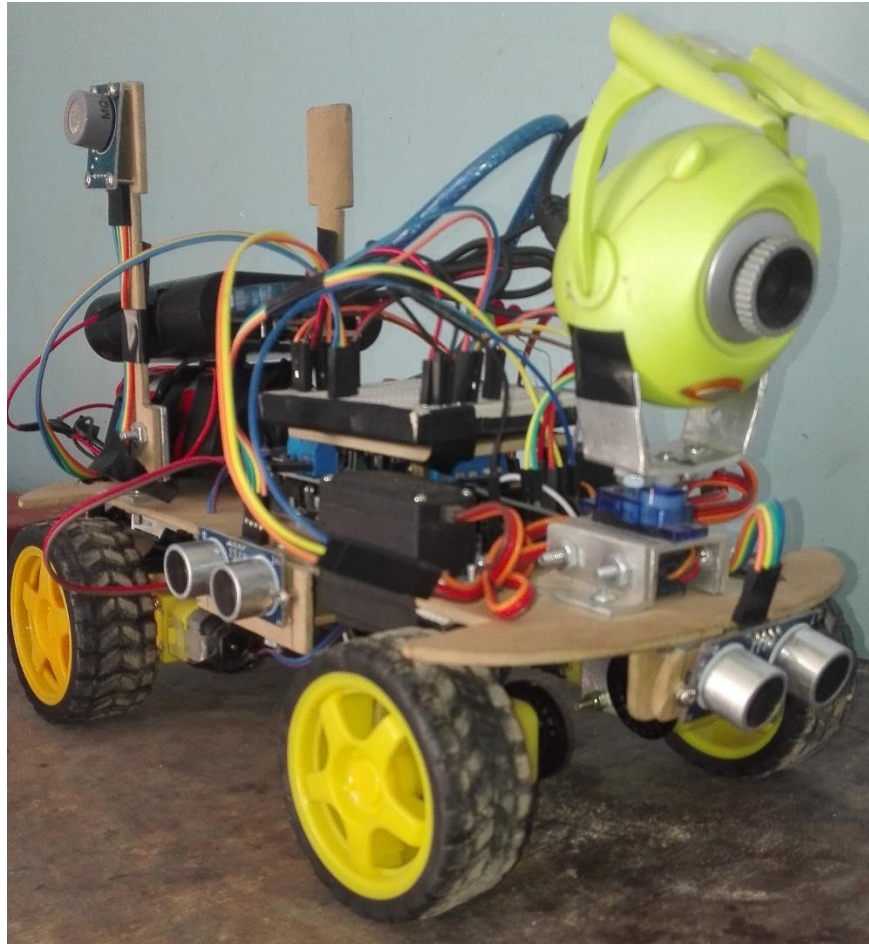


Figura 3.30 Estructura del prototipo de robot móvil.
Fuente: propia.

En la figura 3.30 se observa el prototipo de robot móvil, armado en su totalidad, el cual consta con un saspberry pi, donde se tendra ejecutandose el agente inteligente. Y el arduino mega donde se ejecutara el controlador difuso.

4.1 INTRODUCCIÓN

La prueba de hipótesis es una suposición, la cual en este capítulo verificaremos, cabe destacar que la investigación gira alrededor de un diseño cualitativo.

4.1.1 INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

Las hipótesis de investigación cualitativas son formuladas y ajustadas durante el proceso de investigación, no se formulan antes del proceso de recolección de datos y más bien se modifican contrastándolas con la evidencia de los casos negativos que no las soportan, no se prueban estadísticamente [Hernández et al., 2010].

Para lo cual se realizara los experimentos en un ambiente bajo las siguientes condiciones, las cuales se observan en la figura 4.1, muestra bajo que condiciones se realizara una serie de experimentos dirigidos a medir las capacidades del agente inteligente denominado agente rescatista, para el caso se asignan situaciones específicas como encontrar a una persona desmayada, encontrar a una persona consciente y por ultimo inspeccionar la zona de emergencia, interactuara con el ambiente por medio de la locomoción difusa del prototipo de robot móvil.



Figura 4.1: Condiciones para la realización de las pruebas
Fuente: propia

En la figura 4.1 se observa el ambiente en donde se realizaran los experimentos, 8 metros largo y 3 ancho, se tiene condiciones de un accidente minero en este caso por un derrumbe, consta de obstáculos por todo el ambiente, rocas con tamaños distintos, también de un trabajador minero herido, una luz nula y terrenos irregulares. A continuación se describiran los resultados de los experimentos realizados.

EXPERIMENTO 1

Con un ambiente ya mencionado anteriormente se empieza con el experimento, el prototipo de robot móvil es colocado a un extremo del ambiente o entrada de una mina subterránea, el ancho del ambiente es de 8 metros de distancia los cuales estan llenos de obstáculos como rocas de un tamaño muy considerable, al otro extremo en medio de escombros la persona herida por un derrumbe, en el trascurso del experimento se observa una serie de choques a los obstáculos por parte del prototipo de robot móvil provocando la falla.

La figura 4.2 muestra los choques observados en el trascurso del experimento provocando la falla del mismo.



Figura 4.2 Primer experimento
Fuente : propia

La tabla 4.1 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones Utilizadas
1	1	10	-	0	11	12

Tabla 4.1: Datos obtenidos tras el experimento 1

Fuente: propia

En la tabla 4.1 se observa los resultados obtenidos tras el primer experimento, en este primer experimento no se logro el éxito debido a fallas relacionadas con la precisión de los sensores y la velocidad del prototipo de robot móvil, causaron muchos choques con los obstaculos y acciones erróneas. Las fallas se solucionaron calibrando los sensores y mejorando la distribución de las velocidades apropiadas para cada situación.

EXPERIMENTO 2

Con un ambiente ya mencionado anteriormente se empieza con el segundo experimento, el prototipo de robot móvil es colocado a un extremo del ambiente o entrada de una mina subterránea, el ancho del ambiente es de 8 metros de distancia los cuales estan llenos de obstáculos como rocas de un tamaño muy considerable, al otro extremo en medio de escombros la persona herida por un derrumbe, con una iluminacion nula, en el trasncuro del experimento se observa una serie de imprecisiones al momento de verificar a las peronas heridas y también a los obstáculos provocando la falla. La figura 4.3 muestra los fotogramas obtenidos por la cámara en el transcurso del experimento provocando la falla del mismo.

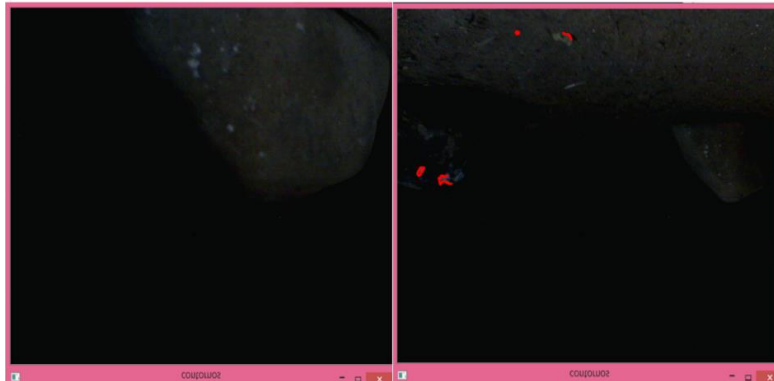


Figura 4.3: Fotogramas obtenidos en el experimento.

Fuente: propia.

La tabla 4.2 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [m]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones Utilizadas
2	8	9	-	1	14	12

Tabla 4.2: Datos obtenidos por el experimento 2

Fuente: propia

En la tabla 4.2 se observa los resultados obtenidos tras el segundo experimento, en este segundo experimento no se logro el éxito debido a fallas relacionadas con la iluminación al interior de la mina subterránea, trae dificultadas con la cámara web para el reconocimiento de las personas heridas y la salida de acciones erróneas del agente inteligente. Para la solución a esto, se decide agregar iluminación a las condiciones necesarias para los experimentos.

La figura 4.4 muestra los fotogramas obtenidos con la iluminación mejorada. Donde se puede observar mejor la detección de los obstaculos y los trabajadores heridos, percepciones necesarias para generar las acciones correctas deseadas.

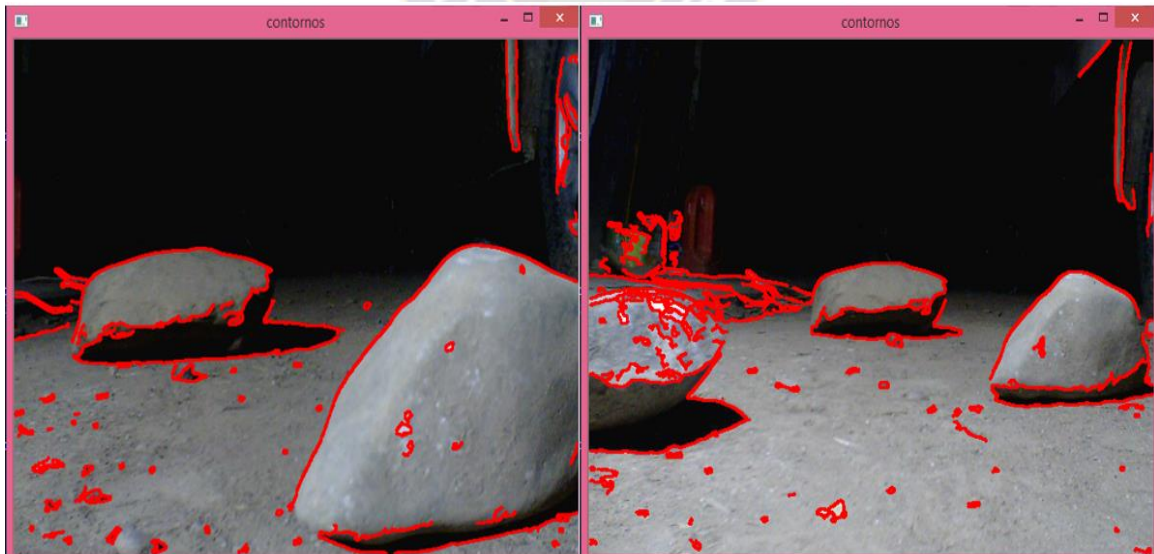


Figura 4.4: fotograma obtenido por la cámara

Fuente: propia.

EXPERIMENTO 3

El prototipo de robot móvil es colocado a un extremo del ambiente o entrada de una mina subterránea, el ancho del ambiente es de 8 metros de distancia los cuales están llenos de obstáculos como rocas de un tamaño muy considerable, al otro extremo en medio de escombros la persona herida por un derrumbe, en el transcurso del experimento se observa una serie de irregularidades de los terrenos al interior de una mina subterránea, además de los estados del trabajador minero (consciente y desmayada) provocando la falla del prototipo de robot móvil.

La figura 4.5 muestra los fotogramas obtenidos de la persona herida, el cual se encuentra desmayada sin poder verificarla.

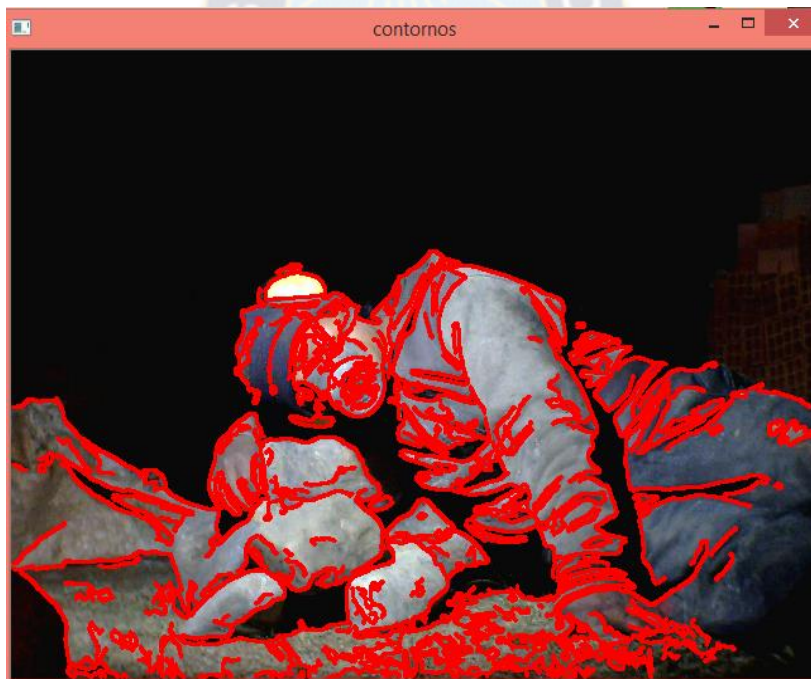


Figura 4.5: Fotograma de una persona desmayada.
Fuente: propia.

La tabla 4.3 muestra los datos obtenidos tras el tercer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones Utilizadas
3	8	10	-	0	20	12

Tabla 4.3: Datos obtenido tras el experimento 3

Fuente: propia

En la tabla 4.3 se observa los resultados obtenidos tras el tercer experimento, en este tercer experimento no se logro el éxito debido a fallas relacionadas con las irregularidades de los terrenos al interior de una mina subterránea y los estados de una persona desmayada, además de las acciones erróneas. Para la solución a esto, se decide optar por terrenos no irregulares en las condiciones necesarias para los experimentos.

EXPERIMENTO 4

El prototipo de robot móvil es colocado a un extremo del ambiente, con un ancho de 8 metros de distancia, los cuales estan llenos de obstáculos como rocas de un tamaño muy considerable, al otro extremo en medio de escombros la persona herida por un derrumbe, en el trasncuro del experimento se observa el éxito del experimento.

En la figura 4.6 se observa el reconocimiento de la zona de emergencia realizado por el prototipo de robot móvil.



Figura 4.6: Reconocimiento de la zona de emergencia experimento 4.

Fuente: propia

La tabla 4.4 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. de Obstáculos	Nro. De Acciones Utilizadas
4	8	3	1	-	20	7

Tabla 4.4: Datos obtenidos tras experimento 4

Fuente: propia

En la tabla 4.4 se observa los resultados obtenidos tras el cuarto experimento, en este cuarto experimento se logro el éxito debido a la solución de las anteriores fallas, con una distancia de recorrida de 8 metros se tardo un tiempo de 3 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 20 obstáculos eludidos, siete acciones utilizadas por el agente inteligente como la inspección de gases y pilares destrozados.

EXPERIMENTO 5

El prototipo de robot móvil es colocado a un extremo del ambiente, con un ancho de 8 metros de distancia, los cuales estan llenos de obstáculos como rocas de tamaños distintos, al otro extremo en medio de escombros la persona herida por un derrumbe, en el trascurso del experimento se observa el éxito del experimento. La figura 4.7 se muestra el reconocimiento de la zona de emergencia eludiendo obstáculos del prototipo de robot móvil.



Figura 4.7: Reconocimiento de zona de emergencia experimento 5.

Fuente: propia.

La tabla 4.5 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. de Obstáculos	Nro. De Acciones Utilizadas
5	8	4	1	-	23	7

Tabla 4.5: Datos obtenidos tras experimento 5

Fuente: propia

En la tabla 4.5 se observa los resultados obtenidos tras el quinto experimento, en este quinto experimento se logro el éxito debido a la solución de las anteriores fallas, con una distancia de recorrida de 8 metros se tardó un tiempo de 4 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 23 obstáculos eludidos, siete acciones ejecutadas por el agente inteligente para realizar objetivos como inspección de gases y pilares destrozados.

EXPERIMENTO 6

El prototipo de robot móvil es colocado a un extremo del ambiente, con un ancho de 8 metros de distancia, los cuales están llenos de obstáculos como rocas de tamaños distintos, al otro extremo en medio de escombros la persona herida por un derrumbe, en el transcurso del experimento se observa el éxito del experimento. la figura 4.8 muestra la identificación de la persona herida por el prototipo de robot móvil con ruedas.



Figura 4.8: Identificación de una persona herida.

Fuente: propia.

La tabla 4.6 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Número De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones
6	8	4	1	-	20	7

Tabla 4.6 Datos obtenidos tras experimento 6

Fuente: propia

En la tabla 4.6 se observa los resultados obtenidos tras el sexto experimento, en este experimento se logro el éxito debido a la solución de las anteriores fallas, con una distancia de recorrida de 8 metros se tardo un tiempo de 3 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 20 obstáculos eludidos, siete acciones ejecutadas por el agente inteligente para realizar su objetivo.

EXPERIMENTO 7

La tabla 4.7 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones
7	8	3	1	-	21	7

Tabla 4.7: Datos experimento 7

Fuente: propia

En la tabla 4.7 se observa los resultados obtenidos tras el séptimo experimento, en este experimento se logro el éxito debido a la solución de las anteriores fallas, con una distancia de recorrida de 8 metros, se tardo un tiempo de 3 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 21 obstáculos eludidos, siete acciones ajecutadas por el agente inteligente

para lograr sus objetivos. En la figura 4.9 se observa el reconocimiento de la zona de emergencia realizado por el prototipo de robot móvil.



Figura 4.9: Reconocimiento de la zona de emergencia experimento 7.

Fuente: propia

EXPERIMENTO 8

La tabla 4.8 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones
8	8	4	1	-	22	7

Tabla 4.8 Datos obtenidos tras experimento 8

Fuente: propia

En la tabla 4.8 se observa los resultados obtenidos tras el octavo experimento, en este experimento se logro el éxito, con una distancia de recorrida de 8 metros, se tardo un tiempo de 4 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 22 obstáculos eludidos, siete acciones ejecutadas correctamente por el agente inteligente para lograr objetivos como inspección de gases y pilares destrozados.

EXPERIMENTO 9

La tabla 4.9 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones
9	8	3	1	-	22	7

Tabla 4.9 Datos obtenidos por el experimento 9

Fuente: propia

En la tabla 4.9 se observa los resultados obtenidos tras el octavo experimento, en este experimento se logro el éxito, con una distancia de recorrida de 8 metros, se tardo un tiempo de 3 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 22 obstáculos eludidos, siete acciones ejecutadas por el agente inteligente.

EXPERIMENTO 10

La tabla 4.10 muestra los datos obtenidos tras el primer experimento bajo las condiciones mencionadas anteriormente.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones
10	8	4	1	-	23	7

Tabla 4.10 Datos Experimento 10

Fuente: propia

En la tabla 4.10 se observa los resultados obtenidos tras el décimo experimento, en este experimento se logro el éxito, con una distancia de recorrida de 8 metros, se tardo un tiempo de 4 minutos en tener éxito, es decir en encontrar a la persona herida, 23 obstáculos eludidos, siete acciones ejecutadas por el agente inteligente para alcanzar objetivos como inspección de gases y pilares destrozados.

La tabla 4.11 muestra los datos generales obtenidos tras los experimentos, realizados bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Donde el 0 es la falla de experimento y el 1 es el éxito, es decir cuando fue encontrada una persona herida.

Nro. De Experimento	Distancia Recorrida [metros]	Tiempo [minutos]	Éxito	Falla	Nro. De Obstáculos	Nro. De Acciones
1	1	10	-	0	11	12
2	8	9	-	0	14	12
3	8	10	-	0	20	12
4	8	3	1	-	20	7
5	8	4	1	-	23	7
6	8	4	1	-	20	7
7	8	3	1	-	21	7
8	8	4	1	-	22	7
9	8	3	1	-	20	7
10	8	4	1	-	23	7
Total	73	54	7	3	194	

Tabla 4.11 Datos general de éxitos y fallas

Fuente: propia

En tabla 4.11 se puede observar los resultados que reflejan las capacidades del agente inteligente denominado agente rescatista y el control difuso de prototipo de robot móvil, en las situaciones específicas de localizar a una persona desmayada, encontrar a una persona consciente pero herida de alguna forma y inspeccionar la zona de emergencia, en un ambiente no estructurado, las fallas más frecuentes son debido a la calibración de sensores, iluminación del ambiente y terrenos irregulares que provocan comportamientos indebidos o no deseados, si bien las fallas están presentes en las pruebas, en el peor de los casos 7 de 10 es un buen resultado.

4.1.2 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El prototipo robot el cual tiene incluido los sensores de distancia sensor de gases y la cámara por el cual se obtiene datos importantes, estos datos son tomados y transformados de forma que entendible para el raspberry pi donde se encuentra en ejecución el agente inteligente, los

datos son tomados como percepciones y ayudado por su base de conocimiento, envía las acciones al prototipo robot, así realiza la búsqueda de las personas atrapadas por derrumbes en minas subterráneas sin la intervención de humanos.

Con lo cual se verifica que el presente prototipo cumple con la hipótesis planteada en el capítulo I, “El uso de agentes inteligentes y lógica difusa permite que el prototipo robot móvil busque y localice a los trabajadores y rescatistas atrapados por derrumbes en una mina subterránea evitando riesgos humanos”.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados se ha llegado a demostrar que la hipótesis planteada (ver capítulo 4) se puede concluir que se llegó al objetivo general de la presente tesis: Desarrollar un prototipo de robot móvil que busque y localice a los trabajadores o rescatistas atrapados por derrumbes en una mina subterránea.

Si bien las pruebas o experimentos muestran que en promedio de las 10 situaciones 7 son cumplidas satisfactoriamente se debe principalmente a tres aspectos.

- La falta de iluminación en lugares como las minas subterráneas, trae dificultadas con la cámara web para el reconocimiento de las personas heridas, obstáculos, pilares, pero esto es solucionable agregando una iluminación eficiente en el prototipo robot móvil.
- Un cambio en el nivel de iluminación del ambiente modifica de manera directa los datos registrados, lo propio con pequeños cambios.
- Terrenos irregulares al interior de la mina subterránea, modifica la locomoción del prototipo con ruedas.

Así mismo se ha llegado a cumplir en cabalidad con los objetivos secundarios descritos en el capítulo I.

- Se desarrollo el agente inteligente rescatista que realizara decisiones de búsqueda y localización aplicando la metodología prometheus combinando con la metodología en V, los cuales permitieron diseñar de forma adecuada el agente inteligente y su interfaz.
- se usó sensores para la alerta de los gases o vapores tóxicos e inflamables liberados por derrumbes, gases como monóxido de carbono y metano.
- Se desarrollo un controlador difuso para la locomoción del robot móvil con ruedas

- Se logro definir los componentes electrónicos necesarios, utilizando la plataforma arduino en la estructura y armado del prototipo de robot móvil,
- Se logró apoyo en las labores de los grupos de rescate, en el proceso de búsqueda y localización de trabajadores atrapados y heridos por derrumbes en minas subterráneas, mas que todo en el reconocimiento.

Cabe recalcar que la metodología prometheus en combinación con la metodología en V, permitieron la conclusión de hardware y software del prototipo, con las funcionalidades requeridas por el problema.

5.2 RECOMENDACIONES

A partir de los datos encontrados sobre el robot móvil para la búsqueda de personas en minas subterráneas después de haber realizado un estudio sobre el mismo se puede formular las siguientes recomendaciones:

Para mejorar los logros alcanzados es necesario utilizar más de un agente inteligente para la búsqueda de personas en minas subterráneas, además de utilizar un prototipo robot móvil con patas para la buscar personas en terrenos irregulares, utilizar tecnología de comunicación subterránea para que el robot envíe información de importancia para el rescate de los trabajadores atrapados por derrumbes sea más eficiente, además de utilizar prendas tecnológicas con la incorporación de tecnologías informáticas y electrónicas en ropa y accesorios como sombreros, lentes, guantes y relojes. Las empresas mineras obtienen ventajas importantes.

BIBLIOGRAFÍA

AIBO. (2016). Aibo history. Recuperado de < <http://www.sony-aibo.com/aibos-history/> > [Consulta: 20 de diciembre 2016].

ANM (2016). Emergencias Mineras. Estadísticas de accidentalidad: Anm. Recuperado de < https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras > [Consulta: 30 de octubre de 2016].

BOSTON DYNAMICS. (2008). Big dog-the most advanced rough-terrain robot on earth: BOSTON DYNAMICS. Recuperado de < http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html > [Consulta: 27 de diciembre 2016].

BARRIENTOS A. & PEÑIN L. F. & BALAGUER C. & ARACIL R. (1997). Fundamentos de robótica. Madrid: McGRAW-HILL.

BRUCE BLUM, (2007) software engineering: a holistic view. Madrid: McGRAW-HILL.

CUENCA Y. (2003). Orientación Reactiva en robots lego al interior de un entorno de trabajo no estructurado (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La paz Bolivia.

COLUMBA J. L. (2016, 23 de Abril), Un derrumbe en la mina Caracoles Deja 3 muertos, La Razón, Recuperado de <http://www.la-razon.com/economia/Tragedia-derrumbe-mina-Caracoles-deja-muertos_0_2477752228.html> [Consulta: 20 de marzo 2016].

DECENA F. & BUSTAMANTE C. & TOVAR C. U. (2011). Robot móvil para reconocimiento de terrenos (tesis de pregrado). Escuela superior de ingeniería Mecánica y eléctrica, México D.F.

DENIS G. P. & ESPIRITO S. A. & SANTOS H. & RIBEIRO B. (2016). New approach for robotics education – robosapien hacking. Recuperado de < http://webx.ubi.pt/~felippe/paper/paper2008_ieee_bruno.pdf > [Consulta: 30 de noviembre 2016].

DORIGO M. (2014). Swarm-bots: Swarms of self-assembling artifacts. Recuperado de < <http://www.swarm-bots.org/> >[Consulta: 29 de diciembre 2016].

DICKMANN ERNST D. (2016). Dynamic machine vision. Autonomous vehicles of land. Recuperado de < <http://www.dyna-vision.de/> >[Consulta: 17 de octubre 2016].

DARPA. (2007). Urban Challenge. DARPA. Recuperado de < <http://archive.darpa.mil/grandchallenge/> > [Consulta: 27 de diciembre 2016].

FERNANDEZ L. M. & VALMASEDA P. C. & FERNANDEZ S. D. (2010). Planificación de trayectorias para un robot móvil. Recuperado de < <http://eprints.ucm.es/11301/1/MemoriaProyectoSSII.pdf> >[Consulta: 30 de diciembre 2016].

GONZALES, R. C. & FU K. S. & LEE C. S. G. (2000). Robótica: Control, detección, visión e inteligencia. Madrid: McGRAW-HILL.

GRAIG J. J. (Ed.). (2006). Robótica. México: Pearson Educación de México.

GONZALES J. (2008). Robótica modular y locomoción, aplicación a robots apodos (tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.

GONZALES, M. C. (2016). Lógica Difusa: una introducción práctica. Recuperado de <http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf> [Consulta: 20 octubre 2016].

GREY WALTER W. (1950). An Imitation of Life. Recuperado de <<http://robotics.cse.tamu.edu/dshell/cs643/papers/walter50imitation.pdf>> [Consulta: 18 de octubre 2016].

HERRANZ A. (2015). Los robots que van a cambiar la industria están dentro de un almacén moviendo cajas. Lenovo. Recuperado de <<http://www.bloglenovo.es/los-robots-que-van-a-cambiar-la-industria-estan-dentro-de-un-almacen-moviendo-cajas/>> [Consulta: 18 de octubre 2016].

HERNÁNDEZ J. (2005) Software libre: técnicamente viable y económicamente sostenible y socialmente justo.

IROBOT. (2016). The robot should go in first. Recuperado de < http://www.irobot.com/dk/filelibrary/pdfs/iRobot_PackBot_Scout.pdf> [Consulta: 15 octubre de 2016].

MARTINEZ E. (2008). Control de un robot tipo puma utilizando celdas neuronales análogas (tesis de maestría). Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Técnico, México.

MANCILLA, E. L. E. (2016). ¿Qué son los Agentes Inteligentes de Software. Recuperado de <http://concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/31072008_QUE_SON_AGENTES_INTELIGENTES_SOFTWARE.pdf> [Consulta: 18 Octubre 2016].

PLÁ, O. F. & HERRERA, H. J. (2002). Fundamentos de laboreo de minas [en línea] recuperado de <<http://s48eb3e6ebabe5db6.jimcontent.com/download/version/1313717632/module/5693120271/name/laboreo%20I.pdf>>[consulta: 10 octubre 2016]

PONCE P. (2010). Inteligencia Artificial con applications a la ingeniería. Mexico: Alfaomega Grupo Editor.

RAMIREZ, O. P. & DE LA CUADRA, I. L. & LAIN, H. R. & GRIJALBO, O. E. (1991). Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea. Madrid: Instituto tecnológico geominero.

REYES CORTES. (2011). Robótica, Control de robots manipuladores. México: Alfaomega.

RUSSELL, S. & NORVIG, P. (2009). Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno [en línea] recuperado de <<http://aima.cs.berkeley.edu/contents.html>> [consulta: 25 mayo 2016].

ROMAN VICTOR. (2016). La UNI presenta el primer robot minero que detecta gases tóxicos. Sophimania. Recuperado de < [https://www.sophimania.pe/tecnologia/robotica-e-](https://www.sophimania.pe/tecnologia/robotica-e)

inteligencia-artificial/para-la-uni-presenta-el-primer-robot-minero-que-detecta-gasestoxicos /> [Consulta: 22 de diciembre 2016].

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. (2016). Gemini-Scout Mine Rescue Vehicle. Sandia National Laboratories. Recuperado de <http://www.sandia.gov/research/robotics/unique_mobility/gemini-scout.html>[Consulta: 10 junio 2016].

SERNAGEOMIN (2015). Estadísticas de accidentabilidad minera: Sernageomin. Recuperado de <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/accidentabilidad_Minera/Estadistica-de-accidentabilidad-2015.pdf>[Consulta: 30 de octubre de 2016].

TAMBO R. (2015). Robótica educativa como herramienta didáctica para la enseñanza y aprendizaje de matemáticas para 5to de primaria (tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés, La paz Bolivia.

TRILNICK CARLOS (1966). Shakey. Idis. Recuperado de <<http://proyectoidis.org/shakey/>> [Consulta: 12 enero 2017].

WORLD HERITAGE ENCYCLOPEDIA. (2016). Mobile Robots. proyect gutenber self-publishing press: World Heritage Encyclopedia. Recuperado de <http://www.gutenberg.us/articles/eng/Mobile_robots>[Consulta: 27 mayo 2016].

WETTERGREEN D. & THORPE C. & WHITTAKER R. (1992). Exploring mount erebus by walking robot. Recuperado de <http://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub2/wettergreen_david_1993_1/wettergreen_david_1993_1.pdf> [Consulta: 27 de octubre 20

ANEXOS

