

CIS1130TK02
FODEFU: Formaciones Defensivas para Fútbol Robótico

Andrés Mauricio Téllez Aguilar

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
2011

CIS1130TK02
FODEFU: Formaciones Defensivas para Fútbol Robótico

Autor(es):

Andrés Mauricio Téllez Aguilar

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE
SISTEMAS

Director

Ingeniero Julián Mauricio Ángel Fernández

Jurados

Ingeniero Sebastián Miranda

Ingeniero Alejandro Forero

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1130TK02>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
Diciembre 2011

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

Rector Magnífico

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Luis David Prieto Martínez

Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería

Padre Sergio Bernal Restrepo S.J.

Director (E) de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero César Julio Bustacara Medina

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero César Julio Bustacara Medina

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar especial agradecimiento a mis padres y a mis hermanos quienes me han apoyado incondicionalmente durante toda mi carrera y especialmente en el desarrollo de este trabajo de grado.

A todos mis amigos, los que están y los que ya no están por apoyarme en mis los diferentes proyectos, maratones de programación, etc.

Al Capítulo Javeriano ACM por enseñarme el significado del trabajo en equipo, por darme la oportunidad de crecer como persona, por permitirme liderar actividades para el beneficio de la carrera y por conocer a todo el equipo de trabajo tan importante que conforma la junta directiva.

A los integrantes del equipo de maratones de programación *Maravia*, en especial al equipo *Padroni* y todos sus integrantes con quienes entrené durante mucho tiempo y representamos a la Universidad en diferentes competencias.

Un especial agradecimiento a Maida Janeth Urrego Ruiz por la ayuda tan especial recibida durante toda la carrera.

Finalmente, quiero agradecerles a *Independiente Santa Fe* y a todos mis amigos con los que asisto al estadio por ser un soporte y por su compañía incondicional ya que este fue el espacio de esparcimiento y de equilibrio entre mis hobbies y el estudio.

ABSTRACT

In Multi-Agent systems there is a need for the agents to have features like being autonomous and acting in a cooperative way among the other agents to accomplish the goals of the system. In this document I present a new implementation for the robotic soccer team *Bochica* which was developed at the Pontificia Universidad Javeriana. In this implementation there is a new design of both defensive formations which will help the team to act not only in a cooperative way but also in an organized structure and new role brains for the agents which will help the team in making decisions easier in different plays of a match.

RESUMEN

En los sistemas multiagentes se necesita que los agentes tengan dos características, que actúen de manera autónoma y de manera cooperativa para cumplir las metas del sistema. En este documento se presenta una nueva implementación para el caso de estudio del equipo de fútbol robótico *Bochica* de la Pontificia universidad Javeriana. En esta implementación se encuentran diseñadas nuevas formaciones defensivas con el fin de mejorar el orden y la estructura de juego del equipo y también nuevos roles para los agentes con el fin de mejorar la autonomía y la toma de decisiones por parte de los agentes en diferentes situaciones de juego.

RESUMEN EJECUTIVO

En la capa de formaciones que hace parte del framework MRCC (González, Perez, Cruz, & Bustacara, 2007) existía la necesidad de implementar comportamientos cooperativos entre los agentes de manera que estos comportamientos estuvieran ordenados y fueran fáciles de manejar. Esta necesidad surgió en las participaciones del equipo *Bochica* en la copa mundial de fútbol robótico de Turquía (RoboCup, 2011) y en el latinoamericano de fútbol robótico LARC2010 “*Latin American RoboCup*”, debido a que el equipo recibía muchos goles en los partidos. Por eso, se propuso darle orden a las jugadas defensivas del equipo diseñando nuevas formaciones que redujeran la posibilidad de recibir goles e implementando roles defensivos para mejorar las acciones defensivas individuales de cada agente jugador.

En este documento se presenta el proceso de diseño y de implementación de las nuevas formaciones defensivas junto con los nuevos roles defensivos y sus nuevas funcionalidades. Para diseñar las nuevas funcionalidades de los roles se analizaron no sólo los roles existentes sino las falencias que el equipo había presentado en competencia y debido a eso se presentan en este documento dos características para cada rol defensivo. Para el rol *Arquero* se desarrollo el movimiento elástico y la acción de cierre los cuales funcionan dentro de la zona de arquero. El movimiento elástico del arquero consiste en salir del arco sin esperar a que llegue la bola y en poder moverse no solo cubriendo el centro del arco con respecto a la bola sino también saliendo del arco hasta el límite de la zona de arquero. La acción de cierre consiste en salir y rechazar la bola hacia el arco rival cuando la bola cruza cualquiera de los límites de la zona de arquero. Para el rol de *Defensa* se desarrollo el movimiento elástico y la acción de marcaje las cuales funcionan en toda la cancha y en la zona defensiva respectivamente. El movimiento elástico del *Defensa* es igual que el movimiento elástico del *Arquero* pero este se desarrolla en la zona defensiva y cubre cualquier posición de la bola en toda la cancha. La acción de marcaje consiste en acercarse a un oponente

que no tenga la bola en su poder de manera que dificulte la posibilidad de recibir un pase para ese oponente. En caso que ese oponente reciba el pase, el defensa ya está cubriendo el arco e imposibilitaría la opción de disparar al arco del contrario.

Después de la implementación se realizaron pruebas de comparación entre los roles existentes anteriormente (Plata & Castillo, 2010) y los roles nuevos para analizar los movimientos que realizaban sin tener la posesión de la bola y para analizar si efectivamente protegían el arco o no. Además también se realizaron pruebas de toda la defensa en conjunto contra oponentes en la zona defensiva para probar los movimientos elásticos y la acción de marcaje de los defensas.

Como resultado se encontró que los nuevos roles tienen un comportamiento más acorde a las necesidades del equipo en cuanto a proteger el arco mientras los oponentes tienen la bola. Para reflejar estos resultados, en el anexo 2 se encuentran las graficas donde se analiza las posiciones que ocupaba cada rol en el transcurso de la prueba. Se esperaba como último nivel de pruebas realizar partidos completos pero el sistema presenta todavía algunas falencias con respecto a las acciones cooperativas y al reconocimiento del equipo rival, las cuales se espera que se modifiquen como trabajo futuro.

Como conclusión principal se verificó que la formación propuesta e implementada permite mantener un comportamiento ordenado dentro del terreno de juego lo cual hace que la toma de decisiones por parte de los agentes y del sistema sea fácil y eficiente para que puedan tener más éxito las jugadas defensivas.

Contenido

TABLAS	XI
ILUSTRACIONES ANEXO1	XIII
INTRODUCCIÓN	14
I - DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO	17
1.1 OPORTUNIDAD, PROBLEMÁTICA, ANTECEDENTES	17
2.1.1 <i>Formulación del problema que se resolvió</i>	18
2.1.2 <i>Justificación</i>	18
2.1.3 <i>Impacto Esperado</i>	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	19
2.1.4 <i>Objetivo general</i>	19
2.1.5.....	19
2.1.6 <i>Objetivos específicos</i>	20
2.1.7 <i>Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica</i>	20
II - MARCO TEÓRICO	24
2.2 FORMACIONES EN FÚTBOL ROBÓTICO	26
2.3 CATEGORÍA <i>SMALL SIZE LEAGUE</i>	27
2.3.1 <i>CMDragons (Universidad Carnegie Mellon)</i>	28
2.3.2 <i>Skuba (Universidad Kasetsart) Tailandia</i>	32
2.3.3 <i>MRL (Universidad Islámica Azad) Irán</i>	34
2.4 <i>STANDARD PLATFORM LEAGUE</i>	35
2.4.1 <i>Austrian-Kangaroos (University of Applied Sciences Technikum Vienna) Austria</i> 36	
2.4.2 <i>CMurfs (Carnegie Mellon) USA</i>	37
2.5 FORMACIONES DE FÚTBOL ROBÓTICO EN COLOMBIA	39
2.5.1 <i>STO`xs (Universidad Santo Tomás) Bogotá</i>	39
2.5.2 <i>Bochica (Pontificia Universidad Javeriana) Bogotá</i>	40
III - DESARROLLO DE FODEFU	47
3.1 ZONAS DE JUEGO.....	47
3.1.1 <i>Zona de Arquero</i>	48
3.1.2 <i>Zona defensiva</i>	49
3.2 NUEVOS ROLES.....	50
3.2.1 <i>Rol de Arquero</i>	50
3.2.2 <i>Rol de Defensa</i>	52

3.3	FORMACIONES DEFENSIVAS.....	54
3.3.1	<i>Formación con negociación</i>	56
3.3.2	<i>Posibles formaciones</i>	56
3.4	IMPLEMENTACIONES EXTRAS.....	58
IV POST-MORTEM.....		60
4.1	METODOLOGÍA PROPUESTA VS. METODOLOGÍA REALMENTE UTILIZADA.....	60
4.1.1	<i>Fase documental (estado del arte)</i>	60
4.1.2	<i>Fase de identificación y generalización</i>	60
4.1.3	<i>Fase de análisis y diseño</i>	60
4.1.4	<i>Fase de implementación</i>	60
4.1.5	<i>Fase de Pruebas</i>	61
4.2	ACTIVIDADES PROPUESTAS VS. ACTIVIDADES REALIZADAS.....	61
4.2.1	<i>Fase documental (estado del arte)</i>	61
4.2.2	<i>Fase de identificación y generalización</i>	61
4.2.3	<i>Fase de análisis y diseño</i>	61
4.2.4	<i>Fase de implementación</i>	62
4.2.5	<i>Fase de Pruebas</i>	62
4.3	EFFECTIVIDAD EN LA ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DEL PROYECTO.....	63
4.4	COSTO ESTIMADO VS. COSTO REAL DEL PROYECTO.....	65
4.5	EFFECTIVIDAD EN LA ESTIMACIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS DEL PROYECTO.....	67
V – CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....		68
CONCLUSIONES.....		68
RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....		69
VI – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		71
VII - ANEXOS.....		73
ANEXO 1. PROTOCOLO EXPERIMENTAL DE PRUEBAS.....		73
INTRODUCCIÓN.....		73
NIVELES DE PRUEBAS.....		73
1.1	NIVEL 1: PRUEBAS DE COMPARACIÓN DE ROLES ESTRUCTURANTES.....	74
1.1.1	<i>Variables Independientes</i>	74
1.1.2	<i>Variables dependientes</i>	74
1.1.3	<i>Variables intervinientes</i>	75
1.1.4	<i>Prueba_Movimiento_Elastico_Arquero</i>	75

1.1.5	<i>Prueba_Cierre_Arquero</i>	76
1.1.6	<i>Prueba_Movimiento_Elastico_Defensa</i>	77
1.1.7	<i>Prueba_Marcaje_Defensa</i>	78
1.2	NIVEL 2: PRUEBAS DE ROLES DEFENSIVOS EN CONJUNTO	79
1.2.1	<i>Variables independientes</i>	80
1.2.2	<i>Variables dependientes</i>	80
1.2.3	<i>Variables intervinientes</i>	80
1.2.4	<i>Prueba 2defensas_2delanteros</i>	81
1.2.5	<i>Prueba 3defensas 3delanteros</i>	81
1.3	NIVEL 3: PRUEBAS CON ACCIONES COOPERATIVAS Y PARTIDOS COMPLETOS ...	83
1.3.1	<i>Variables independientes</i>	83
1.3.2	<i>Variables dependientes</i>	85
1.3.3	<i>Variables intervinientes</i>	85
	REFERENCIAS	85
	ANEXO.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS	88
	PRUEBAS NO EXITOSAS	135

Tablas

Tabla 1: Comparación prueba de cierre	105
Tabla 2: Comparación prueba de movimiento elástico	97
Tabla 3: Comparación prueba de movimiento elástico Defensa.....	114
Tabla 4: Comparación prueba de marcaje	120
Tabla 5: Comparación prueba conjunta de roles defensivos	133

Ilustraciones

Ilustración 1: Flujo de información SSL. Tomado de (RoboCup, 2006)	28
Ilustración 2: Táctica (parte1) del equipo de Carnegie Mellon SSL. Tomado de (Bowling, 2004)	29
Ilustración 3: Táctica (parte2) del equipo de Carnegie Mellon SSL. Tomado de (Bowling, 2004)	30
Ilustración 4: Robots de Skuba. Tomado de (Srisabye et al., 2009); Error! Marcador no definido.	
Ilustración 5: Aim and kick technique. Tomada de (Sharbafi et al., 2011).....	35
Ilustración 6: NaoBots - Mundial de Turquía 2011. Tomado de (RoboCup, 2011)	36
Ilustración 7: Comportamiento del Rol delantero. Tomado de (Liemhetcharat et al., 2011)..	37
Ilustración 8: Comportamiento del rol Arquero. Tomado de (Liemhetcharat et al., 2011).....	38
Ilustración 9: DFD del ActionDesicion del rol de Arquero.....	41
Ilustración 10: DFD del ActionDesicion del rol Defensa	42
Ilustración 11: DFD del ActionDesicion del rol Delantero	44
Ilustración 12: DFD del ActionDesicion del rol por defecto.....	45
Ilustración 13: DFD del rol cobrador	46
Ilustración 14: Cambio de zonas de juego.....	48
Ilustración 15: Medida Y de la nueva zona de arquero	49
Ilustración 16: Medida en Y de la Zona Defensiva	50
Ilustración 17: Movimiento elástico del arquero	51
Ilustración 18: Movimiento de cierre del arquero.....	52
Ilustración 19: Movimiento elástico y Marcaje de Defensas.....	53
Ilustración 20: Formación defensiva con mejora de movimientos	54

Ilustración 21: Zonas de movimiento elástico y marcaje	55
Ilustración 22: Formación con negociación entre zonas	56
Ilustración 23: Formación 1-3-1	57
Ilustración 24: Formación 1-1-3	57
Ilustración 25: Estimación de tiempo del proyecto antes de empezarlo	63
Ilustración 26: Estimación de tiempo real al finalizar el trabajo de grado	64
Ilustración 27: Estimación de presupuesto para el proyecto FODEFU	65
Ilustración 28: Presupuesto real para el proyecto FODEFU	66

ilustraciones anexo1

Ilustración 1: Posiciones de ubicación de la bola para Arquero	76
Ilustración 2: Posiciones de la bola para prueba de cierre Arquero	77
Ilustración 3: Posiciones de ubicación de la bola para Defensa	78
Ilustración 4: Posiciones de los contrarios para probar marcaje	79
Ilustración 5: Jugada1. Ataque controlado	81
Ilustración 9: Formación con 2 defensas	84
Ilustración 10: Formación con 3 defensas	84

INTRODUCCIÓN

Desde inicios de los noventa se empezaron a realizar diferentes tipos de investigaciones alrededor del mundo con el fin de crear robots para mejorar la calidad de vida de los seres humanos. Para conseguir esto, se escogió el fútbol como caso de estudio debido a su simplicidad en el reglamento y en la manera de jugarlo. La idea de escoger el fútbol robótico iba orientada a poder realizar avances significativos en el campo de la robótica sin tener que sacrificar vidas humanas, por el contrario, poder investigar por medio de la diversión que brinda el fútbol.

Aunque el fútbol robótico parezca fácil de jugar y de aplicar sus reglas, tiene una característica muy importante y es el trabajo en equipo que se debe desarrollar durante un partido para poder anotar goles, como podría ser un conjunto de pases entre los jugadores del mismo equipo para generar espacios de visibilidad hacia el arco rival y poder disparar al arco. Por eso, se crearon las formaciones de juego que sirven no sólo para darle orden al equipo en su estructura de juego sino también para diseñar planes de cooperación entre los integrantes del equipo para cumplir una meta. Una formación es la manera en la que el sistema distribuye a los agentes en diferentes posiciones por todo el terreno de juego.

Tanto en el fútbol robótico como en el de la vida real, hay diferentes tipos de formaciones para cada situación de juego que son descritas por Baker (Baker et al., 2006). Sin embargo, existen algunas formaciones que no son muy tenidas en cuenta en el fútbol robótico y son las formaciones defensivas. Estas formaciones tienen un enfoque totalmente diferente a las demás ya que se especializan en realizar acciones coordinadas con el sistema de todos los integrantes del equipo sin tener posesión de la bola.

El caso de estudio para desarrollar este trabajo de grado fue el equipo de fútbol robótico de la Pontificia Universidad Javeriana llamado *Bochica* (Gonzalez, Rosa,

Miranda, C. F. Rodríguez, & Manrique, 2011) el cual funciona bajo una plataforma cooperativa también desarrollada en Pontificia Universidad Javeriana llamada MRCC “Multi Resolution Cooperative Control” (González et al., 2007). Esta plataforma contaba inicialmente con tres capas en su arquitectura. La primera, la capa sistema que es la encargada de manejar todo el sistema en general y de abstraer el mundo real para poder procesar los datos. La segunda, la capa micro social que se encarga de crear roles colaborativos para realizar diferentes acciones ya sea entre agentes o para cumplir metas locales. La tercera, la capa agente que se encarga de evaluar la creación de roles y el cumplimiento de tareas locales. En el año 2010 se añadió una nueva capa a la arquitectura con el fin de poder darle un orden a la estructura de juego del equipo (Plata & Castillo, 2010). La nueva capa que se agregó es la capa de formaciones que se encarga de generar roles y zonas de juego para poder distribuir los agentes por todo el terreno de juego.

En este documento se prioriza el diseño e implementación de formaciones defensivas para el equipo de fútbol robótico *Bochica* (Gonzalez, Rosa, Miranda, C. F. Rodríguez, & Manrique, 2011). Este equipo participa en la categoría *Small Size League* (The & Surface, 2011) que es avalada por RoboCup (RoboCup, 2011). Hasta hace un año el equipo carecía de formaciones de juego y se limitaba a tener comportamientos colaborativos pero no ordenados. Según Plata (Plata & Castillo, 2010), se desarrolló una capa de formaciones para el framework MRCC (González et al., 2007) la cual permite implementar diferentes tipos de comportamiento a cada jugador para armar formaciones de juego. Es por eso que en este documento se presenta la implementación de una formación defensiva estándar que es escalable a varias formaciones defensivas más con el fin de reducir la cantidad de goles recibidos en un partido de fútbol robótico.

Se comienza en la sección uno analizando la problemática y explicando en qué consiste el trabajo de grado que se desarrolló. Seguido en la sección dos, por el marco

teórico el cual se enfocó en las formaciones que se utilizan no sólo en la categoría SSL sino también en otras diferentes avaladas por RoboCup (RoboCup, 2011). En la sección tres se encuentra el proceso de desarrollo y diseño de las nuevas formaciones defensivas del equipo *Bochica* para completar esta descripción en la sección cuatro con los resultados de las pruebas realizadas a estas nuevas formaciones. En la sección cinco se encuentra el post-mortem del trabajo de grado en el que se realiza un análisis comparativo entre lo propuesto antes de empezar el trabajo de grado y lo que realmente ocurrió durante el desarrollo del mismo. Finalmente, en la sección seis se encuentran las conclusiones del trabajo desarrollado y los trabajos futuros del mismo. En las últimas dos secciones, la siete y la ocho, se encuentran las referencias bibliográficas y los anexos respectivamente.

I - DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

El fútbol robótico fue creado en 1995 con dos objetivos específicos. El primero, darle mejores herramientas al ser humano para mejorar la calidad de vida enfocándose en el rescate de personas y en el desminado humanitario. El segundo, crear un equipo suficientemente inteligente y hábil para que pueda ganarle al campeón mundial de la FIFA en el 2050 (Hiroaki Kitano, Monoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, Itsuki Noda, 1997). En 1997 se llevó a cabo el primer campeonato de fútbol robótico llamado *RoboCup*, con la participación de 40 equipos en ambas categorías, real y simulado. Este campeonato fomentó la investigación en varias universidades de todo el mundo en los últimos años, incluyendo a la Pontificia Universidad Javeriana la cual cuenta hoy en día con un equipo de fútbol robótico llamado *BOCHICA*.

1.1 Oportunidad, Problemática, Antecedentes

Por medio del framework BESA, “*Behavior Event Social Agent*” (Gonzalez, Bustacara, & Avila, 2003), el cual permite desarrollar aplicaciones Multi-Agentes, se desarrolló en la Pontificia Universidad Javeriana la arquitectura MRCC, “*Multi-Resolution Cooperative Control*” (Gonzalez, Perez, Cruz, & Bustacara, 2007), que permite dar a los agentes diferentes comportamientos dependiendo de la complejidad de los mismos. Actualmente se investiga en el caso de estudio de fútbol Robótico, RoboCup en la categoría Small-size league (RoboCup, 2011). Bajo esta investigación se ha encontrado la necesidad de mejorar la capa de formaciones para que aumente los comportamientos colaborativos y así mejorar los procesos para cumplir el objetivo general del sistema.

2.1.1 Formulación del problema que se resolvió

Basado en el proyecto AgentCoop que está diseñado con la arquitectura MRCC “*Multi-Resolution Cooperative Control Agent Architecture*” y que tiene como caso de estudio el equipo de fútbol robótico de la Javeriana, *Bochica*, ¿Cómo se podía mejorar la capa de formaciones (Gestor de tácticas) con el fin de reducir la cantidad de ataques contrarios y de goles recibidos que el equipo registraba?

2.1.2 Justificación

A partir de las oportunidades de mejora del equipo de fútbol robótico *Bochica*, este proyecto buscaba solucionar dos problemáticas: la primera, aumentar la efectividad defensiva de *Bochica* para la participación en el latinoamericano que se llevó a cabo en el mes de octubre del año 2011 pero que terminó con la cancelación del torneo en la categoría “*Small Size League*” por falta de equipos. El evento se realizó en Bogotá-Colombia. La segunda, era aumentar el comportamiento colaborativo de la capa de formaciones, permitiendo que los roles estructurantes tuvieran tareas más precisas y efectivas a la hora de ejecutar una jugada defensiva. Un rol estructurante es una especialización de los roles normales, por ejemplo, en algún momento específico del juego, a un agente que se le asigna el rol de defensa se le puede asignar el rol estructurante de defensa derecho o defensa izquierdo.

Además, los relevos de posiciones en las formaciones podrían ser utilizados en el proyecto de desminado humanitario con el fin de que los robots ARCADIO realicen búsquedas en paralelo sin estropear el trabajo entre ellos mismos.

2.1.3 Impacto Esperado

Los impactos que se podrían esperar del proyecto en caso que este fuera exitoso son:

Pontificia Universidad Javeriana:

- Mejorar la clasificación en el latinoamericano de fútbol robótico en la categoría fútbol robótico liga pequeña que se realizó en el mes de octubre del 2011 en Bogotá-Colombia.
- Mejorar el impacto académico de la Pontificia Universidad Javeriana por medio de un paper descriptivo del equipo BOCHICA para la participación en el latinoamericano de fútbol robótico en Bogotá-Colombia.
- Mejorar el desempeño de BOCHICA en las diferentes competencias de futbol robótico.

1.1 Descripción del Proyecto

Esta sección presenta la descripción general del proyecto. Cubre los aspectos más importantes para entender lo que se hizo.

2.1.4 Objetivo general

Analizar y crear nuevas tácticas defensivas como parte de la capa de formaciones de la plataforma MRCC (Multi-Resolution Cooperative Control Agent Architecture) para el funcionamiento del equipo de fútbol robótico de la Pontificia Universidad Javeriana BOCHICA.

2.1.5 Objetivos específicos

- Realizar el estado del arte de las formaciones defensivas existentes de diferentes equipos de fútbol robótico en el mundo.
- Identificar y generalizar las formaciones defensivas existentes en el modelo MRCC.
- Analizar y diseñar nuevas formaciones defensivas que permitan cambiar los roles estructurantes para realizar relevos de posiciones durante una situación de juego que lo requiera.
- Implementar las nuevas formaciones defensivas en el modelo MRCC.
- Validar las nuevas formaciones defensivas por medio de un protocolo experimental de pruebas mediante el simulador virtual grSim (University, 2011).

2.1.6 Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica

Esta sección presenta el proceso de desarrollo del trabajo de grado. Describe cada una de las fases metodológicas.

Fase documental (estado del arte)

El objetivo específico relacionado con esta metodología era:

- Realizar el estado del arte de las formaciones defensivas existentes de diferentes equipos de fútbol robótico en el mundo.

El tipo de investigación que se usó en esta metodología fue especulativa – deductiva:

Para realizar el estado del arte se organizó la base de datos bibliográfica enfocándose en las tácticas o formaciones defensivas que se usan en los diferentes equipos de fútbol robótico alrededor del mundo. Una vez la base de datos estaba organizada se identificó la bibliografía que más se ajustaba a las necesidades del trabajo de grado.

Por último se indagó y se analizó qué tan avanzadas y qué uso se le da a las formaciones defensivas en los diferentes equipos del mundo.

A continuación se enuncian las actividades que se realizaron para la fase documental:

- 1- Organizar la base de datos bibliográfica apropiada para el trabajo de grado.
- 2- Identificar la bibliografía más relevante para el trabajo de grado.
- 3- Redactar el marco teórico.

Fase de identificación y generalización

El objetivo específico relacionado con esta metodología era:

- Identificar y generalizar formaciones defensivas existentes en el modelo MRCC.

El tipo de investigación que se usó en esta metodología fue especulativa – deductiva:

Para poder llevar a cabo la identificación y generalización de las formaciones, se iba a someter a las formaciones defensivas existentes en MRCC a pruebas basadas en simulación para clasificarlas en términos de la más efectiva a la menos efectiva. La realización de estas pruebas consistía en someter a cada formación a una cantidad determinada de partidos con el fin de analizar su comportamiento en cada juego.

A continuación se enuncian las actividades que se realizaron para la fase de identificación y generalización:

- 4- Realizar pruebas de las formaciones defensivas existentes.
- 5- Clasificar las formaciones defensivas existentes de la más efectiva a la menos efectiva en cuanto a goles recibidos.

Fase de análisis y diseño

El objetivo específico relacionado con esta metodología era:

- Analizar y diseñar nuevas formaciones defensivas que permitan cambiar los roles estructurantes para realizar relevos de posiciones durante una situación de juego que lo requiera.

El tipo de investigación que se usó en esta metodología fue especulativa:

Para diseñar las nuevas formaciones defensivas se analizó las falencias de las formaciones ya clasificadas con el fin de proponer un nuevo diseño de tácticas de juego que contuviesen nuevas características como lo son el relevo de posiciones.

A continuación se enuncian las actividades que se realizaron para la fase de análisis y diseño:

- 6- Analizar las falencias que tenían las formaciones existentes.
- 7- Proponer soluciones para las falencias encontradas.
- 8- Diseñar nuevas formaciones defensivas que incluyeran no solo las soluciones propuestas para las falencias encontradas sino también que permitieran a los robots realizar relevos de posiciones.

Fase de implementación

El objetivo específico relacionado con esta metodología era:

- Implementar nuevas formaciones defensivas en el modelo MRCC.

El tipo de investigación que se usó en esta metodología fue experimental:

Para llevar a cabo la implementación de las nuevas formaciones se tuvo en cuenta el diseño previamente realizado y además se identificaron las clases y paquetes con los cuales se interactuó al momento del proceso de desarrollo. Después de la identificación se procedió a la implementación.

A continuación se enuncian las actividades que se realizaron para la fase de implementación:

- 9- Realizar la implementación de las nuevas formaciones defensivas.

Fase de Pruebas

El objetivo específico relacionado con esta metodología era:

- Validar las nuevas formaciones defensivas por medio de un protocolo experimental de pruebas mediante el simulador virtual grSim (University, 2011)..

El tipo de investigación que se uso en esta metodología fue experimental - hipótesis:

El protocolo de pruebas que se aplicó consiste en someter a las nuevas formaciones defensivas a una serie de partidos para poder analizar sus resultados y compararlos con los de las formaciones ya existentes.

A continuación se enuncian las actividades que se realizaron para la fase de pruebas:

- 10- Realizar el protocolo de pruebas experimental.
- 11- Realizar pruebas de las nuevas formaciones defensivas.
- 12- Realizar un análisis con los resultados que arrojaron las pruebas de las nuevas formaciones defensivas.

II - MARCO TEÓRICO

Las formaciones en fútbol robótico le permiten al sistema multiagente alcanzar las metas globales de una manera más ordenada y más eficiente. En esta sección se presenta cómo funcionan y cómo se pueden aplicar las formaciones de fútbol robótico basadas en la cooperación entre agentes, en algunos equipos existentes en el mundo participantes en las categorías de RoboCup(RoboCup, 2011).

La cooperación entre agentes es un concepto muy importante a la hora de hablar de formaciones en fútbol robótico. Según Candea (Candea, 2001) para explicar la cooperación entre agentes es necesario tener en cuenta tres factores. El primer factor es el ambiente impredecible en el que los agentes se encuentran y por eso las tareas que tienen que realizar se vuelven complejas. El segundo factor es que los sistemas multiagentes deberían adquirir una coordinación efectiva a medida que se asignan tareas, se intercambian recursos o se varía la formación de los equipos. Por otra parte según Baker (Baker, Reynolds, & Liu, 2006) la cooperación entre agentes está dada por estrategias de juego. Las estrategias se pueden dividir en formaciones y en las acciones de cooperación entre agentes que estén disponibles en el sistema. Además, las formaciones se derivan de un cierto número de tareas por cumplir o de los diferentes roles que son asignados a los agentes.

Para entender más a fondo la utilidad de una formación dentro de una estrategia de juego se necesita saber cómo funcionan los roles que son asignados a los agentes. Según Liemhetcharat (Liemhetcharat, 2010) los agentes pueden adquirir diferentes habilidades por medio de la asignación de roles para encontrar la formación más adecuada para un determinado momento. Sin embargo, para la asignación de roles se debe tener en cuenta el estado de cada agente el cual representa la situación en la que se encuentra este en una determinada jugada. Es necesario tener en cuenta que los estados de cada agente tienen dos características principales, una es la posición en el

campo de juego ya sea defensa o atacante y la otra es si el agente en ese momento está bloqueado por un oponente o no. Un rol es asignado a un agente, por eso se puede decir que los roles son vistos como el elemento más pequeño de un equipo de fútbol robótico.

Existen otras maneras de realizar la asignación de roles a un agente, por medio de los cambios de comportamientos. Según Ould-Kbessal (Ould-kbessal, Naing, Sin, & Polytechnic, 2002) los roles y los comportamientos se deben asignar teniendo en cuenta la posición de la bola y el área donde se encuentra ubicado el robot. Estos dos factores pueden determinar qué tipo de comportamiento es el que se le va a asignar a un robot para una determinada situación de juego. Algunos de los comportamientos que se han diseñado para equipos de fútbol robótico son atacantes, defensores, asesores de jugada, bloqueo y limpiador de caminos. El atacante, es el encargado de realizar movimientos ofensivos cuando el equipo tiene la posesión de la bola. El defensor, es el encargado de realizar movimientos defensivos cuando el equipo ha perdido la posesión de la bola. El asesor de jugada, es el encargado de acompañar las jugadas defensivas u ofensivas del equipo sin que ese robot tenga la bola en su posesión. El bloqueo, es el encargado de bloquear a los asesores de jugada con el fin de impedir el éxito del ataque rival. El limpiador de caminos es el encargado de subir al ataque cuando el equipo tiene la posesión de la bola con el fin de atraer bloqueadores para limpiar el camino del robot que tiene la posesión de la bola y está realizando los movimientos de ataque.

Según Baker (Baker et al., 2006) muchos de los sistemas de fútbol robótico existentes han sido creados como expertos en la teoría del fútbol. Estos sistemas se encargan de escoger la estrategia más adecuada para una determinada situación de juego teniendo en cuenta el contexto de ese momento en el partido. Por otra parte, una estrategia está compuesta de formaciones de juego y de las acciones cooperativas de los agentes que estén disponibles en el sistema. Las formaciones se derivan en áreas de juego compuestas por metas de zona o por roles. Los roles pueden ser una determinada posición

en el campo de juego, una acción de juego, un tipo de jugador o un determinado comportamiento. Sin embargo una formación puede ser definida como un conjunto de jugadas que son aplicadas en diferentes situaciones de juego, es por eso que algunos sistemas implementan un libro de jugadas el cual permite almacenar una alta gama de formaciones para que el sistema experto escoja las más propicias para las diferentes situaciones de juego.

2.2 Formaciones en fútbol robótico

Desde los inicios de fútbol robótico se pensó en la manera de hacer que los agentes pudieran ser colaborativos en un partido. Esto implicaba que los robots pudieran realizar acciones de juego con los demás coequiperos. Para lograr esto, se quería usar las formaciones que se usan en el fútbol humano es decir, lograr hacer formaciones con los equipos de fútbol robótico. Según Stone(Stone, Moore, & Simon, 1998), una formación se descompone en un conjunto de roles y en la cantidad de roles que pueden existir en una formación, la cual está dada por la cantidad de agentes jugadores que existan en el equipo. No importa que varios agentes tengan el mismo rol ya que se pueden desempeñar de diferentes maneras, es decir que un rol no sólo es asignado para armar una formación y hacer acciones de juego colaborativas sino que también es asignado a un agente para resolver un problema local. La idea de asignar los roles a una unidad es que al resolver un problema local no se tenga que ver involucrado el resto del equipo sino que solo al agente que le corresponda resuelva esa tarea. Además uno de los agentes puede ser capitán del equipo, lo que significa que también sería una unidad de la formación pero con privilegios especiales para darle ordenes al resto del equipo.

Después de describir los componentes de una formación, Stone establece que una formación debe ser independiente de los agentes que la van a componer. Es decir, Se tiene un conjunto de formaciones predefinidas las cuales al cargarse al sistema brindan la información necesaria para poder asignarle los roles a los agentes, para saber

en qué situaciones de juego debería cambiar el equipo de formación y para saber cuáles son las acciones colaborativas y que agentes deben ejecutarlas. Por otra parte Stone define las interacciones entre agentes del mismo equipo como *Set-Plays*. Un *Set-Play* es un plan multiagente el cual se espera que sea ejecutado en ocasiones repetitivas previamente definidas, es decir que si una situación de juego se repite mucho durante un partido, se puede definir un conjunto de acciones y de pasos a seguir que deben ejecutar los agentes para que como equipo puedan acercarse al cumplimiento de sus objetivos globales cada vez que esa situación de juego se presente en el partido. Es necesario aclarar que no todas las *Set-Plays* deben involucrar a todos los agentes del equipo ya que el mínimo para que un *Set-Play* se pueda generar son dos agentes. Sin embargo, a la hora de que un *Set-Play* sea ejecutado, todos los agentes coequiperos deben estar enterados de cual *Set-Play* se está ejecutando y qué agentes la están ejecutando así ellos no hagan parte de la jugada.

2.3 Categoría *Small Size League*.

Small Size League es una de las categorías de RoboCup que se enfoca en el estudio de la cooperación inteligente multiagente y en el control de un ambiente dinámico por medio de un sistema centralizado o distribuido. En esta categoría se generan partidos entre dos equipos de cinco robots cada uno los cuales están reglamentados por la organización RoboCup (The L.A.W & Surface, 2011) al igual que la cancha y la bola de juego. Adicionalmente todos los objetos que aparezcan dentro de las medidas de la cancha son visualizados por un sistema de visión estandarizado llamado *SSL Vision* para todos los equipos el cual se encarga de procesar la información que le brinda la cámara principal que se encuentra a 4m de altura sobre la superficie de juego.

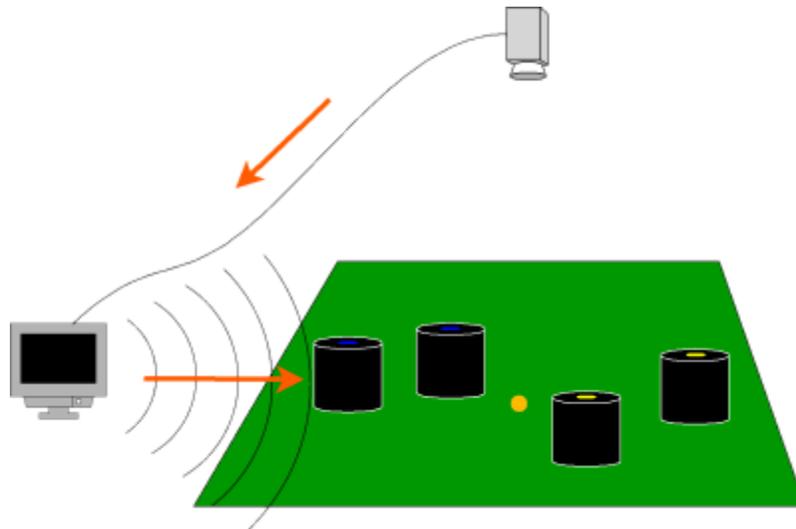


Ilustración 1: Flujo de información SSL. Tomado de (RoboCup, 2006)

La ilustración anterior muestra como la cámara principal percibe la información del mundo real que en este caso el mundo real es la cancha de juego y todos los objetos que estén en esta. La información es enviada al sistema para que este la procese y se la transmita a los robots.

2.3.1 CMDragons (Universidad Carnegie Mellon)

CMDragons ha sido múltiple campeón mundial de fútbol robótico en la categoría small size league. Este equipo ha logrado diferentes triunfos gracias a la implementación de las estrategias de juego en los robots. Según Bruce (Bruce, Zickler, Licitra, & Veloso, 2008) los agentes de *CMDragons* tienen implementados todo tipo de jugadas desde la más primitiva como ir a un determinado punto, hasta la más compleja: de hacer un pase y disparar al arco. Además poseen un algoritmo de navegación el cual permite calcular el camino de la táctica de juego que están usando y así poder planear los futuros movimientos de los agentes para hacer más eficiente la estrategia de juego mientras se tiene la bola. Por otra parte poseen un chip de desviación el cual se encarga de calcular el tiro parabólico que hace la bola a la hora de hacer un pase aéreo para

que un agente asistente esté posicionado donde la bola va a caer y así pueda desviar la trayectoria de la bola y anotar.

A continuación se muestran dos ilustraciones en las cuales se puede visualizar una de las tácticas de *CMDragons*:

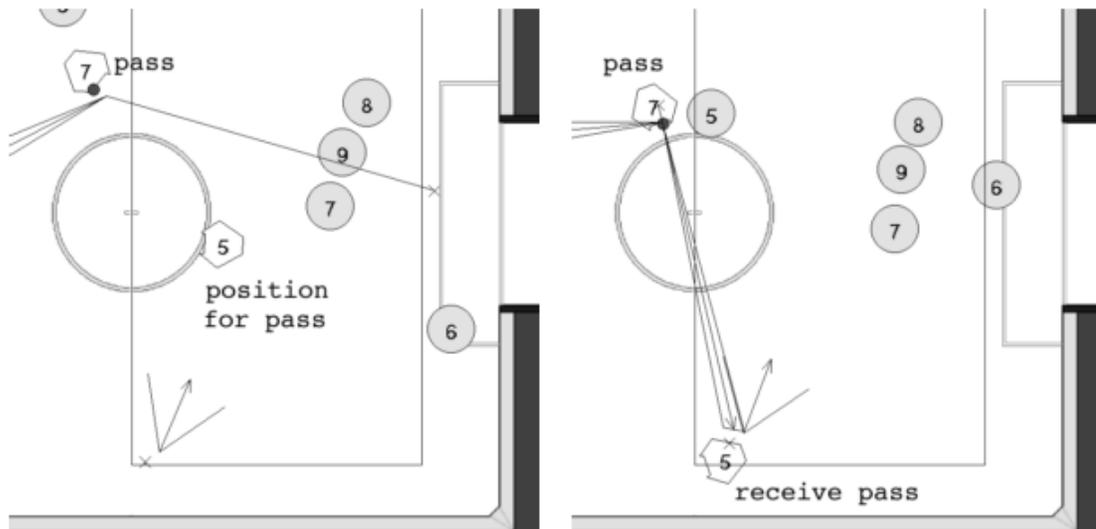


Ilustración 2: Táctica (parte1) del equipo de Carnegie Mellon SSL. Tomado de (Bowling, 2004).

En la izquierda jugada inicial

La ilustración anterior muestra en la imagen de la izquierda cómo inicia la jugada para anotar un gol teniendo rivales en el camino hacia el arco rival. En la imagen de la derecha se ve cómo el agente con el número 7 decide en vez de disparar al arco, realizar un pase hacia el agente con el número 5 el cual cambia de posición para poder recibir el pase y quedar con un mejor ángulo de disparo.

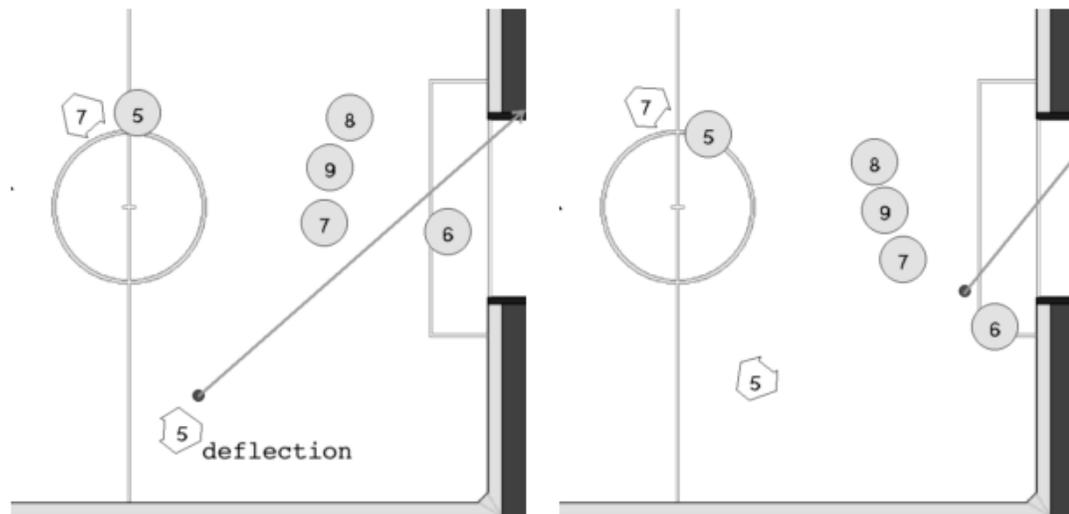


Ilustración 3: Táctica (parte2) del equipo de Carnegie Mellon SSL. Tomado de (Bowling, 2004)

La ilustración anterior muestra en la imagen de la izquierda cuando el agente con el número 5 recibe la bola y analiza el ángulo que tiene para disparar al arco. La imagen de la derecha muestra cuando ya ocurrió la anotación y muestra la posición final del balón después de entrar y salir del arco.

CMDragons tiene una capa de formaciones en la arquitectura de su sistema llamada Tactics Layer en la cual organizan y distribuyen diferentes tareas entre los agentes que están en juego para poder cumplir las metas globales tales como defender un ataque contrario o hacer gol (Bowling, 2004). Según Bowling las formaciones del equipo son manejadas por archivos de texto los cuales tienen información básica de los movimientos y de los roles involucrados en la formación. Además especifican cuándo la formación es aplicable y cuándo se debe finalizar o abortar.

Las formaciones que manejan son muy variadas y dependen de la situación de juego. Bowling menciona dos tipos de formaciones las activas y las no activas las cuales son usadas para diferentes situaciones de juego. A continuación se mencionan algunas de esas formaciones:

Formaciones Activas

- Disparar al arco
- Robar el balón
- Pase
- Drible para disparar
- Recibir pase
- Posición de disparo

Formaciones No Activas

- Posición para rechazar
- Defender línea
- Defender punto
- Defender carril
- Posición para balón suelto
- Bloquear
- Velocidad
- Posición

Estas formaciones no son acciones que realizan los agentes de forma cooperativa sino son acciones preestablecidas por el sistema para que los agentes actúen. Sin embargo, al ejecutarse varias de esas acciones al tiempo, el juego de los agentes en conjunto se ve ordenado y como si estuvieran actuando cooperativamente.

2.3.2 Skuba (Universidad Kasetsart) Tailandia

Skuba es un equipo relativamente nuevo ya que empezó participando en el 2006 y logró el título mundial en el 2009 en Austria. Según Wasuntapichaikul (Wasuntapichaikul, Srisabye, & Sukvichai, 2010) Skuba se ha enfocado en la calibración del kicker para no perder mucho tiempo en el proceso de recibir un pase y disparar al arco. Además, el equipo también cuenta con un libro de jugadas o “*play book*” en el módulo de estrategias (Srisabye, Wasuntapichaikul, & Onman, 2009) el cual se encarga de manejar todas las tácticas de juego del equipo. Este libro de jugadas tiene un manejador de tácticas el cual se encarga de asignar roles a los agentes dependiendo de la situación de juego. Después de asignar los roles, este selecciona un set de acciones de juego para cada rol las cuales al ser ejecutadas por los agentes forman en conjunto las formaciones de juego. Una de las mejores acciones de juego que han implementado es la jugada de recibir un balón aéreo y desviar la trayectoria hacia el arco rival. Para calcular el tiro parabólico que realiza la bola a la hora del pase, el sistema se basa en la visión de la cancha SSL-Vision (**revisar sección 2.2**) y por medio de la información que este servidor brinda, se calcula en donde va a caer la bola para que un agente auxiliar se ubique en esa posición y pueda cambiar la trayectoria de la bola. Por otra parte para el mundial del 2011 añadieron una nueva jugada la cual pretende permitirle al agente patear al arco de una manera rápida e inesperada para el equipo contrario. Una vez se recibe la información del módulo de visión del punto de partida y el punto de destino por donde debe navegar un agente, se empieza a calcular la distancia y la posibilidad que tendría ese agente de patear al arco apenas llegue a ese punto destino teniendo en cuenta la velocidad con la que llegaría el agente al punto destino, la dirección en el eje X y la dirección en el eje Y. En caso de que el resultado de este cálculo sea de probabilidad alta, apenas el agente llegue al punto destino recibirá el balón e inmediatamente pateará al arco contrario.

Algunas de las posiciones o de las habilidades básicas y de las jugadas que tiene Skuba son:

Posiciones:

- Posición agresiva
- Posición de bloqueo
- Posición de creador
- Posición de defensa
- Posición de jugada de ataque especial

Jugadas:

- Jugada Ofensiva
- Jugada Defensiva
- Jugada de tiro libre

Habilidades individuales

- Disparar
- Recibir el balón

Las formaciones de *Skuba* no son acciones que se realicen cooperativamente entre los agentes. En este caso son acciones individuales que están parametrizadas por el sistema y que al ejecutarse en conjunto le dan vida a una formación de juego.

2.3.3 MRL (Universidad Islámica Azad) Irán

MRL es el equipo del laboratorio de investigación mecatrónica de la Universidad Islámica Azad en Irán el cual cuenta con más de tres años de experiencia en la categoría *Small Size League* y ocupó el tercer puesto a nivel mundial en el año 2010. Según Sharbafi (Sharbafi, Azidehak, Hoshyari, & Bakhshandeh, 2011) se presentó una nueva capa en la arquitectura llamada técnicas la cual se encarga de manejar las formaciones del equipo. Cada técnica posee una función de costo la cual permite saber en una determinada situación de juego si es factible aplicar dicha técnica en ese momento o no. Existen tres movimientos estratégicos que definen el estilo de juego del equipo bajo los cuales funcionan todas las técnicas. Estos son mencionados a continuación:

- Movimiento hacia el arco rival.
- Movimiento horizontal o de amplitud en la cancha.
- Movimiento vertical o de rápido despliegue.

Estos tres movimientos permiten cubrir cualquier tipo de espacio en la cancha de juego y son la base para armar cualquier tipo de táctica. Sin embargo, las formaciones de MRL se definen después de elegir uno de estos tres movimientos ya que el paso a seguir es escoger entre un conjunto de jugadas que tiene predefinido el sistema para cada rol en las diferentes situaciones de juego. Al tener un movimiento base y un set de jugadas por cada rol, el comportamiento de los agentes va a ser ordenado y va a producir una formación diferente para cada situación de juego. MRL implementó una nueva táctica llamada “*Aim and kick technique*” la cual consiste en calcular cual es el mejor ángulo de disparo del agente con respecto al arco rival para que apenas este reciba el balón dispare al arco. A continuación se muestra una imagen donde se puede visualizar cómo funciona la táctica:

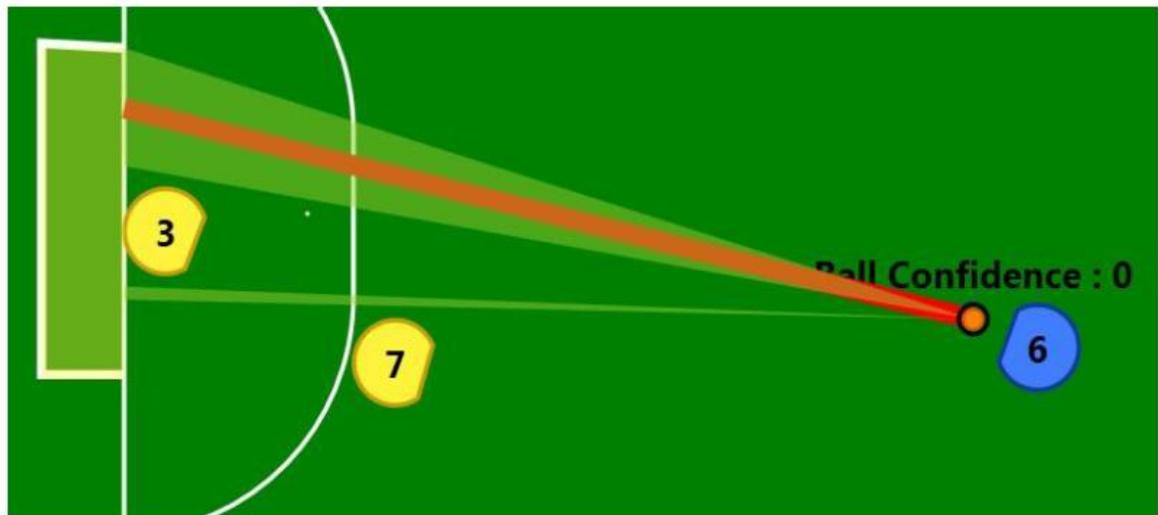


Ilustración 4: Aim and kick technique. Tomada de (Sharbafi et al., 2011)

2.4 *Standard Platform League*

Standard Platform League es una de las categorías de RoboCup que se enfoca en el estudio de la cooperación inteligente multiagente con robots idénticos para todos los equipos y totalmente autónomos, es decir que no existe control externo ni por humanos ni por computadores. La plataforma estándar actualmente utilizada es Humanoid NAO desarrollada por Aldebaran Robotics (Aldebaran Robotics, 2011). En esta categoría se organizan partidos de cuatro robots en cada equipo y no se acepta ninguna modificación en el hardware de la plataforma. Además, la cancha y la bola de juego también están reglamentadas por RoboCup (Committee, 2011). Teniendo la parte de hardware reglamentada, lo interesante de esta categoría es la cooperación entre los robots.

A continuación se muestra una ilustración en la cual se puede visualizar los NaoBots en un partido de fútbol robótico.



Ilustración 5: NaoBots - Mundial de Turquía 2011. Tomado de (RoboCup, 2011)

2.4.1 Austrian-Kangaroos (University of Applied Sciences Technikum Vienna) Austria

Austrian-Kangaroos es un equipo que está participando en la categoría desde el año 2009 y ha sido modificado año tras año por los estudiantes e investigadores de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Vienna. Para el mundial de RoboCup de 2011, Austrian-Kangaroos (Bader et al., 2011) no cuenta con un sistema de formaciones robusto ya que hasta ahora está empezando a hacer acciones coordinadas entre dos agentes. Hoy en día se trabaja para que el sistema de visión de los robots no sólo logre abstraer los objetos que hay en la cancha sino que también pueda predecir los movimientos de esos objetos para poder comunicarle a sus compañeros esa información a través del modelo del mundo compartido.

El sistema de formaciones actualmente está diseñado para soportar partidos de 3 Vs 3 jugadores. Soporta el manejo de tres roles básicos que son el de arquero, defensa y delantero. Sin embargo, sólo se puede asignar cada rol una vez, por eso no lo soporta para el equipo completo que sería de cuatro jugadores. En un partido de 3 Vs 3 exis-

ten algunas jugadas básicas como pase entre el arquero, el defensa y el delantero o pase entre el defensa y el delantero para poder disparar al arco.

2.4.2 CMurfs (Carnegie Mellon) USA

CMurfs es un equipo nuevo en la categoría ya que está participando desde el año 2010. Este equipo ha sido modificado por investigadores, estudiantes de maestría y estudiantes de pregrado de la universidad de Carnegie Mellon. Según Liemhetcharat, (Liemhetcharat, Coltin, Tay, & Veloso, 2011) CMurfs cuenta con un sistema de comportamientos que le permite a los agentes actuar según la percepción del mundo que adquieren a través de los sensores de visión. En este sistema se tienen modelados tres roles que son utilizados en las competencias de fútbol robótico y son el rol de arquero, el rol de soporte y el rol de delantero. A continuación se presentan dos imágenes donde se describe el comportamiento de los roles de arquero y delantero:

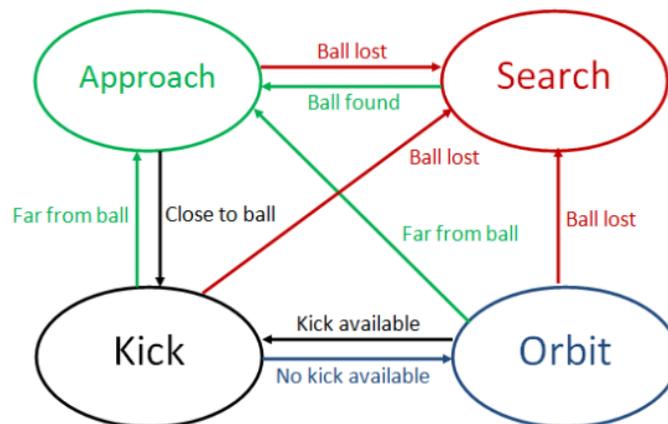


Ilustración 6: Comportamiento del Rol delantero. Tomado de (Liemhetcharat et al., 2011)

La ilustración anterior muestra el comportamiento del rol delantero. El comportamiento global del delantero se divide en cuatro estados que son los siguientes:

- En el estado de *Search* el agente busca la bola en todas las áreas que están dentro de su rango de visión. Si no encuentra la bola, el agente gira 360 grados para buscar la bola.
- En el estado de *Approach* el agente se acerca directamente a la bola evadiendo obstáculos si es necesario y cuando logra su objetivo cambia al estado de *Kick*.
- En el estado de *Kick* el agente escoge el tipo de patada que quiere hacer e intenta coordinar el movimiento de la pierna con respecto a la posición de la bola para poder patear adecuadamente.
- En el estado de *Orbit* el agente puede girar hasta encontrar un tipo de patada disponible y ejecutarla. Es decir si un robot intenta patear la bola pero la tiene a un lado, entonces debe girar hasta que la patada sea disponible y ahí si poder realizar esa acción.

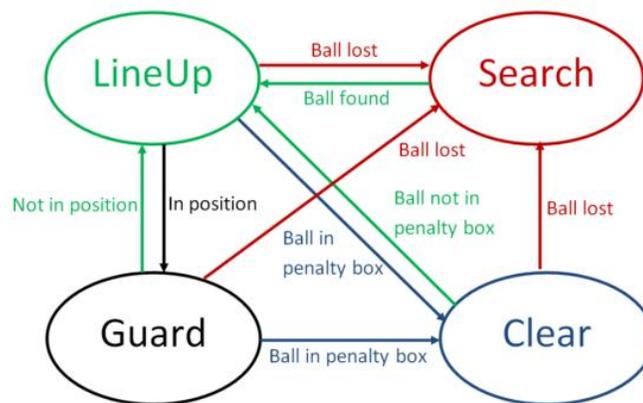


Ilustración 7: Comportamiento del rol Arquero. Tomado de (Liemhetcharat et al., 2011)

La ilustración anterior muestra el comportamiento del rol arquero. El comportamiento global del arquero se divide en cuatro estados que son los siguientes:

- En el estado de *LineUp* el agente se posiciona en un punto de la línea que existe entre la bola y el centro del arco.
- En el estado de *Guard* el agente abre un poco más la pierna para extender más su cuerpo y poder cubrir un poco más el arco.
- En el estado de *Search* el agente busca la bola en todas las áreas de la cancha para poderla ubicar.
- En el estado de *Clear* el agente se da cuenta que la bola esta dentro de la zona de penalti y se acerca a la bola y la despeja.

En cuanto al comportamiento del rol soporte, lo único que hace es buscar una posición entre la bola y el arco propio para ayudarlo a cubrir en caso de un ataque contrario.

2.5 Formaciones de fútbol robótico en Colombia

En Colombia desde hace algunos años se empezó a realizar investigaciones en el campo de fútbol robótico y más exactamente en la categoría SSL “*Small Size League*”. Hoy en día hay dos equipos de fútbol robótico que ya han participado en una copa mundial de RoboCup y en el LARC2010 “*Latin American RoboCup 2010*”.

2.5.1 STO’xs (Universidad Santo Tomás) Bogotá

Este equipo conocido como *STOx’s* (S. Rodríguez et al., 2010) tiene un modulo dentro de su arquitectura dedicado a la inteligencia artificial del equipo. El sistema de inteligencia artificial está dividido en tres partes fundamentales:

- Predicción de la posición de la bola: Este modulo es el encargado de analizar y recopilar los datos que el sistema de visión envía sobre la bola.

- Estrategia: Este modulo es el encargado de la asignación de roles a los agentes según el modelo del mundo. Además es el encargado de analizar todas las órdenes del RefereeBox para poder dar los pasos a seguir a todo el equipo.
- Agentes: Este modulo es el encargado de que los roles que fueron previamente asignados a los agentes sean ejecutados.

2.5.2 Bochica (Pontificia Universidad Javeriana) Bogotá

Este equipo conocido como *Bochica* (Gonzalez et al., 2011) ha desarrollado todo el modulo de software del equipo bajo un framework implementado también en la Pontificia Universidad Javeriana llamado BESA “*Behavior Event Social Agent*” (Gonzalez, Bustacara, & Avila, 2003) el cual es especializado en la programación de agentes en Java. Además se desarrollo una arquitectura de tres capas llamada MRCC “*Multi-Resolution Cooperative Control Agent Architecture*” (González et al., 2007). Las tres capas están organizadas por orden jerárquico. La capa más alta es la que tiene el control global sobre el sistema. La capa intermedia es la encargada de hacer las acciones *micro-sociales* entre los agentes y finalmente la capa inferior es la encargada de controlar a los agentes individualmente es decir se encarga de las acciones monoagentes.

En el año 2010 se modifico la arquitectura MRCC añadiéndole una capa intermedia llamada Capa de Formaciones (Plata & Castillo, 2010). Según Plata esta capa es necesaria dentro de la arquitectura para poder darle orden a las acciones micro-sociales entre agentes para que la capa superior pueda tomar decisiones de una manera más eficiente. En la capa de formaciones se definieron tres zonas de juego que son la zona de arquero, la zona defensiva y la zona ofensiva. Cada zona es responsable de asignar los roles a los agentes que están dentro de la misma y además es responsable por supervisar todo lo que ocurre dentro de ella con el fin de que puedan ocurrir negociaciones entre zonas. Una negociación entre zonas es la solicitud de un agente que una zona le hace a otra cuando se genera una necesidad en la zona que está haciendo la petición. Es decir que si una zona necesita un agente porque la cantidad jugadores

oponentes supera a la cantidad de jugadores locales, se puede producir el envío de un agente de una zona a otra. Enfocándose en los roles estructurantes, estos están conformados por un brain. El brain, es el conjunto de acciones que hacen parte del comportamiento que el rol debería tener siempre que este sea asignado. A continuación se describen los roles estructurantes existentes en la capa de formaciones de MRCC:

- *Arquero*: Para este rol se definió un brain el cual le indica al agente cuáles son sus acciones monoagentes cuando no está realizando alguna acción cooperativa. El objetivo principal de este rol es proteger el arco para que el equipo contrario no marque gol.

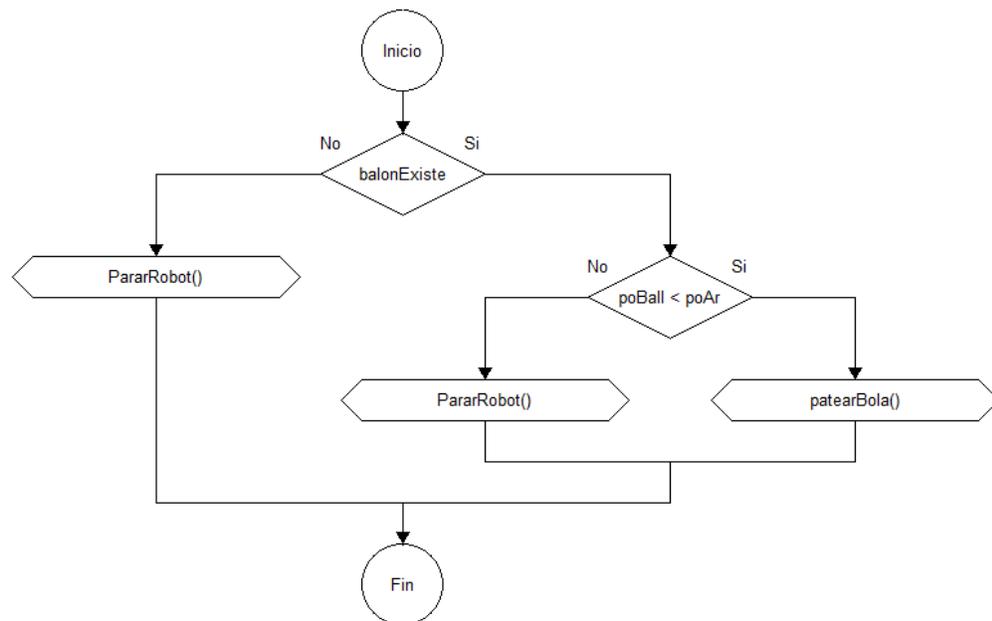


Ilustración 8: DFD del ActionDecision del rol de Arquero

La ilustración anterior muestra cómo estaba implementado el rol arquero y específicamente cómo tomaba decisiones. A continuación se describe paso a paso el ActionDecision del rol Arquero.

ActionDecision: Primero verifica si existe el balón y si eso ocurre le permite despejar el balón si la posición del balón se encuentra más cerca de la línea de

gol que la posición del agente arquero. Pero si no, si la posición del balón está más alejada de la línea de gol que la del agente arquero este se queda quieto. En caso de que el balón no exista el robot se queda quieto.

- *Defensa:* Para este rol se definió un brain el cual le indica al agente cuáles son sus acciones mono agentes cuando no está realizando alguna acción cooperativa. El primer objetivo fundamental de este rol es marcar a los rivales que estén atacando y no permitir que disparen al arco. El segundo objetivo fundamental de este rol es cubrir el lado que le corresponda de la zona defensiva ya sea el derecho o el izquierdo. Sin embargo y si la situación de juego lo amerita puede ir a marcar el lado contrario a su rol o puede ir a otra zona de la cancha sí se genera una negociación.

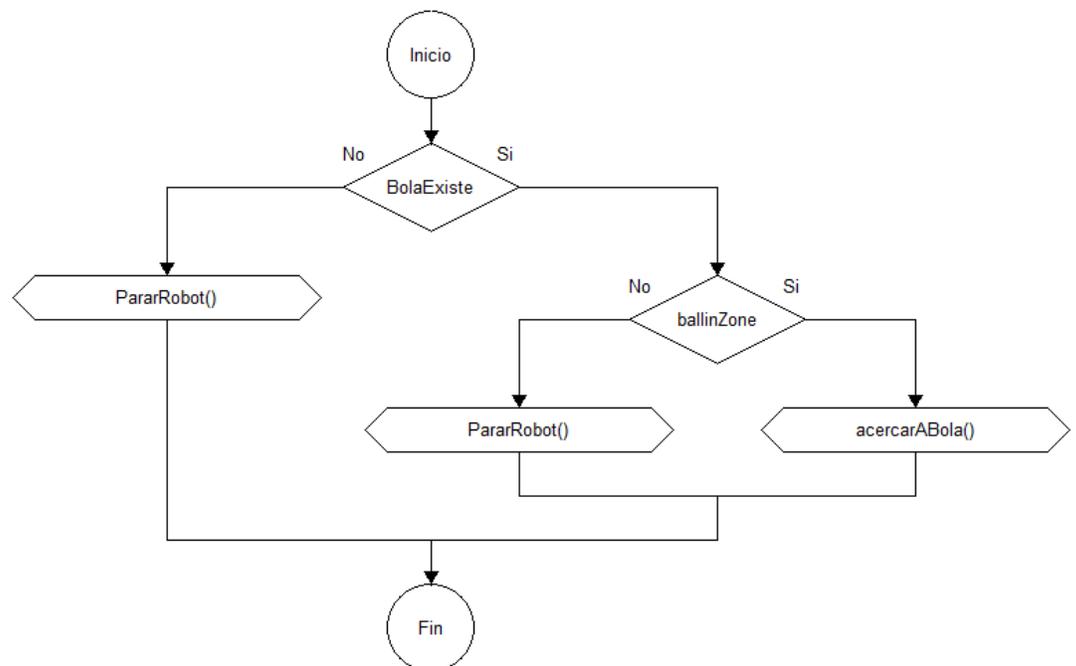


Ilustración 9: DFD del ActionDecision del rol Defensa

La ilustración anterior muestra como estaba implementado el rol Defensa y específicamente como tomaba decisiones. A continuación se describe paso a paso el ActionDecision del rol Defensa.

ActionDesicion: Se verifica si la bola existe y cuando efectivamente eso ocurre se verifica si la bola se encuentra en la zona defensiva o no. En caso de que la bola si se encuentre en la zona defensiva el agente intenta moverse hacia la bola para rechazarla pero no se encuentra implementado ese comportamiento. Por otra parte si la bola no está en la zona defensiva, el agente defensa se queda quieto. En caso de que la bola no exista para el agente defensa, este se queda quieto.

- **Delantero:** Para este rol se definió un brain el cual le indica al agente cuáles son sus acciones mono agentes cuando no está realizando alguna acción cooperativa. El primer objetivo fundamental de este rol disparar al arco contrario si es posible para poder anotar un gol. El segundo objetivo fundamental de este rol es cubrir el lado que le corresponda de la zona ofensiva ya sea el derecho o el izquierdo. Sin embargo y si la situación de juego lo amerita puede ir a marcar el lado contrario a su rol o puede ir a otra zona de la cancha si se genera una negociación.

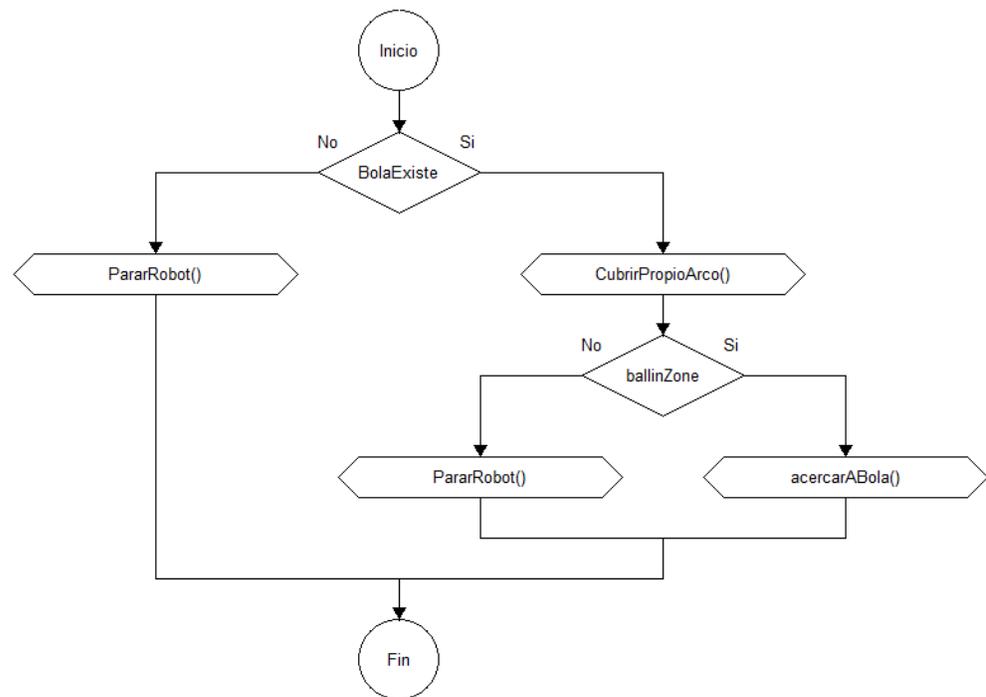


Ilustración 10: DFD del ActionDesicion del rol Delantero

La ilustración anterior muestra cómo estaba implementado el rol Delantero y específicamente como tomaba decisiones. A continuación se describe paso a paso el ActionDesicion del rol Delantero.

ActionDesicion: Se verifica si la bola existe y si efectivamente esto ocurre, el agente delantero cubre la línea entre el balón y el centro del arco propio para defenderlo. Además se verifica si el balón está en la zona de ataque y si efectivamente se encuentra en esa zona, el delantero intenta acercarse a la bola pero esta acción no está implementada. Por otra parte si el balón no se encuentra en la zona de ataque, el agente delantero se queda quieto.

- *Rol por defecto:*

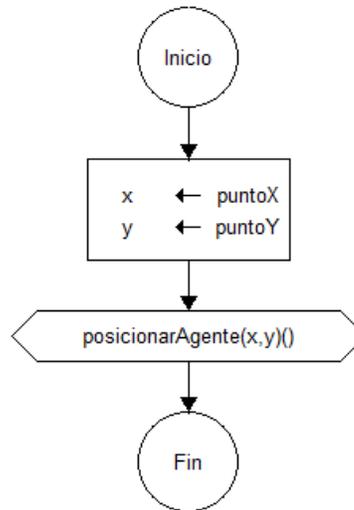


Ilustración 11: DFD del ActionDesicion del rol por defecto

La ilustración anterior muestra cómo estaba implementado el rol por Defecto y como se ubicaba en un punto específico. A continuación se describe paso a paso el ActionDesicion del rol por Defecto.

ActionDesicion: Basándose en los parámetros que son las coordenadas X y Y, ubica al agente correspondiente en el punto por defecto para cada zona.

- *Rol Cobrador:*

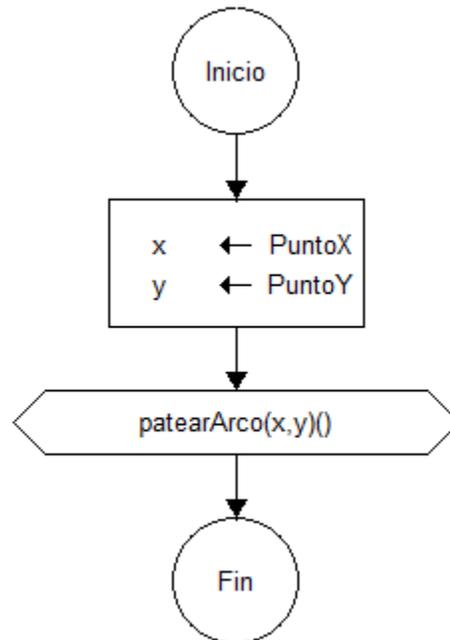


Ilustración 12: DFD del rol cobrador

La ilustración anterior muestra cómo el rol cobrador se encarga de activar la opción de disparar al arco en el agente que haya tomado esa decisión. Es decir cuando un agente quiera disparar al arco va a existir cambio de rol.

Estos roles descritos anteriormente hacen parte del estado en el que se encontró la capa de formaciones del equipo *Bochica* antes de comenzar el desarrollo del proyecto FODEFU.

III - DESARROLLO DE FODEFU

En esta sección se describe el proceso teórico y práctico que se utilizó para el diseño de las nuevas formaciones defensivas del equipo *Bochica*.

El proceso de creación de una formación consiste primero en crear zonas de juego para poder manejar los diferentes roles. Una zona de juego es una sección de la cancha, seleccionada para hacer alguna tarea en específico. Una vez se crean las zonas de juego, se le dan objetivos a las zonas ya creadas como pueden ser mantener siempre un agente en la zona de arquero o siempre tener dos agentes en la zona, etc. Después de la asignación de objetivos se asignan los roles estructurantes dependiendo de la cantidad de agentes disponibles. Los roles estructurantes son roles especializados para cada zona de juego con los cuales se pueden desempeñar diferentes tareas, como por ejemplo defensa derecho o defensa izquierdo.

3.1 Zonas de juego

Antes de diseñar nuevas formaciones defensivas era necesario re diseñar los roles estructurantes ya que estos estaban limitados en sus funciones (ver sección 2.4.2 de este documento) y no se adaptaban al cambio de simulador que se realizó a comienzos de julio del 2011. Además de eso, también se rediseñaron dos de las tres zonas de juego con el fin de reducir las posibilidades de gol del equipo contrario. A continuación se visualiza cuál fue el cambio que se aplicó a las zonas. La zona ofensiva no sufrió cambios:



Ilustración 13: Cambio de zonas de juego

En la ilustración anterior se refleja el cambio que tuvieron las zonas de juego. En la imagen de la izquierda se muestra cómo eran las zonas de juego en la anterior versión de la capa de formaciones (Plata & Castillo, 2010). En la imagen de la derecha se puede ver el nuevo diseño que tiene la zona de arquero y la zona defensiva. Este cambio se debe a mejorar las funciones que debe tener un arquero como la de *Cierre* que consiste en acercarse a la bola y despejarla mientras esta se encuentre en la zona de arquero. En el caso de *Cierre*, la zona de arquero de la imagen de la izquierda se hace muy grande para cumplir esa función ya que si el arquero sale de su arco a una de las esquinas se van a aumentar enormemente las posibilidades de los rivales de hacer gol pues el arco quedaría solo.

3.1.1 Zona de Arquero

La nueva zona de arquero se redujo con el fin de no dejar espacios para que los delanteros oponentes marquen un gol. La reducción de tamaño de la zona fue en el eje Y de la cancha de juego.

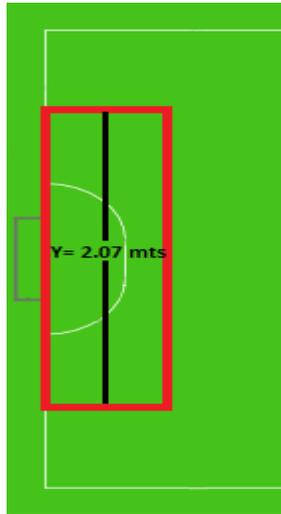


Ilustración 14: Medida Y de la nueva zona de arquero

3.1.2 Zona defensiva

La nueva zona defensiva abarca más espacio que en la versión anterior (Plata & Castillo, 2010) ya que también se encarga del espacio que se redujo en la zona de arquero. Esto con el fin de poder hacer marcajes en las esquinas para que el arquero no tenga que salir del arco.

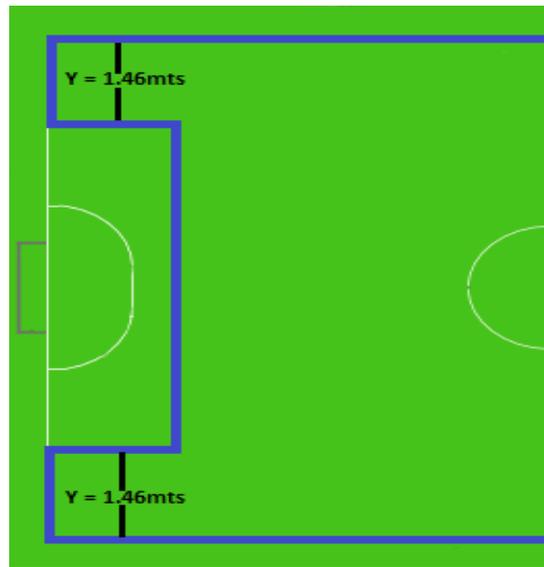


Ilustración 15: Medida en Y de la Zona Defensiva

3.2 Nuevos Roles

Para poder llevar a cabo el diseño de los nuevos roles estructurantes defensivos, se pensó que tareas deberían desempeñar para reducir las oportunidades de gol de los rivales. A continuación se describe el diseño de los nuevos roles defensivos incluyendo las nuevas funcionalidades:

3.2.1 Rol de Arquero

Para el nuevo rol estructurante se quería que nunca saliera de la zona de arquero. Esto con el fin de garantizar que la presencia del arquero en el arco va a reducir las posibilidades de gol del equipo contrario. Por otra parte se pensó en dos funciones vitales para el buen funcionamiento de este rol, el movimiento elástico y la acción de cierre.

Movimiento elástico: El movimiento elástico es un movimiento que realiza el agente dependiendo de la posición actual de la bola. Es decir, a medida que la bola se va acercando al arco, el arquero también lo hace pero a una velocidad

más baja lo cual reduciría el ángulo de disparo. A continuación se visualiza cómo a medida que la bola cambia de posición, el arquero también lo hace dentro de la zona de arquero.

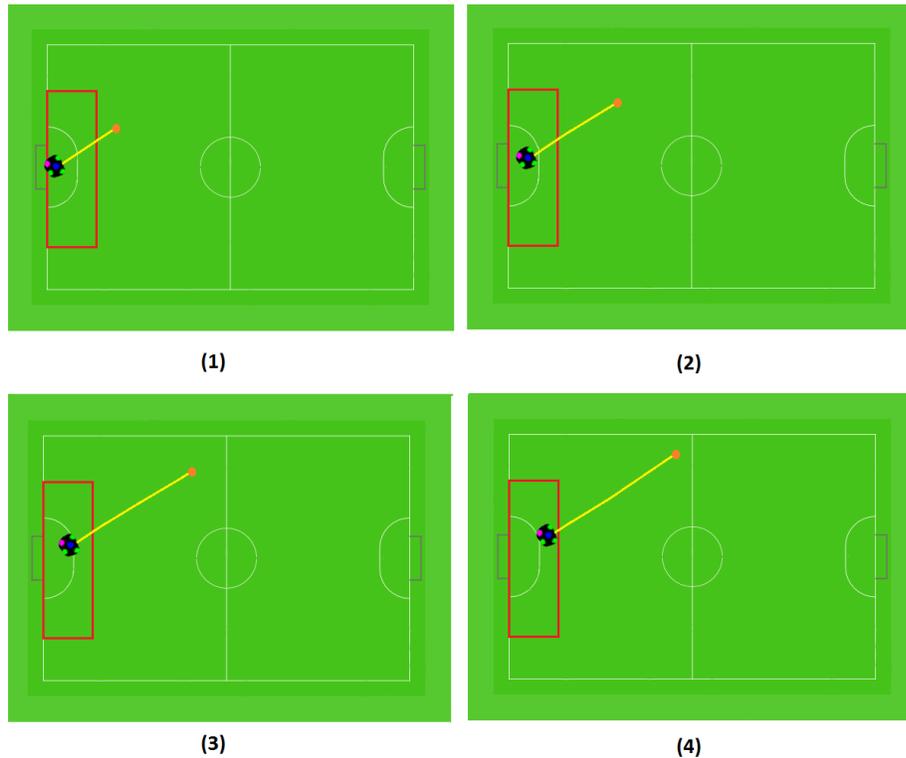


Ilustración 16: Movimiento elástico del arquero

La ilustración anterior tiene una secuencia en la cual la bola se va alejando del arco. En este caso el movimiento que realiza el arquero es salir de su arco teniendo como límite donde finaliza la zona de arquero.

Cierre: La acción de cierre consiste en salir del arco en busca de la bola y rechazarla hacia el arco contrario cuando la bola entra en la zona de arquero. Apenas la bola vuelve a salir de la zona de arquero, el agente vuelve a su función de movimiento elástico con respecto a la bola.

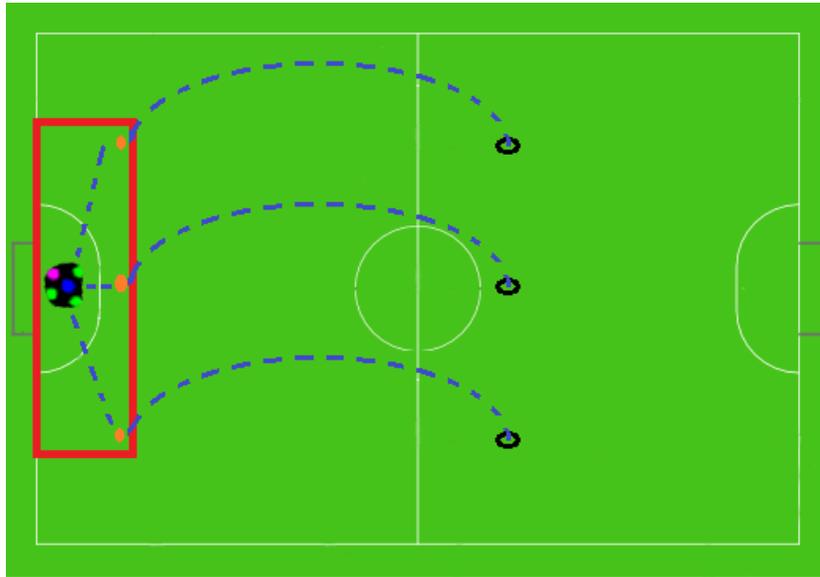


Ilustración 17: Movimiento de cierre del arquero

En la ilustración anterior se muestran algunos movimientos que puede realizar el arquero con la acción de *Cierre*. En caso de que la bola entre por los costados, el arquero se posiciona en un punto apropiado para poder despejar el balón hacia el arco contrario.

3.2.2 Rol de Defensa

Para el nuevo rol estructurante se quería que pudiera cerrar el ángulo de disparo de los rivales posicionándose entre la línea que existe entre el centro del arco y la bola es decir tener *movimiento elástico*. Además de eso, si hay delanteros oponentes que no tienen el balón en su poder también tienen la habilidad de *Marcaje*. El marcaje se realiza agente contra agente.

Movimiento elástico: El movimiento elástico que realiza el defensa es parecido al del arquero con la diferencia que el defensa no retrocede hasta el límite de la zona cuando el balón está cerca sino que se queda más cerca del balón

para poder cerrar el ángulo de disparo y para llegar fácil a otra posición en caso de que los oponentes realicen un pase.

Marcaje: El movimiento de marcaje que realiza el defensa consiste en estar cerca del oponente que no tiene el balón para reducir las posibilidades de éxito de un pase entre los oponentes. Esto obligaría a que los oponentes sumaran más miembros en el ataque para poder romper la defensa.

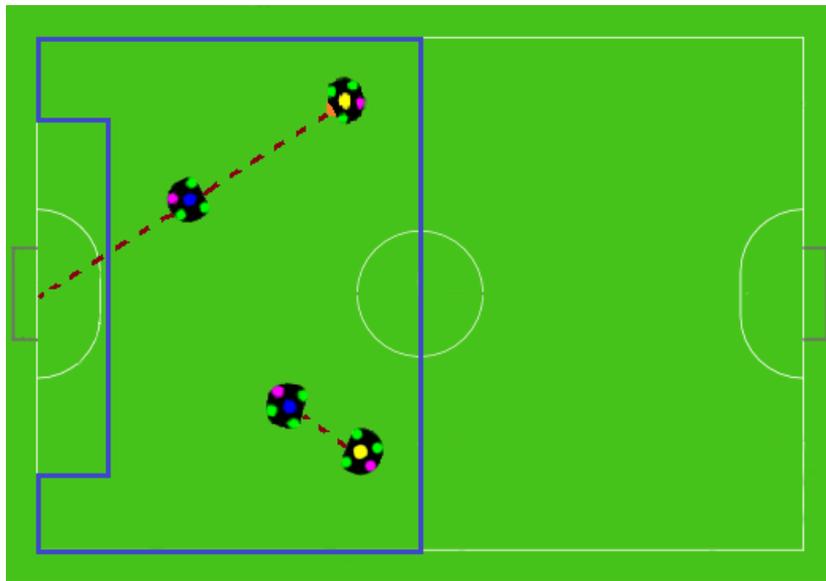


Ilustración 18: Movimiento elástico y Marcaje de Defensas

En la ilustración anterior se muestran las dos funciones defensivas que tiene el rol de defensa. En la parte de arriba de la imagen se ve el movimiento elástico del defensa para cerrar el ángulo de disparo del oponente que tiene la bola. En la parte de debajo de la imagen se ve la acción de *Marcaje* que realiza un defensa sobre un oponente que no posee la bola.

Luego de rediseñar los roles estructurantes, se necesitaba darles orden a la hora de estar juntos en la cancha. Por eso se propuso una nueva formación defensiva escalable la cual esta descrita en la siguiente sección.

3.3 Formaciones defensivas

Teniendo en cuenta la nueva implementación de los roles, las necesidades y las limitaciones que tiene el equipo *Bochica* a la hora de jugar un partido, se estructuró una nueva formación estándar escalable a otras formaciones con diferente cantidad de agentes con el fin de reducir las posibilidades de marcar gol del equipo rival. Para lograr esto se mejoró el movimiento elástico de cada rol y la función de marcaje de los defensas.

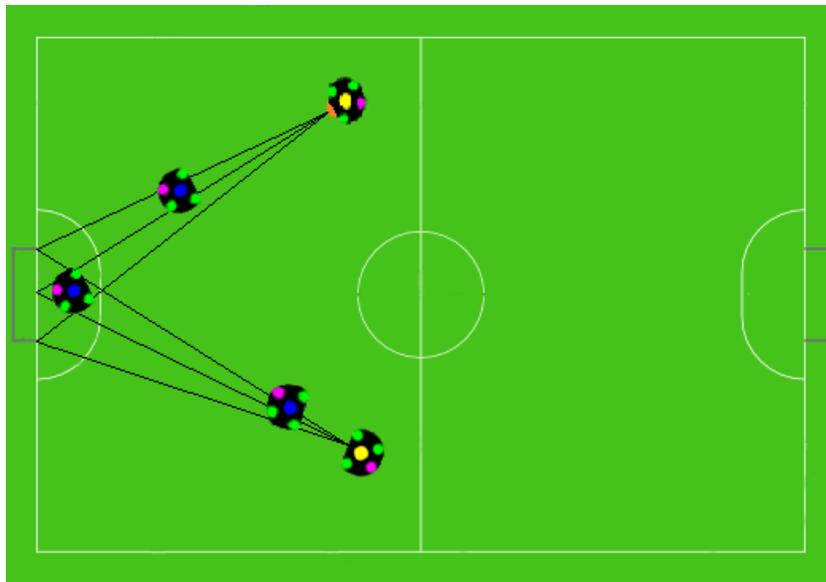


Ilustración 19: Formación defensiva con mejora de movimientos

En la ilustración anterior se muestra la nueva formación propuesta en la cual la zona de arquero tiene un agente y la zona defensiva tiene dos agentes. Es decir que la formación defensiva es 1-2. Además se puede observar que el movimiento elástico de los defensas y del arquero cambio con respecto a la posición que ocupaban anterior-

mente. Este cambio se debe a que ya no es necesario que ambos estén en la mitad de la línea que forma la bola con el centro del arco porque se desperdiciaría un agente ya que ambos están haciendo lo mismo. Por eso se realizó una modificación a la posición en la que se deben ubicar los agentes la cual esta descrita en la siguiente ilustración cuando hacen el movimiento elástico y es que el defensa que está cubriendo al oponente que tiene la bola, debe posicionarse en T1 para cubrir esa mitad del arco. El arquero por consiguiente, debe posicionarse en T2 para cubrir la otra mitad del arco y evitar que marquen gol. Por otra parte, el defensa que está marcando al oponente que no tiene el balón en su poder debe posicionarse en T3 para estar más cerca al balón que el oponente que está marcando pero a la vez cerrando el ángulo de disparo en caso eventual de un pase.

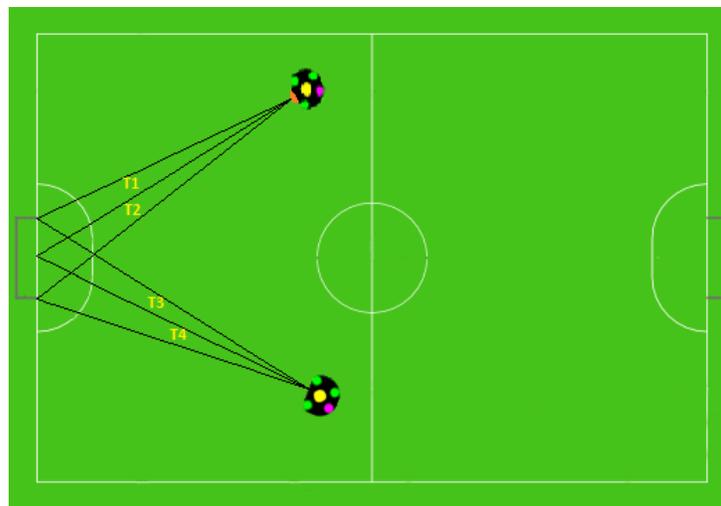


Ilustración 20: Zonas de movimiento elástico y marcaje

Adicional a los movimientos anteriormente descritos se implemento una negociación entre las zonas ofensiva y defensiva para poder tener más de dos defensas si la situación lo ameritaba.

3.3.1 Formación con negociación

Esta formación es escalable a tres defensores, en caso de que existan más de dos oponentes contrarios en el área defensiva. Esta adición que se le hizo a la formación permite hacer relevo de posiciones para cerrar los ángulos de disparo de los oponentes.

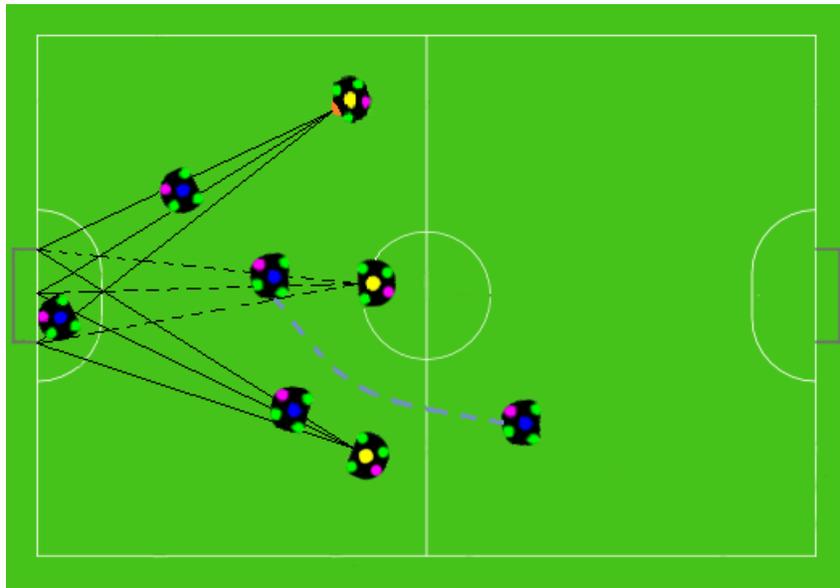


Ilustración 21: Formación con negociación entre zonas

En la ilustración anterior se muestra cómo la zona ofensiva le cede un agente a la zona defensiva al existir la necesidad de tener una defensa más. Además de cederle un agente a la zona defensiva, este adquiere el rol estructurante de defensa y puede realizar la acción de marcaje con el oponente que está sin balón y sin marca para seguir cumpliendo los mismos principios de la formación.

3.3.2 Posibles formaciones

En el proceso de implementación se planteó la posibilidad de que esta formación no fuera única sino que también pudiera ser modificada según la situación de juego. A continuación se presentan dos posibles formaciones que cumplen los mismos principios de protección del arco:

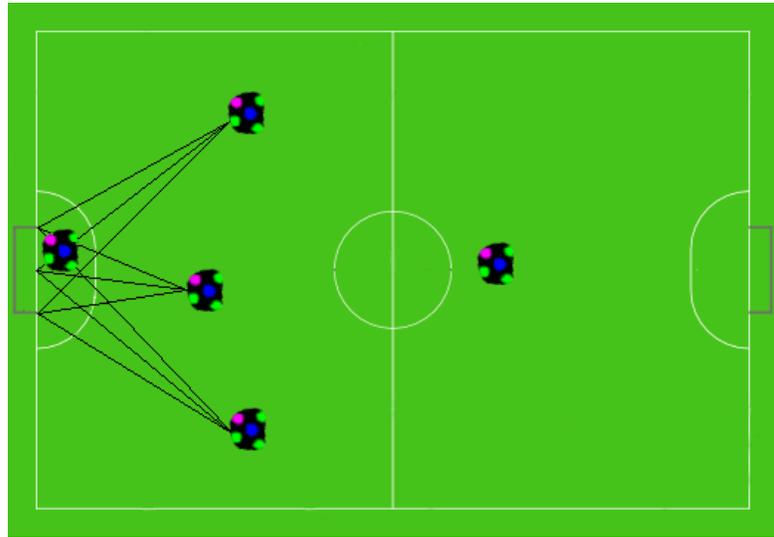


Ilustración 22: Formación 1-3-1

La ilustración anterior muestra una de las formaciones más defensivas que se puede usar. El comportamiento de esta formación se concentra en no recibir goles por lo que quedan casi nulas las opciones de ataque.

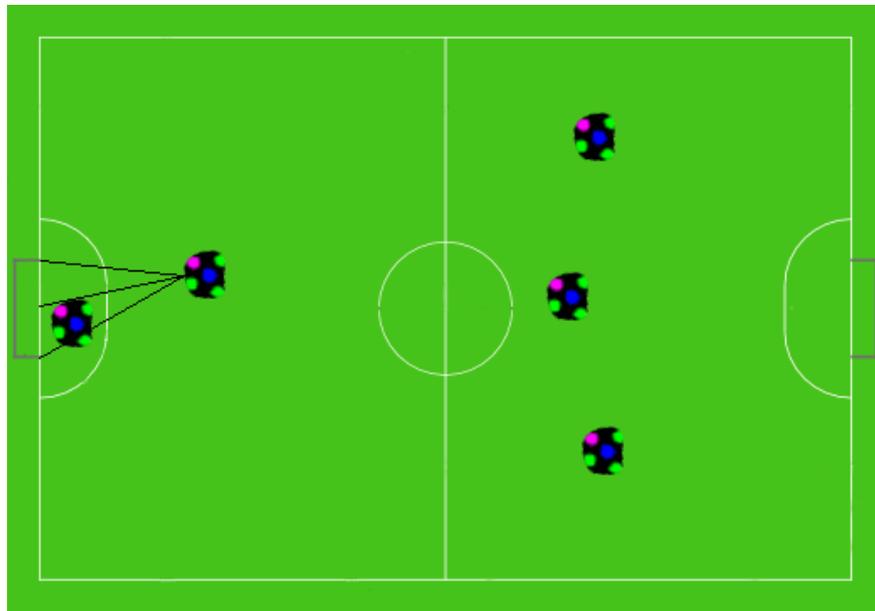


Ilustración 23: Formación 1-1-3

En la ilustración anterior se muestra una posible formación que solo cuenta con un defensa en zona y sigue cumpliendo los mismos principios de protección del arco. Esta formación al contrario de la anterior es muy ofensiva y pretende buscar anotar un gol más que defender el propio arco.

3.4 Implementaciones extras

Para realizar el rediseño de los roles estructurantes y la implementación de las nuevas formaciones defensivas, se necesitó implementar algunas funciones que facilitaran el manejo de los límites de las zonas por parte de los agentes jugadores y que permitieran los cálculos necesarios para poder proteger el arco de la forma explicada en el numeral anterior. En esta sección se mencionan esas funciones y que tarea cumplen.

isGoalKeeperAgentInTheStructuralZone(): Esta función se encarga de verificar si el arquero se encuentra dentro de la zona de arquero. Se usaron los parámetros para la zona de arquero previamente definidos en la sección anterior.

isDefenseAgentInTheStructuralZone(): Esta función se encarga de verificar si el defensa se encuentra dentro de la zona defensiva. Se usaron los parámetros para la zona de arquero previamente definidos en la sección anterior.

isFowardInTheStructuralZone(): Esta función se encarga de verificar si el delantero se encuentra dentro de la zona delantera. Para esta función se usaron los parámetros definidos en la versión anterior del sistema (Plata & Castillo, 2010).

isOponentAgentInTheDefenseStructuralZone(): Esta función se encarga de verificar si hay algún oponente en la zona defensiva. Esto con el fin de saber si la zona está equilibrada en cuanto a cantidad de defensores y oponentes.

protectPointOfOwnArcWithoutBall(): Esta función se encarga de realizar la acción de *Marcaje* que tiene el rol defensa. Verifica si hay algún oponente sin marca y si existe se acerca para marcarlo.

protectPointOfOwnArcFoward(): Esta función se encarga de que los delanteros tengan movimiento elástico cubriendo el arco desde la zona delantera cuando el equipo no tiene el balón en su poder.

isBallOnGoalKeeperZone(): Esta función se encarga de verificar si el agente está en la zona de arquero con el fin de que el arquero pueda salir a ejecutar la función de *Cierre*.

isBallOnDefenseZone(): Esta función se encarga de verificar si la bola está dentro de la zona defensiva para activar las funciones de marca de los defensas.

whoIsTheClossestDefense(): Esta función se encarga de devolver el id del agente que está más cerca a la bola con el fin de que este no realice la función de *Marcaje* sino el *movimiento elástico*.

howManyOponentsInDefenseZone(): Esta función se encarga de contar cuantos oponentes hay en la zona defensiva con el fin de que la zona siempre este equilibrada. Si no está equilibrada pide un defensa extra a una zona adyacente.

IsOponentInDefenseAreaAlone(): Esta función se encarga de verificar si hay un oponente en la zona defensiva sin marcaje de algún defensa.

howManyFowardsInOffenseZone(): Esta función retorna cuantos compañeros de equipo están en la zona delantera.

whoIsTheClossestFoward(): Esta función se encarga de retornar el id del agente que está más cerca a la bola en la zona ofensiva.

isBallOnOffenseZone(): Esta función se encarga de verificar si la bola se encuentra dentro de la zona ofensiva.

IV Post-Mortem

Esta sección presenta un post-mortem del Trabajo de Grado en donde se realiza una comparación entre lo escrito en la propuesta vs la realidad.

4.1 Metodología propuesta vs. Metodología realmente utilizada

4.1.1 Fase documental (estado del arte)

En esta fase se siguió la metodología propuesta paso a paso. No hubo ningún cambio en la metodología por el contrario fue adecuada para realizar el marco teórico.

4.1.2 Fase de identificación y generalización

En esta fase se modificó la metodología debido a los problemas que se encontraron en el código del proyecto. Como no existían formaciones defensivas existentes, se optó por arreglar los errores ya existentes y rediseñar e implementar de nuevo los roles estructurantes defensivos.

4.1.3 Fase de análisis y diseño

En esta fase se modificó la metodología de manera que se tuvieron en cuenta las fallencias de los roles estructurantes existentes y de las zonas de juego existentes para poder diseñar los nuevos roles estructurantes y poder parametrizar las nuevas zonas de juego.

4.1.4 Fase de implementación

En esta fase la metodología se siguió paso a paso. El proceso de identificación de las clases y paquetes a utilizar en el proceso de implementación de las nuevas formaciones fue sencillo. Sin embargo se encontraron algunos problemas en la implementación debido a que otras partes de código ajenas a las formaciones estaban fallando.

4.1.5 Fase de Pruebas

En esta fase la metodología fue modificada para que no solo se analizara el comportamiento de las formaciones defensivas sino también el de los roles estructurantes ya que se volvieron a implementar. Adicionalmente se incluyó pruebas para probar la negociación entre zonas con el fin de verificar el relevo de posiciones.

4.2 Actividades propuestas vs. Actividades realizadas.

4.2.1 Fase documental (estado del arte)

De las tres actividades propuestas, la segunda tuvo algunas complicaciones ya que no se encontraba mucha información que fuera relevante para el marco teórico. Para eso se tuvo que realizar una búsqueda más a profundidad para lograr identificar información que fuera verdaderamente importante.

4.2.2 Fase de identificación y generalización

De las tres actividades propuestas no se pudo realizar ninguna ya que no se contaba con formaciones defensivas existentes. Para solucionar ese percance se realizaron las siguientes actividades:

- Identificar los roles estructurantes existentes.
- Identificar las zonas de juego existentes.

4.2.3 Fase de análisis y diseño

De las tres actividades propuestas solo la primera no se pudo realizar ya que no se tenían formaciones defensivas existentes. Para solucionar ese percance se realizó la siguiente actividad:

- Diseñar las nuevas zonas y los nuevos roles estructurantes defensivos.

Con esta actividad se pudo encontrar solución a las falencias que presentaba el sistema y se pudo diseñar una formación escalable a cualquier formación defensiva para proteger el arco.

4.2.4 Fase de implementación

La actividad propuesta se realizó como se tenía planeado. Sin embargo, en esta fase se corrigieron todos los errores ajenos a la implementación de las formaciones pero que de una u otra manera afectaban su correcto funcionamiento.

4.2.5 Fase de Pruebas

Las tres actividades propuestas se realizaron paso a paso según lo propuesto. No solo está el análisis comparativo entre las formaciones defensivas sino también el análisis entre los roles estructurantes nuevos y los que existían apenas se empezó el proyecto.

4.3 Efectividad en la estimación de tiempos del proyecto

La estimación propuesta era la siguiente:

Id	Actividades	Duración en horas																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Organizar la base de datos bibliografica apropiada para el trabajo de grado.	16	■																		
2	Identificar la bibliografía más relevante para mi trabajo de grado.	16		■																	
3	Escribir el marco teórico.	48			■	■	■														
4	Realizar pruebas de las formaciones defensivas existentes.	16					■	■													
5	Clasificar las formaciones defensivas existentes de la más efectiva a la menos efectiva en cuanto a goles recibidos.	16					■	■													
6	Realizar un análisis estadístico donde se muestre el comportamiento y la eficiencia de cada formación durante el proceso de pruebas.	32							■	■											
7	Analizar las falencias que tienen las formaciones existentes a partir del análisis estadístico.	5									■										
8	Proponer soluciones para las falencias encontradas.	15									■	■	■								
9	Diseñar nuevas formaciones defensivas que incluyan no solo las soluciones propuestas para las falencias encontradas sino también que permitan a los robots realizar relevos de posiciones.	50										■	■	■	■						
10	Realizar la implementación de las nuevas formaciones defensivas.	32													■	■					
11	Realizar pruebas de las nuevas formaciones defensivas.	40															■	■			
12	Realizar un análisis comparativo entre los resultados de las formaciones nuevas con los resultados de las formaciones viejas.	50																■	■	■	
		336																			

Ilustración 24: Estimación de tiempo del proyecto antes de empezarlo

Debido al cambio de actividades y de metodologías por los problemas encontrados en el código, la estimación de tiempo real aumento en 95 horas ya que estos cambios no estaban contemplados en el plan de mitigación de riesgos y para poder solucionarlos se requirió de un estudio más a fondo de todo el proyecto. La nueva estimación de tiempo con todos los percances ocurridos durante el desarrollo del trabajo de grado fue la siguiente:

Id	Actividades	Duración en horas																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Organizar la base de datos bibliografica apropiada para el trabajo de grado.	32	█	█																	
2	Identificar la bibliografía más relevante para mi trabajo de grado.	40		█	█	█															
3	Escribir el marco teórico.	60			█	█	█	█													
4	Identificar los roles estructurantes existentes	32						█	█												
5	Identificar las zonas de juego existentes	16								█											
6	Analizar las falencias que tienen las formaciones existentes.	32									█	█									
7	Proponer soluciones para las falencias encontradas.	15										█	█								
8	Diseñar nuevas formaciones defensivas que incluyan no solo las soluciones propuestas para las falencias encontradas sino también que permitan a los robots realizar relevos de posiciones.	50											█	█	█						
9	Realizar la implementación de las nuevas formaciones defensivas.	32															█	█			
10	Realizar el protocolo de pruebas experimental	32																█	█		
11	Realizar pruebas de las nuevas formaciones defensivas.	40																	█	█	
12	Realizar un análisis comparativo entre los resultados de las formaciones nuevas con los resultados de las formaciones viejas.	50																		█	
		431																			

Ilustración 25: Estimación de tiempo real al finalizar el trabajo de grado

4.4 Costo estimado vs. Costo real del proyecto

La estimación de presupuesto planeada para el buen desarrollo del proyecto FODEFU fue:

4.2. Tabla Presupuesto Global por Fuentes de Financiación (miles de pesos)			
FODEFU: Formaciones Defensivas para Fútbol Robótico.			
Rubros			Total
	PUJ	Télez	
3. Personal	535.600,0	2.060.000,0	2.595.600,0
4. Equipo	5.000.000,0	0,0	5.000.000,0
5. Uso de Equipo propio.	720.000,0	720.000,0	1.440.000,0
6. Software	912.172,0	0,0	912.172,0
9. Gastos Operacionales	0,0	950.000,0	950.000,0
8. Salidas de Campo	0,0	0,0	0,0
11. Material Bibliográfico	0,0	0,0	0,0
Publicaciones y Patentes	0,0	0,0	0,0
10. Servicios técnicos	0,0	0,0	0,0
7. Viajes	0,0	0,0	0,0
Administración	0,0	0,0	0,0
Evaluación y seguimiento	0,0	0,0	0,0
Total	7.167.772,0	3.730.000,0	10.897.772,0
% sobre el Total	65,8%	34,2%	100,0%

Ilustración 26: Estimación de presupuesto para el proyecto FODEFU

Por el cambio en el cronograma se incurrieron en algunos gastos extras que tienen que ver con transporte en taxi con recargo nocturno y con alimentación en la Universidad también en horas nocturnas. El aumento en el presupuesto fue de \$900.000 y se puede visualizar a continuación:

4.2. Tabla Presupuesto Global por Fuentes de Financiación (miles de pesos)			
FODEFU: Formaciones Defensivas para Fútbol Robótico.			
Rubros			Total
	PUJ	Téllez	
3. Personal	535.600,0	2.060.000,0	2.595.600,0
4. Equipo	5.000.000,0	0,0	5.000.000,0
5. Uso de Equipo propio.	720.000,0	720.000,0	1.440.000,0
6. Software	912.172,0	0,0	912.172,0
9. Gastos Operacionales	0,0	1.850.000,0	1.850.000,0
8. Salidas de Campo	0,0	0,0	0,0
11. Material Bibliográfico	0,0	0,0	0,0
Publicaciones y Patentes	0,0	0,0	0,0
10. Servicios técnicos	0,0	0,0	0,0
7. Viajes	0,0	0,0	0,0
Administración	0,0	0,0	0,0
Evaluación y seguimiento	0,0	0,0	0,0
Total	7.167.772,0	4.630.000,0	11.797.772,0
% sobre el Total	60,8%	39,2%	100,0%

Ilustración 27: Presupuesto real para el proyecto FODEFU

4.5 Efectividad en la estimación y mitigación de los riesgos del proyecto.

En el desarrollo del proyecto FODEFU se encontraron algunos riesgos que no se contemplaron en el plan de mitigación de riesgos propuesto.

- Falencias en el código al iniciar el proyecto:
Se procedió a invertir más tiempo de lo planeado para iniciar con la identificación de los roles para poder solucionar estos errores y empezar con la fase correspondiente.
- No existían formaciones defensivas:
Se procedió a analizar el estado completo del equipo antes de empezar el proyecto para identificar desde donde era necesario comenzar. Se empezó por identificar y generalizar los roles estructurantes existentes.
- Errores en el código ajenos a la implementación de las formaciones:
Se invirtió mucho más tiempo de lo planeado para la implementación con el fin de poder solucionar todos estos percances y dejar en un buen estado el software de *Bochica*.

V – CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**Conclusiones**

- Se puede concluir del protocolo de pruebas que la diferencia entre la nueva versión de los roles estructurantes y la versión antigua (Plata & Castillo, 2010), radica en que se mejoró la toma de decisiones por parte de los agentes ya que los nuevos roles siempre pueden regresar a su punto base sí la bola sale del campo o si ocurre algún evento excepcional como una falta o un penalti. Adicionalmente quedó demostrado por medio de las pruebas que las posiciones de los nuevos roles siempre eran de protección del arco, es decir que siempre estaban entre los oponentes y el arco o entre la bola y el arco.
- Las nuevas funciones de verificación de zona permiten que los agentes tengan conciencia de que deben volver a su punto base cuando la bola sale del campo y específicamente qué acciones pueden realizar en cada zona.
- La formación propuesta e implementada permite mantener un comportamiento ordenado dentro del terreno de juego lo cual hace que la toma de decisiones por parte del coach o sistema, sea fácil y eficiente para que puedan tener más éxito las jugadas.
- El concepto de cierre en el arquero y el de marcaje en triangulación de los defensas, los cuales fueron implementados, reducen las posibilidades de gol terrestres de los equipos contrarios ya que la triangulación cierra totalmente los ángulos de disparo a los oponentes y en caso dado que superen a un defensa es porque entraron a la zona de arquero donde el arquero activa su función de cierre para aplacar la oportunidad de gol. Además, el mecanismo de negociación permite que lleguen más defensas si se necesitan en menos de dos segundos lo cual es muy efectivo evitar que disparen al arco.

Recomendaciones y Trabajos Futuros

Con el desarrollo del proyecto FODEFU se mejoró la capa de formaciones en cuanto a las zonas de arquero y defensiva. Las mejoras a nivel defensivo en el fútbol robótico no son muy trabajadas ya que estas consisten en realizar acciones conjuntas sin tener la posesión de la bola. Es decir poder proteger el arco mientras el rival tiene la bola en su poder. Para complementar las mejoras que se hicieron en defensa para el equipo *BOCHICA*, se debe investigar en cómo mejorar la zona ofensiva del equipo. Esto implica que los defensas se puedan sincronizar con los delanteros y que los delanteros puedan realizar jugadas de gol efectivas.

En el futuro también se podría realizar todo un trabajo de documentación de la arquitectura MRCC (González et al., 2007) con el fin de que las personas que entren a ser parte del proyecto se les facilite familiarizarse con el código y no tengan demoras en cumplir sus objetivos por entender toda la arquitectura.

Por otra parte sería una buena práctica para las personas interesadas en el proyecto que antes de iniciar algún tipo de investigación con *BOCHICA* se familiaricen con el paradigma de agentes y sistemas multiagentes. Esto con el fin de que el trabajo de diseño e implementación sea más fácil.

En cuanto a la capa superior de MRCC (González et al., 2007), se necesita una implementación robusta para que se pueda hacer un correcto uso de las formaciones según el modelo del mundo y se pueda responder rápidamente ante cualquier evento que ocurra durante un partido ya sea una falta, un penalti, etc.

Los roles excepción son roles que se usan cuando ocurre alguna situación excepcional en un partido. Es decir cuando ocurre una falta, un penalti, un tiro de esquina, un saque de banda, etc. Se deben mejorar estos roles para poder plantear una mejor estruc-

tura en las formaciones globales del equipo y así estar más cerca de cumplir el objetivo global de ganar un partido de fútbol.

VI – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aldebaran Robotics. (2011). Aldebaran Robotics - NAO. Retrieved November 25, 2011, from <http://www.aldebaran-robotics.com/>
- Bader, M., Hofmann, A., Knoop, J., Miller, B., Schreiner, D., & Vincze, M. (2011). Austrian-Kangaroos 2011 Team Description Paper (TDP). *Applied Sciences*, 1-7.
- Baker, B. R., Reynolds, M., & Liu, W. (2006). Strategy specification for teamwork in robot soccer. *Proceedings of the 2006 international symposium on Practical cognitive agents and robots - PCAR '06*, 129. New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1232425.1232443
- Bowling, M. (2004). Plays as Effective Multiagent Plans Enabling Opponent-Adaptive Play Selection. *Science*.
- Bruce, J., Zickler, S., Licitra, M., & Veloso, M. (2008). CMDragons: Dynamic passing and strategy on a champion robot soccer team. *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4074-4079. Ieee. doi:10.1109/ROBOT.2008.4543837
- Candea, C. (2001). Coordination in multi-agent RoboCup teams. *Robotics and Autonomous Systems*, 36(2-3), 67-86. doi:10.1016/S0921-8890(01)00137-3
- Committee, R. T. (2011). RoboCup Standard Platform League (Nao) Rule Book.
- Gonzalez, E., Rosa, F. D., Miranda, A. S., Rodríguez, C. F., & Manrique, M. (2011). Bochica 2011 - Team Description Paper, 1-9.
- González, E., Perez, A., Cruz, J., & Bustacara, C. (2007). MRCC: A Multi-Resolution Cooperative Control Agent Architecture. *2007 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'07)*, 391-394. Ieee. doi:10.1109/IAT.2007.98
- Hiroaki Kitano, Monoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, Itsuki Noda, E. O. (n.d.). The Robot World Cup Initiative.pdf.
- Liemhetcharat, S. (2010). Mutual State-Based Capabilities for Role Assignment in Heterogeneous Teams. *Symposium A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures*.
- Liemhetcharat, S., Coltin, B., Tay, J., & Veloso, M. (2011). CMurfs ' 11 : Carnegie Mellon United Robots for Soccer. *Communication*.
- Ould-kbessal, N., Naing, M. Y., Sin, T. J., & Polytechnic, T. (2002). Cooperative Strategies in Robotic Soccer. *Most*, 240-245.

- Plata, S., & Castillo, D. (2010). Memoria TG.
- RoboCup. (2006). Small Size Robot League. Retrieved November 20, 2011, from <http://small-size.informatik.uni-bremen.de>
- RoboCup. (2011). RoboCup 2011 Istanbul - Turkey. Retrieved November 25, 2011, from <http://www.robocup2011.org/en/content.asp?PID={E63441CB-2AB3-4D4A-BB64-80198867E941}>
- Rodríguez, S., Rojas, E., Pico, M., Marín, S., Pérez, M. K., Ochoa, I., Gomez, A., et al. (2010). F180 STOX ' S ROBOT TEAM TDP UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO BOGOTÁ , COLOMBIA. *LARC 2010. Latin American RoboCup en Brasil*.
- Sharbafi, M. A., Azidehak, A., Hoshyari, M., & Bakhshandeh, O. (2011). MRL Extended Team Description 2011.
- Srisabye, J., Wasuntapichaikul, P., & Onman, C. (2009). Skuba 2009 Extended Team Description. *Electronics*.
- Stone, P., Moore, A. W., & Simon, H. A. (1998). Layered Learning in Multi-Agent Systems. *Science*.
- The, L. A. W., & Surface, F. (2011). Laws of the RoboCup Small Size League 2011 LAW 1 - The Field of Play. *Small*, 1-30.
- University, A. (2011). grSim- RoboCup Small Size Robot Soccer Simulator Parsian Robotic. Retrieved November 23, 2011, from <http://www.parsianrobotic.ir/grsim/>
- Wasuntapichaikul, P., Srisabye, J., & Sukvichai, K. (2010). Skuba 2010 Team Description. *Electrical Engineering*.
- E. González, C. Bustacara, J. Ávila, (2003) “BESA: Behavior Oriented, Event-driven and Social-based Agent Framework”. PDPTA '03.

VII - ANEXOS

Anexo 1. Protocolo experimental de pruebas

Introducción

En este documento se describe de forma concreta el protocolo de pruebas diseñado para los nuevos roles estructurantes y las nuevas formaciones defensivas que tiene el equipo de fútbol robótico de la Pontificia Universidad Javeriana “*Bochica*” (Gonzalez et al., 2011). Las pruebas que se describen en este documento tienen como objetivo medir en qué estado se encuentran los elementos a probar en ellas en el simulador “*grSim RoboCup Small Size Robot Soccer Simulator*”(A.University, 2011).

Los detalles de cómo se aplica este protocolo de pruebas y los resultados que estas pruebas arrojan pueden ser consultados en la memoria de trabajo de grado en la sección cuatro.

Niveles de pruebas

Para definir los niveles de pruebas es necesario tener en cuenta que se debe partir de las acciones por defecto que tiene cada rol estructurante como primer nivel de pruebas, hasta el comportamiento cooperativo de esos roles dentro de las zonas de arquero y defensiva como ultimo nivel de pruebas. Se escogieron los siguientes 3 niveles de pruebas secuenciales:

- **Nivel 1:** Pruebas unitarias de comparación entre los roles estructurantes propuestos y los roles estructurantes ya existentes.
- **Nivel 2:** Pruebas para comparar el comportamiento de los nuevos roles estructurantes defensivos en conjunto, contra los roles estructurantes defensivos existentes (Plata & Castillo, 2010).
- **Nivel 3:** Pruebas especializadas en el comportamiento de los roles estructurantes defensivos sometidos a partidos con negociación entre zonas y acciones coopera-

tivas. Estos partidos se realizarán contra los roles estructurantes defensivos de la versión anterior del proyecto.

Para todos los niveles de prueba se parte del hecho de que los nuevos roles estructurantes defensivos son mejores que los roles estructurantes defensivos de la versión anterior.

1.1 Nivel 1: Pruebas de comparación de roles estructurantes

En este nivel de pruebas se evaluarán y se compararán las acciones defensivas de los nuevos roles estructurantes con las de los roles estructurantes ya existentes (Plata & Castillo, 2010).

Para este nivel de pruebas se escogieron los siguientes roles: *Arquero* y *Defensa*. Las zonas involucradas en este nivel de pruebas son la zona de arquero y la zona defensiva.

1.1.1 Variables Independientes

- *Posición de la bola*: Se escogió esta variable ya que dependiendo de la posición de la bola es que el agente que está realizando el movimiento elástico actúa.
- *Posición de los rivales en la zona defensiva*: Se escogió esta variable ya que dependiendo de la posición de los robots contrarios en la zona defensiva, los agentes encargados de realizar el marcaje realizan diferentes movimientos elásticos.

1.1.2 Variables dependientes

- *La cantidad de veces que el robot se sale de la zona que maneja su respectivo rol*: Se escogió esta variable ya que el movimiento elástico de los

jugadores esta parametrizado dentro de la zona de juego a la que pertenece el agente en ese momento. Es decir, fuera de la zona a la que pertenece el agente no se puede realizar el movimiento elástico.

- *Posición final del agente*: Se escogió esta variable ya que la posición del agente que está realizando el movimiento elástico depende totalmente de la posición en la que se coloque la bola.

1.1.3 Variables intervinientes

- Con que situación se acaba una prueba:
 - El robot sale de la zona que le asigno el rol.
 - Se acaba el tiempo definido para cada prueba.

1.1.4 Prueba_Movimiento_Elastico_Arquero

Esta prueba consiste en colocar a los arqueros dentro de la zona de arquero para analizar las posiciones que ocupan en la cancha, cada vez que la bola cambia de posición en el campo de juego.

Se identificaron ocho posiciones estratégicas para colocar la bola dentro de la cancha. Lo cual indica el número de experimentos que se evaluarán.

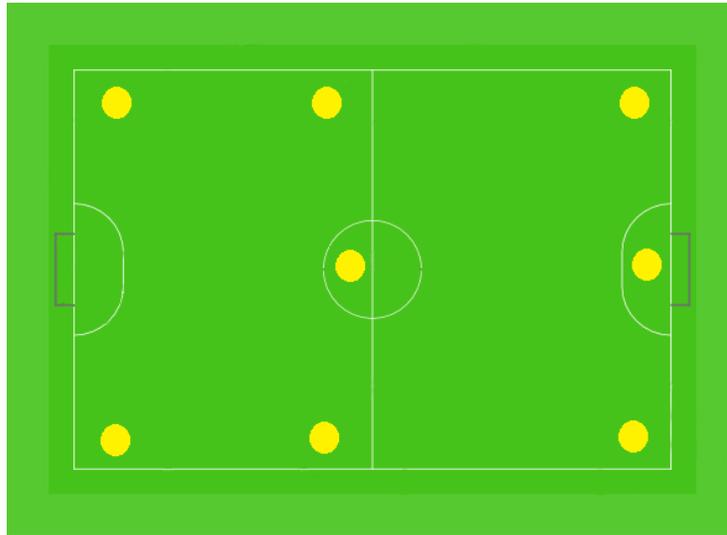


Ilustración 28: Posiciones de ubicación de la bola para Arquero

En la ilustración1 se muestran las 8 posiciones estratégicas identificadas para realizar la prueba del movimiento elástico del arquero. Se escogieron estas posiciones ya que no solo obliga al arquero a salir hasta el límite de la zona de arquero sino que también lo obliga a estar en la línea de gol que permitiría verificar si en los extremos si se está realizando bien el movimiento.

1.1.5 Prueba_Cierre_Arquero

Esta prueba consiste en colocar a los arqueros dentro de la zona de arquero para analizar el comportamiento que tienen cuando la bola ingresa a la zona de arquero. Esto con el fin de probar la habilidad de cierre que posee el arquero.

Se identificaron cinco posiciones estratégicas para posicionar la bola dentro de la cancha. Lo cual indica el número de experimentos que se evaluarán.

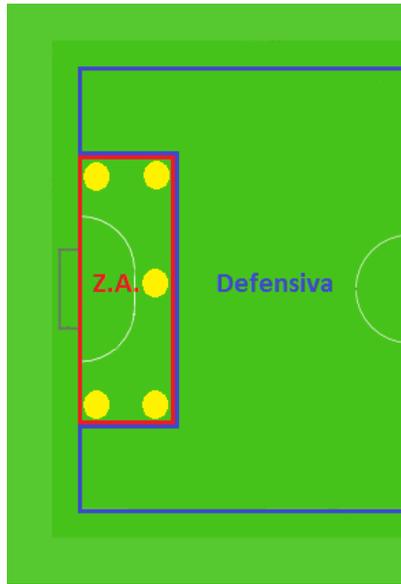


Ilustración 29: Posiciones de la bola para prueba de cierre Arquero

La ilustración 2 muestra las cinco posiciones estratégicas identificadas para realizar la prueba de cierre. Se escogieron estas cinco posiciones ya que son los extremos de la zona defensiva y obligarían al arquero a salir a los extremos para rechazar la bola. Es decir, se puede probar al máximo la habilidad del arquero.

1.1.6 Prueba_Movimiento Elastico_Defensa

Esta prueba consiste en colocar al defensa dentro de la zona defensiva para analizar las posiciones que ocupa en la cancha, cada vez que la bola cambia de posición en el campo de juego.

Se identificaron seis posiciones estratégicas para posicionar la bola dentro de la cancha. Lo cual indica el número de experimentos a ejecutar.



Ilustración 30: Posiciones de ubicación de la bola para Defensa

La ilustración3 muestra las seis posiciones identificadas para realizar la prueba del movimiento elástico del defensa. Se escogieron estas 6 posiciones ya que en estas, se obliga al defensa a estar en los extremos de la zona defensiva para probar plenamente el movimiento elástico.

1.1.7 Prueba_Marcaje_Defensa

Esta prueba consiste en colocar al defensa dentro de la zona defensiva para analizar las posiciones que ocupa en la cancha, cada vez que un delantero contrario entra a la zona defensiva con y sin la bola. Para esta prueba se va colocar un delantero contrario con el balón en su poder, dentro de la zona defensiva. De igual manera se repetirá el ejercicio pero sin el balón dentro del experimento. Solo el delantero contrario y el defensa.

Se identificaron tres coordenadas estratégicas de la cancha donde se puede ubicar el delantero contrario con y sin la bola para evaluar el marcaje del defensa. Este número nos indica la cantidad de experimentos a realizar.

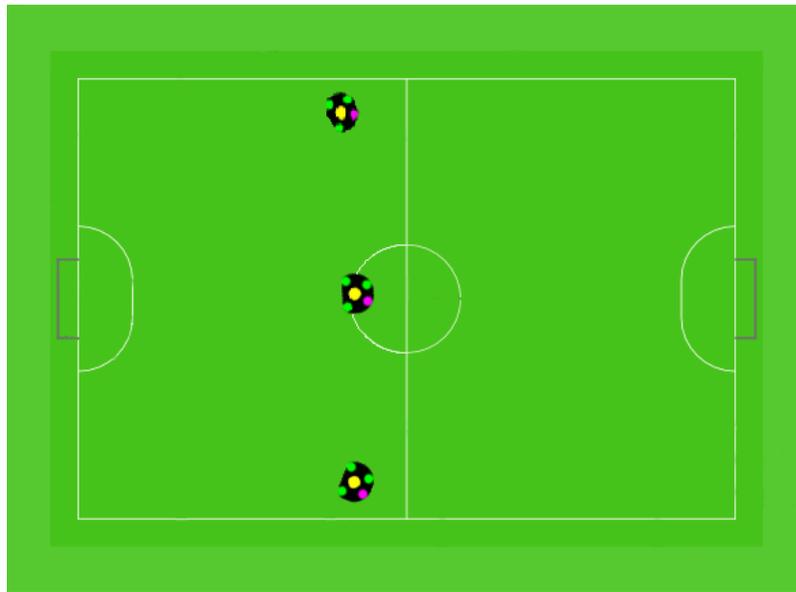


Ilustración 31: Posiciones de los contrarios para probar marcaje

La ilustración4 muestra las tres posiciones de los delanteros contrarios para probar el marcaje de los defensas. Se escogieron estas tres posiciones ya que cada una apunta un punto crítico del arco. Los puntos críticos del arco son los dos palos y el centro del arco. Como cada posición apunta a un punto crítico, se puede probar si verdaderamente el defensa realiza el marcaje correspondiente.

1.2 Nivel 2: Pruebas de roles defensivos en conjunto

En este nivel de pruebas se evalúan y se comparan las acciones defensivas de los nuevos roles estructurantes en conjunto, contra las de los roles estructurantes ya existentes (Plata & Castillo, 2010), también en conjunto incluyendo negociación entre zonas para poder pedir un agente extra si se necesita.

Para este nivel de pruebas se escogieron los siguientes roles: *Arquero* y *Defensa*. Sin embargo como se va a actuar conjuntamente también se escogieron los roles estructurantes del rol *Defensa* que son el *Defensa_Derecho* y *Defensa_Izquierdo*. Las zonas involucradas en este nivel de pruebas son la zona de arquero y la zona defensiva.

1.2.1 Variables independientes

- *Posición de la bola:* Se escogió esta variable ya que dependiendo de la posición de la bola es que los defensas y el arquero realizan la formación de marcaje.
- *Posición de los rivales en la zona defensiva:* Se escogió esta variable ya que dependiendo de la posición de los robots contrarios en la zona defensiva, los agentes encargados de realizar el marcaje realizan diferentes movimientos elásticos.
- *Cantidad de rivales en la zona defensiva:* Se escogió esta variable ya que dependiendo de la cantidad de robots contrarios en la zona defensiva, los agentes encargados de realizar el marcaje realizan diferentes movimientos elásticos inclusive pueden pedir apoyo en un delantero para que defienda.
- *Cantidad de tiempo que el simulador va a funcionar:* Se escogió esta variable ya que se va a dar un plazo de 20 segundos para que la delantera intente anotar un gol en el arco contrario.

1.2.2 Variables dependientes

- *La cantidad de veces que ingresa el balón a la zona del arquero:* Se escogió esta variable ya que si el balón entra a la zona de arquero quiere decir que los delanteros contrarios lograron pasar la línea defensiva.
- *Cantidad de goles anotados:* Se escogió esta variable ya que dependiendo de la cantidad de goles que le anoten a la defensa se puede intuir la efectividad de la defensa.

1.2.3 Variables intervinientes

- Con que situación se acaba una prueba:
 - El robot sale de la zona que le asigno el rol.
 - Se acaba el tiempo definido para cada prueba.

- La defensa recupera el balón.
- El balón sale del terreno de juego.

1.2.4 Prueba 2defensas_2delanteros

Esta prueba consiste en evaluar los movimientos defensivos en conjunto con dos delanteros contrarios. Se espera que los defensas lleven a cabo la formación propuesta en la sección 3 de la memoria del trabajo de grado.

- Jugada de ataque controlada para dos defensas:

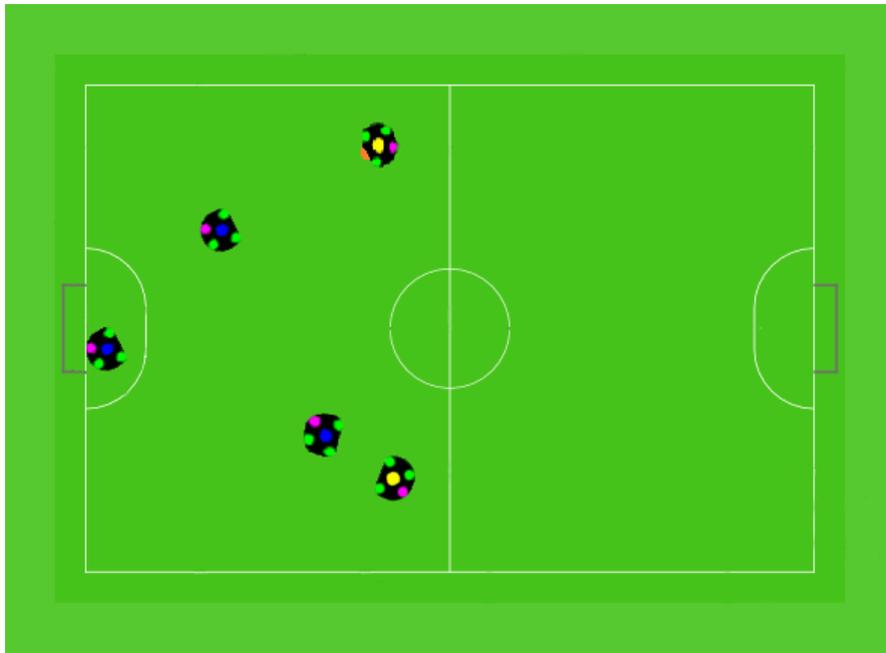


Ilustración 32: Jugada1. Ataque controlado

1.2.5 Prueba 3defensas 3delanteros

Esta prueba consiste en evaluar los movimientos defensivos en conjunto con tres delanteros contrarios. Se espera que los defensas lleven a cabo la formación propuesta en la sección 3.3 de la memoria del trabajo de grado la cual solicita un agente adicio-

nal a otra zona para poder tener la misma cantidad de defensas y delanteros en la zona defensiva.

- Jugada de ataque sorpresa para 3 defensas con 3 o 4 atacantes:

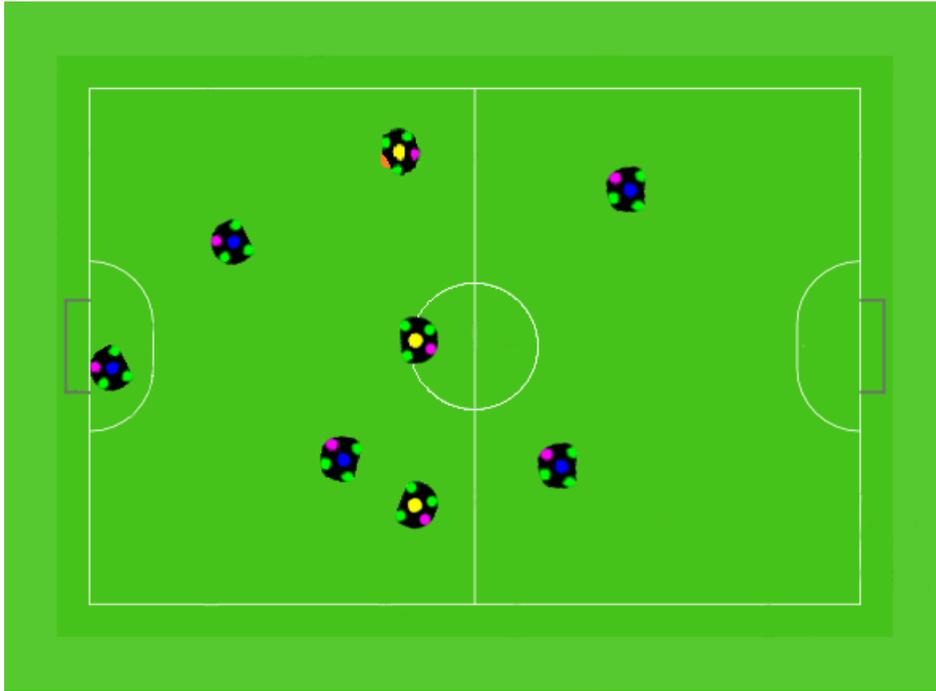


Ilustración 6: Jugada4. Jugada sorpresa con 3 defensas

- Siempre que el equipo este en modo defensivo, es decir no tenga la bola en su poder el número mínimo de defensores va a ser 2. En el peor escenario para la defensa que hayan más de 2 delanteros oponentes en la zona defensiva, se defenderá con 3 defensas. Con 4 defensores pierde el sentido el ataque ya que si se recupera el balón, no hay nadie en la zona ofensiva y se pierde el tiempo de ventaja que ocasionaría una jugada de ataque rápida.

1.3 Nivel 3: Pruebas con acciones cooperativas y partidos completos

En este nivel de pruebas se evaluará el funcionamiento de la formación propuesta en la sección tres de la memoria de trabajo de grado, con partidos completos. Estas pruebas ya no verificarán el buen funcionamiento de cada acción previamente probada sino que verificarán la efectividad de la formación en un partido.

Para este nivel de pruebas se escogieron los siguientes roles estructurantes: *Arquero*, *Defensa_Izquierdo*, *Defensa_Derecho* y *Delantero_Izquierdo* y *Delantero_Derecho*. Las zonas involucradas en este nivel de pruebas son la zona de arquero, la zona defensiva y la zona delantera.

1.3.1 Variables independientes

- Número de jugadores locales y visitantes: En este nivel se van a realizar pruebas ya con partidos completos es por eso que la cantidad de jugadores tanto del equipo local como del visitante debe ser 5 jugadores.
- Las formaciones que se usan en cada juego: Para las pruebas de la defensa se tienen dos posibles formaciones, con 2 defensas y con 3 defensas. A continuación se detallan las formaciones:
 - Esta formación con 2 defensas es: 1-2-2

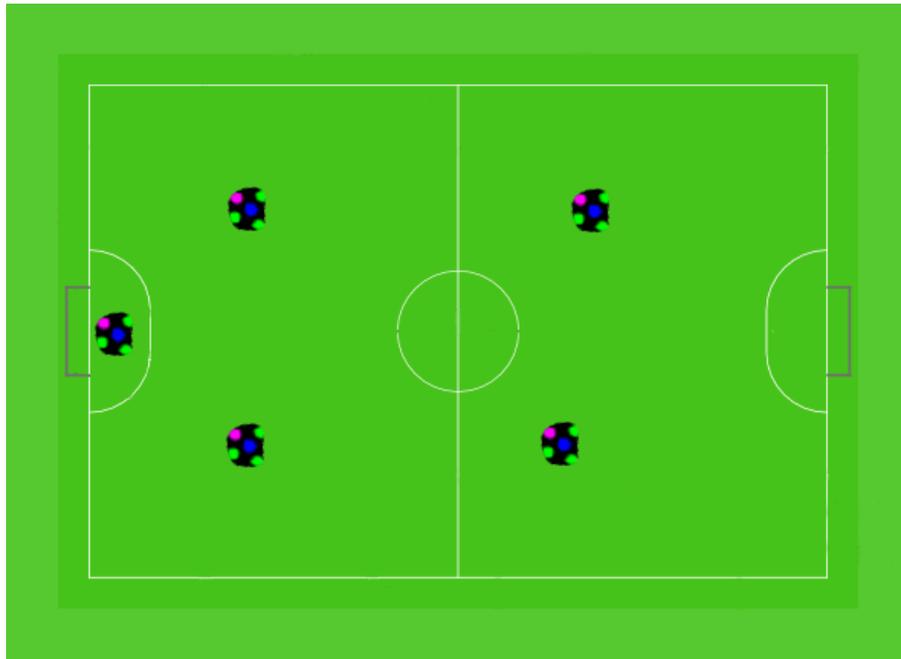


Ilustración 33: Formación con 2 defensas

- Esta formación con 3 defensas es: 1-3-1

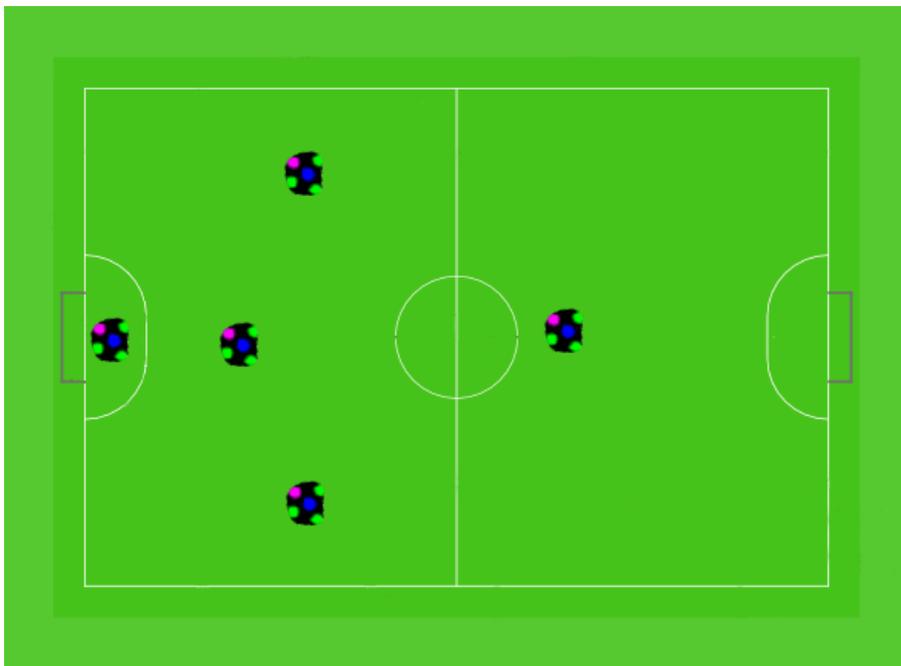


Ilustración 34: Formación con 3 defensas

1.3.2 Variables dependientes

- La cantidad de veces que ingresa el balón a la zona del arquero local.
- Cuanto tiempo permanece la bola en el área defensiva local.
- Goles recibidos
- Marcador del partido.

1.3.3 Variables intervinientes

- La cantidad de tiempo que el simulador va a correr por cada prueba: Para cada prueba se van a dar 20 minutos ya que esa es la duración reglamentaria de cada partido según RoboCup (RoboCup, 2011) 10 minutos cada tiempo.

Referencias

- Aldebaran Robotics. (2011). Aldebaran Robotics - NAO. Retrieved November 25, 2011, from <http://www.aldebaran-robotics.com/>
- Bader, M., Hofmann, A., Knoop, J., Miller, B., Schreiner, D., & Vincze, M. (2011). Austrian-Kangaroos 2011 Team Description Paper (TDP). *Applied Sciences*, 1-7.
- Baker, B. R., Reynolds, M., & Liu, W. (2006). Strategy specification for teamwork in robot soccer. *Proceedings of the 2006 international symposium on Practical cognitive agents and robots - PCAR '06*, 129. New York, New York, USA: ACM Press. doi:10.1145/1232425.1232443
- Bowling, M. (2004). Plays as Effective Multiagent Plans Enabling Opponent-Adaptive Play Selection. *Science*.
- Bruce, J., Zickler, S., Licitra, M., & Veloso, M. (2008). CMDragons: Dynamic passing and strategy on a champion robot soccer team. *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 4074-4079. Ieee. doi:10.1109/ROBOT.2008.4543837

- Candea, C. (2001). Coordination in multi-agent RoboCup teams. *Robotics and Autonomous Systems*, 36(2-3), 67-86. doi:10.1016/S0921-8890(01)00137-3
- Committee, R. T. (2011). RoboCup Standard Platform League (Nao) Rule Book.
- Gonzalez, E., Rosa, F. D., Miranda, A. S., Rodríguez, C. F., & Manrique, M. (2011). Bochica 2011 - Team Description Paper, 1-9.
- González, E., Perez, A., Cruz, J., & Bustacara, C. (2007). MRCC: A Multi-Resolution Cooperative Control Agent Architecture. *2007 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'07)*, 391-394. Ieee. doi:10.1109/IAT.2007.98
- Hiroaki Kitano, Monoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, Itsuki Noda, E. O. (n.d.). The Robot World Cup Initiative.pdf.
- Liemhetcharat, S. (2010). Mutual State-Based Capabilities for Role Assignment in Heterogeneous Teams. *Symposium A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures*.
- Liemhetcharat, S., Coltin, B., Tay, J., & Veloso, M. (2011). CMurfs ' 11 : Carnegie Mellon United Robots for Soccer. *Communication*.
- Ould-kbessal, N., Naing, M. Y., Sin, T. J., & Polytechnic, T. (2002). Cooperative Strategies in Robotic Soccer. *Most*, 240-245.
- Plata, S., & Castillo, D. (2010). Memoria TG.
- RoboCup. (2006). Small Size Robot League. Retrieved November 20, 2011, from <http://small-size.informatik.uni-bremen.de>
- RoboCup. (2011). RoboCup 2011 Istanbul - Turkey. Retrieved November 25, 2011, from <http://www.robocup2011.org/en/content.asp?PID={E63441CB-2AB3-4D4A-BB64-80198867E941}>
- Rodríguez, S., Rojas, E., Pico, M., Marín, S., Pérez, M. K., Ochoa, I., Gomez, A., et al. (2010). F180 STOX ' S ROBOT TEAM TDP UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO BOGOTÁ , COLOMBIA. *LARC 2010. Latin American RoboCup en Brasil*.
- Sharbafi, M. A., Azidehak, A., Hoshyari, M., & Bakhshandeh, O. (2011). MRL Extended Team Description 2011.

- Srisabye, J., Wasuntapichaikul, P., & Onman, C. (2009). Skuba 2009 Extended Team Description. *Electronics*.
- Stone, P., Moore, A. W., & Simon, H. A. (1998). Layered Learning in Multi-Agent Systems. *Science*.
- The, L. A. W., & Surface, F. (2011). Laws of the RoboCup Small Size League 2011 LAW 1 - The Field of Play. *Small*, 1-30.
- University, A. (2011). grSim- RoboCup Small Size Robot Soccer Simulator Parsian Robotic. Retrieved November 23, 2011, from <http://www.parsianrobotic.ir/grsim/>
- Wasuntapichaikul, P., Srisabye, J., & Sukvichai, K. (2010). Skuba 2010 Team Description. *Electrical Engineering*.

Anexo.2 Resultados y Análisis de las pruebas

En este documento se presenta el análisis de los resultados obtenidos tras aplicar el protocolo de pruebas descrito en el Anexo1 de este documento. El protocolo se centraba en diferentes características para probar los nuevos avances realizados en el equipo *Bochica*. Es importante tener en cuenta que las pruebas que se realizaron para los dos primeros niveles de prueba fueron ejecutadas desde puntos estáticos para la posición de la bola es decir siempre se pretendía tener el mismo comportamiento para una determinada posición de la bola.

En el primer nivel de pruebas se analizaban las características mono agentes de los roles estructurantes con el fin de verificar si los movimientos propuestos en la sección tres de este documento son validos. A continuación se va a explicar los resultados prueba por prueba.

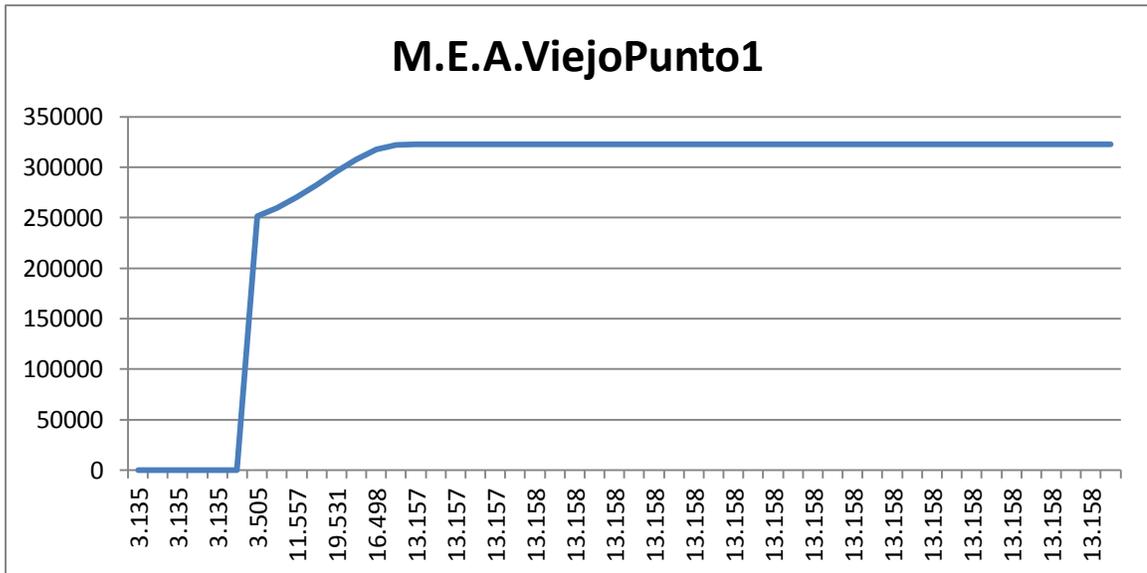
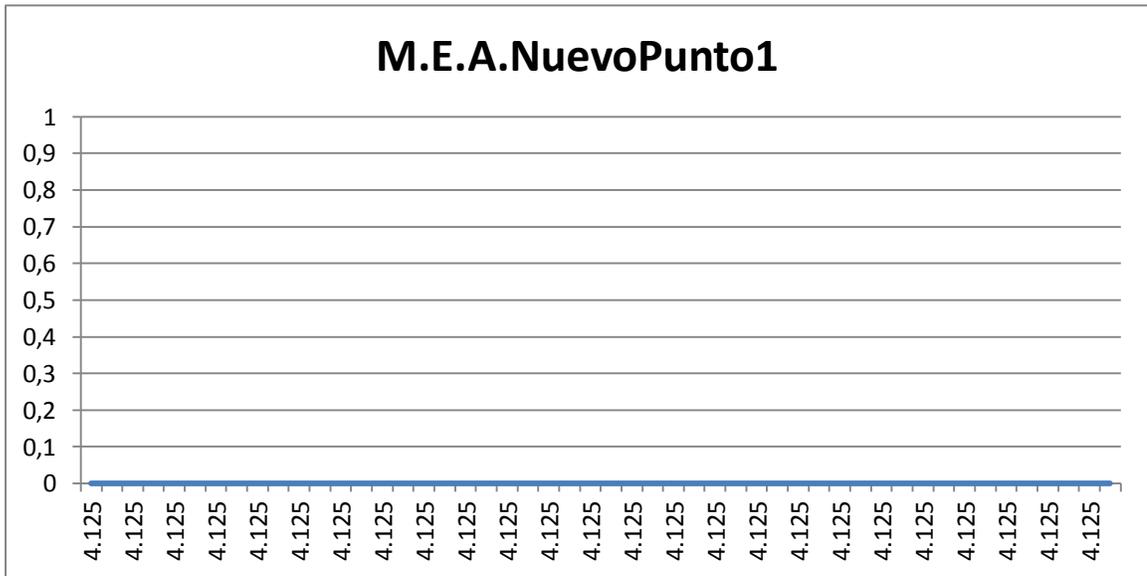
Cada prueba tuvo una duración de 20 segundos en los cuales se coloco la bola en cada uno de los puntos escogidos y descritos en el protocolo de pruebas. Cada prueba arrojaba un archivo de texto con la posición de la bola, las posiciones en las que variaba el agente y finalmente si se mantenían dentro de la zona correspondiente a su rol para que pudieran desempeñar sus funciones normalmente.

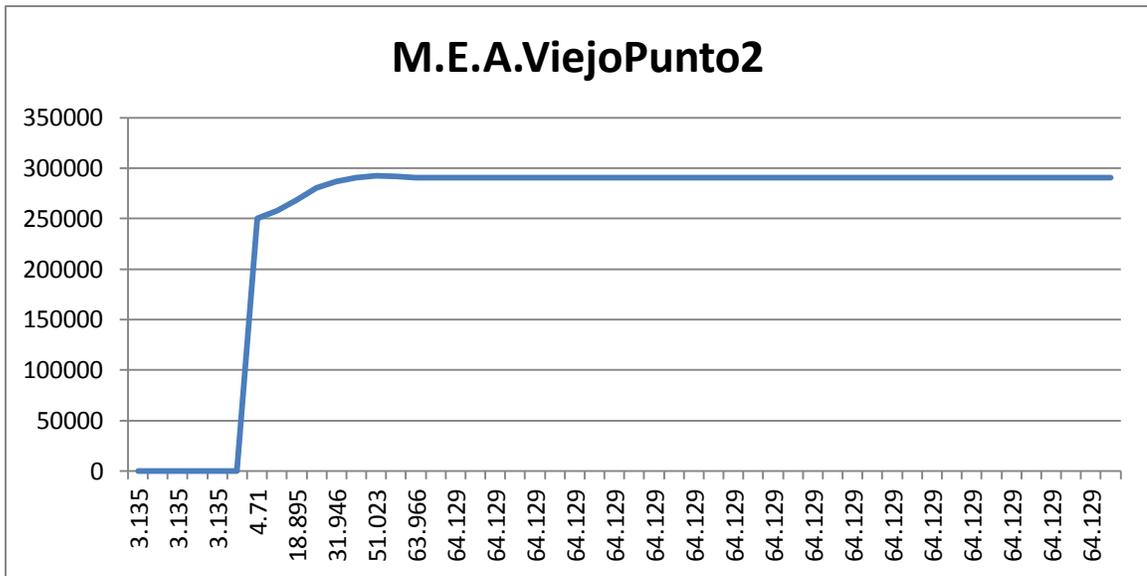
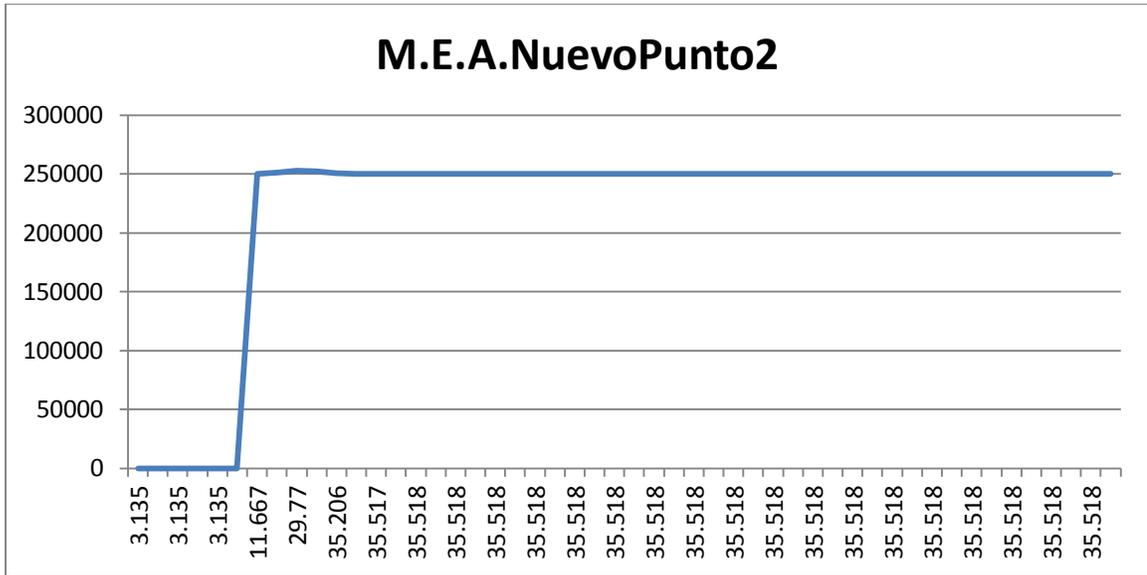
Prueba movimiento elástico arquero nuevo vs arquero antiguo

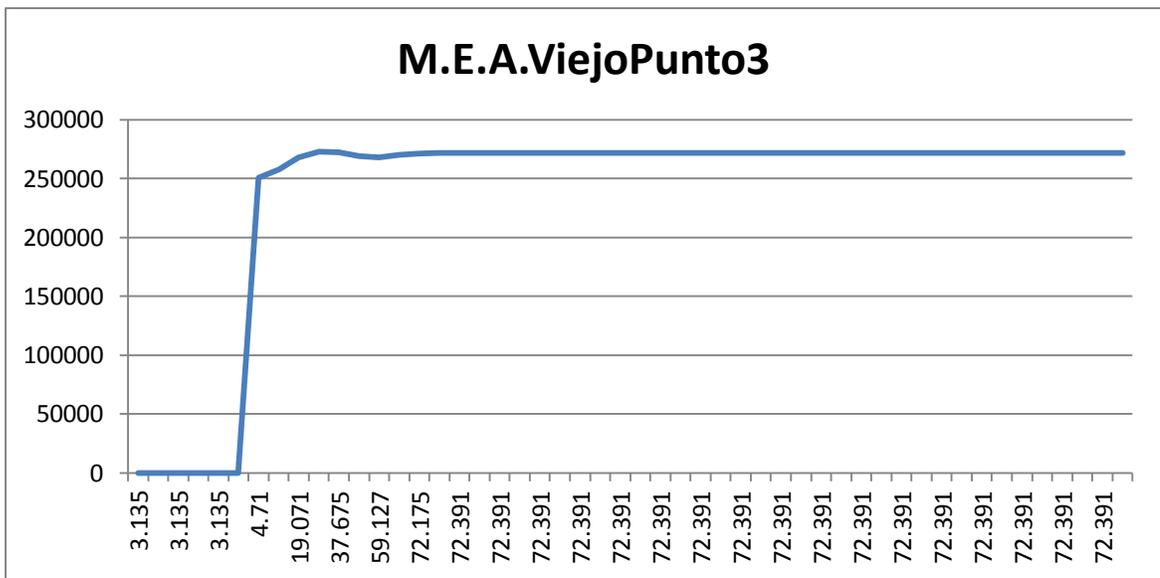
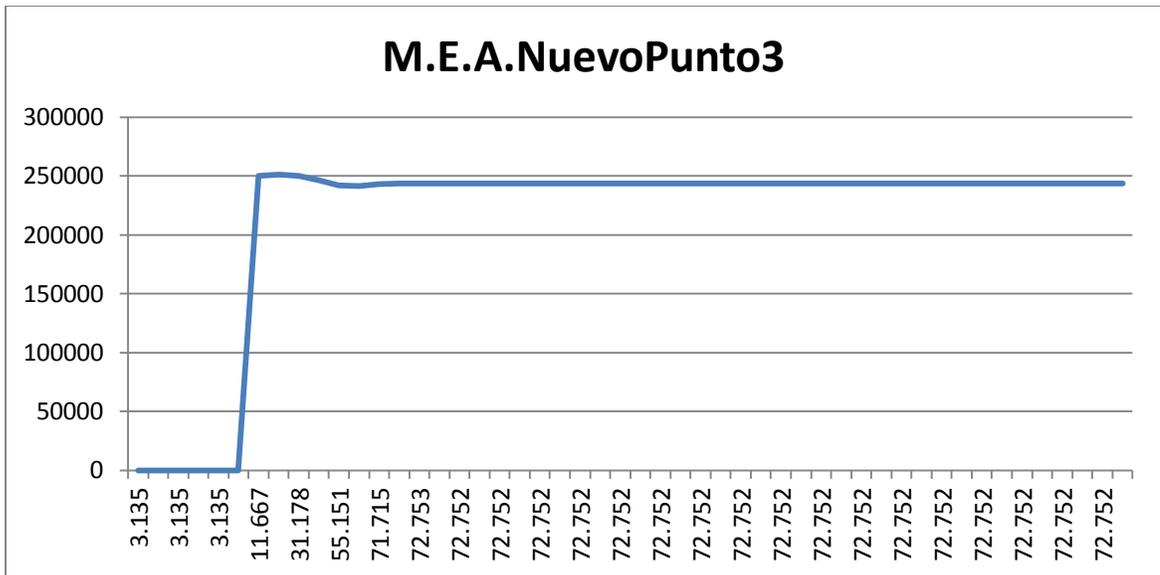
A continuación se encuentran las graficas de las pruebas de movimiento elástico de los roles del arquero nuevo y del arquero viejo. Cada grafica corresponde al comportamiento del arquero en los diferentes puntos a analizar. En el eje x se encuentra la posición x del arquero y en el eje Y se encuentra la posición y del arquero.

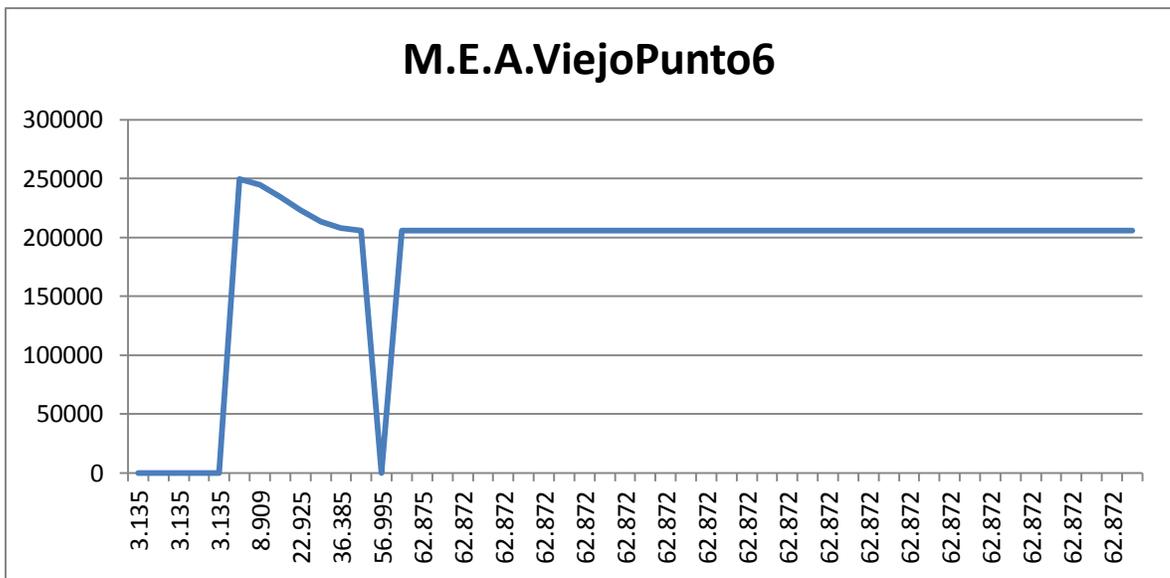
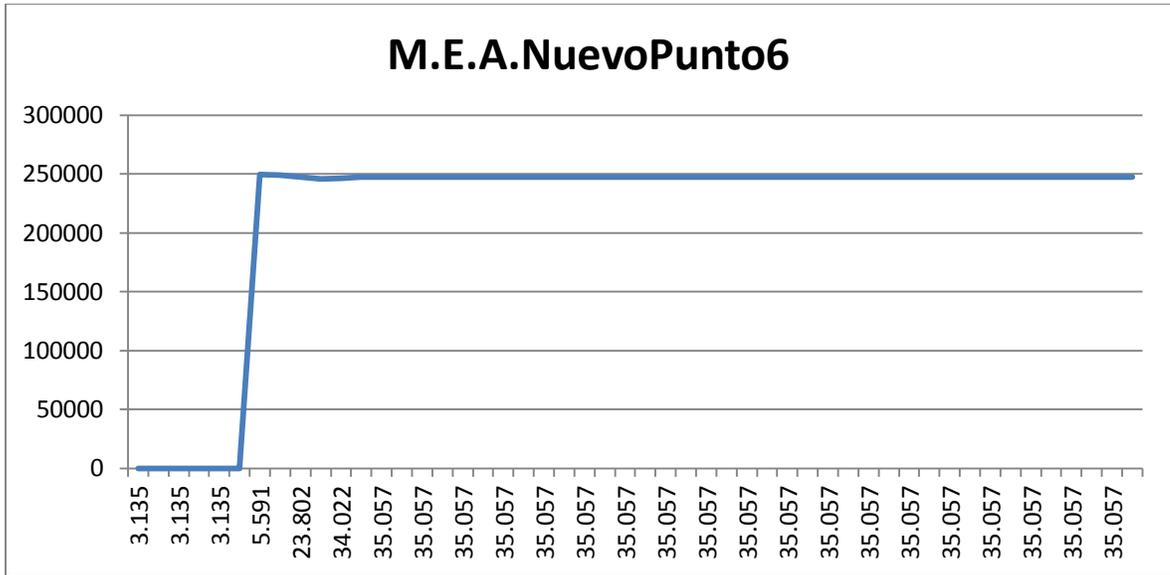
Es importante ver como las graficas del rol de arquero nuevo se comportan estables después de alcanzar un punto en específico que representa el punto de ubicación don-

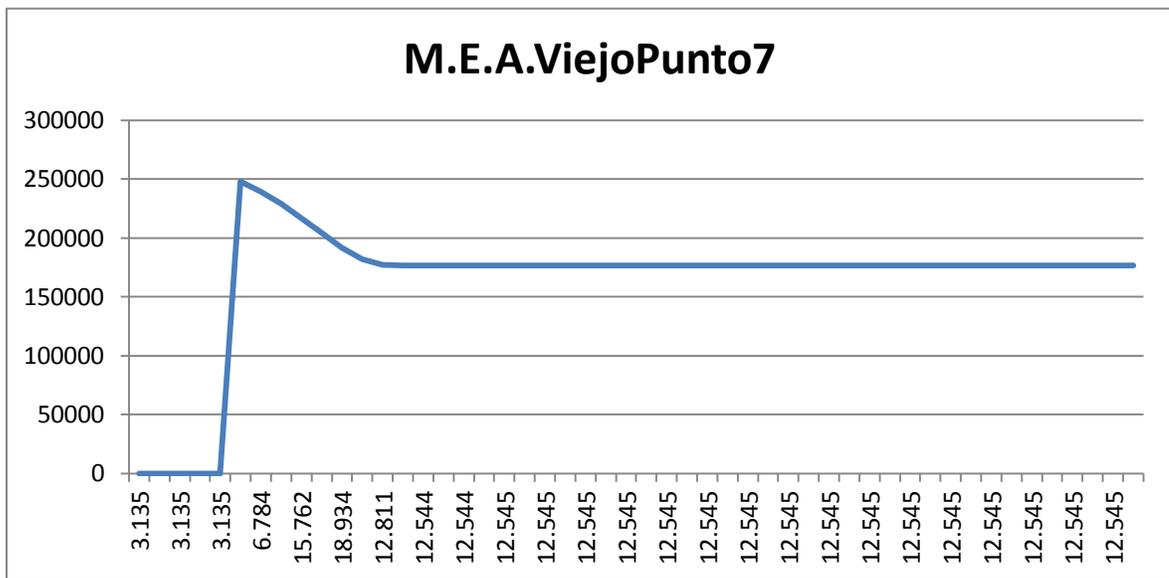
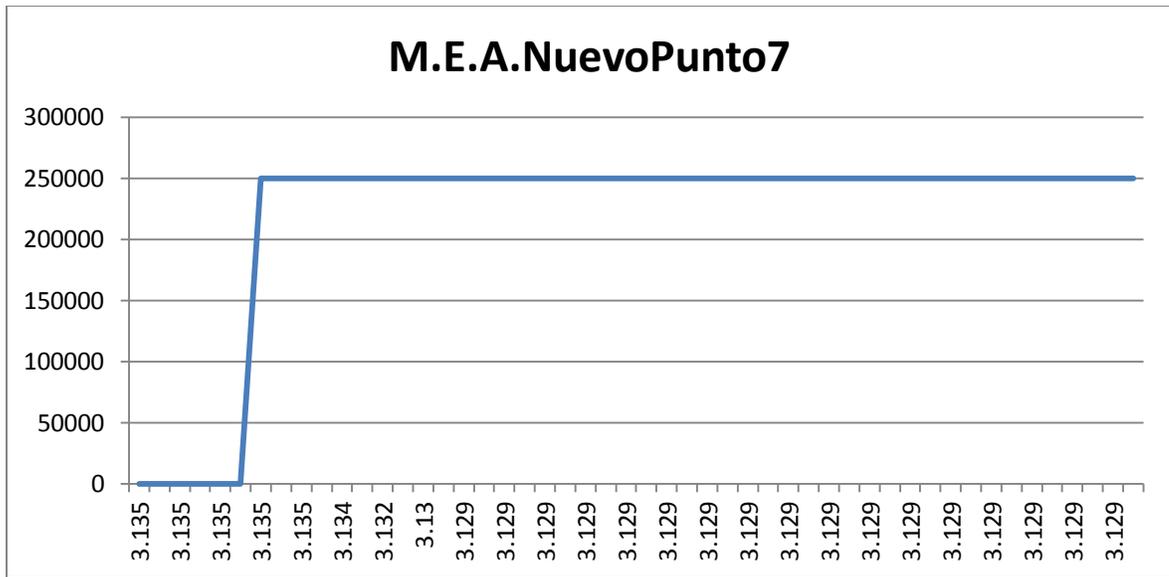
de debe posicionarse con respecto a la posición de la bola. Por otro lado los roles antiguos no tienen esa estabilidad en las graficas ya que nunca se quedaban quietos y por el contrario abandonaban el arco.











En la siguiente tabla se ilustra las posiciones finales de los arqueros cuando realizan el movimiento elástico y se puede ver que el rol nuevo es el que más sale del arco con respecto a la posición de la bola, es decir cuando la bola se encuentra muy lejos, el arquero nuevo sale a los límites del área para reducir espacios a los oponentes.

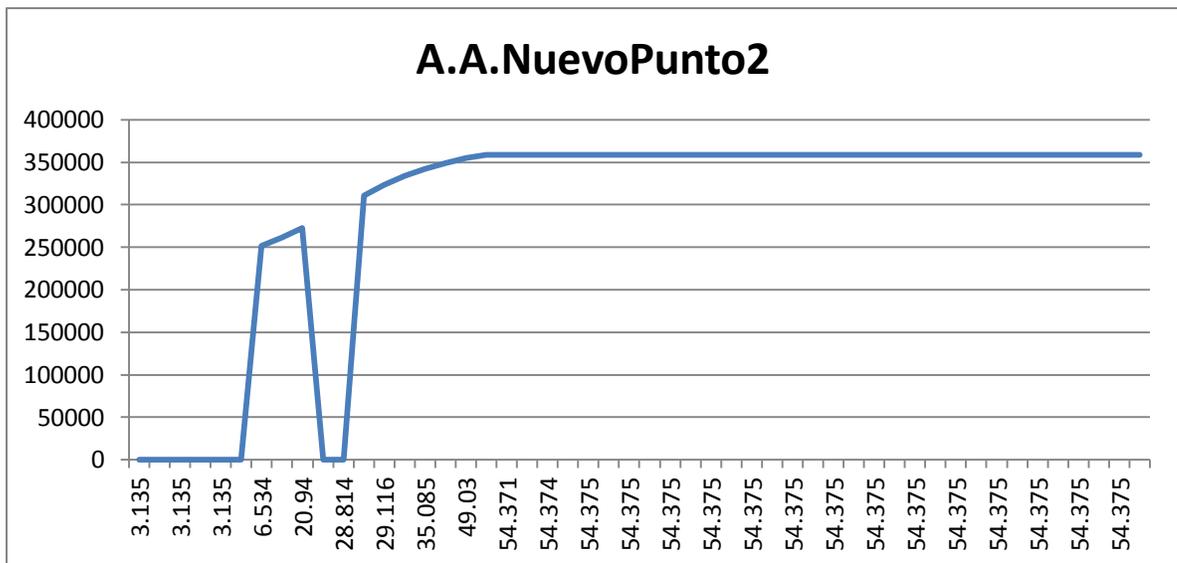
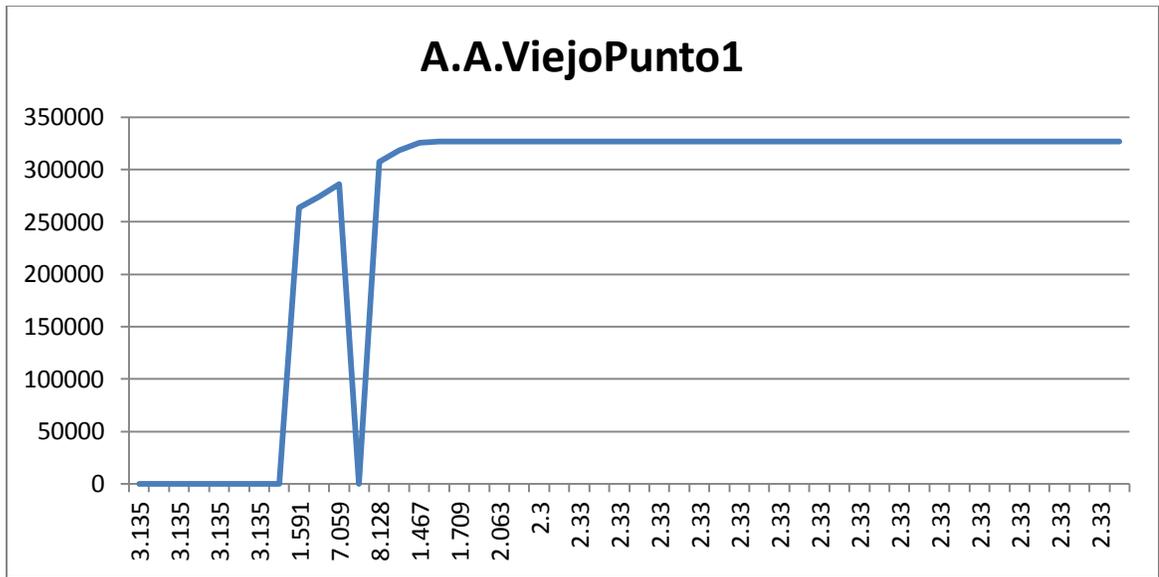
	Prueba de Movimiento elástico				
	P1	P2	P3	P4	P5
Posición Rol Arquero nuevo	[4.125, 241.57]	[35.518, 250.154]	[72.752, 243.425]	[71.165, 223.19]	[71.749, 257.407]
Posición Rol Arquero antiguo	[13.158, 322.909]	[3.135, 249.75]	[72.391, 271.555]	[3.135, 249.75]	[73.53, 229.011]
Posición de la bola	[47.901, 463.121]	[337.533, 463.1]	[710.243, 463.814]	[699.375, 251.75]	[691.158, 37.386]
Centro del arco	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]

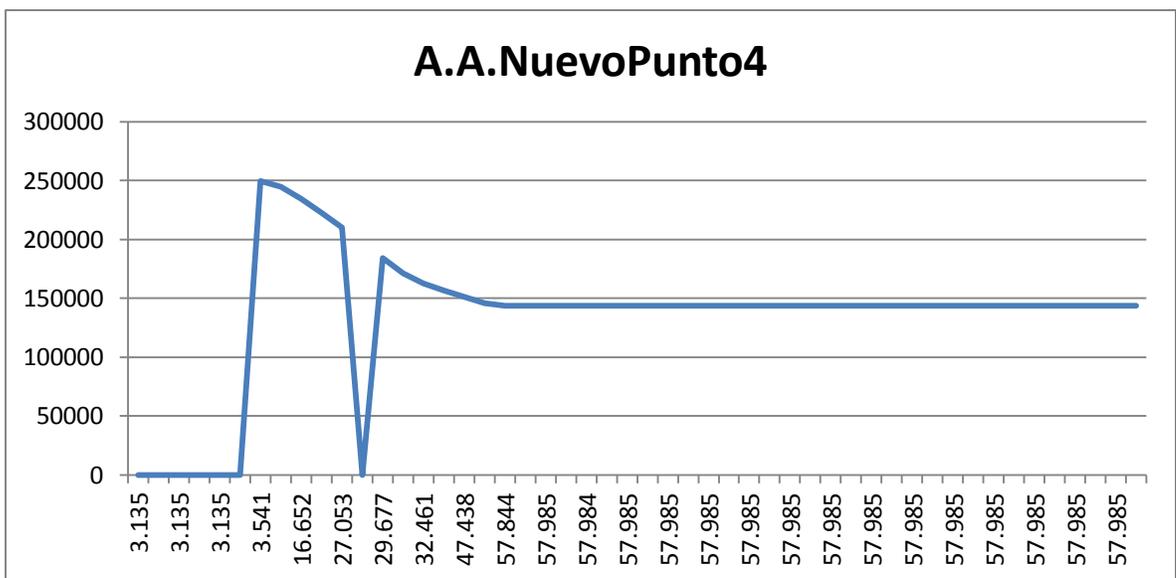
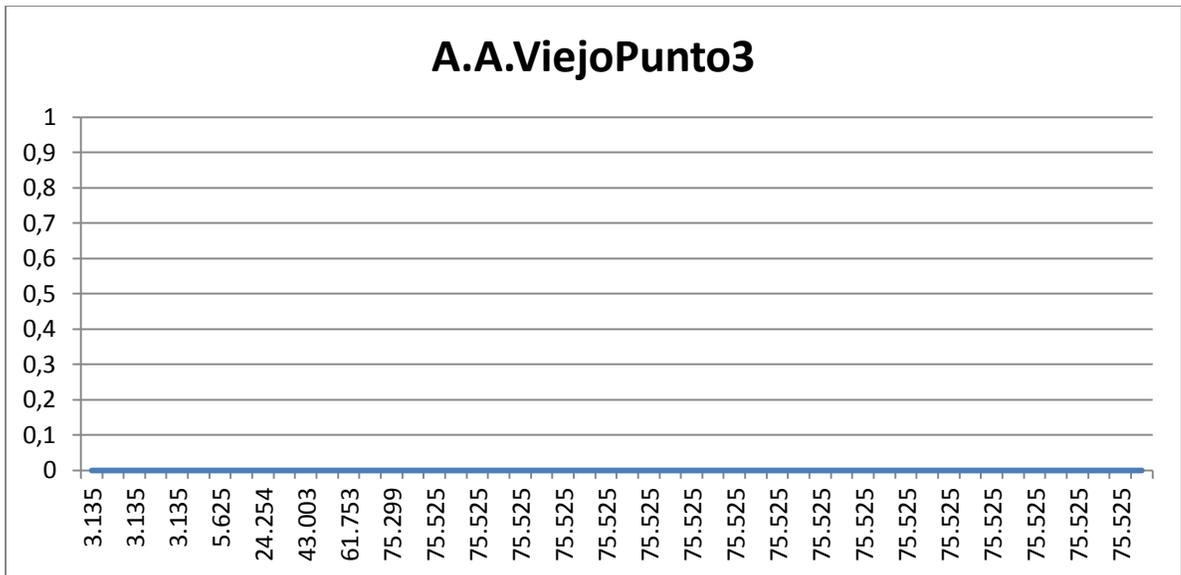
Tabla 1: Comparación prueba de movimiento elástico

Para verificar el movimiento elástico del arquero se realizaron cinco repeticiones por cada posición que se le daba a la bola que para esta prueba eran ocho diferentes posiciones.

$$\textit{Pruebas} = (2\textit{roles}) * (8\textit{posiciones}) * (5\textit{repeticiones}) = 80 \textit{pruebas}$$

Después de realizar las pruebas del nuevo rol de Arquero contra el rol de Arquero de la versión anterior (Plata & Castillo, 2010), se puede observar que el rol antiguo no tiene movimiento elástico ya que su comportamiento se limita a pararse entre la línea que forma la bola y el centro del arco. Esto se puede observar en las graficas de la prueba del movimiento elástico del arquero donde se visualiza que los roles antiguos en todos los puntos salían del arco hasta cierto punto y ahí se quedaban quietos sin importar si la bola cambiaba de posición en la misma dirección del arco. Por otra parte, el nuevo rol defensivo del arquero en las esquinas ya no sale del arco lo cual se cambio y se mejoró con respecto al rol anterior ya que el otro salía y dejaba el arco descubierto por ir a marcar el balón. En este caso el rol de arquero marca la bola pero desde el centro del arco con el fin de estar preparado por si tiene que salir a cierre.





	Prueba de cierre				
	P1	P2	P3	P4	P5
Posición Rol Arquero nuevo	[4.979, 355.694]	[54.375, 359.018]	[3.135, 249.75]	[3.135, 249.75]	[3.135, 249.75]
Posición Rol Arquero antiguo	[2.33, 326.925]	[32.666, 320.272]	[75.525, 249.75]	[75.737, 249.75]	[3.135, 249.75]
Posición de la bola	[11.268, 370.691]	[66.184, 371.17]	[55.625, 251.75]	[68.904, 131.204]	[37.22, 126.327]
Centro del arco	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]

Tabla 2: Comparación prueba de cierre

Para verificar si el arquero realizaba bien la acción de cierre, se realizaron cinco repeticiones por cada posición que se le daba a la bola que para esta prueba eran cinco diferentes posiciones.

$$\text{Pruebas} = (2\text{roles}) * (5\text{Posiciones}) * (5\text{Repeticiones}) = 50 \text{ Pruebas}$$

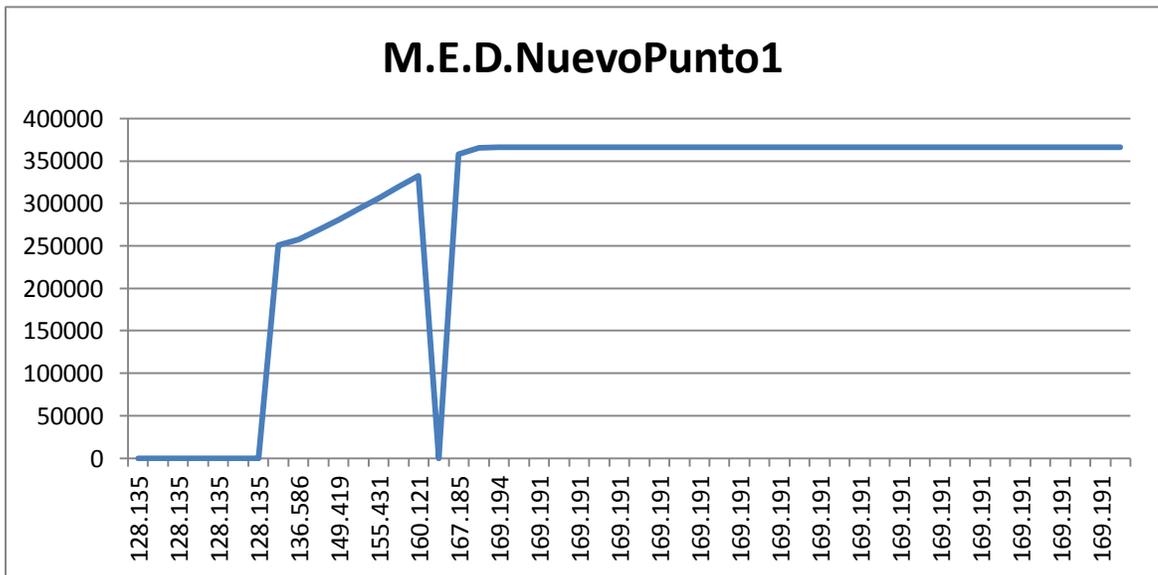
Después de realizar las pruebas de cierre, se visualizó que el rol de la versión anterior no logra ejecutar la función de cierre a una bola que ingresa en la zona de arquero. El movimiento que este arquero hace es solo de proteger el arco es decir de posicionarse entre la mitad de la línea que forma la bola y el centro del arco. La carencia de la función cierre permite que las facilidades del delantero contrario para disparar al arco o hacer un pase gol sean más grandes. Por otra parte si analizamos las graficas de cierre del arquero nuevo, se ve reflejado por medio de un pico como el arquero realiza el

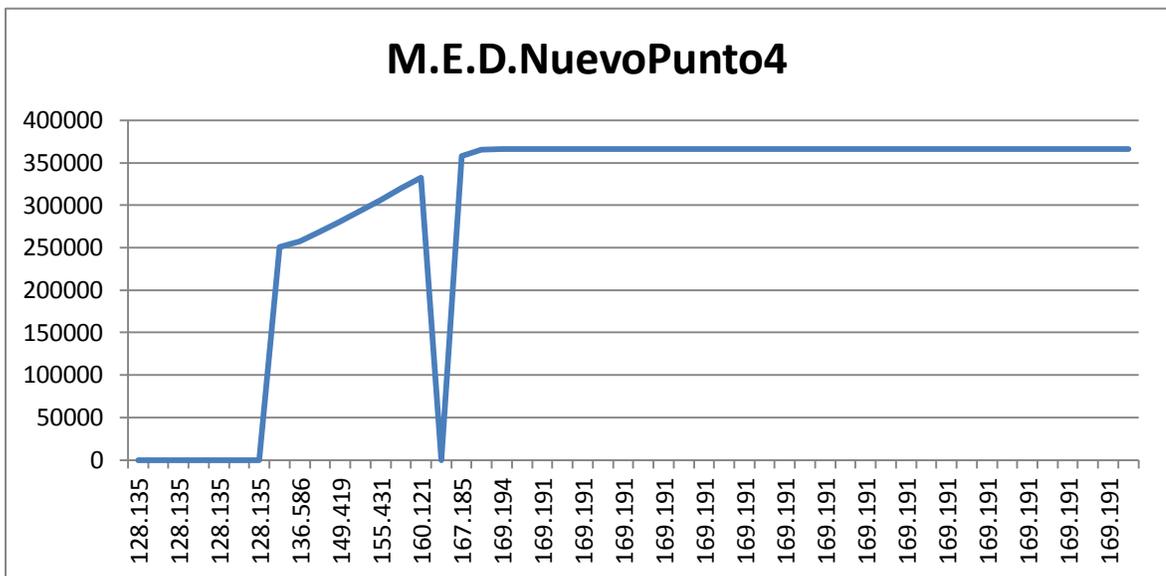
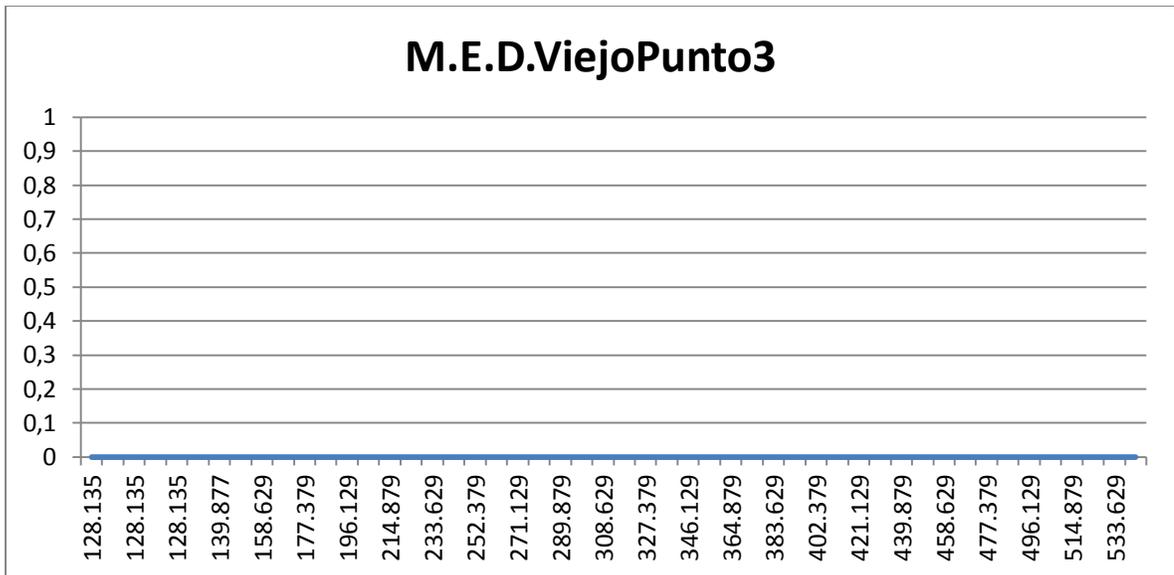
movimiento de acercamiento a la bola, la rechaza y vuelve a un punto acorde con el movimiento elástico.

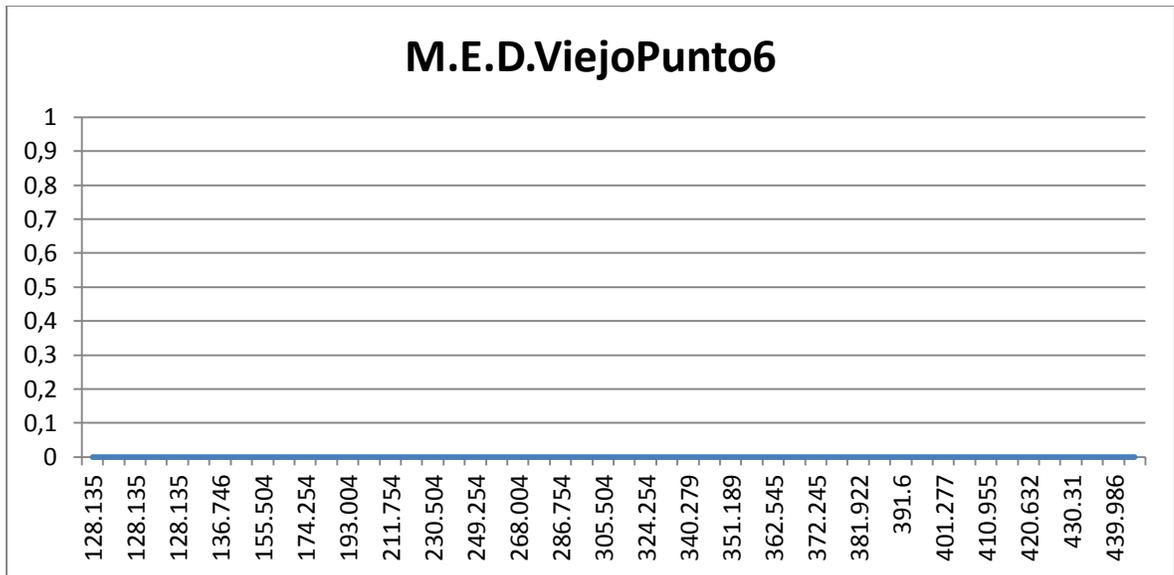
Movimiento elástico de defensa nuevo vs defensa viejo

A continuación se encuentran las graficas de las pruebas de movimiento elástico de los roles del defensa nuevo y del defensa viejo. Cada grafica corresponde al comportamiento del defensa en los diferentes puntos a analizar. En el eje x se encuentra la posición x del defensa y en el eje Y se encuentra la posición y del defensa.

Es importante ver como las graficas del rol de defensa nuevo se comportan estables después de alcanzar un punto en específico que representa el punto de ubicación donde debe posicionarse con respecto a la posición de la bola. Por otro lado los roles antiguos no tienen esa estabilidad en las graficas ya que nunca se quedaban quietos y por el contrario abandonaban la zona defensiva.







En la siguiente tabla se ilustra las posiciones finales de los defensas cuando realizan el movimiento elástico y se puede ver que el rol nuevo es el que más llega a los extremos de la zona defensiva con el fin de ubicarse entre la bola y el centro del arco.

	Prueba de Movimiento elástico Defensa				
	P1	P2	P3	P4	P5
Posición Rol Defensa nuevo	[169.191, 366.447]	[330.518, 250.154]	[320.752, 243.425]	[326.165, 223.19]	[169.231, 124.182]
Posición Rol Defensa antiguo	[329.812, 486.159]	[748.09, 444.914]	[753.344, 309.008]	[681.765, 14.663]	[286.351, 0.41]
Posición de la bola	[337.698, 462.985]	[713.64, 459.704]	[699.375, 251.75]	[668.111, 37.162]	[337.658, 18.522]
Centro del arco	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]

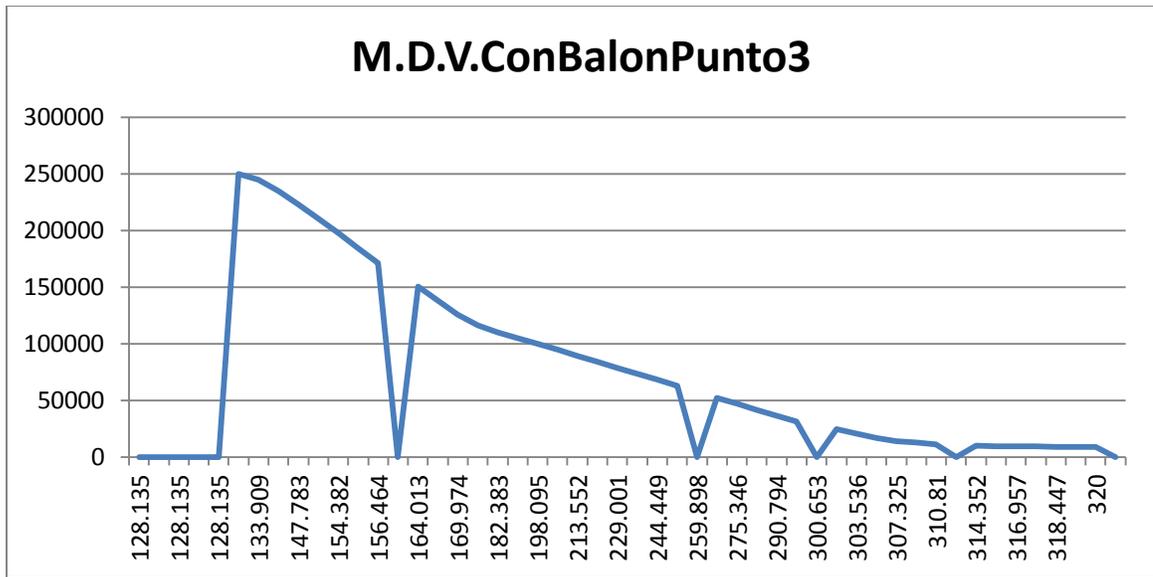
Tabla 1: Comparación prueba de movimiento elástico Defensa

Para verificar si el defensa realizaba bien el movimiento elástico con respecto a la posición de la bola dentro de la zona defensiva, se realizaron pruebas en seis puntos identificados en el protocolo de pruebas en el Anexo2 de este documento. Cada prueba tuvo cinco repeticiones para poder tener una muestra de cómo era el comportamiento después de varias veces de los defensas.

$$\text{Pruebas} = (2 \text{ Roles}) * (6 \text{ puntos}) * (5 \text{ repeticiones}) = 60 \text{ Pruebas}$$

Después de realizar cada prueba se pudo observar que el rol de defensa antiguo, intenta perseguir la bola sin importar la posición en la que este o quien la tenga para empujarla hasta hacer gol o sacarla de la cancha lo cual no cumple con el movimiento elástico del defensa. Además cuando la bola sale del campo, el defensa no puede volver a su punto atractor y se queda dando vueltas repetidamente. Por otra parte, las

gráficas del defensa nuevo muestran que en todos los seis puntos de pruebas, su movimiento es muy parecido. Consiste en buscar llegar al punto atractor el cual se calcula dependiendo de la posición de la bola y una vez llega se queda en esa posición cubriendo el arco.



En la siguiente tabla se ven las posiciones finales de los defensas al realizar la acción de marcaje. Al analizar las posiciones se ve cómo los roles antiguos terminan después de la bola es decir en la zona ofensiva y no cubriendo el arco de la bola. Por otra parte el rol nuevo tiene una posición acorde a la posición de la bola y del centro del arco.

	Prueba de marcaje		
	P1	P2	P3
Posición Rol Defensa nuevo	[155.354, 361.71]	[161.572, 256.573]	[152.412, 132.608]
Posición Rol Defensa antiguo	[347.831, 478.27]	[300.504, 506.148]	[753.344, 309.008]
Posición de la bola	[307.497, 452.983]	[321.989, 254.675]	[699.375, 251.75]
Centro del arco	[0, 250]	[0, 250]	[0, 250]

Tabla 2: Comparación prueba de marcaje

Para verificar si el defensa realizaba bien el marcaje contra los oponentes que se encontraban en la zona defensiva, se identificaron tres posiciones diferentes para ubicar a los delanteros oponentes dentro de la zona defensiva con el fin de analizar qué ocurría cuando estos oponentes tenían el balón en su poder.

$$\mathbf{Pruebas = (2Agentes) * (3Posiciones) * (5Repeticiones) = 30Pruebas}$$

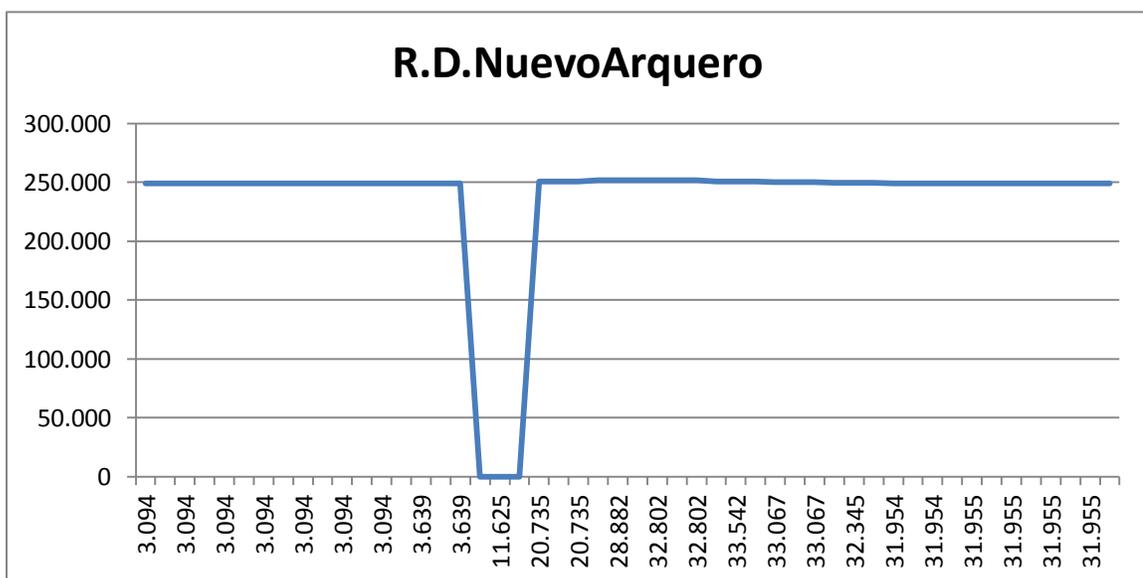
Después de realizar las pruebas, se observó que el rol de defensa antiguo persigue la bola sin importar que la tenga un contrario e intenta empujar la bola arrollando a los

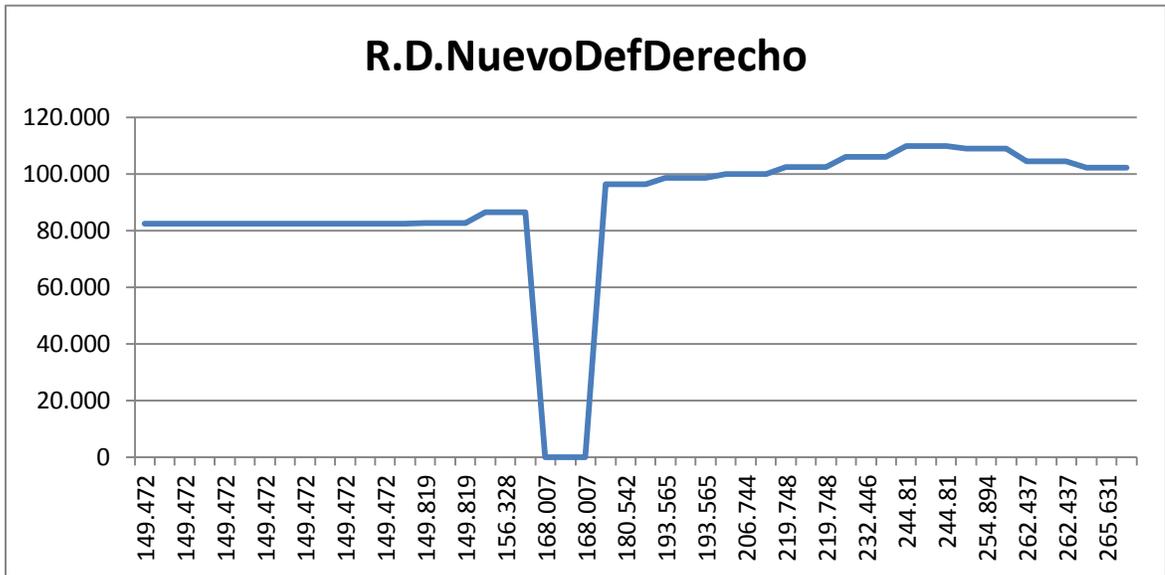
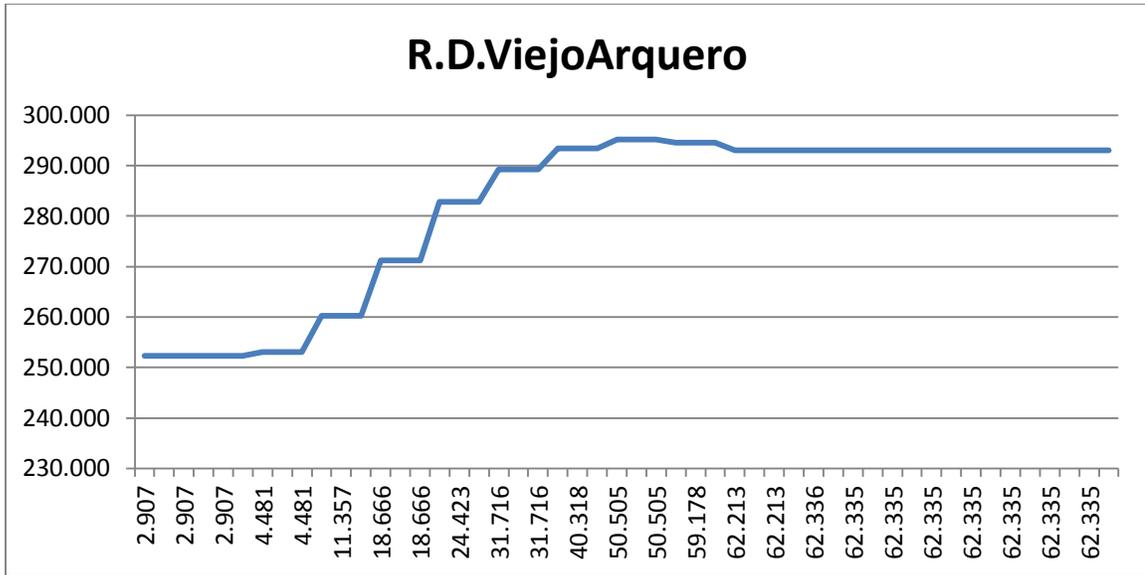
oponentes. Este caso no ocurriría en un juego de RoboCup (RoboCup, 2011) ya que esta prueba fue controlada y en un juego de verdad los oponentes seguramente harían pases entre ellos. Por otra parte, si analizamos las graficas de los agentes con el rol de defensa nuevo, el comportamiento del defensa es muy similar, la única variación es mientras el agente encuentra el punto atractor en el que debe posicionarse. Pero una vez logra posicionarse mantiene su posición para proteger el arco.

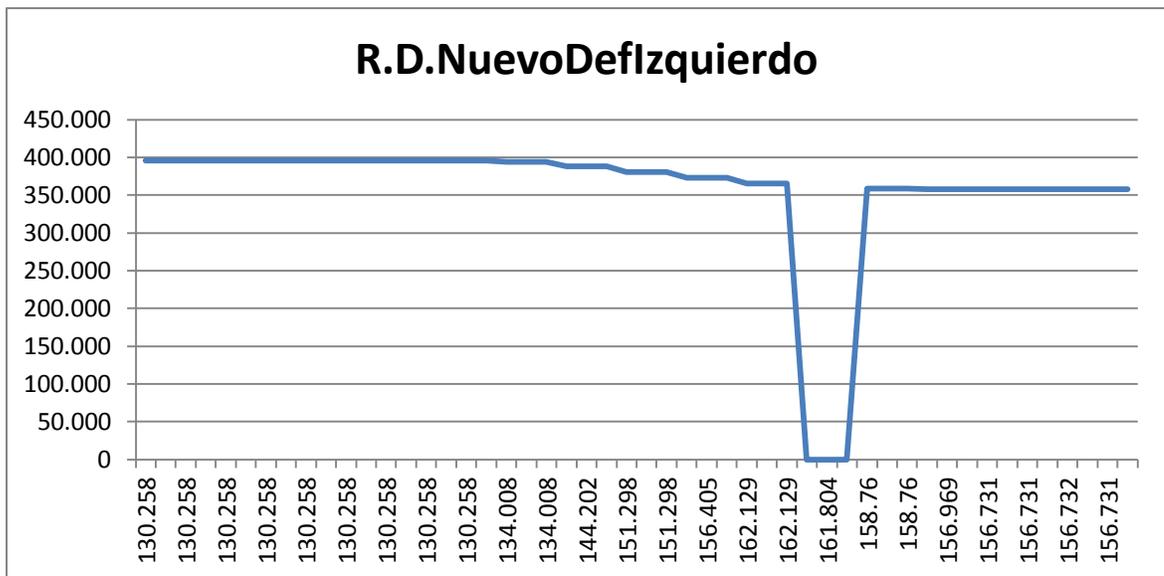
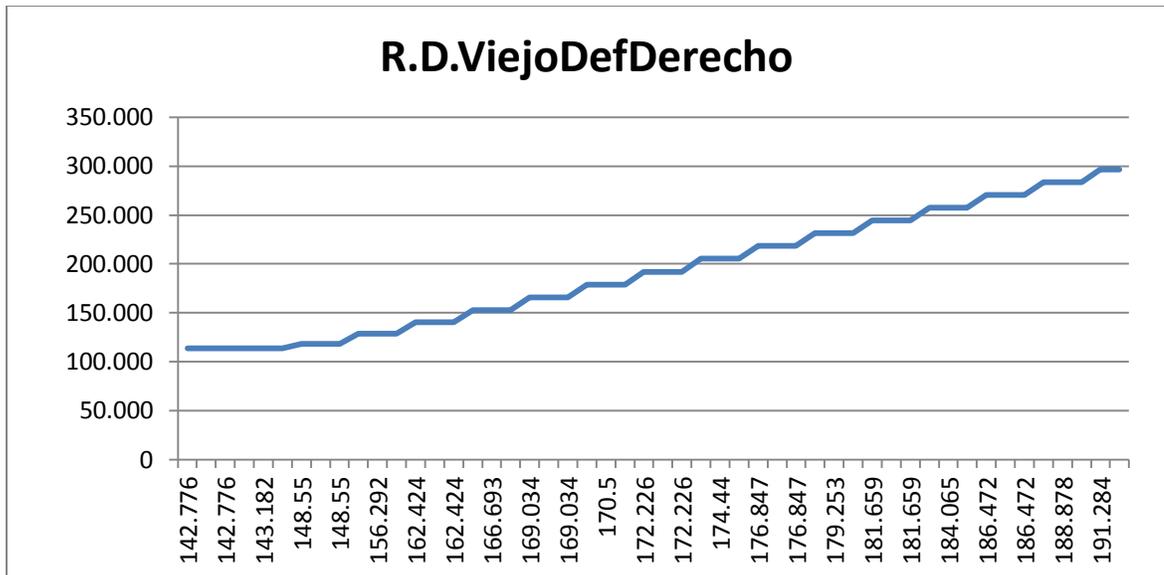
Prueba conjunta de roles defensivos contra 2 oponentes con balón

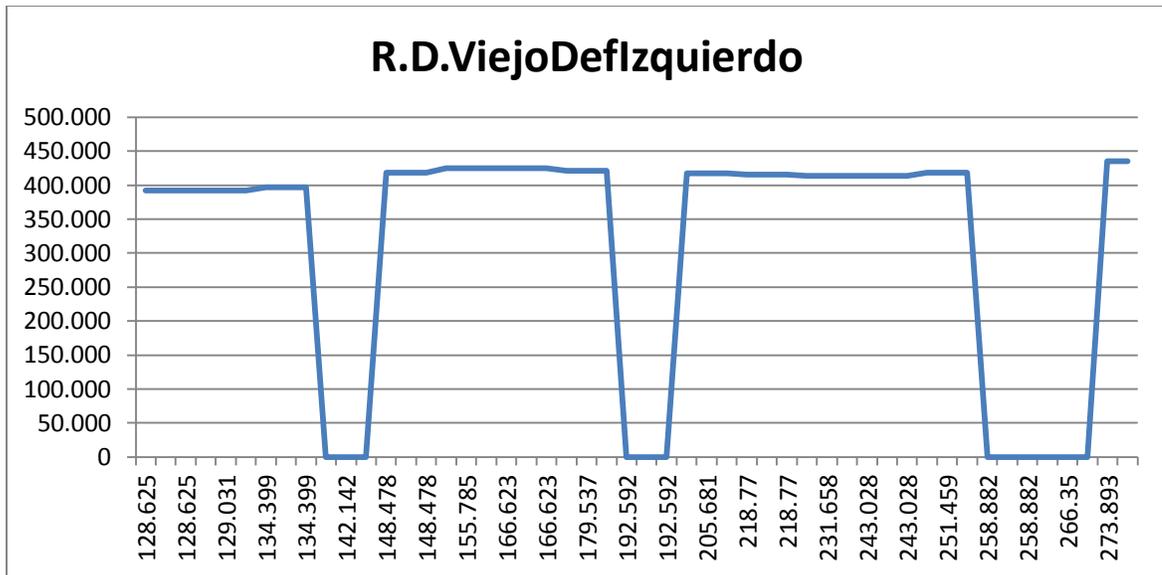
A continuación se encuentran las graficas de las pruebas de todos los roles de defensa en conjunto tanto de los roles nuevos como de los viejos. Cada grafica corresponde al comportamiento de diferente rol a la hora de cambiar la bola de agente enemigo. Vale resaltar que para esta prueba se usan 2 agentes oponentes en la zona defensiva.

Es importante ver como las graficas de cada rol nuevo se comportan estables después de alcanzar un punto en específico que representa el punto de ubicación donde debe posicionarse con respecto a la posición de la bola o del oponente. Por otro lado los roles antiguos no tienen esa estabilidad en las graficas ya que nunca se quedaban quietos y por el contrario abandonaban la zona defensiva.









Para verificar si los roles defensivos protegían el arco adecuadamente se ubicaron dos delanteros en los extremos de la zona defensiva que es donde más ángulo de disparo hay y se realizó una prueba con 5 repeticiones en la que solo se cambiaba la posición de la bola de agente amarillo al otro agente amarillo con el fin de analizar el movimiento elástico de cada rol defensivo.

5Pruebas = 5Repeticiones

Después de realizar las pruebas se pudo ver que los roles defensivos viejos salen juntos en busca de la bola dejando el arco y toda la zona defensiva sin protección. Además, cuando se acercan a la bola arrollan al robot amarillo u oponente y sacan la bola de la cancha. Cuando sacan la bola de la cancha no pueden volver a su posición por defecto.

Analizando los roles defensivos nuevos, estos realizan el movimiento elástico adecuado para cada robot. Tanto el que tiene el balón, como el que no lo tiene. En las

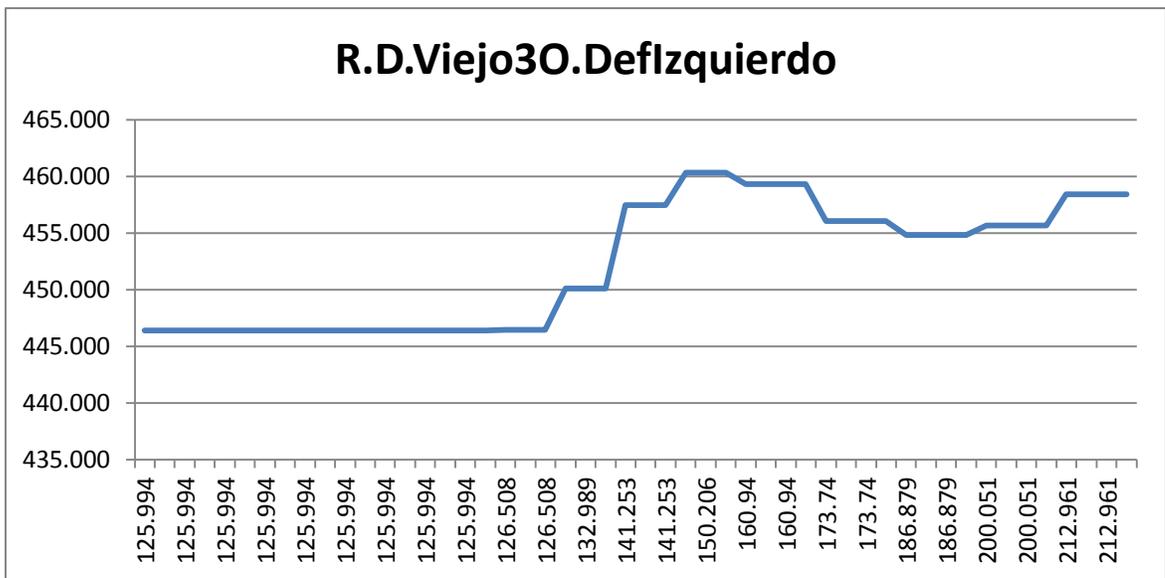
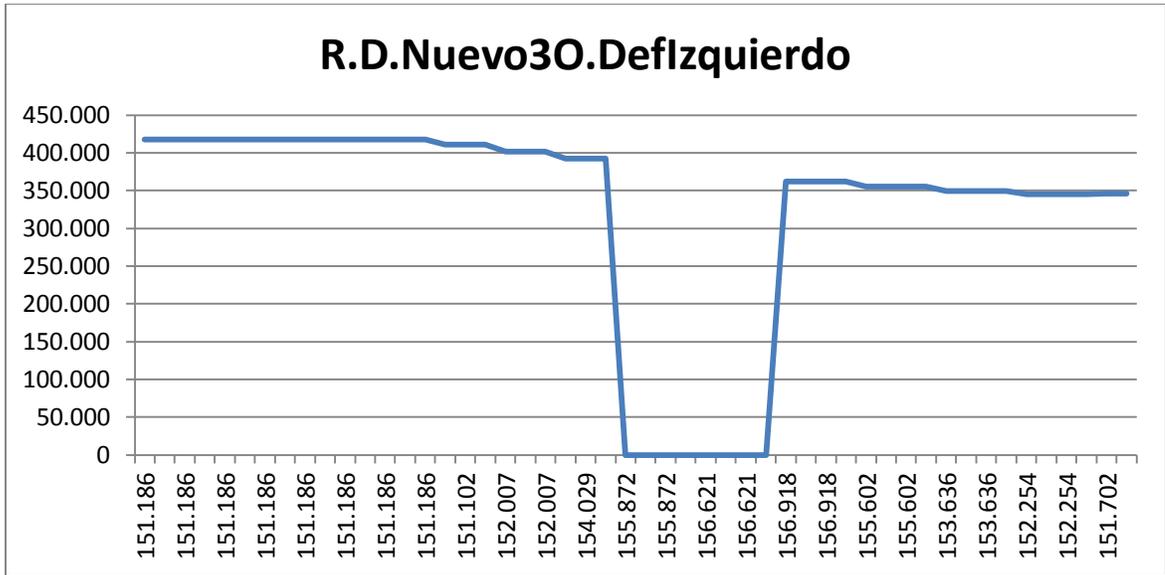
graficas se puede observar que el movimiento de los tres agentes con roles defensivos nuevos es muy idéntico. Lo único en lo que cambia es en las posiciones de la cancha lo cual nos indica que si realizan correctamente los movimientos.

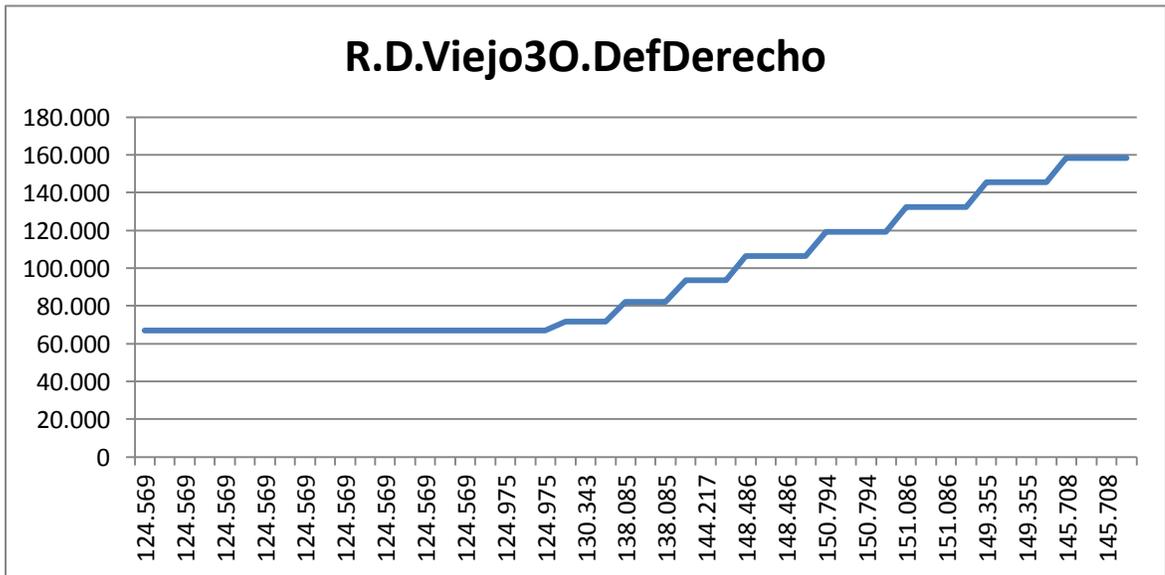
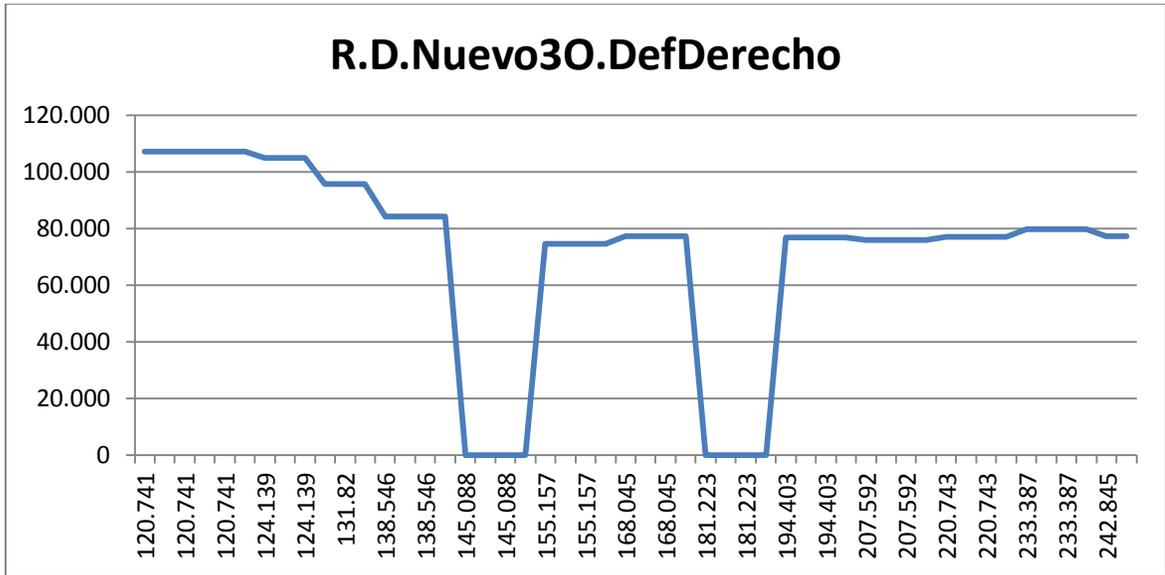
Prueba conjunta de roles defensivos con negociación

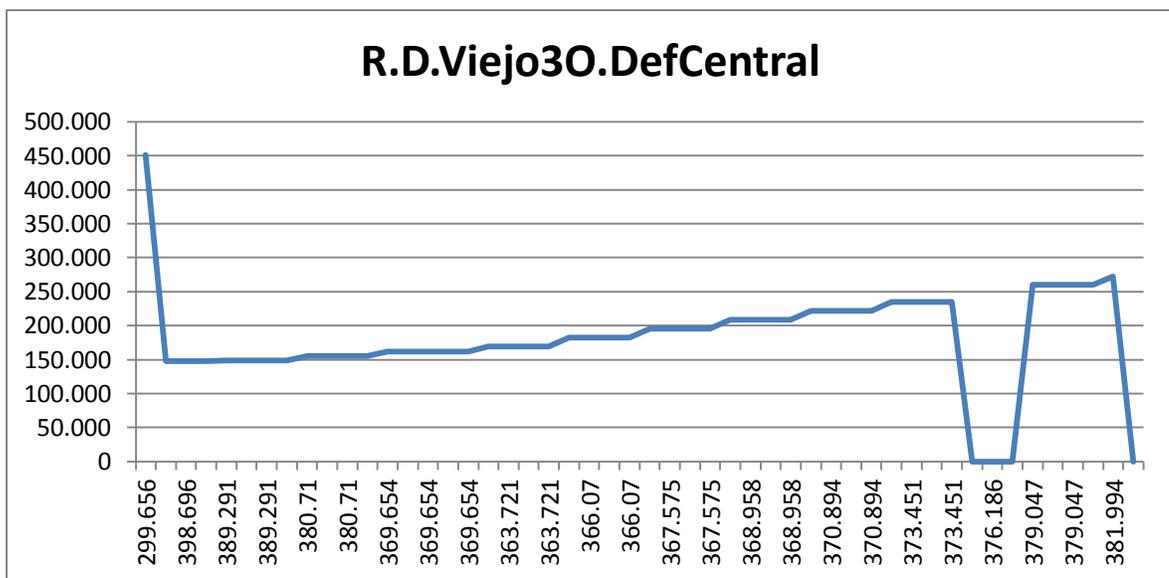
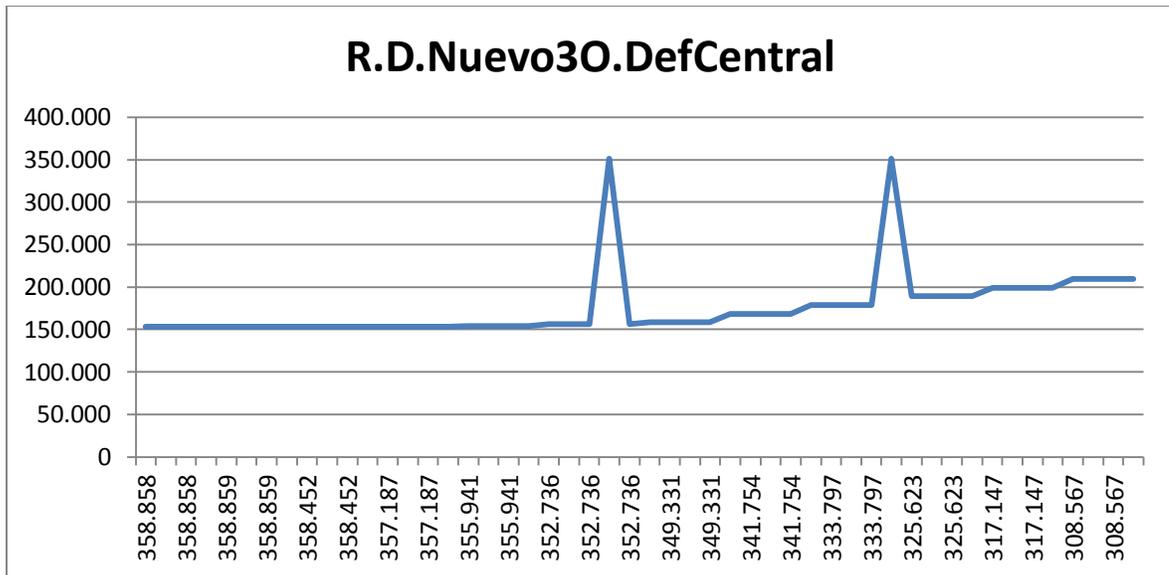
A continuación se encuentran las graficas de las pruebas de todos los roles de defensa en conjunto tanto de los roles nuevos como de los viejos. Esta prueba tiene adicionalmente negociación entre zonas para pedir un defensa extra si se necesita. Cada grafica corresponde al comportamiento de diferente rol a la hora de cambiar la bola de agente enemigo. Vale resaltar que para esta prueba se usan 2 agentes oponentes en la zona defensiva y en un caso especial se usan 3 agentes oponentes para analizar el caso con negociación.

Es importante ver como las graficas de cada rol nuevo se comportan estables después de alcanzar un punto en específico que representa el punto de ubicación donde debe posicionarse con respecto a la posición de la bola o del oponente. Por otro lado los roles antiguos no tienen esa estabilidad en las graficas ya que nunca se quedaban quietos y por el contrario abandonaban la zona defensiva.

En estas graficas se adiciona una grafica del rol delantero y refleja el movimiento que el delantero hace para poder llegar a la zona defensiva y convertirse en un defensa para poder proteger el arco.







La siguiente tabla muestra las posiciones que alcanzaban los agentes cuando se cambiaba la bola de posición. Si vemos las posiciones de los defensas antiguos, ambos se van para la posición donde está la bola y dejan descubierto el arco con los otros rivales en la zona defensiva. Por otra parte si vemos el comportamiento de los roles nuevos, estos no abandonan sus respectivas mitades de la zona defensiva para poder seguir cubriendo el arco de la bola y de los oponentes.

	Prueba de roles defensivos en conjunto		
	Posición1	Posición2	Posición3
Arquero nuevo	[3.094, 248.878]	[31.955, 249.103]	[28.978, 249.048]
Arquero Viejo	[2.907, 252.282]	[62.335, 292.999]	[58.18, 298.798]
DefensaDerechoNuevo	[149.472, 82.421]	[262.437, 104.392]	[262.272, 98.283]
DefensaDerechoViejo	[142.776, 113.477]	[212.516, 397.957]	[266.884, 260.224]
DefensaIzquierdoNuevo	[130.258, 396.206]	[158.76, 358.859]	[152.078, 356.021]
DefensaIzquierdoViejo	[128.625, 391.715]	[273.893, 434.882]	[262.694, 277.984]
Bola	[300.698, 454.641]	[319.668, 472.513]	[272.63, 450.999]

Tabla 3: Comparación prueba conjunta de roles defensivos

Para verificar que los roles defensivos podían suplir esta situación de ataque contrario al estar en desventaja numérica, se realizó una prueba con cinco repeticiones en la cual la zona defensiva disparaba una negociación con el fin de que la zona ofensiva le prestara un agente para poder convertirlo en defensa y poder seguir defendiendo el arco en igualdad numérica.

Pruebas = 5Repeticiones

Después de realizar las pruebas se puede observar que en los agentes antiguos al realizar la negociación exitosamente, los agentes pierden su punto atractor y no pueden volver a ubicarse en él. Lo cual muestra que no pueden suplir la situación de juego de tres oponentes atacando. Las graficas muestran que su comportamiento en el campo es inestable y que no se pueden ubicar en un punto fácilmente. Por otra parte al analizar el comportamiento de los roles defensivos nuevos, Se ve un comportamiento muy similar entre los tres roles defensivos que se usan normalmente, es decir Arquero, Defensa_Izquierdo y Defensa_Derecho. Sin embargo es interesante ver el comportamiento que tiene el delantero que va a suplir el espacio del centro del arco y que quedaría con el rol de Defensa_Central ya que mientras es delantero su movimiento es recto hasta que sale de la zona ofensiva, pero apenas entra en la zona defensiva, asume su posición de marcador y llega al punto atractor que le indica donde tiene que estar haciendo el marcaje.

Pruebas no exitosas

En el estado actual del framework MRCC (González et al., 2007) se presentan algunos problemas con respecto a las acciones cooperativas y a la simulación de partidos con dos equipos.

No se pueden realizar partidos con dos equipos ya que existe un problema en el manejo de los alias de los agentes a la hora de asignar los equipos a los que pertenecen es decir azul o amarillo. Esto impidió realizar pruebas con delanteros contrarios que dispararan al arco para medir en términos de goles recibidos, que tan efectiva es la formación defensiva propuesta.

Por otra parte mirando el tercer nivel de pruebas, no se pudo realizar la prueba de partidos completos ya que las acciones cooperativas existentes que son las que permiten realizar pases, hacer jugadas y marcar goles, no están funcionando adecuadamente desde el cambio de simulador que se realizó en junio de 2011. Debido a estos problemas se limitó a realizar las pruebas de una manera estática con el fin de verificar el buen funcionamiento de la formación propuesta pero no su efectividad.

Con respecto a los problemas presentados, en la sección seis de este documento se encuentran algunas propuestas de soluciones a este percance para que sea solucionado antes del mundial de RoboCup del año 2012.