UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. de INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

PROYECTO FIN DE CARRERA

SIMULACIÓN DE LA PLATAFORMA ROBÓTICA HOAP-3 EN EL SIMULADOR OPENHRP3

AUTOR: TAMARA RAMOS CAMBERO

TUTOR: CONCEPCIÓN ALICIA MONJE MICHARET

A mis padres y mi hermano.

Agradecimientos

Al comenzar a escribir estos párrafos se ha establecido en mi mente, de forma casi automática, una imagen de mi primer día de clase cuando comencé a estudiar la Ingeniería Técnica Industrial. Parece mentira que esté redactando los agradecimientos del proyecto fin de carrera.

No puedo evitar acordarme de mis amigos de toda la vida, de mis amigos de la universidad y de esas personas con las que he pasado buenos momentos y que siempre me han recordado que no hay nada que sea imposible. Todos ellos me han enseñado algo y por ello se merecen ser nombrados en estas líneas.

A mi tutora Concha, ha sido un placer compartir estos meses de trabajo. Gracias por estar siempre dispuesta a responder a mis preguntas y ayudarme en todo. También agradecer al resto de personas del departamento que me han prestado su ayuda para realizar este proyecto.

A mi hermano, ha sido un gran ejemplo para mí y siempre ha estado dispuesto a ayudarme en todo lo que he necesitado.

A mis padres, gracias por los valores que me habéis inculcado, gracias por la educación recibida y ayudarme a conseguir lo que siempre he deseado. Fuisteis los que me animaron a realizar estos estudios que llegan a su fin, por ello, os dedico este trabajo.

TAMARA RAMOS CAMBERO

23 de Septiembre de 2009

1 INTRODUCCIÓN 1

1.1 INTRODUCCIÓN 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO 2

2 SIMULADOR OPENHRP3 5

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL 5

2.2 REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS 6

2.2.1 Programas utilizados 6

2.2.1.1 Visual Studio 6

2.2.1.1.1 Librería BOOST 6

2.2.1.1.2 Librería CLAPACK 7

2.2.1.1.3 Librería TVMET 7

2.2.1.2 Entorno OpenRTM 8

2.2.1.2.1 ACE (Adaptative Communication Environment) 8

2.2.1.2.2 OmniOrb (Object Request Broker) 8

2.2.1.2.3 Python 9

2.2.1.3 Java y Jython 9

2.2.1.3.1 Java 9

2.2.1.3.2 Jython 10

2.2.2 Servidores 10

2.2.2.1 DynamicsSimulator 10

2.2.2.2 CollisionDetector 11

2.2.2.3 ModelLoader 11

2.2.2.4 VisionSimulator 11

2.2.2.5 Controller ..... **¡Error! Marcador no definido.**

2.2.2.6 CORBA ..... **¡Error! Marcador no definido.**

*2.2.3 Sistema Operativo ..... **¡Error! Marcador no definido.***

2.3 INTERFAZ 13

3 MODELO DE LA PLATAFORMA HOAP-3 EN OPENHRP3 17

3.1 HOAP-3 17

3.2 MODELO VRML DEL ROBOT HOAP-3 19

3.2.1 Lenguaje VRML 19

3.2.1.1 Historia 20

3.2.2 Estructura del fichero VRML 21

3.2.2.1 Nodo PROTO 22

3.2.2.1.1 Nodo Joint 23
3.2.2.1.2 Nodo Segment 24
3.2.2.1.3 Nodo Humanoid 26
3.2.2.1.4 Nodo VisionSensor 27
3.2.2.1.5 Nodo ForceSensor 28
3.2.3 Partes del fichero VRML para el modelo del robot HOAP-3 29
3.2.4 Estructura general del fichero VRML para el robot HOAP-3 34

4 SIMULACIÓN DE TAREAS EN OPENHRP3 39

4.1 ARCHIVOS NECESARIOS PARA LA SIMULACIÓN 39
4.1.1 Archivos de trayectorias 39
4.1.2 Archivo del controlador 43
4.1.3 Archivos de proyecto 44
4.2 CÓMO CARGAR EL PROYECTO EN EL SIMULADOR 45

5 SIMULACIÓN DE TAREAS DEL HOAP-3 EN OPENHRP3 51

5.1 INTRODUCCIÓN 51
5.2 TAREA MANOS ATRÁS 51
5.3 TAREA PASO LATERAL DERECHO 55

6 CONCLUSIONES 61

7 TRABAJOS FUTUROS 63

BIBILOGRAFÍA 65
ANEXO 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Interfaz simulador OpenHRP3. ..... *13*
Figura 2.2 Visualización modelo *13*
Figura 2.3 Vista de gráfica. *14*
Figura 2.4 Árbol de módulos *14*
Figura 3.1 HOAP-3. ..... *17*
Figura 3.2 Distribución de GDL del robot HOAP-3 ..... *18*
Figura 3.3 Modelo VRML robot HOAP-3 ..... *19*
Figura 3.4 Estructura del nodo Joint. *23*
Figura 3.5 Estructura del nodo Segment. *25*
Figura 3.6 Estructura del nodo Humanoid. *26*
Figura 3.7 Estructura del nodo VisionSensor. *27*
Figura 3.8 Estructura del nodo ForceSensor. *28*
Figura 3.9 Definición nodo Joint. *29*
Figura 3.10 Sistema de coordenadas VRML en OpenHRP3. ..... *30*
Figura 3.11 Definición nodo VisionSensor. *33*
Figura 3.12 Definición nodo ForceSensor. *33*
Figura 3.13 Modelo VRML del robot HOAP-3 articulaciones. *34*
Figura 3.14 Estructura de articulaciones del modelo VRML *35*
Figura 3.15 Modelo VRML del robot HOAP-3 eslabones. *36*
Figura 4.1 Estructura del archivo .dat. *40*
Figura 4.2 Tabla de referencia. *42*
Figura 4.3 Muestra del código del archivo del controlador. *43*
Figura 4.4 Ejemplo de archivo XML *44*
Figura 4.5 Directorio de la interfaz del simulador. *45*
Figura 4.6 Cargar proyecto en el simulador *46*
Figura 4.7 Seleccionar proyecto. *46*
Figura 4.8 Proyecto cargado. *47*
Figura 4.9 Iniciar simulación *47*
Figura 4.10 Finalizar o suspender simulación *48*
Figura 4.11 Insertar gráfica *48*
Figura 4.12 Configuración gráfica. *49*
Figura 4.13 Elemento untitled. *49*
Figura 4.14 Selección saveAsCSV *50*
Figura 4.15 Ubicación archivo .csv. *50*
Figura 5.1 Principio del archivo angle.dat para la tarea Manos Atrás. *52*
Figura 5.2 Final del archivo angle.dat para la tarea Manos Atrás. *52*
Figura 5.3 Posición de la rodilla derecha *53*
Figura 5.4 Velocidad rodilla derecha. *53*
Figura 5.5 Posición hombro izquierdo *54*

Figura 5.6 Par de fuerzas pie derecho en la tarea Manos Atrás. *54*
Figura 5.7 Par de fuerzas pie izquierdo en la tarea Manos Atrás. *55*
Figura 5.8 Principio del archivo vel.dat para la tarea Paso Lateral Derecho. *56*
Figura 5.9 Final archivo vel.dat para la tarea Paso Lateral Derecho. *56*
Figura 5.10 Posición de la cadera derecha. *57*
Figura 5.11 Velocidad de la cadera derecha. *57*
Figura 5.12 Posición codo izquierdo. *58*
Figura 5.13 Par de fuerzas pie derecho en la tarea Paso Lateral Derecho *58*
Figura 5.14 Par de fuerzas pie izquierdo en la tarea Paso Lateral Derecho. *59*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Valores RGB en VRML. *32*
Tabla 3.2. Equivalencia de articulaciones. *37*
Tabla 4.1. Articulaciones con convenciones iguales. *41*
Tabla 4.2. Articulaciones con convenciones contrarias. *41*

1 Introducción

1.1 Introducción

La existencia de plataformas computacionales de simulación es fundamental en la investigación robótica, especialmente si es con robots humanoides, puesto que nos permite desarrollar los controladores y la programación necesaria sin necesidad de poner en riesgo el complejo y caro sistema mecánico. En general, los objetivos que los simuladores permiten abordar son:

- Visualizar en tres dimensiones el entorno de trabajo y el modelo del robot en movimiento.
- Proporcionar un centro de pruebas para el desarrollo y evaluación de controles y software del robot.
- Servir como interfaz gráfico del usuario, que puede ser incluso interactivo en tiempo real con el robot.

Un requisito necesario para simulaciones realmente eficaces es que el comportamiento mecánico del robot virtual replique lo más exactamente posible al del robot real, por lo que el trabajo de preparación de una buena Plataforma de Simulación de Realidad Virtual resulta crucial. De ese modo, la programación desarrollada sobre el simulador podrá ser heredada por las aplicaciones reales.

1.2 Objetivos

Este proyecto tiene como objetivo el modelado de la plataforma robótica HOAP-3 en el simulador OpenHRP3. Dicho modelado permitirá la simulación de tareas del robot HOAP-3 en el entorno virtual, permitiendo la validación de las mismas para luego programarlas directamente sobre el robot.

En primer lugar, se realizará un estudio de dicho simulador y de sus características principales. Es decir, los programas que necesita OpenHRP3 para ejecutarse y la estructura interna del simulador.

Posteriormente, se desarrollará el modelo VRML del robot HOAP-3 para la plataforma OpenHRP3 siguiendo todas las características cinemáticas y dinámicas de dicho robot.

A continuación, una vez desarrollado el modelo se programarán distintas tareas del robot HOAP-3 en el simulador.

Por último, se probarán dichas tareas en el propio robot para comprobar si funcionan correctamente. De este modo, se validarán dichas tareas y el modelo del robot en el simulador OpenHRP3.

1.3 Estructura del documento

El capítulo 1 "Introducción" comienza con una breve introducción al proyecto y nos sitúa en el entorno en el que se va a desarrollar. Además, se exponen los objetivos principales y la estructura del mismo.

En el capítulo 2 "Simulador OpenHRP3" se trata todo lo referente a la plataforma OpenHRP3. Se explican los programas específicos que se deben instalar para la utilización del simulador. Además, también se explican la estructura del simulador (servidores) así como la interfaz gráfica.

En el capítulo 3 "Modelo de la plataforma HOAP-3 en OpenHRP3" se explican las características del robot HOAP-3, así como el modelo desarrollado para la plataforma

OpenHRP3 de este robot y el código VRML que es utilizado para realizar dicho modelo.

El capítulo 4 "Simulación de tareas en OpenHRP3" contiene la información de los archivos necesarios para la simulación de tareas en la plataforma OpenHRP3 y los pasos a seguir para realizarla.

El capítulo 5 "Simulación de tareas del HOAP-3 en OpenHRP3" explica las tareas del robot HOAP-3 simuladas en OpenHRP3. Además, se muestran los datos obtenidos de la simulación de dos de las tareas que han sido probadas en el simulador.

Las conclusiones a las que se han llegado se muestran en el capítulo 6. Mientras que los posibles trabajos futuros y líneas de investigación que se pueden seguir se muestran en el capítulo 7.

Al final del documento, se incluyen la bibliografía utilizada y el anexo.

2 Simulador OpenHRP3

2.1 Descripción general

OpenHRP3 (Open Architecture Humanoid Robotics Plataform version 3) es una plataforma para simulaciones de robots y desarrollo de software. Permite a los usuarios inspeccionar el modelo original del robot y el programa de control a través de una simulación dinámica. Además, OpenHRP3 proporciona diversos componentes software de cálculo y bibliotecas que pueden ser utilizadas para desarrollar software relacionados con la robótica.

OpenHRP3 se desarrolla dentro de un importante programa de investigación impulsado por el Ministerio de Economía e Industria de Japón. Forma parte, como proyecto complementario, del llamado "Distributed component type robot simulator", llevado a cabo por "Cooperation of Next Generation Robots", que pertenece al Gobierno de Cooperación de Ciencia y Tecnología. La ingeniería de cálculos dinámicos es desarrollada por "Nakamura Lab, Dept. of Mechano Informatics, University of Tokyo" y la interfaz gráfica es realizada por "General Robotix, Inc". Las otras partes se desarrollan como trabajo entre cooperación de "Humanoid Resarch Group" y "Task-Intelligence Research Group" en los institutos "Intelligent Systems Research Institute" y "National Institute of Advanced Indrustrial Science and Technology (AIST)" [6].

Esta tercera versión (llamada OpenHRP3) ha mejorado considerablemente el desarrollo en comparación con la anterior versión OpenHRP2. Además, OpenHRP3 se distribuye como software de código abierto.

2.2 Requerimientos específicos

2.2.1 Programas utilizados

Para utilizar el simulador OpenHRP3 es necesario instalar unos programas específicos, estos programas son descritos a continuación.

2.2.1.1 Visual Studio

Microsoft Visual Studio [8] es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión net 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomuniquen entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles.

En este caso, Visual Studio es el programa encargado de compilar todas las librerías necesarias que están incluidas en el proyecto OpenHRP3.

Algunas de las librerías que posee este proyecto son *Boost*, *Clapack* y *Tvmet*. A continuación se expone una breve explicación de cada una de ellas.

2.2.1.1.1 ***Librería BOOST***

BOOST [9] es un conjunto de librerías de código abierto preparadas para extender las capacidades del lenguaje de programación C++. Su licencia permite que sea utilizada en cualquier tipo de proyectos, ya sean comerciales o no.

Su diseño e implementación permiten que sea utilizada en un amplio espectro de aplicaciones y plataformas. Abarca desde librerías de propósito general hasta abstracciones del sistema operativo.

Con el objetivo de alcanzar el mayor rendimiento y flexibilidad se hace un uso intensivo de plantillas.

2.2.1.1.2 ***Librería CLAPACK***

En primer lugar se describe *Lapack* debido a que esta librería es la madre de CLAPACK [10]. *Lapack* es una librería de subrutinas escritas en Fortran77 para resolver la mayoría de los problemas que ocurren en álgebra lineal. Ha sido diseñada para ser eficiente en un amplio rango de computadores modernos de alto desempeño. El nombre *Lapack* es el acrónimo de Linear Algebra PACKage.

Lapack provee rutinas para resolver sistemas de ecuaciones lineales, problemas de mínimos cuadrados lineales, problemas de valor propio y problemas de valores singulares.

Por otra parte, funcionalidades similares son provistas para matrices reales y complejas, tanto en precisión simple como doble.

El objetivo principal de CLAPACK consiste en proveer *Lapack* a usuarios que no tienen acceso a compiladores Fortran. Además, gracias a que CLAPACK tiene versiones tanto para LINUX como para Windows, puede ser utilizado por una gran cantidad de usuarios.

2.2.1.1.3 ***Librería TVMET***

TVMET [11] es una librería de vectores y matrices que usan Meta Templates y Expression Templates para evaluar los resultados en el tiempo de compilación.

El código producido es similar al código hand-code, pero la calidad del código todavía depende del compilador y de su versión. Las dimensiones para los vectores y las matrices son estáticas y limitadas.

2.2.1.2 Entorno OpenRTM

El OpenRT [7] trabaja la interfaz gráfica interactiva de 3D. Se encarga de los modelos dinámicos animados y de la iluminación global, para la visualización de un prototipo de alta calidad.

El RT-MIDDLEWARE proporciona una plataforma común para la tecnología robótica y aumenta la eficacia de la investigación y desarrollo en la robótica y sus aplicaciones.

Un problema serio a menudo indicado en el desarrollo de software que apoya sistemas robóticos comparado con el software tradicional es la imposibilidad de reutilización debido a lo específico de cada sistema robótico. De esta observación, surge la idea de desarrollar un middleware que proporciona una plataforma común para ayudar en el desarrollo de sistemas robóticos, en los cuales un número grande de usuarios podría estar implicado, promoviendo así la reutilización del software de alto nivel en la realización de la tecnología robótica.

Para crear el entorno del proyecto, necesitamos el programa OpenRTM-aist (Advanced Industrial Science and Technology), el cual se ayuda de otros tres programas (ACE, OmniORB y Python). A continuación se hará una descripción de cada uno de ellos.

2.2.1.2.1 ***ACE (Adaptative Communication Environment)***

El Ambiente de Comunicación Adaptable (ACE) [12] simplifica varios aspectos de la programación en red. Ofrece un juego de objetos de alto rendimiento orientados a clases de C++ diseñadas para dirigir las complejidades inherentes y desafíos de la programación en red, previniendo errores comunes.

2.2.1.2.2 ***OmniOrb (Object Request Broker)***

ORB es, en computación distribuida, el nombre que recibe una capa de software (también llamada middleware) que permite a los objetos realizar llamadas a métodos situados en máquinas remotas, a través de una red. Maneja la transferencia de estructuras de datos de manera que sean compatibles entre los dos objetos. Para

ello utiliza un estándar para convertir las estructuras de datos en un flujo de bytes, conservando el orden de los bytes entre distintas arquitecturas. Este proceso se denomina marshalling (y también su opuesto, unmarshalling) [13].

Básicamente permite a objetos distribuidos interactuar entre sí de manera transparente, es decir, como si estuviesen en la misma máquina.

2.2.1.2.3 ***Python.***

Phyton [14] es un lenguaje de programación dinámico orientado a objetos que puede ser usado para muchas clases de desarrollo de software. Ofrece un gran apoyo a la integración con otros lenguajes e instrumentos y viene con bibliotecas estándar extensas.

Los sistemas operativos sobre los que trabaja son Windows, Linux/Unix, Mac OS X, OS/2 y teléfonos móviles Nokia. Phyton también ha sido puesto a Java y máquinas .NET virtuales.
Es distribuido bajo una licencia gratuita para utilizarlo libremente, aún para productos comerciales.

2.2.1.3 Java y Jython

2.2.1.3.1 ***Java***

Java [15] es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria.

Las aplicaciones Java están típicamente compiladas en un *bytecode*, aunque la compilación en código máquina nativo también es posible. En el tiempo de ejecución, el *bytecode* es normalmente interpretado o compilado a código nativo para la ejecución, aunque la ejecución directa por hardware del *bytecode* por un procesador Java también es posible.

Java es una aplicación que nos permite jugar en línea, participar en sesiones de chat con internautas de todo el mundo, calcular los intereses de una hipoteca y ver imágenes en tres dimensiones, entre otras muchas aplicaciones. Es también esencial para las aplicaciones de intranet y otras soluciones de comercio electrónico que constituyen la base informática de las empresas.

Hasta la fecha, la plataforma Java ha atraído a más de cinco millones de desarrolladores de software. Se utiliza en los principales sectores de la industria de todo el mundo y está presente en un gran número de dispositivos, equipos y redes.

La versatilidad y eficiencia de la tecnología Java, la portabilidad de su plataforma y la seguridad que aporta la han convertido en la tecnología ideal para su aplicación a redes. De portátiles a centros de datos, de consolas de juegos a super equipos científicos, de teléfonos móviles a Internet, Java está en todas partes.

En OpenHRP, algunos de los componentes, tales como GrxUI, están escritos en Java. Por lo tanto, tenemos que configurar el entorno Java para compilar y ejecutar los componentes.

2.2.1.3.2 *Jython*

Jython [16] es una aplicación de alto nivel, orientado a objetos en lenguaje Python escrito en Java. El predecesor de Jython, JPython, está certificado como 100% puro Java. Jython está disponible gratuitamente tanto para aplicaciones comerciales como no comerciales y se distribuye con su código fuente.

2.2.2 Servidores

OpenHRP3 está formado por distintos servidores encargados de obtener los datos del modelo del robot y del entorno.

2.2.2.1 DynamicsSimulator

El simulador dinámico (DynamicsSimulator [6]) calcula la dinámica inversa del link, integrando la aceleración obtenida del joint (articulación) y actualiza la velocidad y valor del joint. Puede manejar arbitrariamente mecanismos en cadena abierta y

mecanismos en cadena cerrada. Además, cuando detecta una colisión entre links, y si hay velocidad relativa entre ambos, en primer lugar ajusta la velocidad relativa a cero a través del cálculo de colisión y después calcula la potencia de contacto necesaria para no desarrollar una aceleración relativa. Una parte del resultado del cálculo dinámico puede ser tomado como salida del sensor.

2.2.2.2 CollisionDetector

El servidor CollisionDetector [6] detecta el contacto entre el robot y el entorno. Se llama desde el servidor DynamicsSimulator durante la ejecución de la simulación. OPCODE es utilizado como un algoritmo de detección de colisión. El usuario del servidor DynamicsSimulator no necesita llamar al servidor CollisionDetector directamente, sino que es llamado desde el propio DynamicSimulator si es necesario. El CollisionDetector calcula el punto de contacto y el vector de la fuerza de reacción.

2.2.2.3 ModelLoader

El ModelLoader [6] lee el modelo de robot con el que trabajará (descrito más adelante) el simulador y extrae los parámetros dinámicos y los datos de dicho robot. El modelo expresa los parámetros dinámicos y la dinámica del robot en el entorno del simulador mediante el uso de archivos VRML.

2.2.2.4 VisionSimulator

El servidor VisionSimulator [6] simula el sensor de visión (cámara) que adjunta el robot.

2.2.2.5 Controller

Controller [6] es un programa de control que incrementa el lazo de control del robot. dicho lazo de control garantiza la estabilidad del prototipo durante la realización de tareas y funciona aún cuando el robot está parado.

2.2.2.6 CORBA

OpenHRP3 tiene un sistema de distribución de objetos basado en CORBA [6] (Common Object Request Broker Architecture). Por este motivo todos los servidores en OpenHRP3 están implementados como objetos CORBA. Cada uno de los servidores están programados en el lenguaje y sistema operativo apropiado y finalmente conectados a través de CORBA.

2.2.3 Sistema Operativo

Actualmente OpenHRP3 es soportado en las siguientes plataformas [6].

- Ubuntu Linux 7 o posterior (recomendado).
- Windows XP, Vista (32bit).

2.3 Interfaz

En la
Figura 2.1 se presenta la interfaz del simulador OpenHRP3.

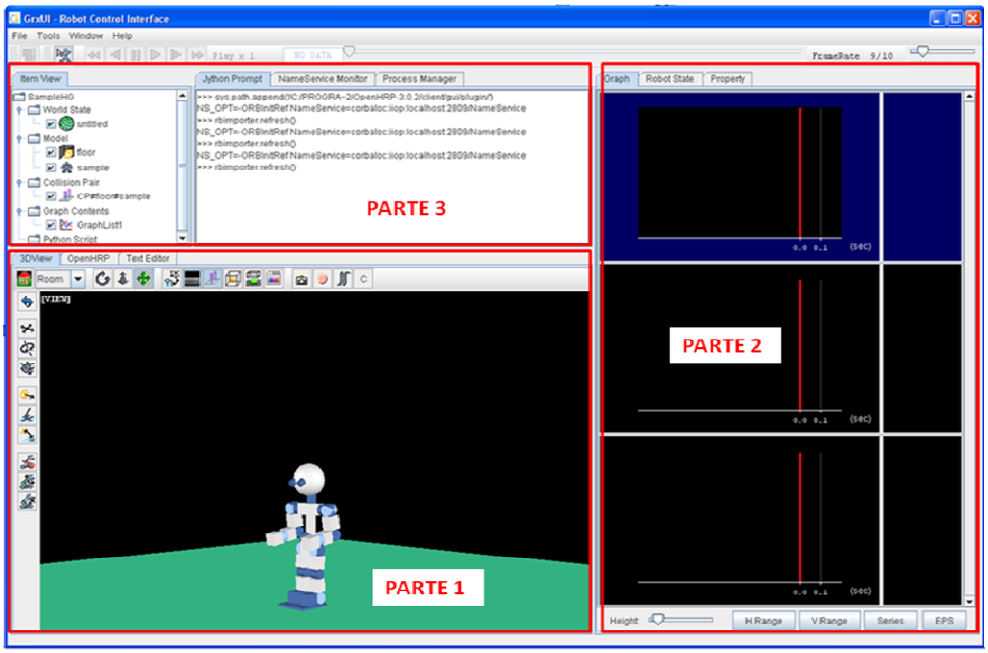


Figura 2.1 Interfaz simulador OpenHRP3.

La interfaz de este simulador está dividido básicamente en tres partes. La primera de ellas está dirigida a la visualización del modelo del robot durante la simulación (Figura 2.2).

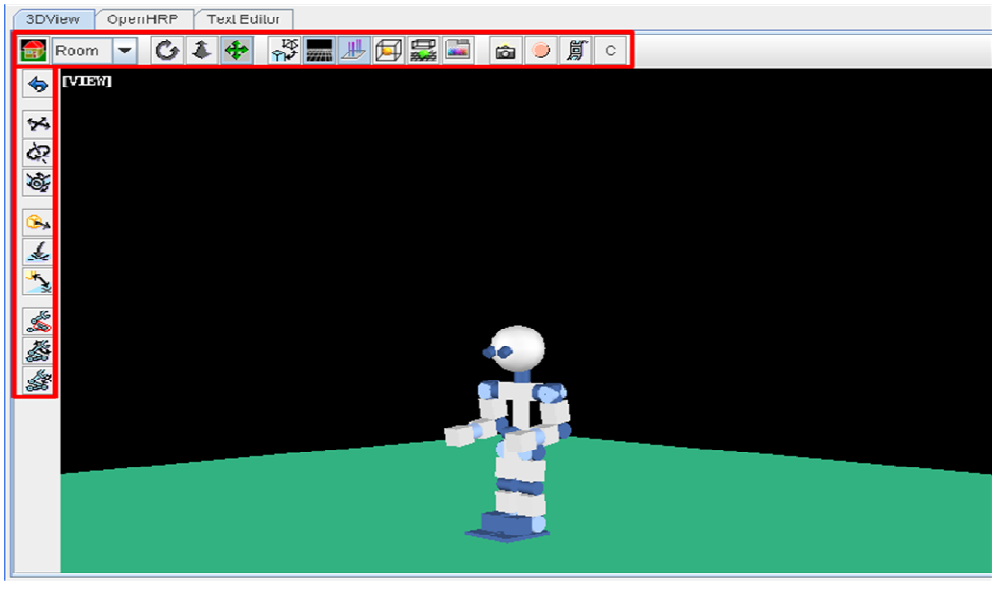


Figura 2.2 Visualización modelo.

En esta zona se encuentran dos barras de herramientas, una vertical y otra horizontal, que permiten modificar aspectos de la visualización del entorno del robot, tomar fotos y grabar vídeos de tareas.

Una segunda parte situada a la derecha de la interfaz, se muestra en la Figura 2.3. En ella se visualizan las gráficas que representan la evolución de las variables articulares durante la simulación (posición, velocidad, aceleración), así como los datos de los distintos sensores incluidos a lo largo de la estructura mecánica del robot (sensores de fuerza, etc.).

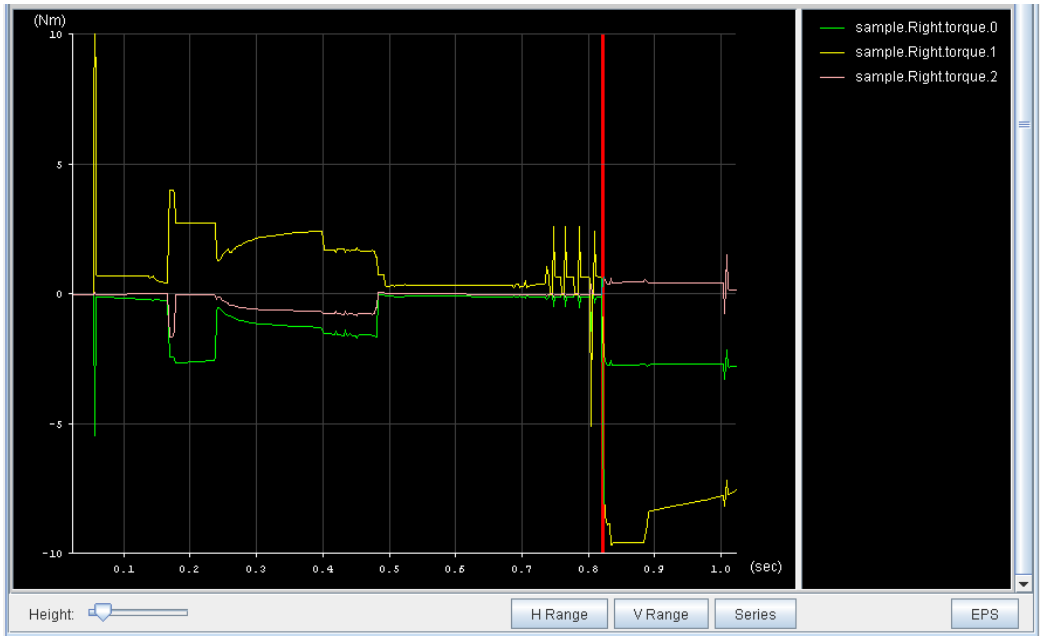


Figura 2.3 Vista de gráfica.

Por último, en la interfaz se puede observar el árbol de módulos cargados en la simulación, tal y como se muestra en la parte izquierda de la Figura 2.4.

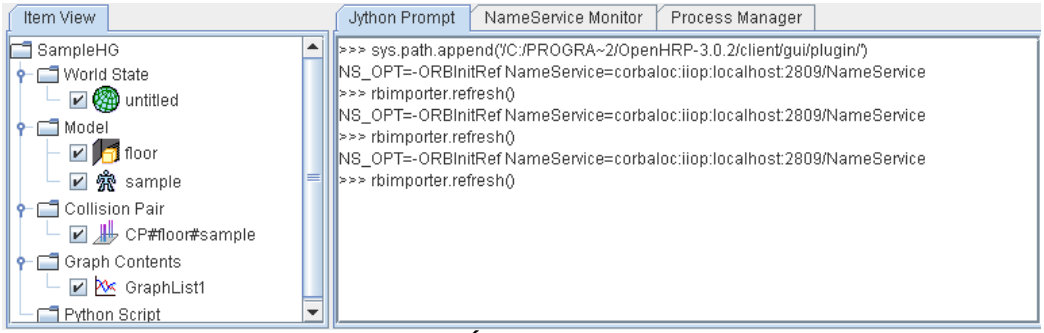


Figura 2.4 Árbol de módulos.

Estos módulos pueden ser el modelo del robot, el modelo del entorno, el módulo de colisión (Collision Pair) y el paquete de visualización de gráficas, entre otros. A la derecha del árbol de módulos se encuentra una ventana donde se pueden introducir líneas de comando.

3 Modelo de la plataforma HOAP-3 en OpenHRP3

3.1 HOAP-3

El robot humanoide en miniatura HOAP (Humanoid for Open Architecture Platform) ha sido desarrollado por Fujitsu Automation en colaboración con Fujitsu Lab.

La primera versión de este robot, HOAP-1, que salió al mercado en el año 2001, seguida por la segunda versión HOAP-2 en el año 2003, han dado lugar al desarrollo de la tercera versión de dicho robot, HOAP-3, en el año 2005. La Figura 3.1 muestra el robot HOAP-3.

Figura 3.1 HOAP-3.

Desde la venta de la primera versión HOAP-1 en 2001, la serie de robots humanoides HOAP ha sido cada vez más utilizada en los departamentos de ingeniería mecánica de las universidades, así como en las áreas de investigación robótica.

El robot HOAP-3 tiene una altura de 60 cm y un peso aproximado de 8 Kg [1]. Posee 28 grados de libertad (GDL) distribuidos como se muestra en la Figura 3.2 .

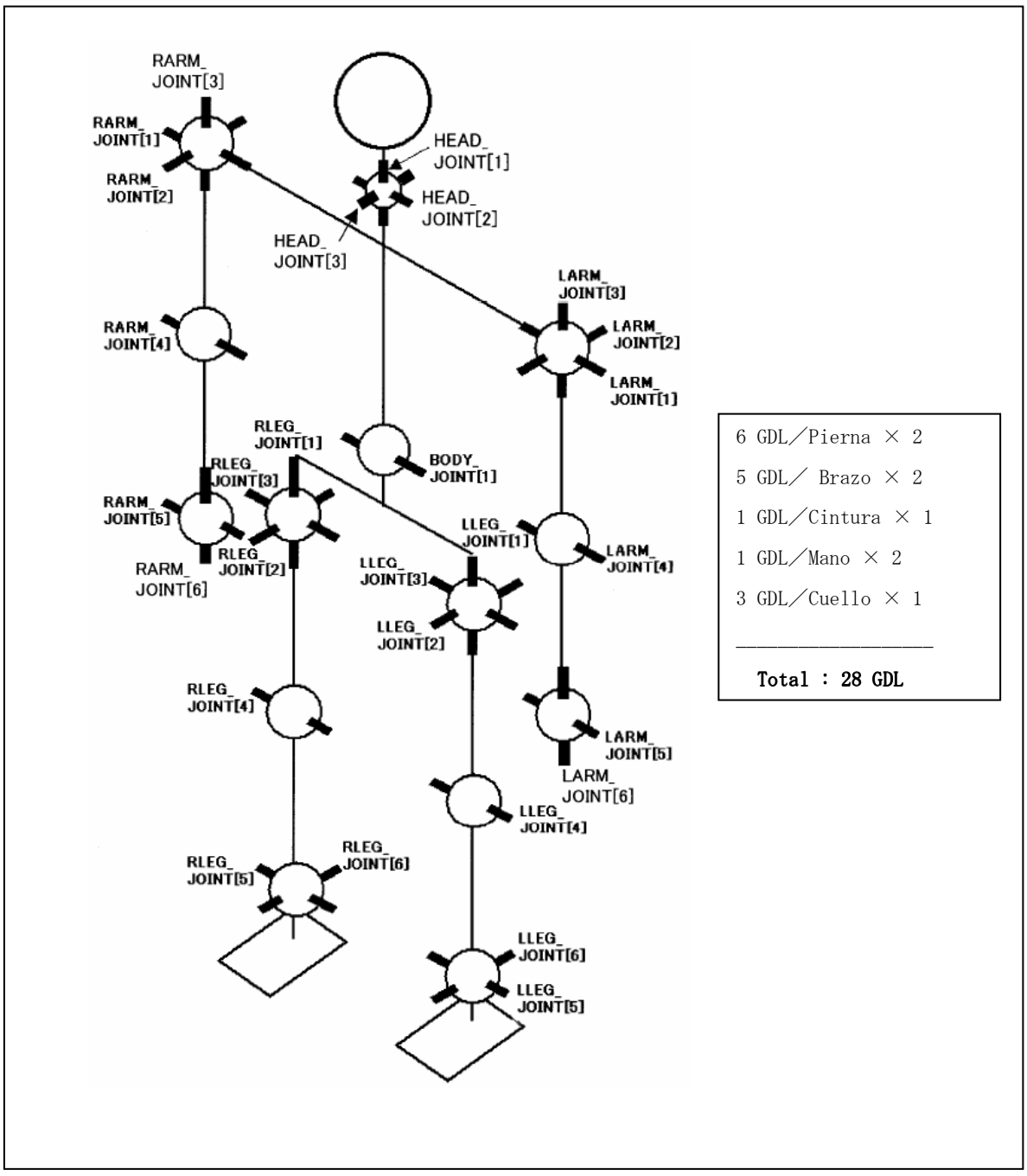


Figura 3.2 Distribución de GDL del robot HOAP-3

El robot está dotado con distintos sensores. Por ejemplo, sensores de aceleración, sensores de fuerza, sensores para medir distancias a través de infrarrojos, etc. Además el robot también incluye una cámara, un micrófono, un altavoz y dos LED en la cabeza.

En esta nueva revisión se incluyen características tales como el mostrar emociones a través de un LED, reconocimiento de imágenes y de audio, síntesis de voz y posibilidad de comunicarse con otro humano en un intento de diálogo natural fluido. Al igual que la serie HOAP anterior, la información de interfaz interna de hardware y software es de código abierto, por lo que un usuario puede programar libremente. Todo ello funciona sobre RTLinux y se proporcionan toda clase de herramientas para este sistema operativo con el fin de poder programar el robot y añadir funcionalidades adicionales, dando control total al usuario.

3.2 Modelo VRML del robot HOAP-3

3.2.1 Lenguaje VRML

El lenguaje VRML es pieza fundamental de la representación virtual que realiza la plataforma de simulación OpenHRP3. Para el modelo desarrollado del robot HOAP-3 se ha utilizado la versión 2.0 de dicho lenguaje. El modelo se muestra en la Figura 3.3.

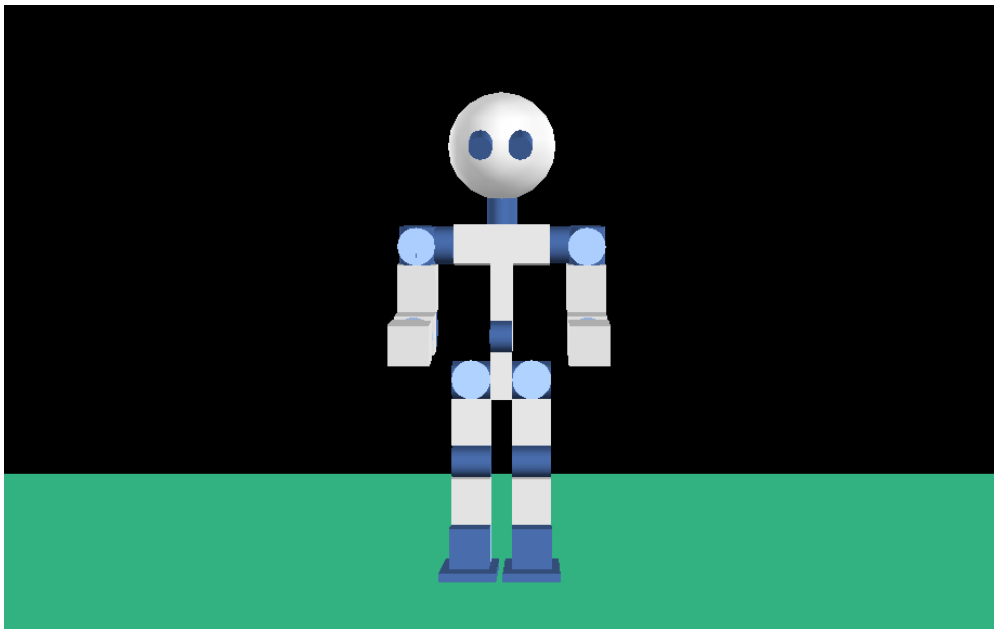


Figura 3.3 Modelo VRML robot HOAP-3

3.2.1.1 Historia

El lenguaje VRML [4] surgió en la primavera de 1994 para tratar de acercar los desarrollos de realidad virtual a Internet. Sus creadores llegaron a la conclusión de que se tenía que desarrollar un lenguaje común para la descripción de los mundos en tres dimensiones. De este modo, en la Primera Conferencia Mundial de la World Wide Web, en Ginebra se aprobó el desarrollo de un nuevo lenguaje que permitiese crear mundos en tres dimensiones a los que se pudiera acceder por la World Wide Web.

Ante el amplio apoyo recibido en dicha conferencia y junto a la ayuda de la revista Wired, se estableció una lista de correo con el objetivo de conseguir una primera especificación del lenguaje en unos cinco meses, de forma que se pudiese presentar en la segunda conferencia Web en Octubre de ese mismo año. Tras una serie de debates en los que se discutieron diferentes propuestas, la alternativa presentada por Silicon Graphics fue la que consiguió un mayor número de votos, convirtiéndose de este modo en la base del nuevo estándar. Esta propuesta consistía en utilizar como punto de partida el lenguaje en el que estaba basada Inventor, un producto de dicha compañía. Finalmente, en Octubre de 1994 se presentó la especificación de VRML 1.0.

VRML 1.0 es un lenguaje para la descripción de mundos virtuales estáticos que cumple tres requisitos fundamentales:

- Es independiente de la plataforma donde se ejecute el visualizador.
- Tiene capacidad para trabajar de un modo eficiente con conexiones lentas.
- Extensibilidad, es decir, facilidad para futuras ampliaciones del lenguaje.

Sin embargo, tras el tiempo de chequeo inicial, se observó que los mundos estáticos no eran suficientes, sino que hacía falta que los objetos tuviesen comportamientos propios y que el usuario pudiese interactuar con ellos., esto llevó a la versión 2.0. Esta nueva versión es mucho más sofisticada que su predecesora y en la cual destacan los siguientes aspectos:

- Posibilidad de especificar comportamientos para los objetos, ya sea usando el propio lenguaje VRML o mediante scripts en lenguajes externos (JavaScript, Java, Visual Basic, etc.), los cuales no están limitados por la especificación.

- Posibilidad de interacción con el usuario mediante la definición de una serie de sensores de posición, de contacto, de colisión, etc. La información registrada por estos sensores es enviada a los diferentes objetos que componen el mundo virtual y, en función de los valores recibidos, cada objeto virtual actuará en consecuencia.

- El lenguaje de descripción de escenas tridimensionales fue ampliado significativamente, posibilitando efectos de fondo, sonidos tridimensionales, niebla, etc.

3.2.2 Estructura del fichero VRML

El fichero VRML desarrollado para el modelo en el simulador OpenHRP3 [6] consta de unos elementos básicos:

- Cabecera
- Comentarios
- Nodos

La cabecera indica el estándar empleado, la versión del archivo VRML y el uso de caracteres internacionales. En este caso la cabecera del archivo es: #VRML V2.0 utf8. Es importante resaltar que no debe existir ningún espacio en blanco entre el símbolo "#" y la palabra "VRML".

Los comentarios en VRML se escriben en una sola línea, la cual comienza con el símbolo "#". Se pueden incluir tantas líneas de comentarios como se desee.

Un nodo es la estructura mínima indivisible de un fichero VRML y tiene como misión la definición de las características de un objeto o bien las relaciones entre distintos objetos. Los nodos contienen campos que describen propiedades de los objetos. Todo campo tiene un tipo determinado y no se puede inicializar con valores de otro tipo. De este modo, cada tipo de nodo tiene una serie de valores predeterminados para todos

sus campos, de forma que cuando se utilice solo debe indicarse aquellos campos que se quieran modificar.

3.2.2.1 Nodo PROTO

En OpenHRP3, el modelo se realiza mediante la unión de distintos nodos PROTO. El nodo PROTO utilizado aquí se basa en el nodo PROTO promulgado por el H-Anim (Humanoid Animation Working Group) [17]. Este nodo sigue las especificaciones del H-Anim 1.1, que se utilizó originalmente para describir figuras humanas y que ha sido ampliado y modificado para ser usado en el modelo OpenHRP3. Estos nodos OpenHRP3 PROTO que se utilizarán en el modelo son Humanoid, Joint y Segment.

Además de los tres nodos PROTO mencionados anteriormente, también existen otros nodos PROTO para definir distintos sensores. Se pueden simular varios sensores incluyendo las definiciones de estos sensores, como Gyro sensor, sensor de aceleración, sensor de presión, etc. Actualmente también se incluyen nodos de sensores de visión para simular una cámara y sensores de fuerza para simular fuerzas y pares de fuerzas.

Los nodos utilizados en OpenHRP3 se clasifican de la siguiente forma:

- Nodos que definen la estructura de vínculos y los parámetros dinámicos y mecánicos.
    - Joint Node.
    - Segment Node.
    - Humanoid Node.

- Nodos que definen sensores.
    - VisionSensor Node.
    - ForceSensor Node.
    - Gyro Node.
    - AccelerationSensor Node.
    - PressureSensor Node.

A continuación se explica brevemente cada uno de los nodos utilizados para la creación del modelo del robot HOAP-3.

3.2.2.1.1 ***Nodo Joint***

El nodo Joint especifica la estructura de vínculos, es decir, define cada articulación del robot al que irán asociados los eslabones correspondientes definidos en el nodo Segment (explicado más adelante). En la Figura 3.4 se muestra la estructura del nodo Joint con cada uno de los campos que lo forman.

```
PROTO Joint [
exposedField     SFVec3f      center              0 0 0
exposedField     MFNode       children            []
exposedField     MFFloat      llimit              []
exposedField     MFFloat      lvlimit             []
exposedField     SFRotation   limitOrientation    0 0 1 0
exposedField     SFString     name                ""
exposedField     SFRotation   rotation            0 0 1 0
exposedField     SFVec3f      scale               1 1 1
exposedField     SFRotation   scaleOrientation    0 0 1 0
exposedField     MFFloat      stiffness           [ 0 0 0 ]
exposedField     SFVec3f      translation         0 0 0
exposedField     MFFloat      ulimit              []
exposedField     MFFloat      uvlimit             []
exposedField     SFString     jointType           ""
exposedField     SFInt32      jointId             -1
exposedField     SFVec3f      jointAxis           0 0 1

exposedField     SFFloat      gearRatio           1
exposedField     SFFloat      rotorInertia        0
exposedField     SFFloat      rotorResistor       0
exposedField     SFFloat      torqueConst         1
exposedField     SFFloat      encoderPulse        1
]
{
Transform {
center           IS center
children         IS children
rotation         IS rotation
scale            IS scale
scaleOrientation IS scaleOrientation
translation      IS translation
}
}
```

Figura 3.4 Estructura del nodo Joint.

A continuación se explica cada uno de los campos que componen el nodo Joint.

- *center*: Centro de los ejes de rotación de la articulación.
- *children*.: Utilizado para especificar los nodos hijos (nodos secundarios).

- *llimit*: Límite inferior del valor del ángulo de rotación de la articulación (rad).
- *lvlimit*: Límite inferior del valor de la velocidad angular de rotación de la articulación [rad/seg].
- *limitOrientation*: No utilizado en OpenHRP3.
- *name*: Nombre de la articulación.
- *rotation*: Es la rotación del sistema de coordenadas local. Especifica el valor de rotación [rad], en relación con el nodo padre (nodo anterior).
- *scale*: Permite establecer una escala.
- *scaleOrientation*: Utilizado para especificar la orientación de los sistemas de coordenadas utilizados en la escala.
- *stiffness*: No utilizado en OpenHRP3.
- *translation*: Es la traslación del sistema de coordenadas local. Especifica el valor de desplazamiento [m], en relación con el nodo padre (nodo anterior).
- *ulimit*: Límite superior del valor del ángulo de rotación de la articulación [rad].
- *uvlimit*: Límite superior del valor de la velocidad angular de rotación de la articulación [rad/seg].
- *jointType*: Especifica el tipo de articulación. Puede ser de tipo free, slide, rotate y fixed.
- *jointId*: Especifica el número de identificación de la articulación.
- *jointAxis*: Especifica el eje de referencia de la articulación.
- *gearRatio*: Si la razón de la desaceleración del motor de la articulación es 1/100, asignar como 100.
- *gearEfficiency*: Eficiencia de desaceleración. Si el rendimiento es del 60%, asignar como 0,6.
- *rotorInertia*: Especifica el momento de inercia del rotor del motor [kg / m^2].
- *rotorResistor*: Resistencia de la bobina del motor [Ohm].
- *torqueConst*: Constante del par de fuerza [Nm / seg].
- *encoderPulse*: Contador de pulsos del encoder.

3.2.2.1.2 ***Nodo Segment***

El nodo Segment define la forma de la pieza que forma la articulación (eslabón). En la Figura 3.5 se muestra la estructura del nodo Segment con cada uno de los campos que lo forman.

```
PROTO Segment [
  field         SFVec3f   bboxCenter        0 0 0
  field         SFVec3f   bboxSize          -1 -1 -1
  exposedField  SFVec3f   centerOfMass      0 0 0
  exposedField  MFNode    children          [ ]
  exposedField  SFNode    coord             NULL
  exposedField  MFNode    displacers        [ ]
  exposedField  SFFloat   mass              0
  exposedField  MFFloat   momentsOfInertia  [ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ]
  exposedField  SFString  name              ""
  eventIn       MFNode    addChildren
  eventIn       MFNode    removeChildren
]
{
  Group {
    addChildren    IS addChildren
    bboxCenter     IS bboxCenter
    bboxSize       IS bboxSize
    children       IS children
    removeChildren IS removeChildren
  }
}
```

Figura 3.5 Estructura del nodo Segment.

A continuación se explica cada uno de los campos que componen el nodo Segment.

- *bboxCenter*: No utilizado en OpenHRP3.
- *bboxSize*: No utilizado en OpenHRP3.
- *centerOfMass*: Coordenadas del centro de gravedad.
- *children*: Especifica los nodos secundarios, se añaden los nodos que definen la forma.
- *coord*: No utilizado en OpenHRP3.
- *displacers*: No utilizado en OpenHRP3.
- *mass*: Masa de la articulación.
- *momentsOfInertia*: Momento de inercia de la articulación.
- *name*: Nombre de la articulación.
- *addChildren*: No utilizado en OpenHRP3.
- *removeChildren*: No utilizado en OpenHRP3.

3.2.2.1.3 ***Nodo Humanoid***

El nodo Humanoid es el nodo raíz del modelo. En la Figura 3.6 se muestra la estructura del nodo Humanoid con cada uno de los campos que lo forman.

```
PROTO Humanoid [
  field         SFVec3f     bboxCenter        0 0 0
  field         SFVec3f     bboxSize          -1 -1 -1
  exposedField  SFVec3f     center            0 0 0
  exposedField  MFNode      humanoidBody      [ ]
  exposedField  MFString    info              [ ]
  exposedField  MFNode      joints            [ ]
  exposedField  SFString    name              ""
  exposedField  SFRotation  rotation          0 0 1 0
  exposedField  SFVec3f     scale             1 1 1
  exposedField  SFRotation  scaleOrientation  0 0 1 0
  exposedField  MFNode      segments          [ ]
  exposedField  MFNode      sites             [ ]
  exposedField  SFVec3f     translation       0 0 0
  exposedField  SFString    version           "1.1"
  exposedField  MFNode      viewpoints        [ ]
]
{
  Transform {
    bboxCenter       IS bboxCenter
    bboxSize         IS bboxSize
    center           IS center
    rotation         IS rotation
    scale            IS scale
    scaleOrientation IS scaleOrientation
    translation      IS translation
    children [
      Group {
        children IS viewpoints
      }
      Group {
        children IS humanoidBody
      }
    ]
  }
}
```

Figura 3.6 Estructura del nodo Humanoid.

A continuación se explica cada uno de los campos que componen el nodo Humanoid.

- *bboxCenter*: No utilizado en OpenHRP3.
- *bboxSize*: No utilizado en OpenHRP3.
- *center*: Consultar "center" en nodo Joint.
- *humanoidBody*: Utilizado para especificar los nodos secundarios.
- *info*: Este campo se utiliza para realizar comentarios sobre el modelo.

- *joints*: Almacena la lista de los nodos Joint definidos.
- *name*: Especifica el nombre del modelo.
- *rotation*: Consultar "rotation" en nodo Joint.
- *scale*: Consultar "scale" en nodo Joint.
- *scaleOrientation*: Consultar "scaleOrientation" en nodo Joint.
- *segments*: Almacena la lista de los nodos Segment definidos.
- *sites*: No utilizado en OpenHRP3.
- *translation*: Consultar "translation" en nodo Joint.
- *version*: Número de versión del modelo.
- *viewpoints*: Posiciones de observación en el entorno virtual.

.

3.2.2.1.4 ***Nodo VisionSensor***

El nodo VisionSensor se utiliza para definir los sensores de visión. En la Figura 3.7 se muestra la estructura del nodo VisionSensor con cada uno de los campos que lo forman.

```
PROTO VisionSensor
[
  exposedField  SFVec3f     translation       0 0 0
  exposedField  SFRotation  rotation          0 0 1 0
  exposedField  SFFloat     fieldOfView       0.785398
  field         SFString    name              ""
  exposedField  SFFloat     frontClipDistance 0.01
  exposedField  SFFloat     backClipDistance  10.0
  exposedField  SFString    type              "NONE"
  exposedField  SFInt32     sensorId          -1
  exposedField  SFInt32     width             320
  exposedField  SFInt32     height            240
]
{
  Transform
  {
    translation IS translation
    rotation    IS rotation
  }
}
```

Figura 3.7 Estructura del nodo VisionSensor.

A continuación se explica cada uno de los campos que componen el nodo VisionSensor.

- *translation*: Posición del sistema de coordenadas local. Especifica el valor de desplazamiento [m], en relación con el sistema de coordenadas del nodo padre.
- *rotation*: Orientación del sistema de coordenadas local. Especifica el valor de rotación [rad], en relación con el sistema de coordenadas del nodo padre.
- *fieldOfView*: Ángulo de visión de la cámara [rad]. Rango válido entre 0 y pi.
- *name*: Nombre del sensor.
- *frontClipDistante*: Distancia desde el punto de observación a la parte delantera.
- *backClipDistance*: Distancia desde el punto de observación a la parte trasera.
- *type*: Especifica los tipos de información que pueden ser adquiridos por el sensor. Estos tipos de datos son color, depth, color_depth y none.
- *sensorId*: Número de identificación del sensor.
- *width*: Especifica el ancho de la imagen.
- *height*: Especifica la altura de la imagen.

3.2.2.1.5 ***Nodo ForceSensor***

El nodo ForceSensor se utiliza para definir los sensores de fuerza y de pares de fuerza. En la Figura 3.8 se muestra la estructura del nodo ForceSensor con cada uno de los campos que lo forman.

```
PROTO ForceSensor [
  exposedField SFVec3f maxForce -1 -1 -1
  exposedField SFVec3f maxTorque -1 -1 -1
  exposedField SFVec3f translation 0 0 0
  exposedField SFRotation rotation 0 0 1 0
  exposedField SFInt32 sensorId -1
]
{
  Transform {
translation IS translation
    rotation IS rotation
  }
}
```

Figura 3.8 Estructura del nodo ForceSensor.

A continuación se explica cada uno de los campos que componen el nodo ForceSensor.

- *maxForce*: Fuerza máxima que puede ser medida por el sensor.
- *maxTorque*: Par máximo que puede ser medido por el sensor.
- *translation*: Posición del sistema de coordenadas local. Especifica el valor de desplazamiento, en relación con el sistema de coordenadas del nodo padre.
- *rotation*: Orientación del sistema de coordenadas local. Especifica el valor de desplazamiento, en relación con el sistema de coordenadas del nodo padre.
- *sensorId*: Número de identificación del sensor.

3.2.3 Partes del fichero VRML para el modelo del robot HOAP-3

El nodo Humanoid está definido como el nodo raíz del modelo, y sólo puede existir un único nodo Humanoid para cada modelo.

Las articulaciones se definen mediante el nodo Joint. Este nodo contiene las relaciones la información sobre los enlaces de las distintas piezas. En la Figura 3.9 se muestra la estructura de un nodo Joint. En este caso se trata del nodo Joint que define uno de los GDL que existen en el cuello del modelo, exactamente la articulación que tiene como eje de rotación el eje Z.

```
DEF CHEST_Y Joint {

                  jointType "rotate"
                  jointAxis "Z"
                  jointId  23
                  translation -0.04 0 0.184
                  children [
                    DEF WAIST_LINK2 Segment {
                      centerOfMass  0 0 0
                      mass    0.071
                      momentsOfInertia [ 1 0 0 0 1 0 0 0 1 ]
                      children [
                        Transform {
                          rotation 1 0 0 1.5708
                          children Shape {
                            appearance  Appearance {
                               material  Material {
                                diffuseColor   0.392156863 0.584313725
0.929411765

                    }
                  }
                            geometry Cylinder { radius 0.02 height 0.078 }
                          }
                        }
                      ]
                    }
                   ]
                 }
```

Figura 3.9 Definición nodo Joint.

En la primera línea se muestra cómo se realiza la definición del nodo Joint, en este caso llamado CHEST_Y:

DEF [NOMBRE JOINT] Joint {

En la segunda línea se especifica el tipo de articulación, que puede ser cuatro de cuatro tipos:

- *free*: permite trasladar y rotar a lo largo de los 3 ejes de coordenadas (6 grados de libertad).
- *rotate***:** permite girar en torno a un eje de coordenadas (1 GDL).
- *slide***:** permite trasladar a lo largo de un eje de coordenadas (1GDL).
- *fixed***:** no permite ni trasladar ni rotar (0 GDL).

En este caso se trata de una articulación de tipo "rotate". La estructura utilizada es la siguiente:

jointType "[tipo]"

En la siguiente línea nos indica respecto a qué eje rota o traslada (dependiendo del tipo de articulación de la que se trate). En este caso es el eje "Z". Este campo se define de la siguiente manera:

jointAxis "[eje]"

El sistema de coordenadas del archivo VRML en OpenHRP3 se muestra en la Figura 3.10. Este sistema de coordenadas se rige por la regla de la mano derecha.

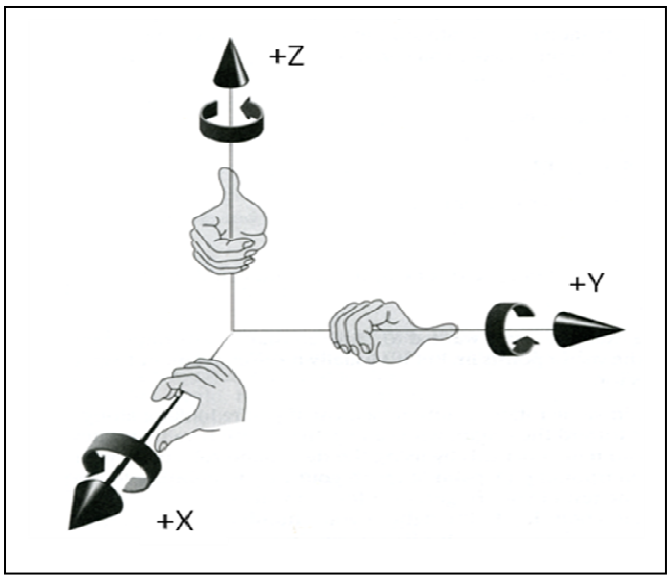


Figura 3.10 Sistema de coordenadas VRML en OpenHRP3.

A continuación se indica el número identificación de la articulación. El campo "JointId" debe ser definido de acuerdo a las siguientes reglas:

- "JointId" debe empezar desde 0 (cero).
- "JointId" debe ser asignado cuando el "jointType" es "rotation" o "slide".
- "JointId" debe ser una secuencia continua de números enteros que no tiene espacios.
- La articulación con identificador 0 debe ser del tipo "fixed", porque es el punto de referencia del robot.

La estructura para definir el número de identificación de la articulación es la siguiente:

jointId [número]

Después indicamos la traslación de la articulación respecto a la anterior articulación, mencionar que las unidades de este campo son metros:

translation [x] [y] [z]

Tras definir los campos necesarios en el nodo Joint, se pasa a definir el nodo Segment, en el cual se encuentran los campos que muestran las apariencia de la articulación definida anteriormente.

En primer lugar se debe indicar el centro de masas de la pieza, la masa y su momento de inercia. A continuación, a través del nodo Transform, se define la apariencia física de la pieza.

En este caso la pieza es rotada 90º respecto del eje X, a través del campo rotation. Los ángulos de rotación se definen en radianes.

rotation [x] [y] [z]

A continuación se utiliza el nodo Shape para definir tanto la geometría como la apariencia. Dentro del nodo Appearance se describen las propiedades del material

(color, transparencia, textura, etc.). Algunos de los campos del nodo Material son los siguientes:

- *diffuse color* - color principal de sombreado
- *emissive color* - color del brillo
- *transparency* - opaco o no

Mencionar que los colores en VRML se definen como una mezcla de luz roja, verde y azul (R,G,B) con valores comprendidos en el intervalo 0.0 (nada) y 1.0 (todo). En la Tabla 3.1 se muestra los valores RGB en VRML para definir distintos colores [3].

Color	R	G	B
Blanco	1.0	1.0	1.0
Negro	0.0	0.0	0.0
Amarillo	1.0	1.0	0.0
Magenta	1.0	0.0	1.0
Marrón	0.5	0.2	0.0

Tabla 3.1. Valores RGB en VRML.

Por último, se define el campo *geometry,* en el cual se pueden utilizar distintas figuras geométricas primitivas. Estas figuras geométricas son las siguientes:

- *Box* (caja).
- *Cone* (cono).
- *Cylinder* (cilindro).
- *Sphere* (esfera).

Por otra parte, se deben definir los sensores que lleva incluidos el modelo. En primer lugar se explica la definición del nodo VisionSensor, que corresponde con los sensores de visión para la simulación de una cámara.

El nodo VisionSensor debe ser incluido debajo de un nodo Joint. Pero si existe un nodo Segment dentro del nodo Joint al cual se quiere incluir el sensor de visión, primero se debe definir el nodo Segment y a continuación el nodo VisionSensor. En la Figura 3.11 se muestra un ejemplo sobre cómo definir un nodo VisionSensor.

```
DEF CHEST_Y Joint
{
  children
  [
    DEF WAIST_LINK2 Segment

    {
        :
        :
        :
    }

    DEF VISION_SENSOR VisionSensor
    {
        :
        :
        :
    }
  ]
}
```

Figura 3.11 Definición nodo VisionSensor.

Para incluir un sensor de fuerza, el nodo ForceSensor debe ser incluido a continuación de la definición de un nodo Segment. Por ejemplo, si se quiere incluir un sensor de fuerza en el pie izquierdo se debe definir como se muestra en la Figura 3.12.

```
DEF LLEG_ANKLE_R Joint
{
  children
  [

    DEF LLEG_LINK6 Segment

    {
      children
      [
        DEF FORCE_SENSOR ForceSensor
        {
          :
          :
          :
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Figura 3.12 Definición nodo ForceSensor.

3.2.4 Estructura general del fichero VRML para el robot HOAP-3

El fichero VRML del modelo del robot HOAP-3 ha sido diseñado de acuerdo con los parámetros originales del robot. Se incluyen todas las medidas originales de cada una de las piezas que forman el robot, así como las masas de cada una de ellas, para conseguir un modelo lo más fiel al robot real.

La única diferencia entre el robot real y el modelo VRML en OpenHRP3 es que no se han considerado los GDL correspondientes a la mano, los cuales se utilizan para agarrar objetos. Por tanto, el modelo VRML consta de 26 GDL en vez de los 28 GDL de los que consta el robot real.

En la Figura 3.13 se muestra el modelo final del robot en el simulador, en la cual aparecen señaladas cada una de las articulaciones con sus respectivos nombres.

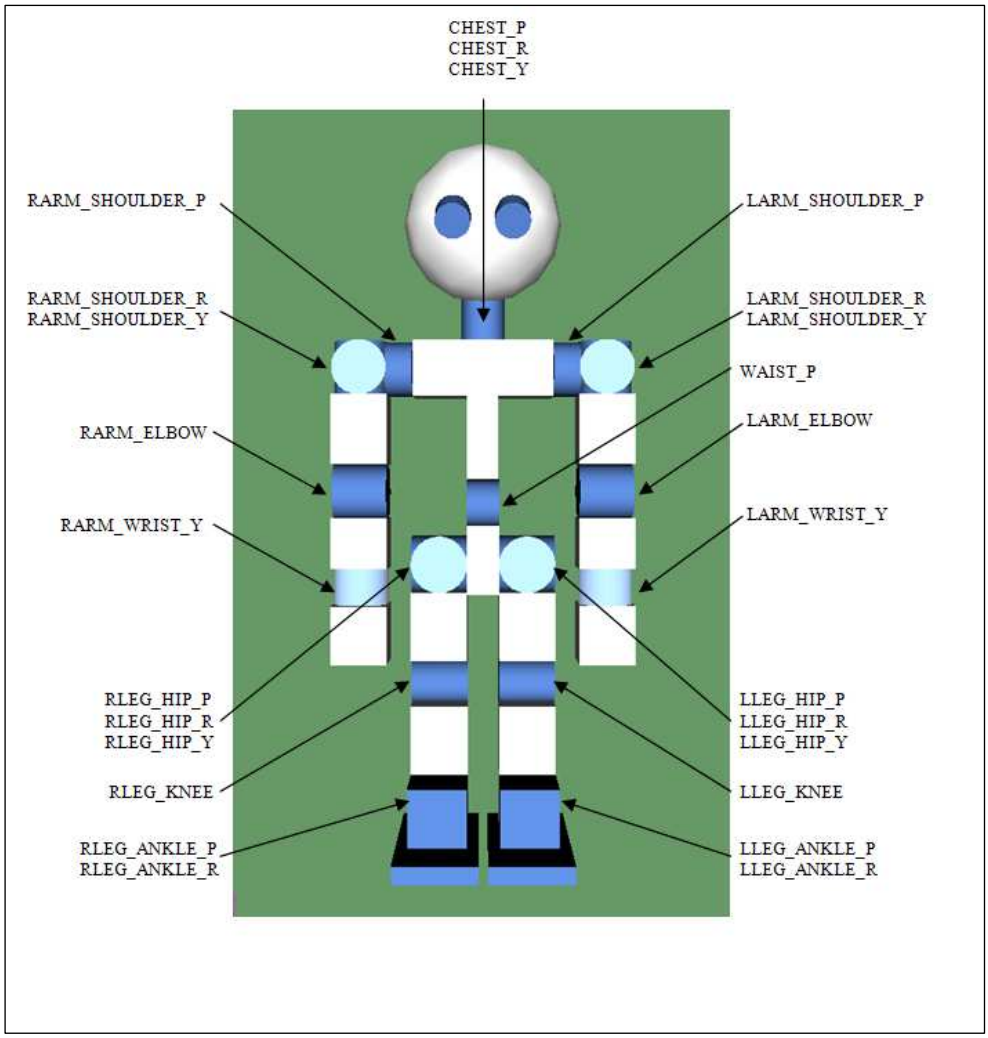


Figura 3.13 Modelo VRML del robot HOAP-3 articulaciones.

A continuación se muestra la estructura de las relaciones entre articulaciones del modelo. En la Figura 3.14 se puede apreciar claramente como están relacionadas cada una de las articulaciones. Se debe mencionar que la articulación principal del modelo es la cintura (WAIST), a partir de ella se construye la parte superior del cuerpo, a continuación los brazos y en último lugar las piernas.

```
+-humanoidBody
  |
  | # Parte superior del cuerpo
  +-Joint WAIST : Segment WAIST_LINK0
  |   Joint WAIST_P : Segment WAIST_LINK1
  |     Joint CHEST_Y : Segment WAIST_LINK2
  |       Joint CHEST_R : Segment WAIST_LINK3
  |         Joint CHEST_P : Segment WAIST_LINK4
  |         |
  |         | # Cámaras
  |         +-VisionSensor VISION_SENSOR1
  |         +-VisionSensor VISION_SENSOR2
  |
  | # Brazo izquierdo
  +-Joint LARM_SHOULDER_P : Segment LARM_LINK1
  |   Joint LARM_SHOULDER_R : Segment LARM_LINK2
  |     Joint LARM_SHOULDER_Y : Segment LARM_LINK3
  |       Joint LARM_ELBOW : Segment LARM_LINK4
  |         Joint LARM_WRIST_Y : Segment LARM_LINK5
  |
  |
  | # Brazo derecho
  +-Joint RARM_SHOULDER_P : Segment RARM_LINK1
  |   Joint RARM_SHOULDER_R : Segment RARM_LINK2
  |     Joint RARM_SHOULDER_Y : Segment RARM_LINK3
  |       Joint RARM_ELBOW : Segment RARM_LINK4
  |         Joint RARM_WRIST_Y : Segment RARM_LINK5
  |
  |
  | # Pierna izquierda
  +-Joint LLEG_HIP_R : Segment LLEG_LINK1
  |   Joint LLEG_HIP_P : Segment LLEG_LINK2
  |     Joint LLEG_HIP_Y : Segment LLEG_LINK3
  |       Joint LLEG_KNEE : Segment LLEG_LINK4
  |         Joint LLEG_ANKLE_P : Segment LLEG_LINK5
  |           Joint LLEG_ANKLE_R : Segment LLEG_LINK6
  |            |
  |            | # Sensor de fuerza
  |            +-ForceSensor LEFT_FORCE_SENSOR
  |
  | # Pierna derecha
  +-Joint RLEG_HIP_R : Segment RLEG_LINK1
        Joint RLEG_HIP_P : Segment RLEG_LINK2
          Joint RLEG_HIP_Y : Segment RLEG_LINK3
            Joint RLEG_KNEE : Segment RLEG_LINK4
              Joint RLEG_ANKLE_P : Segment RLEG_LINK5
                Joint RLEG_ANKLE_R : Segment RLEG_LINK6
                |
                | # Sensor de fuerza
                +-ForceSensor RIGHT_FORCE_SENSOR
```

Figura 3.14 Estructura de articulaciones del modelo VRML.

En la Figura 3.15 se muestra el modelo del robot donde se señalan los eslabones (segment) que forman el modelo.

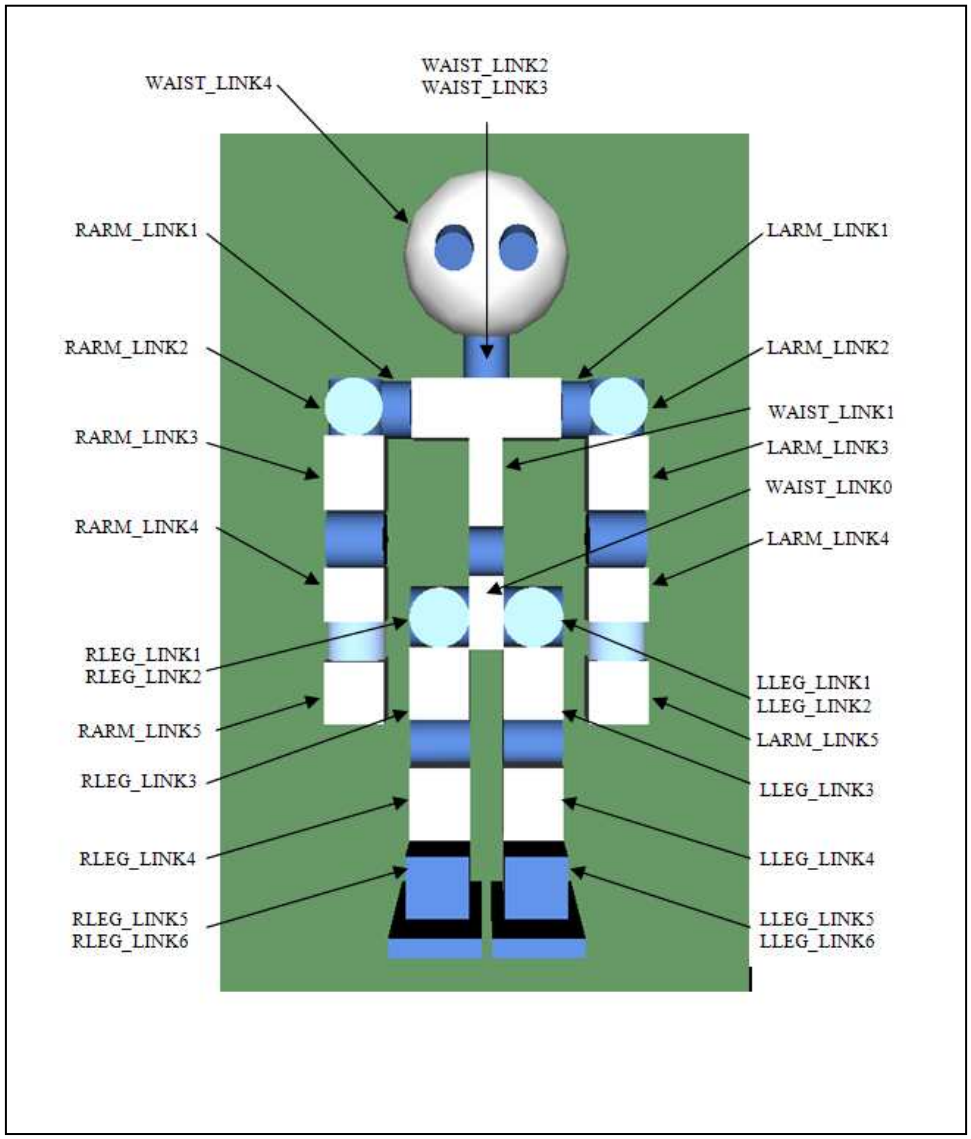


Figura 3.15 Modelo VRML del robot HOAP-3 eslabones.

En la Tabla 3.2 se muestra la equivalencia entre los nombres de las articulaciones del robot original y del modelo en VRML.

Nombres de articulaciones HOAP-3	Nombres de articulaciones modelo VRML
LLEG_JOINT1	LLEG_HIP_Y
LLEG_JOINT2	LLEG_HIP_R
LLEG_JOINT3	LLEG_HIP_P
LLEG_JOINT4	LLEG_KNEE
LLEG_JOINT5	LLEG_ANKLE_P
LLEG_JOINT6	LLEG_ANKLE_R
RLEG_JOINT1	RLEG_HIP_Y
RLEG_JOINT2	RLEG_HIP_R
RLEG_JOINT3	RLEG_HIP_P
RLEG_JOINT4	RLEG_KNEE
RLEG_JOINT5	RLEG_ANKLE_P
RLEG_JOINT6	RLEG_ANKLE_R
LARM_JOINT1	LARM_SHOULDER_P
LARM_JOINT2	LARM_SHOULDER_R
LARM_JOINT3	LARM_SHOULDER_Y
LARM_JOINT4	LARM_ELBOW
LARM_JOINT6	LARM_WRIST_Y
RARM_JOINT1	RARM_SHOULDER_P
RARM_JOINT2	RARM_SHOULDER_R
RARM_JOINT3	RARM_SHOULDER_Y
RARM_JOINT4	RARM_ELBOW
RARM_JOINT6	RARM_WRIST_Y
BODY_JOINT1	WAIST_P
HEAD_JOINT1	CHEST_Y
HEAD_JOINT2	CHEST_P
HEAD_JOINT3	CHEST_R

Tabla 3.2. Equivalencia de articulaciones.

En el anexo se incluye el código completo del fichero VRML que define el modelo del robot HOAP-3 para el simulador OpenHRP3.

4 Simulación de tareas en OpenHRP3

4.1 Archivos necesarios para la simulación

Para realizar simulaciones en la plataforma OpenHRP3 son necesarios unos determinados archivos, los cuales definen el modelo del robot completamente.

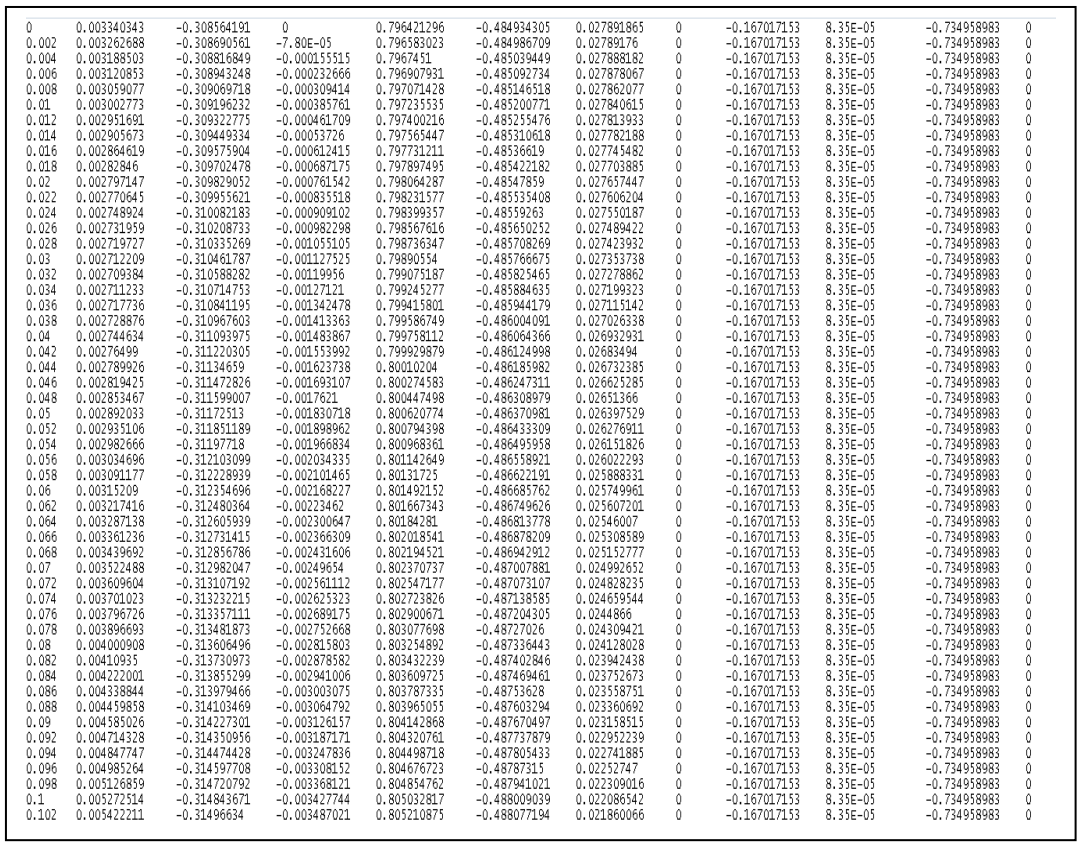
Uno de estos archivos es el modelo VRML del modelo del robot, el cual ha sido descrito en el capítulo anterior. Por otra parte, también son necesarios los archivos donde se encuentra definida la trayectoria del robot que se desea simular, el archivo del controlador y el archivo del proyecto. Cada uno de estos archivos se definirá a continuación.

4.1.1 Archivos de trayectorias

La trayectoria del robot viene definida por tres archivos, que forman parte del controlador del simulador (están ubicados en esta carpeta: C:\Program Files (x86)\OpenHRP-3.0.2\Controller\rtc\SampleHG\etc.), los cuales indican los ángulos (angle.dat), velocidades (vel.dat) y aceleraciones (acc.dat) que deben tomar cada una de las articulaciones a cada paso de simulación de la trayectoria completa.

Las unidades de los datos del archivo donde se indican los ángulos son radianes. Así, en el archivo donde se definen las velocidades las unidades son rad/seg y por último en el archivo donde se indican las aceleraciones las unidades serán rad/seg^2 .

Estos archivos con extensión .dat están estructurados en columnas (ver Figura 4.1). Cada una de las columnas de valores va asociada con una articulación. La primera de estas columnas define la base de tiempos de la simulación.



0	0.003340343	-0.308564191	0	0.796421296	-0.484934305	0.027891865	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.002	0.003262688	-0.308690561	-7.80E-05	0.796583023	-0.484986709	0.02789176	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.004	0.003188503	-0.308816849	-0.000155515	0.7967451	-0.485039449	0.027888182	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.006	0.003120853	-0.308943248	-0.000232666	0.796907931	-0.485092734	0.027878067	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.008	0.003059077	-0.309069718	-0.000309414	0.797071428	-0.485146518	0.027862077	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.01	0.003002773	-0.309196232	-0.000385761	0.797235535	-0.485200771	0.027840615	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.012	0.002951691	-0.309322775	-0.000461709	0.797400216	-0.485255476	0.027813933	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.014	0.002905673	-0.309449334	-0.00053726	0.797565447	-0.485310618	0.027782188	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.016	0.002864619	-0.309575904	-0.000612415	0.797731211	-0.48536619	0.027745482	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.018	0.00282846	-0.309702478	-0.000687175	0.797897495	-0.485422182	0.027703885	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.02	0.002797147	-0.309829052	-0.000761542	0.798064287	-0.48547859	0.027657447	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.022	0.002770645	-0.309955621	-0.000835518	0.798231577	-0.485535408	0.027606204	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.024	0.002748924	-0.310082183	-0.000909102	0.798399357	-0.48559263	0.027550187	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.026	0.002731959	-0.310208733	-0.000982298	0.798567616	-0.485650252	0.027489422	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.028	0.002719727	-0.310335269	-0.001055105	0.798736347	-0.485708269	0.027423932	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.03	0.002712209	-0.310461787	-0.001127525	0.79890554	-0.485766675	0.027353738	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.032	0.002709384	-0.310588282	-0.00119956	0.799075187	-0.485825465	0.027278862	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.034	0.002711233	-0.310714753	-0.00127121	0.799245277	-0.485884635	0.027199323	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.036	0.002717736	-0.310841195	-0.001342478	0.799415801	-0.485944179	0.027115142	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.038	0.002728876	-0.310967603	-0.001413363	0.799586749	-0.486004091	0.027026338	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.04	0.002744634	-0.311093975	-0.001483867	0.799758112	-0.486064366	0.026932931	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.042	0.00276499	-0.311220305	-0.001553992	0.799929879	-0.486124998	0.02683494	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.044	0.002789926	-0.31134659	-0.001623738	0.80010204	-0.486185982	0.026732385	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.046	0.002819425	-0.311472826	-0.001693107	0.800274583	-0.486247311	0.026625285	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.048	0.002853467	-0.311599007	-0.0017621	0.800447498	-0.486308979	0.02651366	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.05	0.002892033	-0.31172513	-0.001830718	0.800620774	-0.486370981	0.026397529	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.052	0.002935106	-0.311851189	-0.001898962	0.800794398	-0.486433309	0.026276911	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.054	0.002982666	-0.31197718	-0.001966834	0.800968361	-0.486495958	0.026151826	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.056	0.003034696	-0.312103099	-0.002034335	0.801142649	-0.486558921	0.026022293	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.058	0.003091177	-0.312228939	-0.002101465	0.80131725	-0.486622191	0.025888331	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.06	0.00315209	-0.312354696	-0.002168227	0.801492152	-0.486685762	0.025749961	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.062	0.003217416	-0.312480364	-0.00223462	0.801667343	-0.486749626	0.025607201	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.064	0.003287138	-0.312605939	-0.002300647	0.80184281	-0.486813778	0.02546007	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.066	0.003361236	-0.312731415	-0.002366309	0.802018541	-0.486878209	0.025308589	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.068	0.003439692	-0.312856786	-0.002431606	0.802194521	-0.486942912	0.025152777	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.07	0.003522488	-0.312982047	-0.00249654	0.802370737	-0.487007881	0.024992652	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.072	0.003609604	-0.313107192	-0.002561112	0.802547177	-0.487073107	0.024828235	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.074	0.003701023	-0.313232215	-0.002625323	0.802723826	-0.487138585	0.024659544	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.076	0.003796726	-0.313357111	-0.002689175	0.802900671	-0.487204305	0.0244866	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.078	0.003896693	-0.313481873	-0.002752668	0.803077698	-0.48727026	0.024309421	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.08	0.004000908	-0.313606496	-0.002815803	0.803254892	-0.487336443	0.024128028	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.082	0.00410935	-0.313730973	-0.002878582	0.803432239	-0.487402846	0.023942438	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.084	0.004222001	-0.313855299	-0.002941006	0.803609725	-0.487469461	0.023752673	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.086	0.004338844	-0.313979466	-0.003003075	0.803787335	-0.48753628	0.023558751	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.088	0.004459858	-0.314103469	-0.003064792	0.803965055	-0.487603294	0.023360692	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.09	0.004585026	-0.314227301	-0.003126157	0.804142868	-0.487670497	0.023158515	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.092	0.004714328	-0.314350956	-0.003187171	0.804320761	-0.487737879	0.022952239	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.094	0.004847747	-0.314474428	-0.003247836	0.804498718	-0.487805433	0.022741885	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.096	0.004985264	-0.314597708	-0.003308152	0.804676723	-0.48787315	0.02252747	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.098	0.005126859	-0.314720792	-0.003368121	0.804854762	-0.487941021	0.022309016	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.1	0.005272514	-0.314843671	-0.003427744	0.805032817	-0.488009039	0.022086542	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0
0.102	0.005422211	-0.31496634	-0.003487021	0.805210875	-0.488077194	0.021860066	0	-0.167017153	8.35E-05	-0.734958983	0

Figura 4.1 Estructura del archivo .dat.

La segunda columna corresponde a la articulación con número de identificación 0 (jointId=0). La tercera columna corresponderá a la articulación con número de identificación 1 (jointId=1) y así sucesivamente se irán asociando las siguientes columnas con el resto de articulaciones.

En este caso estos archivos contarán con 27 columnas (1 columna de la base de tiempos y 26 columnas por cada uno de los GDL que contiene el modelo).

Un aspecto importante a considerar a la hora de crear estos ficheros son las convenciones de los sentidos positivos de movimiento de cada una de las articulaciones. Estas convenciones para el simulador OpenHRP3 varían de las convenciones originales del robot real.

En la Tabla 4.1 se muestran las articulaciones del modelo VRML que coinciden con las convenciones del robot real.

HOAP-3	Modelo VRML
LLEG_JOINT1	LLEG_HIP_Y
LLEG_JOINT2	LLEG_HIP_R
LLEG_JOINT3	LLEG_HIP_P
RLEG_JOINT1	RLEG_HIP_Y
RLEG_JOINT2	RLEG_HIP_R
RLEG_JOINT4	RLEG_KNEE
RLEG_JOINT5	RLEG_ANKLE_P
LARM_JOINT2	LARM_SHOULDER_R
LARM_JOINT3	LARM_SHOULDER_Y
LARM_JOINT4	LARM_ELBOW
RARM_JOINT1	RARM_SHOULDER_P
RARM_JOINT2	RARM_SHOULDER_R
RARM_JOINT3	RARM_SHOULDER_Y

Tabla 4.1. Articulaciones con convenciones iguales.

Las articulaciones del modelo VRML que se mencionan en la Tabla 4.2 poseen un sentido de movimiento contrario a la articulación correspondiente del robot real.

HOAP-3	Modelo VRML
LLEG_JOINT4	LLEG_KNEE
LLEG_JOINT5	LLEG_ANKLE_P
LLEG_JOINT6	LLEG_ANKLE_R
RLEG_JOINT3	RLEG_HIP_P
RLEG_JOINT6	RLEG_ANKLE_R
LARM_JOINT1	LARM_SHOULDER_P
RARM_JOINT4	RARM_ELBOW

Tabla 4.2. Articulaciones con convenciones contrarias.

Para realizar una trayectoria en el robot real se necesita conocer el incremento o decremento de pulsos del encoder de cada una de las articulaciones. Para crear el archivo .dat de posiciones es necesario introducir los valores de los ángulos en

radianes. En el manual de instrucciones del HOAP-3 se indica que el factor de conversión de pulsos a grados es 209. Con esto se convierten los pulsos a grados y de grados ya se puede convertir a radianes para introducirlos en el archivo .dat.

El factor de conversión se puede aplicar con todas las articulaciones excepto con las del cuello y las manos. Esto es debido a que para los tres GDL del cuello solamente se utiliza un servomotor en vez de utilizar tres. Lo mismo ocurre con los cuatro GDL que tiene en total entre ambas manos, solamente utiliza un servomotor para los cuatro.

En este caso, para realizar los movimientos de estas articulaciones concretas en el robot se deben introducir unos valores decimales. Para conocer exactamente qué movimiento realizan estas articulaciones se debe consultar una tabla que viene incluida en el manual de instrucciones del robot [1], en la cual se indica la relación entre los valores decimales y el movimiento que se realiza. Esta tabla se muestra en la Figura 4.2.

	Transmitting data (※)			Drive part	Angle		
	Binary	Decimal			angle	direction	note
M22	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1	15	(= 0+ 15)	Head tilt	-45°	down	min
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0	60	(= 0+ 60)		0°	front	org
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0	120	(= 0+ 75)		15°	up	max
	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0	256	(= 256+ 0)	Head pan	-60°	right	min
	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0	316	(= 256+ 60)		0°	front	org
	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0	376	(= 256+ 120)		60°	left	max
	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0	562	(= 512+ 45)	Head roll	-15°	left	min
	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0	572	(= 512+ 60)		0°	center	org
	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0	582	(= 512+ 75)		15°	right	max
M23	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0	(= 0+ 0)	Right hand Rotate (※※)	-60°		min
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0	60	(= 0+ 60)		0°	center	org
	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0	120	(= 0+ 120)		60°		max
	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0	256	(= 256+ 0)	Left hand Rotate (※※)	-60°		min
	0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0	316	(= 256+ 60)		0°	center	org
	0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 0	376	(= 256+ 120)		60°		max
	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0	512	(= 512+ 0)	Right hand Open/close	-60°	open	min
	0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0	572	(= 512+ 60)		0°	center	org
	0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0	632	(= 512+ 120)		60°	close	max
	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0	768	(= 768+ 0)	Left hand Open/close	-60°	close	min
	0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0	828	(= 768+ 60)		0°	center	org
	0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0	888	(= 768+ 120)		60°	open	max

Figura 4.2 Tabla de referencia.

En la tabla se muestran los distintos valores decimales que deben tomar los motores M22 (grados de libertad del cuello) y M23 (grados de libertad de las muñecas) para realizar el movimiento deseado que se indica en la parte derecha de la tabla.

Estos grados de libertad no han sido incluidos en las simulaciones en las tareas para el robot HOAP-3 en OpenHRP3.

4.1.2 Archivo del controlador

Además de los tres archivos donde se define la trayectoria, que pertenecen al controlador, también debemos configurar adecuadamente el controlador propiamente dicho (este archivo se encuentra en el directorio: C:\Program Files (x86)\OpenHRP 3.0.2\Controller\rtc\SampleHG\SampleHG.cpp).

Una de las funciones del controlador es ir leyendo los valores de los archivos donde se encuentran los ángulos, velocidades y aceleraciones. Por este motivo debemos seleccionar el valor de la constante DOF que indica el número de GDL que contiene el modelo a simular. En este caso el valor de esta constante debe ser 26. Esta constante se utiliza en el código dentro de un bucle *for* (Figura 4.3) que va recorriendo cada uno de los valores de los tres archivos.

```
#define DOF (26)
 .
 .
 .

for (i=0; i<DOF; i++)
  {
      angle >> m_angle.data[i];
      vel   >> m_vel.data[i];
      acc   >> m_acc.data[i];
  }
```

Figura 4.3 Muestra del código del archivo del controlador.

4.1.3 Archivos de proyecto

Otro de los archivos necesarios para la simulación es el archivo que configura el proyecto que vamos a simular. Este archivo tiene extensión .XML.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <grxui>
  - <mode name="Simulation">
    - <item class="com.generalrobotix.ui.item.GrxWorldStateItem" name="untitled" select="true">
        <property name="logTimeStep" value="0.0020" />
        <property name="integrate" value="true" />
        <property name="viewsimulate" value="false" />
        <property name="totalTime" value="16.0" />
        <property name="timeStep" value="0.0020" />
        <property name="method" value="RUNGE_KUTTA" />
        <property name="gravity" value="9.8" />
        <property name="viewsimulationTimeStep" value="0.033" />
      </item>
    - <item class="com.generalrobotix.ui.item.GrxModelItem" name="floor" select="true" url="$(OPENHRPHOME)/etc/floor.wrl">
        <property name="isRobot" value="false" />
        <property name="WAIST.rotation" value="0.0 1.0 0.0 0.0" />
        <property name="WAIST.translation" value="0.0 0.0 -0.1" />
      </item>
    - <item class="com.generalrobotix.ui.item.GrxModelItem" name="sample" select="true" url="$(OPENHRPHOME)/etc/sample.wrl">
        <property name="isRobot" value="true" />
        <property name="controller" value="SampleHGController" />
        <property name="controlTime" value="0.001" />
        <property name="setupDirectory" value="$(OPENHRPHOME)/Controller/rtc/SampleHG" />
        <property name="setupCommand" value="SampleHG$(BIN_SFX)" />
        <property name="RLEG_HIP_R.angle" value="0.0" />
        <property name="RARM_SHOULDER_R.mode" value="HighGain" />
        <property name="LLEG_KNEE.mode" value="HighGain" />
        <property name="RARM_ELBOW.angle" value="-1.5708" />
        <property name="LLEG_ANKLE_P.mode" value="HighGain" />
        <property name="RLEG_ANKLE_P.angle" value="-0.0424675" />
        <property name="LLEG_ANKLE_R.mode" value="HighGain" />
        <property name="RLEG_ANKLE_R.angle" value="0.0" />
        <property name="LLEG_HIP_Y.mode" value="HighGain" />
        <property name="RLEG_HIP_P.mode" value="HighGain" />
        <property name="RARM_WRIST_P.angle" value="0.0" />
        <property name="CHEST.mode" value="HighGain" />
        <property name="RARM_WRIST_R.angle" value="0.0" />
        <property name="RARM_WRIST_Y.angle" value="0.0" />
        <property name="RLEG_KNEE.angle" value="0.0785047" />
        <property name="RLEG_HIP_R.mode" value="HighGain" />
        <property name="LARM_SHOULDER_P.angle" value="0.174533" />
        <property name="LARM_SHOULDER_R.angle" value="-0.00349066" />
        <property name="LARM_WRIST_P.mode" value="HighGain" />
        <property name="LARM_SHOULDER_Y.angle" value="0.0" />
        <property name="LLEG_HIP_P.angle" value="-0.0360373" />
        <property name="LARM_WRIST_R.mode" value="HighGain" />
        <property name="LLEG_HIP_R.angle" value="0.0" />
        <property name="WAIST.rotation" value="0.0 1.0 0.0 0.0" />
        <property name="LLEG_HIP_Y.angle" value="0.0" />
```

Figura 4.4 Ejemplo de archivo XML

Como se muestra en la Figura 4.4, en este archivo se especifican los parámetros de simulación como la base de tiempo, el tiempo de duración de la simulación, etc. Además, también se especifica qué objetos VRML van a ser cargados en el proyecto, por ejemplo el modelo del robot, suelo, cajas, etc. En todos ellos se puede indicar la posición inicial del objeto en el visor del simulador. Además, en el modelo del robot se pueden definir valores iniciales de cada una de las articulaciones que componen el modelo.

También se puede definir el par de colisión entre dos objetos que van a ser cargados en el proyecto. Se pueden especificar las constantes de rozamiento tanto por deslizamiento como estático.

Por último en este archivo se puede crear una lista de gráficas para el proyecto.

4.2 Cómo cargar el proyecto en el simulador

En primer lugar se debe ir al directorio que contiene la interfaz del simulador, ver Figura 4.5. Este directorio es **OpenHRP-3.0.2\bin\dos**. A continuación se debe hacer doble click sobre el archivo **GrxUI.bat**.

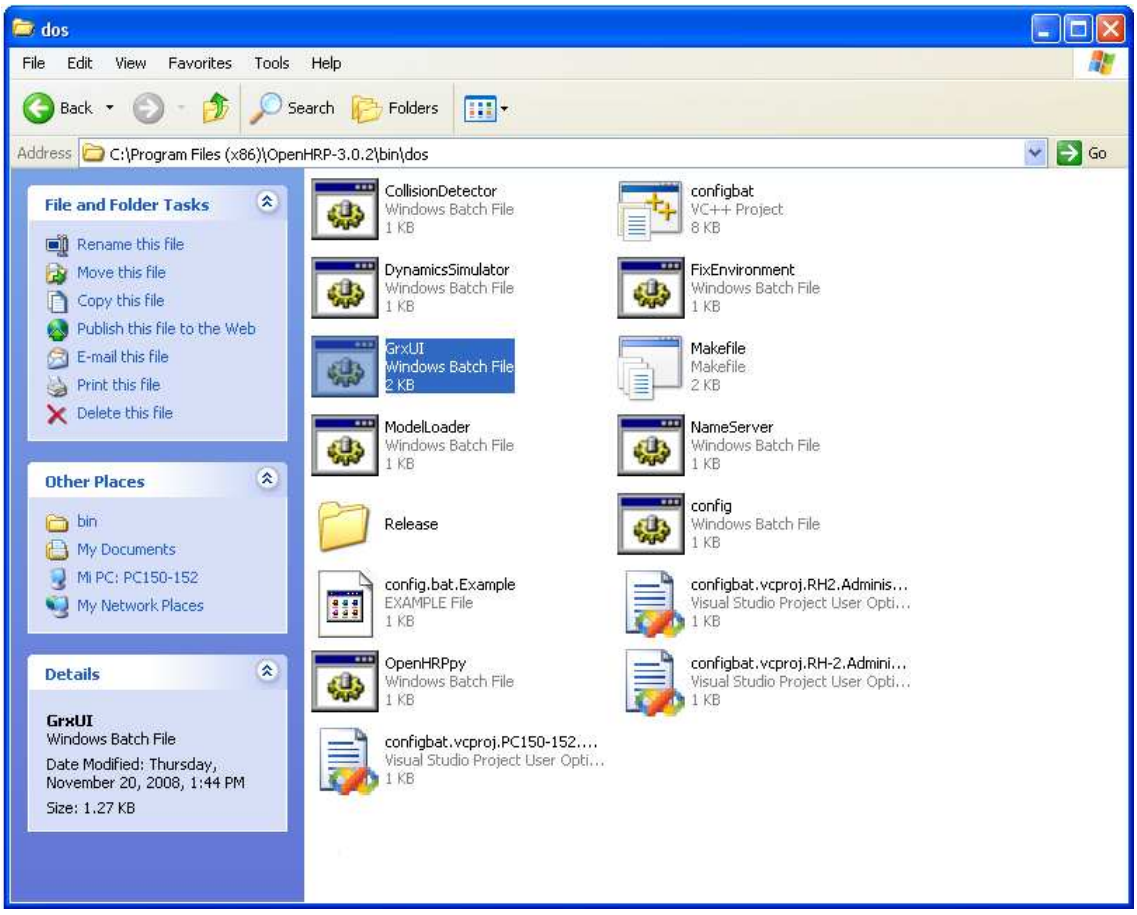


Figura 4.5 Directorio de la interfaz del simulador.

Cuando la interfaz del simulador esté abierta se debe cargar el proyecto que se desea simular. Para ello seleccionar el menú File y después Load Project como se muestra en la Figura 4.6.

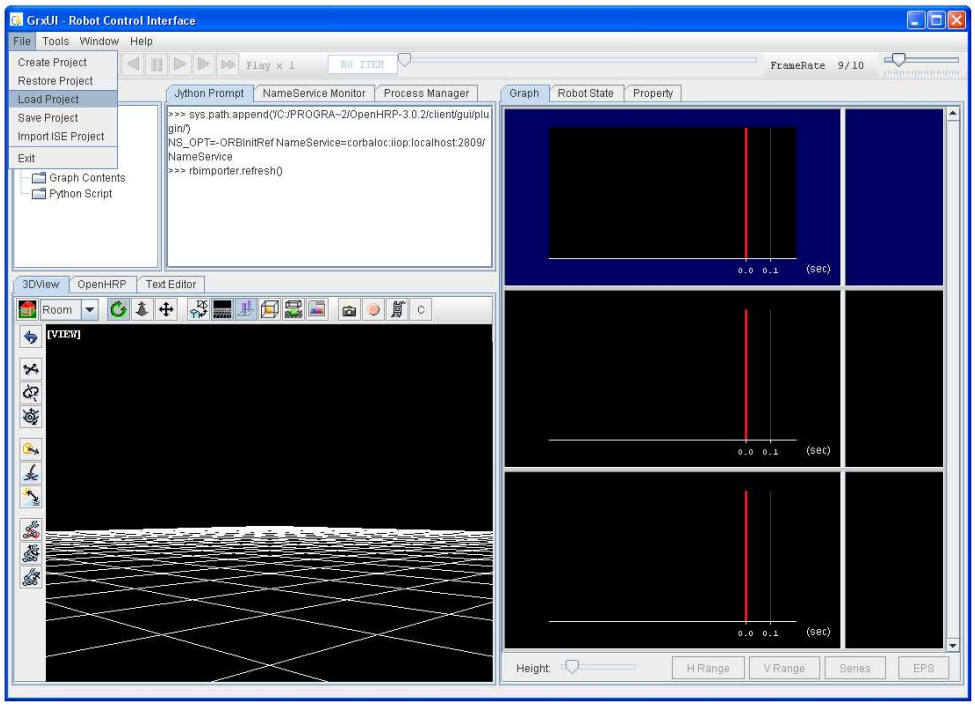


Figura 4.6 Cargar proyecto en el simulador.

A continuación, aparece una ventana donde elegimos el proyecto que se desea cargar (ver Figura 4.7).

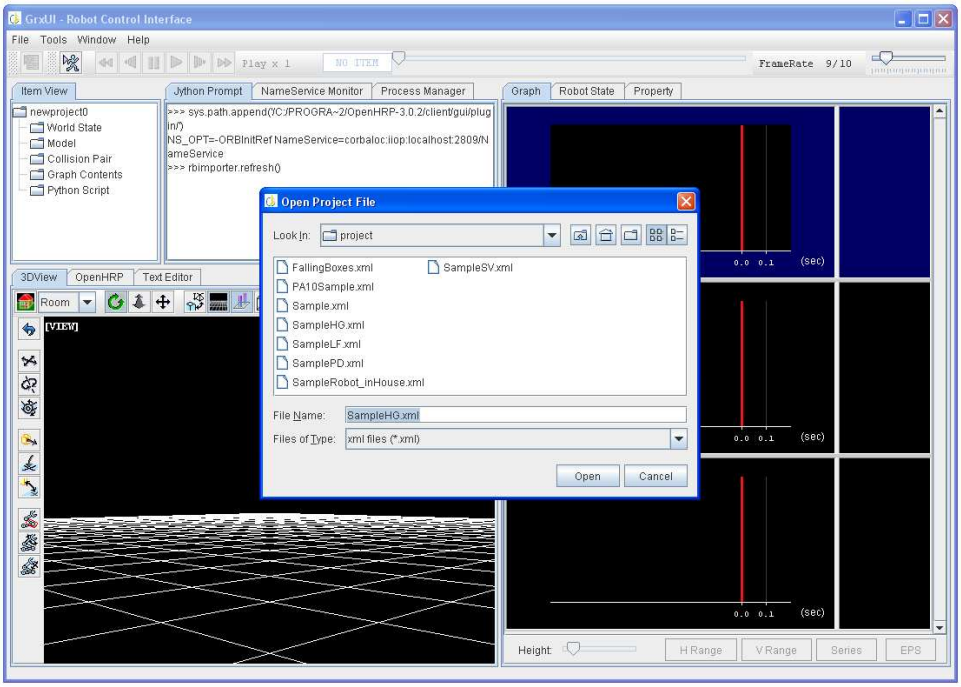


Figura 4.7 Seleccionar proyecto.

Una vez cargado el proyecto correctamente nos deben aparecer los objetos componen dicho proyecto en el simulador, en la parte correspondiente al árbol de módulos (ver Figura 4.8).

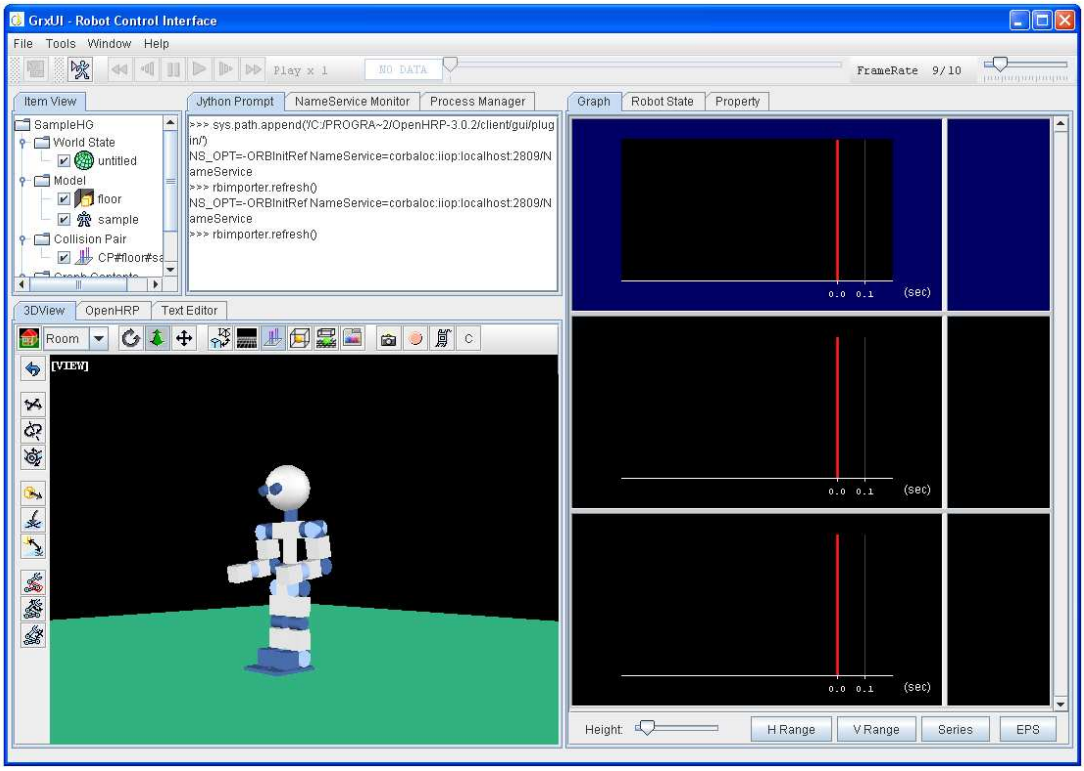


Figura 4.8 Proyecto cargado.

Para comenzar la simulación se debe pulsar el botón "Start Simulation", que viene resaltado en la Figura 4.9

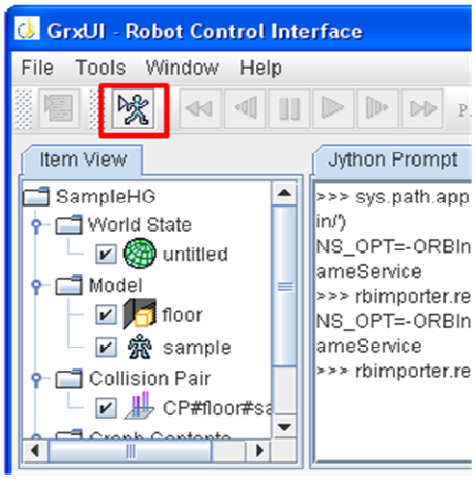


Figura 4.9 Iniciar simulación.

Para suspender o finalizar la simulación se debe pulsar el botón "Suspend Simulation", y a continuación se pulsa "OK" para finalizar la simulación o "Cancel" para continuar con ella (ver Figura 4.10).

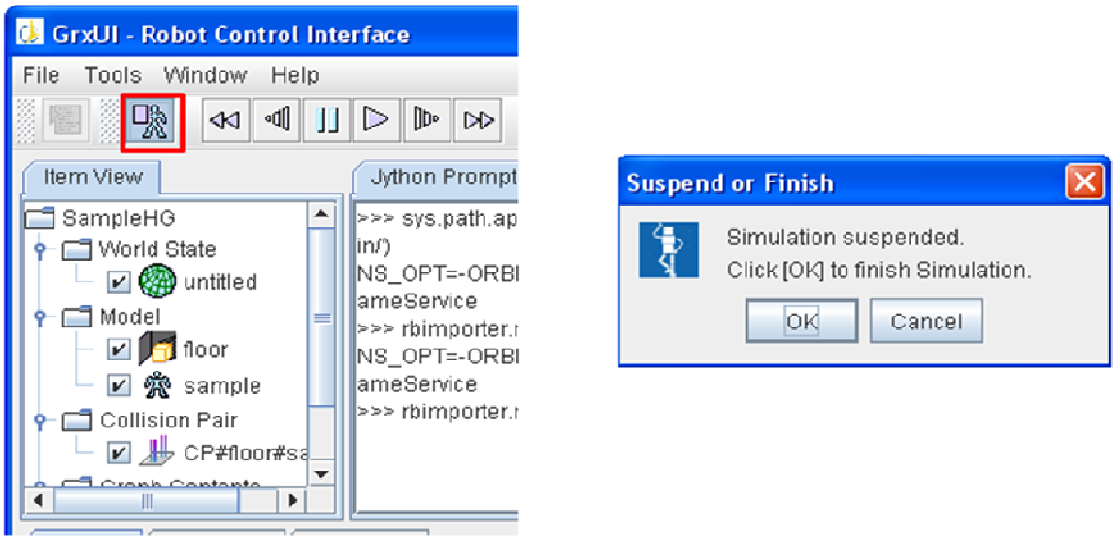


Figura 4.10 Finalizar o suspender simulación.

Para observar los datos de los sensores en las gráficas, se debe seleccionar el botón "Series" que se encuentra en la parte inferior derecha de la interfaz, como muestra la Figura 4.11 [2].

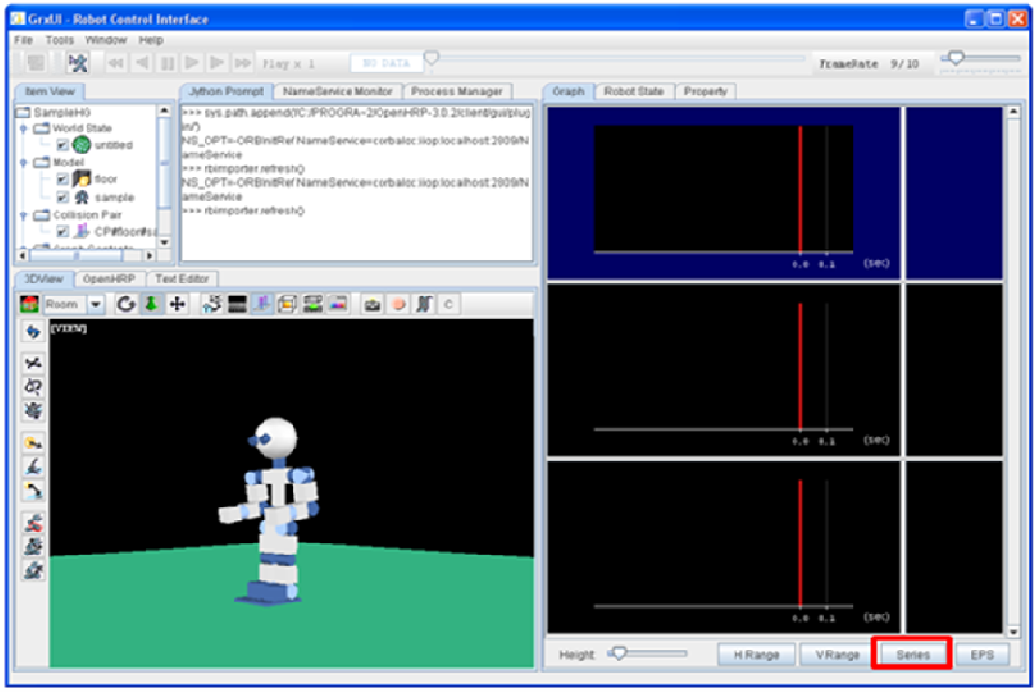


Figura 4.11 Insertar gráfica.

Después de pulsar el botón "Series" aparece un cuadro de diálogo (Figura 4.12) donde se elige el tipo de sensor, el nombre del sensor que se incluye en el modelo que se quiere observar y el atributo. Una vez realizado esto se debe pulsar el botón "Set" y a continuación el botón "Ok".

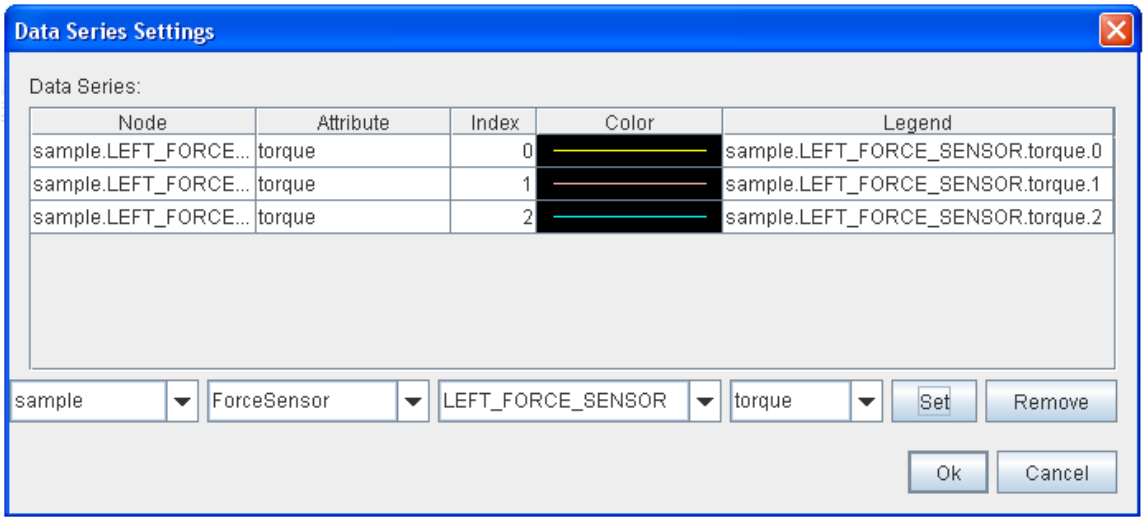


Figura 4.12 Configuración gráfica.

Otra posibilidad que nos ofrece OpenHRP3 es guardar en un archivo .csv [2] todos los datos obtenidos de la simulación, como las traslaciones y rotaciones de las articulaciones y también todos los datos que se obtienen de los sensores que se incluyen en el modelo. Para ello, una vez realizada la simulación se selecciona el elemento del árbol que hace referencia a World State que en este caso recibe el nombre de untitled (ver Figura 4.13).

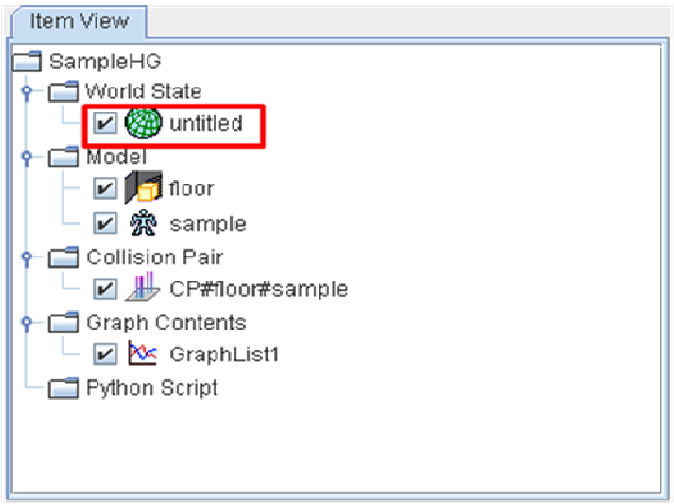


Figura 4.13 Elemento untitled.

Una vez seleccionado, se hace click sobre el elemento con el botón derecho del ratón y se selecciona "saveAsCSV", como se muestra en la Figura 4.14.

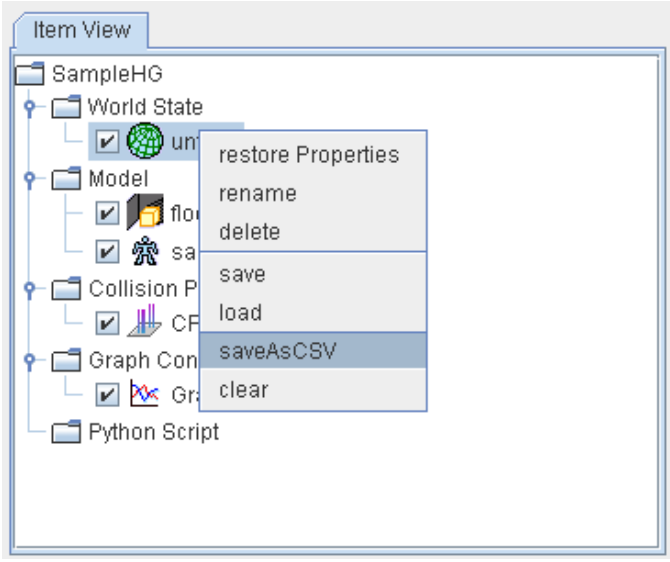


Figura 4.14 Selección saveAsCSV.

Como se muestra en la Figura 4.15 este archivo .csv se guarda en el siguiente directorio: C:\Program Files (x86)\OpenHRP-3.0.2\client\gui\log.

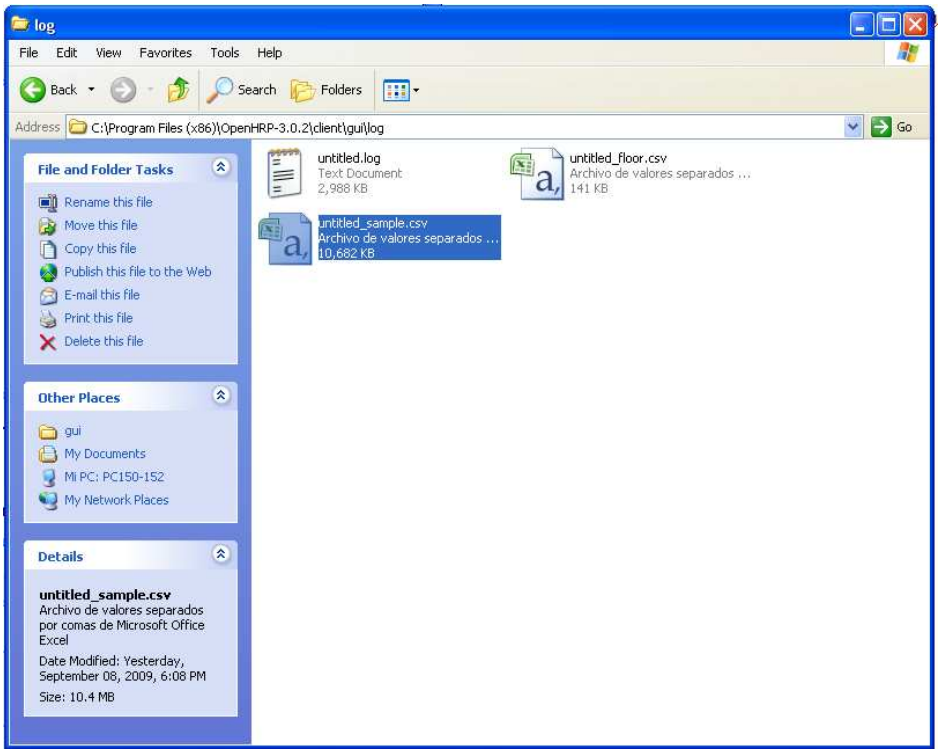


Figura 4.15 Ubicación archivo .csv.

5 Simulación de tareas del HOAP-3 en OpenHRP3

5.1 Introducción

Para la validación del modelo en el simulador OpenHRP3 se han simulado varias tareas que se programan en el robot real.

Estas tareas son: Círculosx2, Sube y Baja, Winner, Perdona Vidas Derecha, Perdona Vidas Izquierda, SNFeverx2, Paso Lateral Derecho, Paso Lateral Izquierdo y Manos Atrás. Todas estas tareas forman parte de un baile diseñado para el robot HOAP-3 y se ha podido comprobar que todas funcionan perfectamente en el simulador.

Todos los archivos necesarios para la simulación de estas tareas se encuentran en el CD adjunto a la memoria.

A continuación se explicará brevemente dos de estas tareas.

5.2 Tarea Manos Atrás

En esta tarea el robot, posiciona ambas manos en la espalda mientras flexiona las rodillas y las estira continuamente, subiendo y bajando todo el tronco y manteniendo los pies pegados al suelo.

Esta tarea tiene una duración de 8 seg teniendo una base de tiempos de 0.002 seg. Por tanto, los archivos referentes a las posiciones y velocidades de las articulaciones utilizados en esta tarea están formados por 4000 filas y 27 columnas.

El archivo que contiene las posiciones de las articulaciones a lo largo de la simulación (angle.dat), ha sido creado siguiendo las especificaciones explicadas en el capítulo 4. En la Figura 5.1 se muestran las 40 primeras filas del archivo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	0	0.00334	-0.30856	0	0.796421	-0.48493	0.027892	0	-0.16702	8.35E-05	-0.73496	0	0.00334	-0.31149	0	0.796421	-0.48493	-0.03549	-0.00084	0.167017	0	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	
2	0.002	0.003263	-0.30869	-7.80E-05	0.796583	-0.48499	0.027892	1.68E-05	-0.16704	0.000147	-0.73496	0	0.00334	-0.31149	5.25E-11	0.796421	-0.48493	-0.03533	-0.00082	0.167037	-6.40E-05	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	
3	0.004	0.003185	-0.30886	-0.00016	0.796827	-0.48508	0.027892	6.68E-05	-0.1671	0.000339	-0.73496	0	0.00334	-0.31153	5.25E-11	0.796503	-0.48498	-0.03517	-0.00077	0.167097	-0.00026	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	
4	0.006	0.003105	-0.3091	-0.00023	0.797224	-0.48526	0.027893	0.00015	-0.1672	0.000656	-0.73497	0	0.003341	-0.31164	1.69E-14	0.796739	-0.4851	-0.03501	-0.00068	0.167196	-0.00057	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	
5	0.008	0.003026	-0.3094	-0.00031	0.797758	-0.4855	0.027896	0.000266	-0.16733	0.001099	-0.73497	0	0.003341	-0.31182	-1.59E-13	0.797112	-0.48529	-0.03485	-0.00057	0.167334	-0.00102	-0.73489	0	0.034907	0	0	0	
6	0.01	0.002945	-0.30977	-0.00039	0.798418	-0.48581	0.027898	0.000414	-0.16751	0.001665	-0.73498	0	0.003341	-0.31206	-5.27E-11	0.797612	-0.48555	-0.0347	-0.00042	0.167512	-0.00158	-0.7349	0	0.034907	0	0	0	
7	0.012	0.002864	-0.31019	-0.00046	0.799199	-0.48619	0.027902	0.000595	-0.16773	0.002355	-0.73499	0	0.003342	-0.31236	2.01E-13	0.798233	-0.48587	-0.03454	-0.00024	0.167727	-0.00227	-0.7349	0	0.034907	0	0	0	
8	0.014	0.002782	-0.31067	-0.00054	0.800096	-0.48662	0.027906	0.000808	-0.16798	0.003167	-0.735	0	0.003342	-0.31271	1.93E-13	0.79897	-0.48626	-0.03438	-2.56E-05	0.167981	-0.00308	-0.73491	0	0.034907	0	0	0	
9	0.016	0.002699	-0.3112	-0.00061	0.801104	-0.48711	0.027911	0.001052	-0.16827	0.0041	-0.73501	0	0.003343	-0.31312	5.27E-11	0.799819	-0.4867	-0.03423	0.000219	0.168272	-0.00402	-0.73493	0	0.034907	0	0	0	
10	0.018	0.002615	-0.31179	-0.00069	0.802222	-0.48766	0.027917	0.001328	-0.1686	0.005153	-0.73502	0	0.003343	-0.31359	5.27E-11	0.800779	-0.48719	-0.03408	0.000496	0.168602	-0.00507	-0.73494	0	0.034907	0	0	0	
11	0.02	0.002531	-0.31242	-0.00076	0.803448	-0.48827	0.027923	0.001635	-0.16897	0.006326	-0.73504	0	0.003344	-0.3141	5.24E-11	0.801847	-0.48775	-0.03392	0.000804	0.168968	-0.00624	-0.73495	0	0.034907	0	0	0	
12	0.022	0.002447	-0.31311	-0.00084	0.804779	-0.48893	0.02793	0.001973	-0.16937	0.007616	-0.73505	0	0.003345	-0.31467	-1.06E-13	0.803022	-0.48836	-0.03377	0.001142	0.169371	-0.00753	-0.73497	0	0.034907	0	0	0	
13	0.024	0.002361	-0.31385	-0.00091	0.806215	-0.48964	0.027938	0.002341	-0.16981	0.009023	-0.73507	0	0.003346	-0.31528	-5.28E-11	0.804301	-0.48902	-0.03362	0.001512	0.169811	-0.00894	-0.73499	0	0.034907	0	0	0	
14	0.026	0.002275	-0.31463	-0.00098	0.807753	-0.49041	0.027946	0.00274	-0.17029	0.010546	-0.73509	0	0.003347	-0.31595	-5.28E-11	0.805684	-0.48974	-0.03347	0.001911	0.170287	-0.01046	-0.73501	0	0.034907	0	0	0	
15	0.028	0.002189	-0.31547	-0.00106	0.809392	-0.49123	0.027955	0.003169	-0.1708	0.012184	-0.73511	0	0.003348	-0.31666	-8.89E-14	0.807169	-0.49051	-0.03332	0.002341	0.170799	-0.0121	-0.73503	0	0.034907	0	0	0	
16	0.03	0.002102	-0.31635	-0.00113	0.81113	-0.4921	0.027964	0.003628	-0.17135	0.013936	-0.73513	0	0.003349	-0.31743	-5.28E-11	0.808754	-0.49133	-0.03317	0.002801	0.171346	-0.01385	-0.73505	0	0.034907	0	0	0	
17	0.032	0.002014	-0.31728	-0.0012	0.812966	-0.49303	0.027975	0.004116	-0.17193	0.0158	-0.73515	0	0.00335	-0.31824	-5.26E-11	0.810438	-0.4922	-0.03302	0.003291	0.171929	-0.01572	-0.73507	0	0.034907	0	0	0	
18	0.034	0.001925	-0.31825	-0.00127	0.814899	-0.494	0.027985	0.004634	-0.17255	0.017777	-0.73518	0	0.003352	-0.31909	-5.26E-11	0.812219	-0.49313	-0.03288	0.00381	0.172547	-0.01769	-0.7351	0	0.034907	0	0	0	
19	0.036	0.001836	-0.31927	-0.00134	0.816926	-0.49502	0.027997	0.00518	-0.1732	0.019864	-0.73521	0	0.003353	-0.32	-5.28E-11	0.814096	-0.4941	-0.03273	0.004358	0.173199	-0.01978	-0.73512	0	0.034907	0	0	0	
20	0.038	0.001747	-0.32034	-0.00142	0.819048	-0.49609	0.028009	0.005756	-0.17369	0.022002	-0.73523	0	0.003354	-0.32093	-1.44E-13	0.816087	-0.49312	-0.03258	0.004935	0.173866	-0.02136	-0.73515	0	0.034907	0	0	0	
21	0.04	0.001656	-0.32144	-0.00149	0.821258	-0.49721	0.028021	0.00636	-0.17461	0.024368	-0.73526	0	0.003356	-0.32194	1.12E-13	0.818131	-0.49619	-0.03244	0.00554	0.174606	-0.02429	-0.73518	0	0.034907	0	0	0	
22	0.042	0.001565	-0.3226	-0.00156	0.823559	-0.49838	0.028035	0.006992	-0.17536	0.026781	-0.73529	0	0.003358	-0.32297	1.10E-13	0.820286	-0.49731	-0.0323	0.006174	0.175361	-0.0267	-0.73521	0	0.034907	0	0	0	
23	0.044	0.001474	-0.32379	-0.00163	0.825949	-0.49959	0.028048	0.007652	-0.17615	0.029302	-0.73532	0	0.003359	-0.32405	1.08E-13	0.82253	-0.49848	-0.03215	0.006835	0.176148	-0.02922	-0.73524	0	0.034907	0	0	0	
24	0.046	0.001382	-0.32502	-0.0017	0.828425	-0.50085	0.028063	0.00834	-0.17697	0.031928	-0.73536	0	0.003361	-0.32518	1.06E-13	0.824862	-0.49969	-0.03201	0.007525	0.176969	-0.03185	-0.73527	0	0.034907	0	0	0	
25	0.048	0.001289	-0.3263	-0.00177	0.830986	-0.50215	0.028078	0.009055	-0.17782	0.034659	-0.73539	0	0.003363	-0.32634	1.04E-13	0.82728	-0.50094	-0.03187	0.008241	0.177823	-0.03458	-0.73531	0	0.034907	0	0	0	
26	0.05	0.001196	-0.32761	-0.00184	0.833631	-0.50349	0.028093	0.009797	-0.17871	0.037493	-0.73542	0	0.003365	-0.32754	1.02E-13	0.829783	-0.50224	-0.03173	0.008986	0.178708	-0.03741	-0.73534	0	0.034907	0	0	0	
27	0.052	0.001103	-0.32897	-0.0019	0.836358	-0.50488	0.028109	0.010566	-0.17963	0.04043	-0.73546	0	0.003367	-0.32878	1.00E-13	0.832369	-0.50358	-0.03159	0.009757	0.179626	-0.04035	-0.73538	0	0.034907	0	0	0	
28	0.054	0.001008	-0.33036	-0.00197	0.839164	-0.50631	0.028126	0.011362	-0.18058	0.043469	-0.7355	0	0.003369	-0.33007	9.85E-14	0.835037	-0.50497	-0.03145	0.010554	0.180576	-0.04339	-0.73542	0	0.034907	0	0	0	
29	0.056	0.000913	-0.33179	-0.00204	0.842049	-0.50778	0.028144	0.012184	-0.18156	0.046608	-0.73554	0	0.003371	-0.33139	9.65E-14	0.837784	-0.5064	-0.03131	0.011378	0.181557	-0.04653	-0.73546	0	0.034907	0	0	0	
30	0.058	0.000818	-0.33325	-0.00211	0.845011	-0.50929	0.028162	0.013032	-0.18257	0.049846	-0.73558	0	0.003373	-0.33274	5.28E-11	0.840609	-0.50787	-0.03117	0.012229	0.182569	-0.04977	-0.7355	0	0.034907	0	0	0	
31	0.06	0.000722	-0.33475	-0.00217	0.848048	-0.51085	0.02818	0.013906	-0.18361	0.053184	-0.73562	0	0.003375	-0.33414	5.28E-11	0.843511	-0.50937	-0.03104	0.013105	0.183612	-0.0531	-0.73554	0	0.034907	0	0	0	
32	0.062	0.000626	-0.33629	-0.00224	0.851158	-0.51243	0.028199	0.014806	-0.18469	0.056618	-0.73566	0	0.003377	-0.33557	5.25E-11	0.846488	-0.51092	-0.0309	0.014006	0.184685	-0.05654	-0.73558	0	0.034907	0	0	0	
33	0.064	0.000529	-0.33786	-0.00231	0.85434	-0.51406	0.028219	0.015731	-0.18579	0.060149	-0.73571	0	0.00338	-0.33703	-2.07E-13	0.849538	-0.51251	-0.03077	0.014933	0.185789	-0.06007	-0.73563	0	0.034907	0	0	0	
34	0.066	0.000431	-0.33946	-0.00237	0.857593	-0.51573	0.028239	0.016681	-0.18692	0.063776	-0.73575	0	0.003382	-0.33853	-1.96E-13	0.85266	-0.51413	-0.03063	0.015885	0.186922	-0.0637	-0.73567	0	0.034907	0	0	0	
35	0.068	0.000333	-0.34109	-0.00244	0.860914	-0.51743	0.02826	0.017655	-0.18809	0.067497	-0.7358	0	0.003384	-0.34006	-1.86E-13	0.855852	-0.51579	-0.0305	0.016862	0.188085	-0.06742	-0.73572	0	0.034907	0	0	0	
36	0.07	0.000234	-0.34276	-0.0025	0.864302	-0.51916	0.028281	0.018654	-0.18928	0.071311	-0.73584	0	0.003387	-0.34163	2.56E-15	0.859112	-0.51748	-0.03036	0.017863	0.189277	-0.07123	-0.73577	0	0.034907	0	0	0	
37	0.072	0.000135	-0.34446	-0.00257	0.867756	-0.52093	0.028303	0.019677	-0.1905	0.075218	-0.73589	0	0.00339	-0.34322	-5.27E-11	0.862439	-0.51922	-0.03023	0.018889	0.190498	-0.07514	-0.73581	0	0.034907	0	0	0	
38	0.074	3.54E-05	-0.34619	-0.00263	0.871274	-0.52273	0.028325	0.020724	-0.19175	0.079216	-0.73594	0	0.003392	-0.34485	-5.27E-11	0.865832	-0.52098	-0.0301	0.019938	0.191748	-0.07914	-0.73586	0	0.034907	0	0	0	
39	0.076	-6.48E-05	-0.34794	-0.0027	0.874853	-0.52457	0.028348	0.021795	-0.19303	0.083304	-0.73599	0	0.003395	-0.34651	2.18E-11	0.869288	-0.52278	-0.02997	0.021012	0.193025	-0.08323	-0.73592	0	0.034907	0	0	0	
40	0.078	-0.00017	-0.34973	-0.00276	0.878494	-0.52644	0.028372	0.022889	-0.19433	0.087482	-0.73605	0	0.003398	-0.34819	-3.08E-11	0.872806	-0.52461	-0.02984	0.022108	0.194331	-0.0874	-0.73597	0	0.034907	0	0	0	

Figura 5.1 Principio del archivo angle.dat para la tarea Manos Atrás.

A continuación en la Figura 5.2 se pueden observar las últimas 40 filas del archivo angle.dat.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
3960	7.918	0.000367	-0.33764	-1.30E-08	0.858765	-0.51841	0.028621	0.025146	-0.19702	0.0961	-0.73615	0	0.003424	-0.33938	3.67E-12	0.856534	-0.51716	-0.03326	0.024371	0.197024	-0.09602	-0.73608	0	0.034907	0	0	0	
3961	7.92	0.000501	-0.33632	-1.24E-08	0.855938	-0.5169	0.028588	0.024006	-0.19566	0.091747	-0.7361	0	0.003421	-0.33811	3.50E-12	0.853808	-0.51569	-0.03337	0.023228	0.195664	-0.09167	-0.73602	0	0.034907	0	0	0	
3962	7.922	0.000633	-0.33503	-1.18E-08	0.853169	-0.51541	0.028556	0.022889	-0.19433	0.087482	-0.73605	0	0.003417	-0.33687	3.34E-12	0.851138	-0.51426	-0.03346	0.022108	0.194331	-0.0874	-0.73597	0	0.034907	0	0	0	
3963	7.924	0.000763	-0.33376	-1.13E-08	0.850456	-0.51395	0.028524	0.021795	-0.19303	0.083304	-0.73599	0	0.003413	-0.33566	3.18E-12	0.848522	-0.51286	-0.03356	0.021012	0.193025	-0.08323	-0.73592	0	0.034907	0	0	0	
3964	7.926	0.000889	-0.33253	-1.07E-08	0.847802	-0.51253	0.028493	0.020724	-0.19175	0.079216	-0.73594	0	0.00341	-0.33447	3.02E-12	0.845963	-0.51149	-0.03366	0.019938	0.191748	-0.07914	-0.73586	0	0.034907	0	0	0	
3965	7.928	0.001013	-0.33131	-1.02E-08	0.845206	-0.51113	0.028462	0.019677	-0.1905	0.075218	-0.73589	0	0.003406	-0.33331	2.87E-12	0.84346	-0.51015	-0.03375	0.018889	0.190498	-0.07514	-0.73581	0	0.034907	0	0	0	
3966	7.93	0.001134	-0.33013	-9.65E-09	0.842669	-0.50977	0.028433	0.018654	-0.18928	0.071311	-0.73584	0	0.003403	-0.33218	2.72E-12	0.841014	-0.50884	-0.03384	0.017863	0.189277	-0.07123	-0.73577	0	0.034907	0	0	0	
3967	7.932	0.001252	-0.32898	-9.13E-09	0.840193	-0.50844	0.028404	0.017655	-0.18809	0.067497	-0.7358	0	0.003399	-0.33107	2.57E-12	0.838626	-0.50756	-0.03393	0.016862	0.188085	-0.06742	-0.73572	0	0.034907	0	0	0	
3968	7.934	0.001368	-0.32785	-8.63E-09	0.837777	-0.50714	0.028376	0.016681	-0.18692	0.063776	-0.73575	0	0.003396	-0.32999	2.43E-12	0.836296	-0.50631	-0.03401	0.015885	0.186922	-0.0637	-0.73567	0	0.034907	0	0	0	
3969	7.936	0.00148	-0.32675	-8.13E-09	0.835422	-0.50588	0.028348	0.015731	-0.18579	0.060149	-0.73571	0	0.003393	-0.32894	2.29E-12	0.834026	-0.50509	-0.0341	0.014933	0.185789	-0.06007	-0.73563	0	0.034907	0	0	0	
3970	7.938	0.001589	-0.32568	-7.66E-09	0.833129	-0.50465	0.028321	0.014806	-0.18469	0.056618	-0.73566	0	0.00339	-0.32791	2.16E-12	0.831815	-0.50391	-0.03418	0.014006	0.184685	-0.05654	-0.73558	0	0.034907	0	0	0	
3971	7.94	0.001696	-0.32464	-7.19E-09	0.830899	-0.50345	0.028295	0.013906	-0.18361	0.053184	-0.73562	0	0.003387	-0.32691	2.03E-12	0.829665	-0.50275	-0.03426	0.013105	0.183612	-0.0531	-0.73554	0	0.034907	0	0	0	
3972	7.942	0.001799	-0.32363	-6.74E-09	0.828732	-0.50229	0.02827	0.013032	-0.18257	0.049846	-0.73558	0	0.003384	-0.32594	1.90E-12	0.827576	-0.50163	-0.03434	0.012229	0.182569	-0.04977	-0.7355	0	0.034907	0	0	0	
3973	7.944	0.001899	-0.32265	-6.30E-09	0.826629	-0.50116	0.028245	0.012184	-0.18156	0.046608	-0.73554	0	0.003381	-0.325	1.78E-12	0.825548	-0.50055	-0.03441	0.011378	0.181557	-0.04653	-0.73546	0	0.034907	0	0	0	
3974	7.946	0.001997	-0.3217	-5.88E-09	0.824591	-0.50006	0.028221	0.011362	-0.18058	0.043469	-0.7355	0	0.003378	-0.32409	1.66E-12	0.823583	-0.49949	-0.03449	0.010554	0.180576	-0.04339	-0.73542	0	0.034907	0	0	0	
3975	7.948	0.002091	-0.32078	-5.46E-09	0.822618	-0.499	0.028198	0.010566	-0.17963	0.04043	-0.73546	0	0.003376	-0.32321	1.54E-12	0.821681	-0.49847	-0.03456	0.009757	0.179626	-0.04035	-0.73538	0	0.034907	0	0	0	
3976	7.95	0.002182	-0.31989	-5.07E-09	0.820711	-0.49798	0.028176	0.009797	-0.17871	0.037493	-0.73542	0	0.003373	-0.32235	1.43E-12	0.819842	-0.49749	-0.03462	0.008986	0.178708	-0.03741	-0.73534	0	0.034907	0	0	0	
3977	7.952	0.002269	-0.31903	-4.68E-09	0.818871	-0.49699	0.028154	0.009055	-0.17782	0.034659	-0.73539	0	0.003371	-0.32153	1.32E-12	0.818067	-0.49654	-0.03469	0.008241	0.177823	-0.03458	-0.73531	0	0.034907	0	0	0	
3978	7.954	0.002354	-0.31821	-4.31E-09	0.817098	-0.49604	0.028134	0.00834	-0.17697	0.031928	-0.73536	0	0.003368	-0.32074	1.22E-12	0.816358	-0.49562	-0.03475	0.007525	0.176969	-0.03185	-0.73527	0	0.034907	0	0	0	
3979	7.956	0.002435	-0.31741	-3.96E-09	0.815393	-0.49512	0.028114	0.007652	-0.17615	0.029302	-0.73532	0	0.003366	-0.31997	1.12E-12	0.814714	-0.49474	-0.03481	0.006835	0.176148	-0.02922	-0.73524	0	0.034907	0	0	0	
3980	7.958	0.002513	-0.31665	-3.62E-09	0.813756	-0.49424	0.028095	0.006992	-0.17536	0.026781	-0.73529	0	0.003364	-0.31924	1.02E-12	0.813136	-0.49389	-0.03487	0.006174	0.175361	-0.0267	-0.73521	0	0.034907	0	0	0	
3981	7.96	0.002588	-0.31592	-3.29E-09	0.812189	-0.4934	0.028076	0.00636	-0.17461	0.024368	-0.73526	0	0.003362	-0.31854	9.27E-13	0.811625	-0.49308	-0.03493	0.00554	0.174606	-0.02429	-0.73518	0	0.034907	0	0	0	
3982	7.962	0.00266	-0.31522	-2.98E-09	0.810692	-0.4926	0.028059	0.005756	-0.17389	0.022062	-0.73523	0	0.00336	-0.31787	8.39E-13	0.810181	-0.49231	-0.03498	0.004935	0.173886	-0.02198	-0.73515	0	0.034907	0	0	0	
3983	7.964	0.002728	-0.31455	-2.68E-09	0.809265	-0.49183	0.028042	0.00518	-0.1732	0.019864	-0.73521	0	0.003358	-0.31723	7.55E-13	0.808805	-0.49157	-0.03503	0.004358	0.173199	-0.01978	-0.73512	0	0.034907	0	0	0	
3984	7.966	0.002792	-0.31392	-2.40E-09	0.80791	-0.4911	0.028026	0.004634	-0.17255	0.017777	-0.73518	0	0.003356	-0.31663	6.76E-13	0.807498	-0.49087	-0.03508	0.00381	0.172547	-0.01769	-0.7351	0	0.034907	0	0	0	
3985	7.968	0.002854	-0.31332	-2.13E-09	0.806626	-0.49041	0.028011	0.004116	-0.17193	0.0158	-0.73515	0	0.003354	-0.31605	6.00E-13	0.806261	-0.49021	-0.03513	0.003291	0.171929	-0.01572	-0.73507	0	0.034907	0	0	0	
3986	7.97	0.002911	-0.31276	-1.88E-09	0.805415	-0.48976	0.027997	0.003628	-0.17135	0.013936	-0.73513	0	0.003352	-0.31551	5.29E-13	0.805094	-0.48958	-0.03517	0.002801	0.171346	-0.01385	-0.73505	0	0.034907	0	0	0	
3987	7.972	0.002966	-0.31223	-1.64E-09	0.804278	-0.48915	0.027984	0.003169	-0.1708	0.012184	-0.73511	0	0.003351	-0.315	4.62E-13	0.803997	-0.48899	-0.03521	0.002341	0.170799	-0.0121	-0.73503	0	0.034907	0	0	0	
3988	7.974	0.003016	-0.31173	-1.42E-09	0.803214	-0.48858	0.027971	0.00274	-0.17029	0.010546	-0.73509	0	0.00335	-0.31453	4.00E-13	0.802971	-0.48845	-0.03525	0.001911	0.170287	-0.01046	-0.73501	0	0.034907	0	0	0	
3989	7.976	0.003063	-0.31127	-1.21E-09	0.802226	-0.48805	0.02796	0.002341	-0.16981	0.009023	-0.73507	0	0.003348	-0.31408	3.41E-13	0.802018	-0.48793	-0.03528	0.001512	0.169811	-0.00894	-0.73499	0	0.034907	0	0	0	
3990	7.978	0.003107	-0.31084	-1.02E-09	0.801312	-0.48756	0.027949	0.001973	-0.16937	0.007616	-0.73505	0	0.003347	-0.31367	2.88E-13	0.801137	-0.48746	-0.03532	0.001142	0.169371	-0.00753	-0.73497	0	0.034907	0	0	0	
3991	7.98	0.003147	-0.31045	-8.45E-10	0.800474	-0.48711	0.027939	0.001635	-0.16897	0.006326	-0.73504	0	0.003346	-0.3133	2.38E-13	0.800329	-0.48703	-0.03535	0.000804	0.168968	-0.00624	-0.73495	0	0.034907	0	0	0	
3992	7.982	0.003183	-0.3101	-6.87E-10	0.799713	-0.4867	0.02793	0.001328	-0.1686	0.005153	-0.73502	0	0.003345	-0.31296	1.94E-13	0.799595	-0.48664	-0.03537	0.000496	0.168602	-0.00507	-0.73494	0	0.034907	0	0	0	
3993	7.984	0.003216	-0.30978	-5.44E-10	0.799029	-0.48633	0.027922	0.001052	-0.16827	0.0041	-0.73501	0	0.003344	-0.31265	1.53E-13	0.798936	-0.48628	-0.0354	0.000219	0.168272	-0.00402	-0.73493	0	0.034907	0	0	0	
3994	7.986	0.003245	-0.3095	-4.18E-10	0.798424	-0.48601	0.027915	0.000808	-0.16798	0.003167	-0.735	0	0.003343	-0.31238	1.18E-13	0.798352	-0.48597	-0.03542	-2.56E-05	0.167981	-0.00308	-0.73491	0	0.034907	0	0	0	
3995	7.988	0.00327	-0.30925	-3.08E-10	0.797896	-0.48573	0.027905	0.000595	-0.16773	0.002355	-0.73499	0	0.003342	-0.31215	8.68E-14	0.797844	-0.4857	-0.03544	-0.00024	0.167727	-0.00227	-0.7349	0	0.034907	0	0	0	
3996	7.99	0.003291	-0.30904	-2.14E-10	0.797448	-0.48549	0.027904	0.000414	-0.16751	0.001665	-0.73498	0	0.003342	-0.31195	6.04E-14	0.797412	-0.48547	-0.03545	-0.00042	0.167512	-0.00158	-0.7349	0	0.034907	0	0	0	
3997	7.992	0.003309	-0.30887	-1.37E-10	0.79708	-0.48529	0.0279	0.000266	-0.16733	0.001099	-0.73497	0	0.003341	-0.31178	3.88E-14	0.797057	-0.48527	-0.03547	-0.00057	0.167334	-0.00102	-0.73489	0	0.034907	0	0	0	
3998	7.994	0.003323	-0.30874	-7.75E-11	0.796793	-0.48513	0.027896	0.00015	-0.1672	0.000656	-0.73497	0	0.003341	-0.31165	2.19E-14	0.79678	-0.48513	-0.03548	-0.00068	0.167196	-0.00057	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	
3999	7.996	0.003332	-0.30864	-3.46E-11	0.796587	-0.48502	0.027894	6.68E-05	-0.1671	0.000339	-0.73496	0	0.003341	-0.31156	9.74E-15	0.796581	-0.48502	-0.03549	-0.00077	0.167097	-0.00026	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	
4000	7.998	0.003338	-0.30858	-8.66E-12	0.796463	-0.48496	0.027892	1.68E-05	-0.16704	0.000147	-0.73496	0	0.00334	-0.31151	2.44E-15	0.796461	-0.48496	-0.03549	-0.00082	0.167037	-6.40E-05	-0.73488	0	0.034907	0	0	0	

Figura 5.2 Final del archivo angle.dat para la tarea Manos Atrás.

De la misma forma que se ha creado el archivo que contiene las posiciones ha sido creado el archivo de las velocidades para cada una de las articulaciones.

Para poder apreciar el resultado, en la Figura 5.3 se muestra una gráfica donde se puede observar la posición de la articulación de la rodilla derecha a lo largo de la simulación.

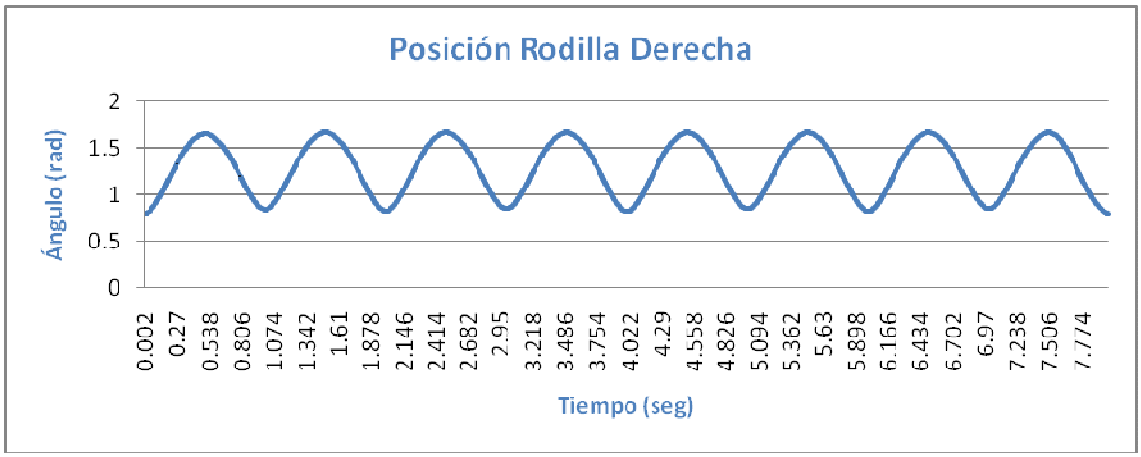


Figura 5.3 Posición de la rodilla derecha.

A continuación, en la Figura 5.4 se muestra la gráfica que representa la velocidad de la rodilla derecha.

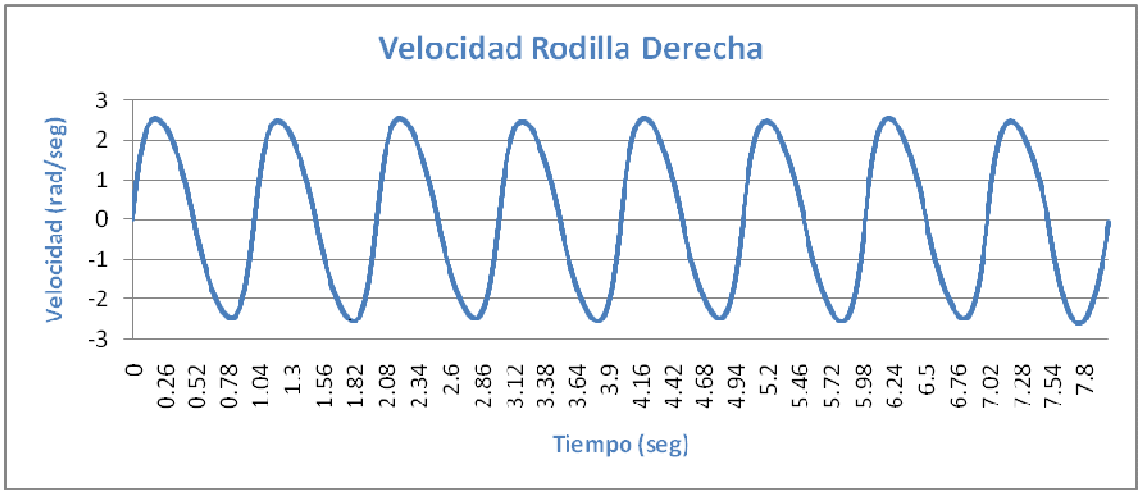


Figura 5.4 Velocidad rodilla derecha.

En la Figura 5.5 se muestra la gráfica que representa la posición de una de las articulaciones que forman el hombro izquierdo (articulación con eje de rotación X).

Figura 5.5 Posición hombro izquierdo.

En la Figura 5.6 se puede observar los pares de fuerza que se obtienen del sensor colocado en el pie derecho (RIGHT_FORCE_SENSOR).

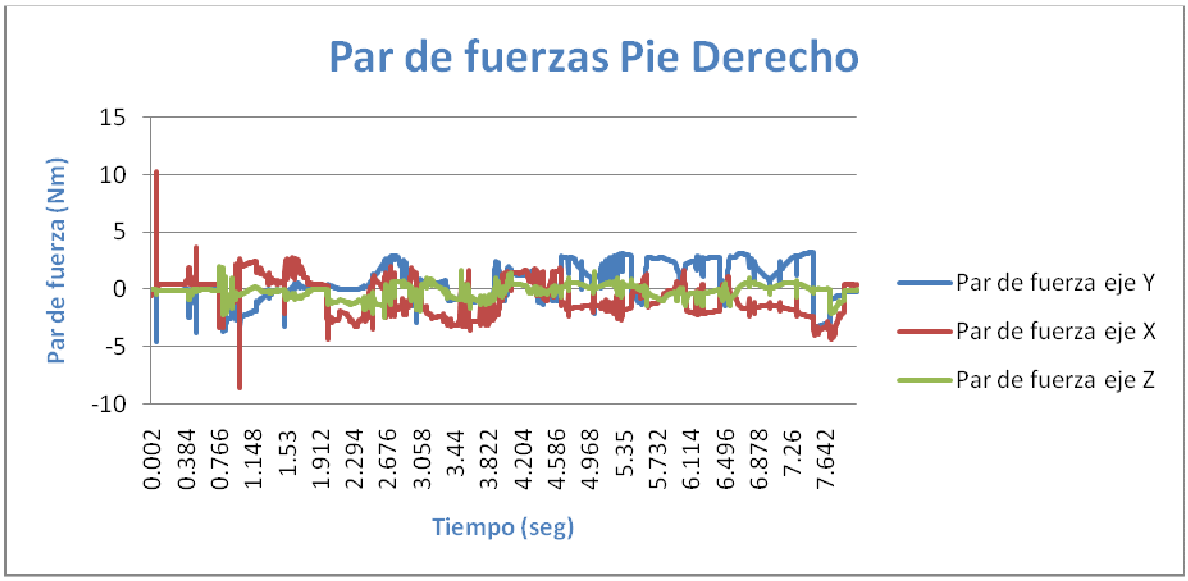


Figura 5.6 Par de fuerzas pie derecho en la tarea Manos Atrás.

Los resultados del sensor del pie izquierdo (LEFT_FORCE_SENSOR) se pueden observar en la Figura 5.7.

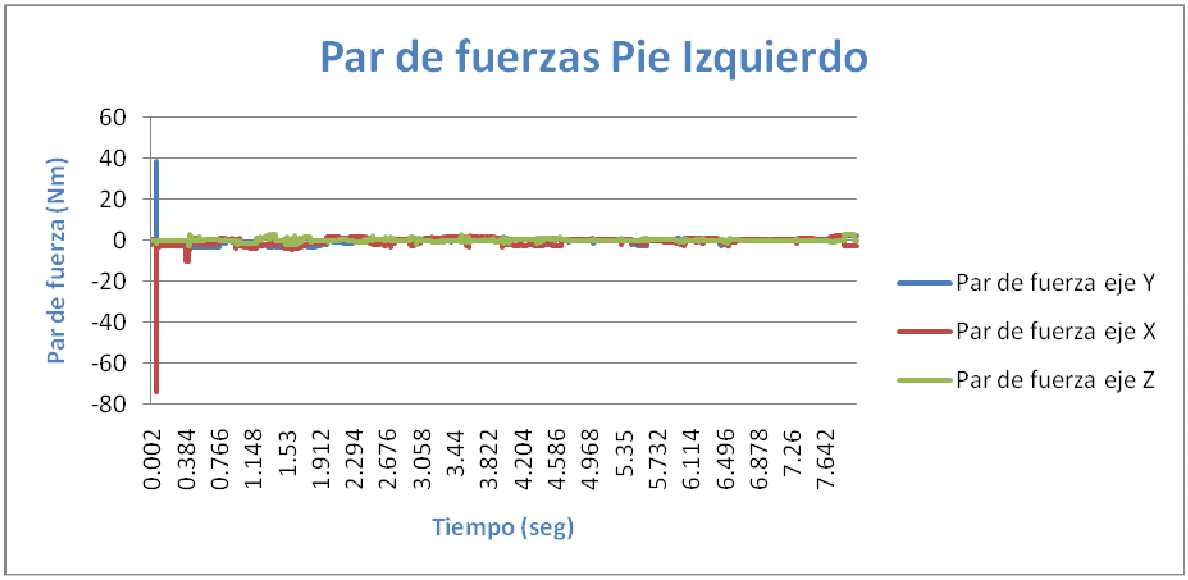


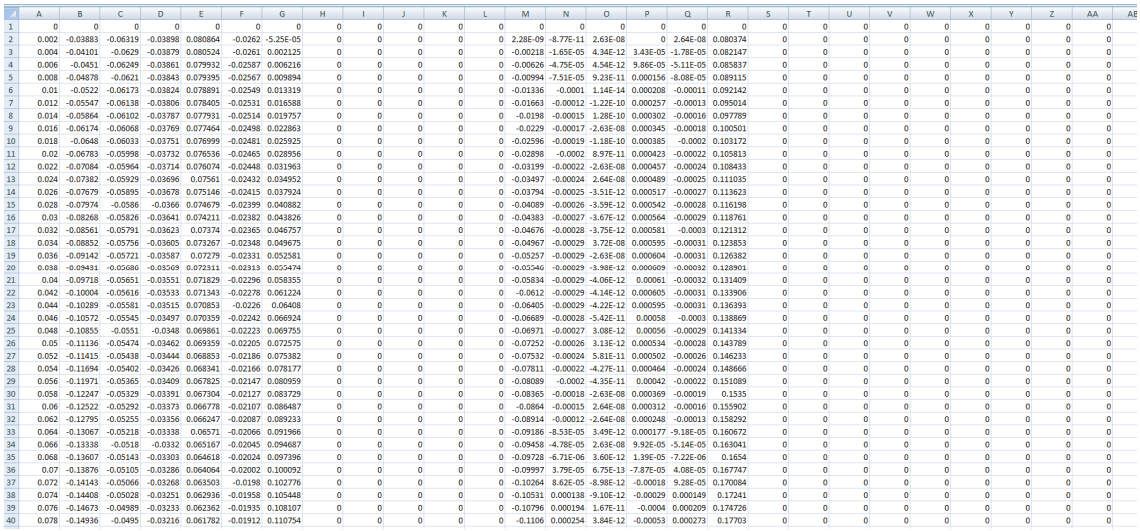
Figura 5.7 Par de fuerzas pie izquierdo en la tarea Manos Atrás.

5.3 Tarea Paso Lateral Derecho

En esta tarea el modelo realiza dos pasos laterales a la derecha. Cuando realiza el primer paso flexiona los codos y une las manos simulando dar una palmada. Vuelve a repetir los mismos movimientos para realizar el segundo paso lateral, incluida la palmada.

Esta tarea tiene una duración de 8 seg teniendo una base de tiempos de 0.002 seg. Por tanto, los archivos referentes a las posiciones y velocidades de las articulaciones utilizados en esta tarea están formados por 4000 filas y 27 columnas.

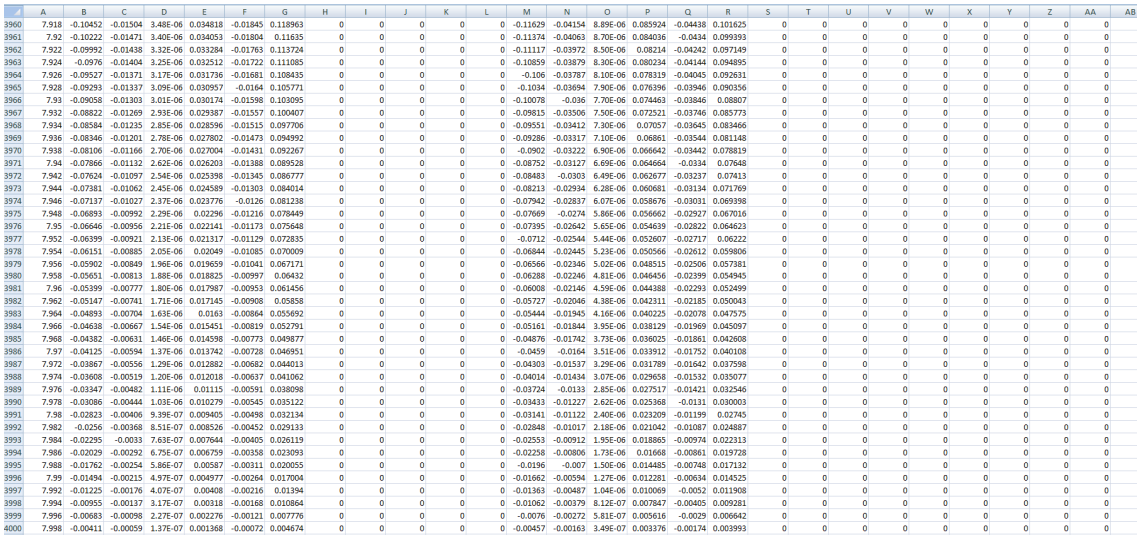
El archivo que contiene las velocidades de las articulaciones a lo largo de la simulación (vel.dat) ha sido creado siguiendo las especificaciones explicadas en el capítulo 4. En la Figura 5.8 se muestran las 40 primeras filas del archivo.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0.002	-0.03883	-0.06319	-0.03898	0.080864	-0.0262	-5.25E-05	0	0	0	0	0	2.28E-09	-8.77E-11	2.63E-08	0	2.64E-08	0.080374	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0.004	-0.04101	-0.0629	-0.03879	0.080524	-0.0261	0.002125	0	0	0	0	0	-0.00218	-1.65E-05	4.34E-12	3.43E-05	-1.78E-05	0.082147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0.006	-0.0451	-0.06249	-0.03861	0.079932	-0.02587	0.006216	0	0	0	0	0	-0.00626	-4.75E-05	4.54E-12	9.86E-05	-5.11E-05	0.085837	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0.008	-0.04878	-0.0621	-0.03843	0.079395	-0.02567	0.009894	0	0	0	0	0	-0.00994	-7.51E-05	9.23E-11	0.000156	-8.08E-05	0.089115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0.01	-0.0522	-0.06173	-0.03824	0.078891	-0.02549	0.013319	0	0	0	0	0	-0.01336	-0.0001	1.14E-14	0.000208	-0.00011	0.092142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0.012	-0.05547	-0.06138	-0.03806	0.078405	-0.02531	0.016588	0	0	0	0	0	-0.01663	-0.00012	-1.22E-10	0.000257	-0.00013	0.095014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0.014	-0.05864	-0.06102	-0.03787	0.077931	-0.02514	0.019757	0	0	0	0	0	-0.0198	-0.00015	1.28E-10	0.000302	-0.00016	0.097789	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0.016	-0.06174	-0.06068	-0.03769	0.077464	-0.02498	0.022863	0	0	0	0	0	-0.0229	-0.00017	-2.63E-08	0.000345	-0.00018	0.100501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0.018	-0.0648	-0.06033	-0.03751	0.076999	-0.02481	0.025925	0	0	0	0	0	-0.02596	-0.00019	-1.18E-10	0.000385	-0.0002	0.103172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0.02	-0.06783	-0.05998	-0.03732	0.076536	-0.02465	0.028956	0	0	0	0	0	-0.02898	-0.0002	8.97E-11	0.000423	-0.00022	0.105813	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0.022	-0.07084	-0.05964	-0.03714	0.076074	-0.02448	0.031963	0	0	0	0	0	-0.03199	-0.00022	-2.63E-08	0.000457	-0.00024	0.108433	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0.024	-0.07382	-0.05929	-0.03696	0.07561	-0.02432	0.034952	0	0	0	0	0	-0.03497	-0.00024	2.64E-08	0.000489	-0.00025	0.111035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0.026	-0.07679	-0.05895	-0.03678	0.075146	-0.02415	0.037924	0	0	0	0	0	-0.03794	-0.00025	-3.51E-12	0.000517	-0.00027	0.113623	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0.028	-0.07974	-0.0586	-0.0366	0.074679	-0.02399	0.040882	0	0	0	0	0	-0.04089	-0.00026	-3.59E-12	0.000542	-0.00028	0.116198	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0.03	-0.08268	-0.05826	-0.03641	0.074211	-0.02382	0.043826	0	0	0	0	0	-0.04383	-0.00027	-3.67E-12	0.000564	-0.00029	0.118761	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0.032	-0.08561	-0.05791	-0.03623	0.07374	-0.02365	0.046757	0	0	0	0	0	-0.04676	-0.00028	-3.75E-12	0.000581	-0.0003	0.121312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0.034	-0.08852	-0.05756	-0.03605	0.073267	-0.02348	0.049675	0	0	0	0	0	-0.04967	-0.00029	3.72E-08	0.000595	-0.00031	0.123853	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0.036	-0.09142	-0.05721	-0.03587	0.07279	-0.02331	0.052581	0	0	0	0	0	-0.05257	-0.00029	-2.63E-08	0.000604	-0.00031	0.126382	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0.038	-0.09431	-0.05686	-0.03569	0.072311	-0.02313	0.055474	0	0	0	0	0	-0.05546	-0.00029	-3.98E-12	0.000609	-0.00032	0.128901	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0.04	-0.09718	-0.05651	-0.03551	0.071829	-0.02296	0.058355	0	0	0	0	0	-0.05834	-0.00029	-4.06E-12	0.00061	-0.00032	0.131409	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0.042	-0.10004	-0.05616	-0.03533	0.071343	-0.02278	0.061224	0	0	0	0	0	-0.0612	-0.00029	-4.14E-12	0.000605	-0.00031	0.133906	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0.044	-0.10289	-0.05581	-0.03515	0.070853	-0.0226	0.06408	0	0	0	0	0	-0.06405	-0.00029	-4.22E-12	0.000595	-0.00031	0.136393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0.046	-0.10572	-0.05545	-0.03497	0.070359	-0.02242	0.066924	0	0	0	0	0	-0.06689	-0.00028	-5.42E-11	0.00058	-0.0003	0.138869	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0.048	-0.10855	-0.0551	-0.0348	0.069861	-0.02223	0.069755	0	0	0	0	0	-0.06971	-0.00027	3.08E-12	0.00056	-0.00029	0.141334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0.05	-0.11136	-0.05474	-0.03462	0.069359	-0.02205	0.072575	0	0	0	0	0	-0.07252	-0.00026	3.13E-12	0.000534	-0.00028	0.143789	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0.052	-0.11415	-0.05438	-0.03444	0.068853	-0.02186	0.075382	0	0	0	0	0	-0.07532	-0.00024	5.81E-11	0.000502	-0.00026	0.146233	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0.054	-0.11694	-0.05402	-0.03426	0.068341	-0.02166	0.078177	0	0	0	0	0	-0.07811	-0.00022	-4.27E-11	0.000464	-0.00024	0.148666	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
29	0.056	-0.11971	-0.05365	-0.03409	0.067825	-0.02147	0.080959	0	0	0	0	0	-0.08089	-0.0002	-4.35E-11	0.00042	-0.00022	0.151089	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	0.058	-0.12247	-0.05329	-0.03391	0.067304	-0.02127	0.083729	0	0	0	0	0	-0.08365	-0.00018	-2.63E-08	0.000369	-0.00019	0.1535	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0.06	-0.12522	-0.05292	-0.03373	0.066778	-0.02107	0.086487	0	0	0	0	0	-0.0864	-0.00015	2.64E-08	0.000312	-0.00016	0.155902	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	0.062	-0.12795	-0.05255	-0.03356	0.066247	-0.02087	0.089233	0	0	0	0	0	-0.08914	-0.00012	-2.64E-08	0.000248	-0.00013	0.158292	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	0.064	-0.13067	-0.05218	-0.03338	0.06571	-0.02066	0.091966	0	0	0	0	0	-0.09186	-8.53E-05	3.49E-12	0.000177	-9.18E-05	0.160672	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0.066	-0.13338	-0.0518	-0.0332	0.065167	-0.02045	0.094687	0	0	0	0	0	-0.09458	-4.78E-05	2.63E-08	9.92E-05	-5.14E-05	0.163041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	0.068	-0.13607	-0.05143	-0.03303	0.064618	-0.02024	0.097396	0	0	0	0	0	-0.09728	-6.71E-06	3.60E-12	1.39E-05	-7.22E-06	0.1654	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	0.07	-0.13876	-0.05105	-0.03286	0.064064	-0.02002	0.100092	0	0	0	0	0	-0.09997	3.79E-05	6.75E-13	-7.87E-05	4.08E-05	0.167747	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
37	0.072	-0.14143	-0.05066	-0.03268	0.063503	-0.0198	0.102776	0	0	0	0	0	-0.10264	8.62E-05	-8.98E-12	-0.00018	9.28E-05	0.170084	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	0.074	-0.14408	-0.05028	-0.03251	0.062936	-0.01958	0.105448	0	0	0	0	0	-0.10531	0.000138	-9.10E-12	-0.00029	0.000149	0.17241	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	0.076	-0.14673	-0.04989	-0.03233	0.062362	-0.01935	0.108107	0	0	0	0	0	-0.10796	0.000194	1.67E-11	-0.0004	0.000209	0.174726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	0.078	-0.14936	-0.0495	-0.03216	0.061782	-0.01912	0.110754	0	0	0	0	0	-0.1106	0.000254	3.84E-12	-0.00053	0.000273	0.17703	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 5.8 Principio del archivo vel.dat para la tarea Paso Lateral Derecho.

A continuación, en la Figura 5.9 se pueden observar las últimas 40 filas del archivo vel.dat.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
3960	7.918	-0.10452	-0.01504	3.48E-06	0.034818	-0.01845	0.118963	0	0	0	0	0	-0.11629	-0.04154	8.89E-06	0.085924	-0.04438	0.101625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3961	7.92	-0.10222	-0.01471	3.40E-06	0.034053	-0.01804	0.11635	0	0	0	0	0	-0.11374	-0.04063	8.70E-06	0.084036	-0.0434	0.099393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3962	7.922	-0.09992	-0.01438	3.32E-06	0.033284	-0.01763	0.113724	0	0	0	0	0	-0.11117	-0.03972	8.50E-06	0.08214	-0.04242	0.097149	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3963	7.924	-0.0976	-0.01404	3.25E-06	0.032512	-0.01722	0.111085	0	0	0	0	0	-0.10859	-0.03879	8.30E-06	0.080234	-0.04144	0.094895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3964	7.926	-0.09527	-0.01371	3.17E-06	0.031736	-0.01681	0.108435	0	0	0	0	0	-0.106	-0.03787	8.10E-06	0.078319	-0.04045	0.092631	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3965	7.928	-0.09293	-0.01337	3.09E-06	0.030957	-0.0164	0.105771	0	0	0	0	0	-0.1034	-0.03694	7.90E-06	0.076396	-0.03946	0.090356	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3966	7.93	-0.09058	-0.01303	3.01E-06	0.030174	-0.01598	0.103095	0	0	0	0	0	-0.10078	-0.036	7.70E-06	0.074463	-0.03846	0.08807	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3967	7.932	-0.08822	-0.01269	2.93E-06	0.029387	-0.01557	0.100407	0	0	0	0	0	-0.09815	-0.03506	7.50E-06	0.072521	-0.03746	0.085773	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3968	7.934	-0.08584	-0.01235	2.85E-06	0.028596	-0.01515	0.097706	0	0	0	0	0	-0.09551	-0.03412	7.30E-06	0.07057	-0.03645	0.083466	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3969	7.936	-0.08346	-0.01201	2.78E-06	0.027802	-0.01473	0.094992	0	0	0	0	0	-0.09286	-0.03317	7.10E-06	0.06861	-0.03544	0.081148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3970	7.938	-0.08106	-0.01166	2.70E-06	0.027004	-0.01431	0.092267	0	0	0	0	0	-0.0902	-0.03222	6.90E-06	0.066642	-0.03442	0.078819	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3971	7.94	-0.07866	-0.01132	2.62E-06	0.026203	-0.01388	0.089528	0	0	0	0	0	-0.08752	-0.03127	6.69E-06	0.064664	-0.0334	0.07648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3972	7.942	-0.07624	-0.01097	2.54E-06	0.025398	-0.01345	0.086777	0	0	0	0	0	-0.08483	-0.0303	6.49E-06	0.062677	-0.03237	0.07413	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3973	7.944	-0.07381	-0.01062	2.45E-06	0.024589	-0.01303	0.084014	0	0	0	0	0	-0.08213	-0.02934	6.28E-06	0.060681	-0.03134	0.071769	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3974	7.946	-0.07137	-0.01027	2.37E-06	0.023776	-0.0126	0.081238	0	0	0	0	0	-0.07942	-0.02837	6.07E-06	0.058676	-0.03031	0.069398	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3975	7.948	-0.06893	-0.00992	2.29E-06	0.02296	-0.01216	0.078449	0	0	0	0	0	-0.07669	-0.0274	5.86E-06	0.056662	-0.02927	0.067016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3976	7.95	-0.06646	-0.00956	2.21E-06	0.022141	-0.01173	0.075648	0	0	0	0	0	-0.07395	-0.02642	5.65E-06	0.054639	-0.02822	0.064623	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3977	7.952	-0.06399	-0.00921	2.13E-06	0.021317	-0.01129	0.072835	0	0	0	0	0	-0.0712	-0.02544	5.44E-06	0.052607	-0.02717	0.06222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3978	7.954	-0.06151	-0.00885	2.05E-06	0.02049	-0.01085	0.070009	0	0	0	0	0	-0.06844	-0.02445	5.23E-06	0.050566	-0.02612	0.059806	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3979	7.956	-0.05902	-0.00849	1.96E-06	0.019659	-0.01041	0.067171	0	0	0	0	0	-0.06566	-0.02346	5.02E-06	0.048515	-0.02506	0.057381	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3980	7.958	-0.05651	-0.00813	1.88E-06	0.018825	-0.00997	0.06432	0	0	0	0	0	-0.06288	-0.02246	4.81E-06	0.046456	-0.02399	0.054945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3981	7.96	-0.05399	-0.00777	1.80E-06	0.017987	-0.00953	0.061456	0	0	0	0	0	-0.06008	-0.02146	4.59E-06	0.044388	-0.02293	0.052499	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3982	7.962	-0.05147	-0.00741	1.71E-06	0.017145	-0.00908	0.05858	0	0	0	0	0	-0.05727	-0.02046	4.38E-06	0.042311	-0.02185	0.050043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3983	7.964	-0.04893	-0.00704	1.63E-06	0.0163	-0.00864	0.055692	0	0	0	0	0	-0.05444	-0.01945	4.16E-06	0.040225	-0.02078	0.047575	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3984	7.966	-0.04638	-0.00667	1.54E-06	0.015451	-0.00819	0.052791	0	0	0	0	0	-0.05161	-0.01844	3.95E-06	0.038129	-0.01969	0.045097	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3985	7.968	-0.04382	-0.00631	1.46E-06	0.014598	-0.00773	0.049877	0	0	0	0	0	-0.04876	-0.01742	3.73E-06	0.036025	-0.01861	0.042608	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3986	7.97	-0.04125	-0.00594	1.37E-06	0.013742	-0.00728	0.046951	0	0	0	0	0	-0.0459	-0.0164	3.51E-06	0.033912	-0.01752	0.040108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3987	7.972	-0.03867	-0.00556	1.29E-06	0.012882	-0.00682	0.044013	0	0	0	0	0	-0.04303	-0.01537	3.29E-06	0.031789	-0.01642	0.037598	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3988	7.974	-0.03608	-0.00519	1.20E-06	0.012018	-0.00637	0.041062	0	0	0	0	0	-0.04014	-0.01434	3.07E-06	0.029658	-0.01532	0.035077	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3989	7.976	-0.03347	-0.00482	1.11E-06	0.01115	-0.00591	0.038098	0	0	0	0	0	-0.03724	-0.0133	2.85E-06	0.027517	-0.01421	0.032546	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3990	7.978	-0.03086	-0.00444	1.03E-06	0.010279	-0.00545	0.035122	0	0	0	0	0	-0.03433	-0.01227	2.62E-06	0.025368	-0.0131	0.030003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3991	7.98	-0.02823	-0.00406	9.39E-07	0.009405	-0.00498	0.032134	0	0	0	0	0	-0.03141	-0.01122	2.40E-06	0.023209	-0.01199	0.02745	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3992	7.982	-0.0256	-0.00368	8.51E-07	0.008526	-0.00452	0.029133	0	0	0	0	0	-0.02848	-0.01017	2.18E-06	0.021042	-0.01087	0.024887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3993	7.984	-0.02295	-0.0033	7.63E-07	0.007644	-0.00405	0.026119	0	0	0	0	0	-0.02553	-0.00912	1.95E-06	0.018865	-0.00974	0.022313	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3994	7.986	-0.02029	-0.00292	6.75E-07	0.006759	-0.00358	0.023093	0	0	0	0	0	-0.02258	-0.00806	1.73E-06	0.01668	-0.00861	0.019728	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3995	7.988	-0.01762	-0.00254	5.86E-07	0.00587	-0.00311	0.020055	0	0	0	0	0	-0.0196	-0.007	1.50E-06	0.014485	-0.00748	0.017132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3996	7.99	-0.01494	-0.00215	4.97E-07	0.004977	-0.00264	0.017004	0	0	0	0	0	-0.01662	-0.00594	1.27E-06	0.012281	-0.00634	0.014525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3997	7.992	-0.01225	-0.00176	4.07E-07	0.00408	-0.00216	0.01394	0	0	0	0	0	-0.01363	-0.00487	1.04E-06	0.010069	-0.0052	0.011908	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3998	7.994	-0.00955	-0.00137	3.17E-07	0.00318	-0.00168	0.010864	0	0	0	0	0	-0.01062	-0.00379	8.12E-07	0.007847	-0.00405	0.009281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3999	7.996	-0.00683	-0.00098	2.27E-07	0.002276	-0.00121	0.007776	0	0	0	0	0	-0.0076	-0.00272	5.81E-07	0.005616	-0.0029	0.006642	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4000	7.998	-0.00411	-0.00059	1.37E-07	0.001368	-0.00072	0.004674	0	0	0	0	0	-0.00457	-0.00163	3.49E-07	0.003376	-0.00174	0.003993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 5.9 Final archivo vel.dat para la tarea Paso Lateral Derecho.

De la misma manera que se ha creado el archivo que contiene las velocidades ha sido creado el archivo de las posiciones para cada una de las articulaciones.

Para poder apreciar el resultado, en la Figura 5.10 se muestra una gráfica donde se puede observar la posición de una de las articulaciones que forman la cadera derecha (articulación con eje de rotación X) a lo largo de la simulación.

Figura 5.10 Posición de la cadera derecha.

A continuación, en la Figura 5.11 se muestra la gráfica que representa la velocidad de la articulación de la cadera derecha.

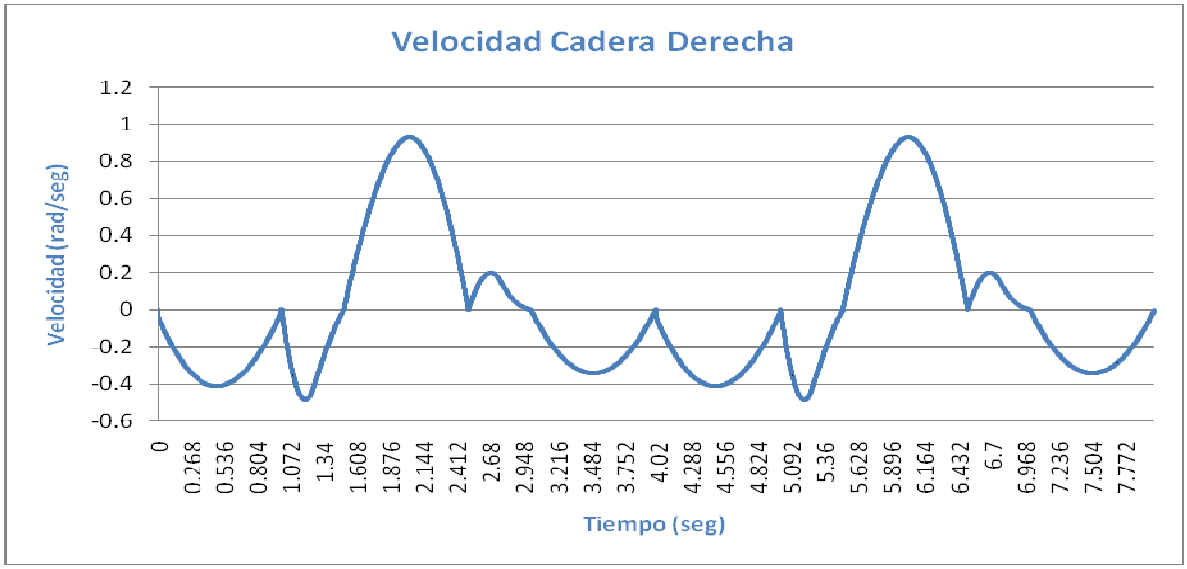


Figura 5.11 Velocidad de la cadera derecha.

En la Figura 5.12 se muestra la gráfica que representa la posición del codo izquierdo.

Figura 5.12 Posición codo izquierdo.

Para visualizar los datos de los pares de fuerza en los pies de esta tarea se han realizado los mismos pasos explicados en el anterior apartado. En la Figura 5.13 se muestran los pares de fuerza del sensor situado en el pie derecho.

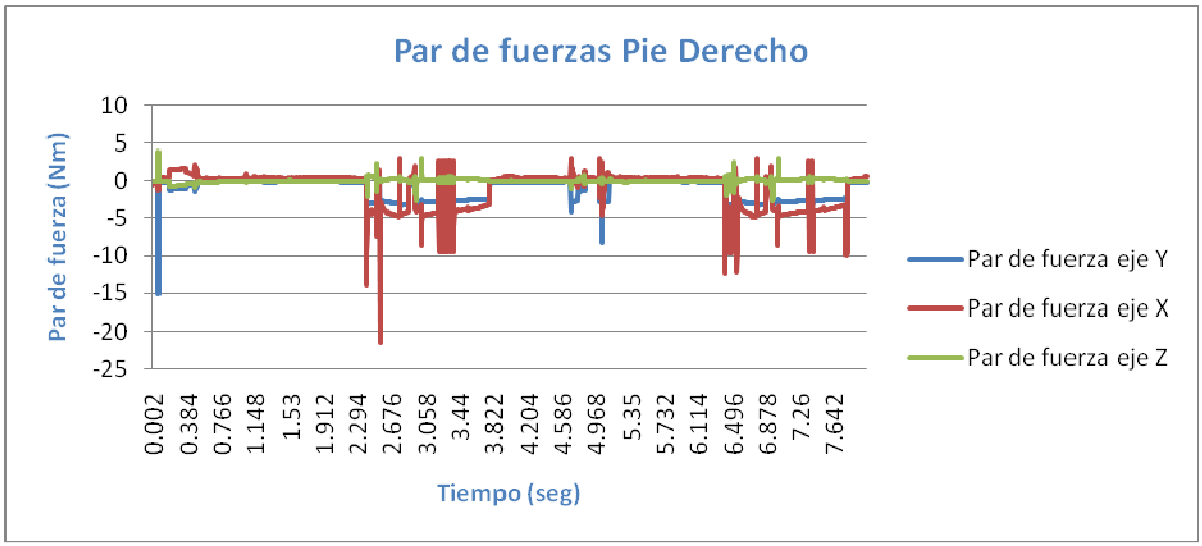


Figura 5.13 Par de fuerzas pie derecho en la tarea Paso Lateral Derecho.

En la Figura 5.14 se puede observar los datos obtenidos del sensor de fuerza del pie izquierdo.

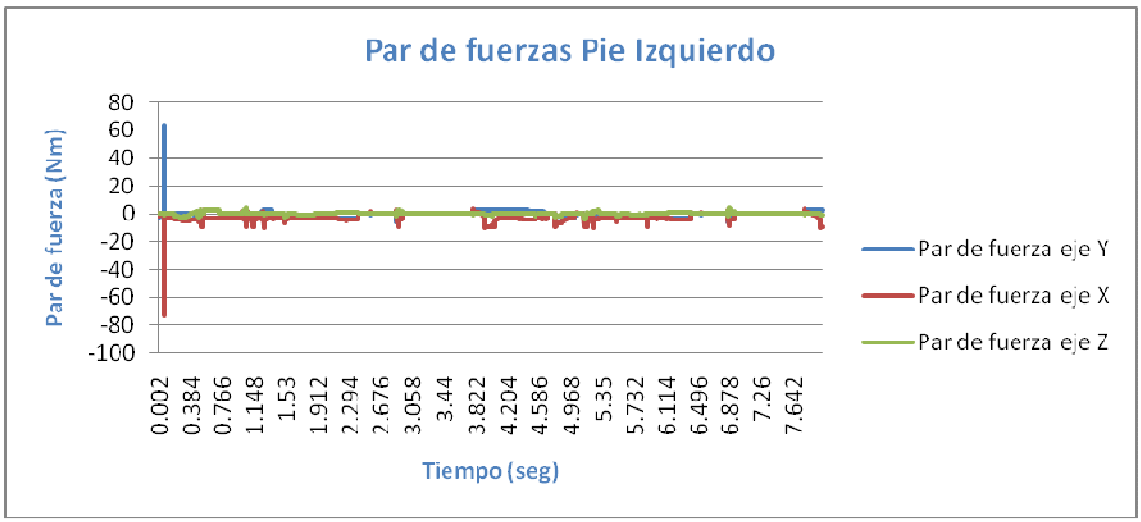


Figura 5.14 Par de fuerzas pie izquierdo en la tarea Paso Lateral Derecho.

6 Conclusiones

El principal objetivo de este proyecto consistía en el modelado de la plataforma robótica HOAP-3 en el simulador OpenHRP3. Dicho modelado permitiría la simulación de tareas del robot HOAP-3 en el entorno virtual.

Una vez realizado el estudio del simulador y comprendido su funcionamiento, se ha desarrollado el modelo VRML del robot HOAP-3 para la plataforma OpenHRP3. Este modelo ha sido realizado siguiendo todas las características cinemáticas y dinámicas del robot.

Después de desarrollar el modelo VRML se han programado distintas tareas en el simulador. Estas tareas corresponden con los pasos de un baile diseñado para el robot HOAP-3.

Por último, han sido probadas las tareas programadas en el simulador en el propio robot comprobando su correcto funcionamiento.

La conclusión final del proyecto es la validación de las tareas programadas en el simulador y después probadas en el robot HOAP-3, así como del modelo VRML desarrollado para la plataforma de simulación OpenHRP3.

7 Trabajos futuros

Como desarrollos futuros pueden incluirse las siguientes líneas de estudio:

- Desarrollar una interfaz de datos que permita adaptar las tareas creadas con otros programas a las condiciones específicas del simulador OpenHRP3. Es decir, una interfaz que permita una realización más sencilla de los ficheros .dat que contienen las posiciones y velocidades para las tareas.

- Estudio en profundidad del programa dentro del simulador encargado de la estabilidad del modelo durante la simulación.

- Ampliar los modelos VRML a otros robots existentes, por ejemplo al robot humanoide Rh-2 que está siendo diseñado en la universidad.

- Mejorar el fichero VRML tanto del modelo del robot como de su entorno. Se puede perfeccionar la apariencia física del robot para que sea lo más semejante al robot HOAP-3. Además, se pueden crear entornos para la simulación que recreen por ejemplo un paisaje lunar, como el que se encuentra en una de las naves de la universidad, donde se realizan pruebas con el robot HOAP-3.

Bibliografía

MANUALES

[1] “HOAP-3 Instruction Manual”. FUJITSU.

[2] “OpenHRP3 Course”. General Robotix Inc, 2008.

LIBROS

[3] “VRML curso de iniciación : aprenda a crear mundos virtuales en 3D para Internet”, Gámez, Ilde. Inforbooks 2001.

TESIS DE MÁSTER

[4] “Plataforma de simulación cinemática y dinámica de futuras versiones del robot Asibot”, Tesis de Máster de Carlos Pérez de la Fuente. Noviembre 2008.

PROYECTOS FIN DE CARRERA

[5] “Simulador basado en VRML para el robot Asibot”, Álvaro Moreno Navas. 2006.

DIRECCIONES DE INTERNET

[6] http://www.openrtp.jp

[7] http://www.is.aist.go.jp

[8] http://www.microsoft.com

[9] http://www.boost.org

[10] http://www.netlib.org/clapack

[11] http://tvmet.sourceforge.net

[12] http://www.wikipedia.com

[13] http://omniorb.sourceforge.net

[14] http://www.python.org

[15] http://www.java.com

[16] http://www.jython.org

[17] http://www.h-anim.org

Anexo