



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FIN DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: Implementación de sistema de actuación del simulador
CESNA

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Aeronáutica, especialidad
Aeronavegación

AUTORES: Pablo Quirós Álvarez
Carlos Zurita Sierco

DIRECTOR: Sonia Pérez Mansilla

FECHA: 30 de Julio de 2009

Título: Implementación de sistema de actuación del simulador CESNA

Autores: Pablo Quirós Álvarez
Carlos Zurita Sierco

Director: Sonia Pérez Mansilla

Fecha: 30 de Julio de 2009

Resumen

El presente documento contiene el estudio para la implementación del sistema dinámico del simulador de vuelo de la cessna 152 que se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la EPSC.

Se ha enfocado el proyecto de forma que resulte económicamente viable su realización ya que los medios universitarios son escasos. Se tendrá en cuenta el anteproyecto de la instalación de un actuador, que se pondrá en marcha próximamente y que realizará el movimiento vertical del simulador, por lo que nos dedicaremos a desarrollar el proyecto en base a esto, de tal forma que cuando esté montado pueda acoplarse al actuador vertical.

Nos encontraremos por tanto que nos queda por resolver el movimiento de alabeo y cabeceo (*Pitch* y *Roll*), y para ello, profundizaremos en el mundo de los actuadores lineales y las diversas uniones mecánicas, determinando de esta manera cual sería el dispositivo que mejor se ajustaría al proyecto.

El siguiente paso lógico es la forma de unir la parte mecánica con el software del simulador y esto se logrará mediante unas tarjetas de control y adquisición de datos.

Finalmente, se hablará del software de control, concretamente del programa X-Simulator, el cual permitirá establecer el enlace entre la tarjeta de control y el sistema mecánico del simulador.

Title: Implementing an actuation system in a Cessna Simulator

Authors: Pablo Quirós Álvarez
Carlos Zurita Sierco

Director: Sonia Pérez Mansilla

Date: 30th July 2009

Overview

This work consists of the study of the implementation of a dynamic system in the Cessna 152 flight simulator, located within the premises of the EPSC.

Since university resources are scarce, one of the main goals of the work is that the implementation of the dynamic system be economically viable. We study as well the preliminary installation of an actuator, which will be launched soon and which will conduct the vertical simulator motion. We develop the project on this basis, so that when it will be assembled, it will be able to attach the vertical actuator.

First, we focus on solving the movements of pitch and roll, and for this, we go deeply into the world of linear actuators and mechanical joints, so that we can determine the device that is best consistent with the project.

Next, we study how to combine the mechanics with the software's simulator and this will be achieved by some control cards and data acquisition.

Finally, we discuss the control software, specifically the X-Simulator, which will establish the link between the control card and the mechanical system of the simulator.

Dedicatoria

Queremos dedicar este proyecto a nuestros padres, y muy en especial a nuestras parejas, Sonia y Érika por habernos apoyado durante todo este tiempo. También mencionar a TMJ por sus consejos y a todo aquel que de alguna manera ha estado cerca y ha colaborado en el proyecto.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. SIMULADOR DE VUELO	3
1.1. Introducción a los simuladores	3
1.1.1. ¿Qué es un simulador?	3
1.1.2. Requisitos	4
1.1.3. Grados de libertad	5
1.1.4. Sensaciones	6
1.2. Simulador de la EPSC	10
1.2.1. Cessna 152.....	10
1.2.2. Movimientos de cabina	11
1.2.3. Centro de gravedad.....	13
1.3. Diseño CAD	14
CAPÍTULO 2. MECÁNICA.....	15
2.1. Actuadores	15
2.1.1. Introducción	15
2.1.2. Neumáticos.....	17
2.1.3. Hidráulicos	18
2.1.4. Eléctricos	20
2.1.5. Ventajas e inconvenientes.....	24
2.1.6. Actuadores Linak LA36	25
2.2. Uniones mecánicas	26
2.2.1. Articulaciones o rótulas	26
2.2.2. Unión Universal o Cardan	28
2.2.3. Uniones en el simulador	30
CAPÍTULO 3. ELECTRÓNICA	35
3.1. Esquema del Sistema.....	35
3.2. Módulo de Control	37
3.2.1. Introducción	37
3.2.2. Velleman USB K8055D (VM 110)	38
3.3. Conexionado	44
3.3.1. Conexionado de las tarjetas	44
3.3.2. Potenciómetros.....	48
3.3.3. Alimentación	50
CAPÍTULO 4. X-SIMULATOR	53
4.1. Características del X-SIM.....	53
4.1.1. Introducción	53
4.1.2. Yoda	53
4.1.3. Force-Sender.....	55
4.1.4. Force-Profiler	56
4.2. Force-Feedback	59
4.2.1. Introducción	59
4.2.2. Escaneo de efectos	60
4.2.3. Creación de Perfiles	60

4.2.4. Plugins	65
CAPÍTULO 5. AMBIENTALIZACIÓN	67
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	71
Anexo A1. Planos en AutoCAD	75
Anexo A2. Presupuestos	76
Anexo A3. Catálogos	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Grados de libertad.....	6
Figura 1.2: Plataforma de 6 DOF	6
Figura 1.3: Orientación	7
Figura 1.4: Sistema vestibular.....	8
Figura 1.5: Canales semicirculares	9
Figura 1.6: Sistema propioceptivo.....	9
Figura 1.7: Simulador cessna EPSC.....	10
Figura 1.8: Simulación aceleración	12
Figura 1.9: Distancias y cargas	14
Figura 2.1: Ejemplos de actuadores.....	15
Figura 2.2: Diversos rod-ends.....	16
Figura 2.3: Partes actuador neumático	17
Figura 2.4: Actuador simple	17
Figura 2.5: Actuadores eléctricos.....	20
Figura 2.6: Cabeza articulada	27
Figura 2.7: Medidas rótula.....	27
Figura 2.8: Rótula angular	28
Figura 2.9: Rótula axial	28
Figura 2.10: Cardan simple	29
Figura 2.11: Elementos de un cardan	29
Figura 2.12: Variación fuerza según ángulo	30
Figura 2.13: Catálogo selección rótula.....	31
Figura 2.14: Articulación universal	31
Figura 2.15: Eje plataforma simulador con cardan	32
Figura 2.16: Silent-block con forma diábolo	32
Figura 2.17: Catálogo selección silent-block.....	33
Figura 3.1: Esquema General del Siste	36
Figura 3.2: Esquema del Módulo de Control.....	37
Figura 3.3: Situación de los Módulos	38
Figura 3.4: Placa VM 110.....	39
Figura 3.5: Conexión de R8 y R9.....	40
Figura 3.6: entradas y salidas de la placa.....	41
Figura 3.7: Microcontroladores.....	41
Figura 3.8: Componentes de la placa	42
Figura 3.9: Puentes SK5 y SK6.....	43
Figura 3.10: Puentes SK1 y SK2.....	43
Figura 3.11: Interface del programa VM110	45
Figura 3.12: Conexión con los actuadores.....	46
Figura 3.13: Conexionado entradas y salidas	47
Figura 3.14: Conexionado de entradas analógicas.....	48
Figura 3.15: Acoplamiento Potenciómetro-Actuador	49
Figura 3.16: Pins del potenciómetro	49
Figura 3.17: Conexionado de los potenciómetros.....	50
Figura 3.18: Conexionado de la fuente/placa	51
Figura 3.19: Conexionado de los relés	51
Figura 4.1: Interface de Yoda.....	54
Figura 4.2: Muestreo de efectos.....	54
Figura 4.3: Exportar efectos	54
Figura 4.4: Activar la función de red	55
Figura 4.5: Pantalla principal del Force-Sender	56
Figura 4.6: Pantalla principal del Force-Profiler	57
Figura 4.7: Asociación de efectos	58
Figura 4.8: Ejemplo. Configurar efecto de Colisión.....	58
Figura 4.9: Lista de exportaciones	61
Figura 4.10: Localizaciones .yef y.exe	62
Figura 4.11: Selección de la tarjeta.....	63
Figura 4.12: Matriz de configuración	64
Figura A2.1: Presupuesto actuadores Linak	77

Figura A2.3: Presupuesto actuadores Tecnopower (2)	78
Figura A2.4: Presupuesto actuadores GSM	79
Figura A3.1: Actuadores Linak	81
Figura A3.2: Especificaciones I. Actuadores Linak	82
Figura A3.3: Especificaciones II. Actuadores Linak	83
Figura A3.4: Actuadores GSM	84
Figura A3.5: Actuadores Tecnopower.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Ventajas e inconvenientes actuadores	24
---	----

INTRODUCCIÓN

Desde la obtención de un fuselaje C152 biplaza en el 2003 por el profesor Xavier Prats, muchos trabajos de final de carrera se han realizado respecto a lo que ahora es el simulador cessna de la escuela. En un futuro próximo, la escuela desea que el simulador sea dinámico.

Esto consiste en dotar de movilidad a la avioneta en cabeceo (pitch) y alabeo (roll) y adaptarlo a los simuladores de vuelo Flight Gear y Flight Simulator. El sistema de actuación estará basado en la gestión del sistema mediante una tarjeta de control.

El simulador actual dispone de un cuadro de controles. La mitad está formado por instrumentos clásicos de avioneta y la otra mitad dispone de una gran pantalla TFT para instrumentos de vuelo digitales a fin de dar más versatilidad al simulador. Dispone de dos asientos y un compartimento trasero dedicado a la electrónica de la avioneta. Además dispone de sonido envolvente que hace que sea el vuelo muy realista.

Tres proyectores de gran luminosidad proporcionan una vista periférica de más de 120° en una pantalla envolvente fija a la cabina. Todo el simulador debe moverse por lo que es necesario engancharlo al suelo a través de una estructura hidráulica. La escuela ha dedicado una sala de más de 6 metros de altura para tal efecto.

Con este simulador deseamos dar un servicio a la comunidad universitaria de Castelldefels dotando de una facilidad de simulación en la EPSC. De esta manera podemos acercar la aeronáutica al público en general, no sólo a estudiantes universitarios, proponiendo actividades de divulgación conjuntamente con la escuela.

CAPÍTULO 1. SIMULADOR DE VUELO

1.1. Introducción a los simuladores

1.1.1. ¿Qué es un simulador?

En 1975 un estudiante universitario estadounidense escribió una tesis en la que demostraba que aplicando las reglas de la física a un ordenador se podía generar un entorno visual que representase lo que vería un piloto desde un avión. Desarrolló su idea (utilizando uno de los primeros sistemas UNIX de la historia) y creó una empresa para comercializar su software de “representación gráfica”. En 1980 salía al mercado el primer simulador de vuelo comercial que se llamó, simplemente, “Flight Simulator”.

Esto abrió el camino para que, desde el punto de vista profesional, se empezase a investigar y surgiesen los primeros simuladores profesionales de entrenamiento que incluían gráficos generados por ordenador. Hoy en día este tipo de simuladores cuestan millones de euros y van montados en una plataforma hidráulica que simula el movimiento del avión pero, aparte de esa característica los mejores simuladores comerciales actuales tienen un comportamiento en la física de vuelo prácticamente igual de bueno y unos gráficos mucho mejores.

“Flight Simulator” fue todo un éxito entre los usuarios de los Apple II de la época y se convirtió en el software más vendido en esa plataforma en 1981. En 1982, Microsoft e IBM estaban buscando un programa que demostrase las enormes capacidades técnicas del nuevo IBM-PC y encontraron el candidato ideal en el “Flight Simulator”. La saga siguió evolucionando hasta el día de hoy en el que cada nueva entrega es un enorme éxito de ventas (por ejemplo, “Microsoft Flight Simulator 2004” se mantuvo en el número uno de ventas de juegos durante varios meses en todo el mundo, por delante de otros juegos mucho más comerciales).

En contra de lo que se podía imaginar, la simulación de vuelo se convirtió en uno de los primeros géneros de videojuegos rentables y muchas empresas se animaron a crear sus propios simuladores, tanto civiles como militares. Esta época dorada hizo surgir un nuevo tipo de aficionados, generalmente pilotos también en la vida real, que demandaban el máximo realismo y se alejaban de los simuladores “ligeros” más comerciales. Pero la afición no acababa ahí y pronto se vio que las primitivas palancas de control similares a las usadas en las máquinas recreativas nunca iban a poder aportar una experiencia realista por muy bueno que fuera el simulador usado. Así, con la llegada de los 90, surgieron los primeros joysticks modernos que intentaban imitar los de los aviones reales. También empezaron a surgir otros tipos de periféricos de control tales como pedales, palancas de gases, etc.

Este nicho inicial de aficionados fue creciendo y radicalizándose hasta que llegó un punto en que a las compañías no les salía rentable gastarse grandes fortunas en crear simuladores hiperrealistas. Así, en la segunda mitad de los 90 apenas apareció ningún simulador digno de mención. El panorama cambió con la llegada del nuevo siglo gracias a la aparición de simuladores tales como "Fly!" y "X-Plane" desde el punto de vista de la simulación civil y, especialmente, con la arriesgada apuesta de un ingeniero ruso procedente de la industria aeronáutica llamado Oleg Maddox que, en 2001, sacó al mercado el simulador militar "IL2-Sturmovik". Fue un enorme éxito tanto en las ventas como desde el punto de vista del realismo, alcanzando cotas nunca vistas hasta entonces en un simulador comercial. Nuevos simuladores del mismo creador han seguido saliendo a la venta hasta el día de hoy creando una nueva edad dorada de la simulación realista. Este buen momento ha significado también una explosión en las creaciones de nuevos controladores, visores y periféricos de todo tipo que satisfacen la demanda de esa mayoría de aficionados que quieren el máximo realismo.

1.1.2. Requisitos

El objetivo final de toda herramienta de simulación consiste en reproducir unas determinadas condiciones de entorno para generar en el usuario una serie de sensaciones que resulten tan parecidas a la realidad como sea posible. Si existiera un simulador capaz de generar sensaciones tan realistas que el usuario no supiera encontrar diferencias entre la realidad y la experiencia simulada, se diría que dicho simulador es totalmente inmersivo, o que proporciona una inmersión del 100%.

Es necesario que todo lo que el usuario vea durante la simulación sea real, o al menos realista. Para ello, son necesarios los siguientes elementos:

- *Cabina de simulación*, con panel de mandos e igual posición de los diferentes elementos. Las hay de diversos tipos, de los más sencillos hasta auténticas replicas de modelos comerciales y militares.
- *Pantallas de proyección amplias*, cubriendo la totalidad del campo visual del usuario en el puesto de conducción. Imagen continua, con brillo y color uniformes y de alta resolución. En su defecto servirían varias pantallas planas TFTs o similar.
- *Escenario virtual realista*: frecuencia de refresco superior a 30 Hz (es deseable alcanzar los 60 Hz). La autenticidad del escenario viene dada por el software que se utilice, que dependerá a la vez de las características de los equipos informáticos. Un ejemplo sería el programa Flight Simulator que en sus últimas versiones alcanza una sorprendente realidad.
- *Oído*: la cabina de simulación debe estar dotada de un sistema de sonido y es recomendable que sea de alta calidad, capaz de reproducir sonido estéreo y envolvente.
- *Software*: habrá por lo menos dos tipos de programas. Uno es el juego, que representará gráficamente el simulador. Típicamente son de aviones,

automóviles, etc. El otro debe ser un programa de control que recoja las señales enviadas por el simulador, que contienen la información del estado del vehículo y transmitir las al hardware electrónico. En nuestro caso, usaremos un revolucionario programa capaz de aprovechar los efectos force-feedback del juego para dar vida al simulador, explicado en apartados posteriores.

- *Hardware:* la electrónica principalmente se refiere a un sistema PLC que recoja la información enviada por el software de control y convertirla en señales eléctricas capaces de hacer actuar la mecánica que mueva el simulador (actuadores, motores, servos, etc). El programa que contenga el PLC puede ser todo lo sofisticado que se quiera, dependiendo de lo realista que queramos hacer el simulador. Nosotros utilizaremos una simple tarjeta de control VM110 que recibirá la información directamente por USB gracias al programa de control X-Simulator. No hay que olvidarse de los equipos informáticos. Para nuestra configuración necesitaremos un PC de unas especificaciones mínimas para arrancar el juego y otro para llevar las operaciones de control hacia la tarjeta.
- *Sistema Vestibular:* para reproducir las aceleraciones propias del movimiento de la máquina que se está simulando, es necesario dotar al simulador de un sistema de movimiento de al menos 6 grados de libertad para una sensación total, pero nos podemos encontrar simuladores desde 2 a 6 grados de libertad o DOF. Usualmente se fabrica la plataforma dinámica con actuadores hidráulicos, neumáticos e incluso motores paso a paso, pero los actuadores eléctricos han entrado bien en la industria por sus ventajas y éstos son los que instalaremos nosotros. En este último requerimiento es en el que nos centraremos, aportando al simulador movimiento a través de los actuadores eléctricos y el software para controlarlos (X-Simulator).

1.1.3. Grados de libertad

Se entiende por grados de libertad de un sistema al número de parámetros independientes que se necesitan para definir unívocamente su posición en el espacio, dicho de otra manera se define al movimiento que puede realizar un objeto en el espacio de 3 dimensiones. Dichos parámetros, en un plano, serían tres, dos coordenadas lineales y una angular. Pero en el espacio se requieren seis grados de libertad, tres lineales y tres angulares como en la figura 1.1. Un tren, al estar limitado a rodar por una vía, tendrá sólo un grado de libertad. En cambio un pájaro volando libremente en el espacio tridimensional, tiene tres grados de libertad, al igual que un avión. Por lo tanto conociendo los grados de libertad de una plataforma, determinamos su límite cinemático.



Figura 1.1: Grados de libertad

Entonces, por cada actuador que se instale tenemos un grado de libertad, hasta un máximo de seis que lo consideramos un full motion simulator (simulador de movimiento completo). Para nuestra cessna tenemos dos actuadores eléctricos lo que nos da dos grados de libertad o 2DOF.

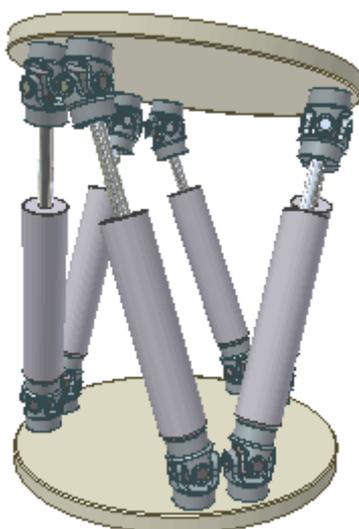


Figura 1.2: Plataforma de 6 DOF

1.1.4. Sensaciones

Para que el usuario sienta que el vuelo en el simulador es casi real, se deberán producir movimientos en el simulador capaces de “engañar” al cuerpo, para ello se describirán las aptitudes que posee el cuerpo humano (figura 1.3) para

percibir las sensaciones y movimientos que le rodean y seguidamente se mostrará como simular dichas sensaciones.

Desde pequeños sabemos que disponemos de los denominados “órganos de los sentidos” que son cinco y nos ponen en contacto con el mundo: vista, oído, olfato, gusto y tacto.

También se puede apreciar otra especie de sentido del que disponemos: el sentido de equilibrio, que es mucho más que aquél que nos permite andar por una línea blanca estrechita. El sentido del equilibrio permite la orientación en el espacio, el mantenimiento de la postura y la realización de movimientos de forma coordinada.

En el equilibrio están implicados diversos sistemas sensoriales, no hay un único órgano, sino varios, los “ÓRGANOS DEL EQUILIBRIO” y son:

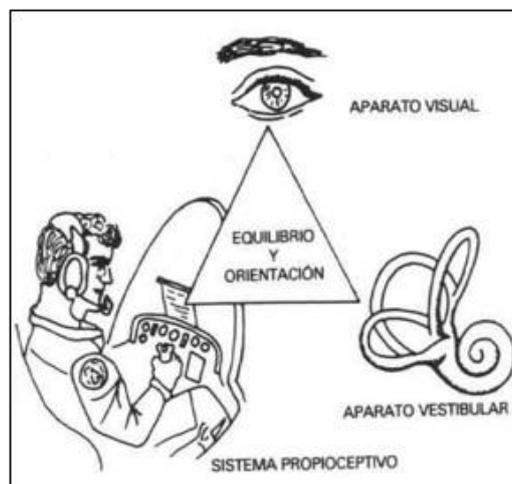


Figura 1.3: Orientación

Vista: Sobre todo la visión periférica, que es la estructura de orientación del ojo y que se relaciona con las dos siguientes. Sin embargo, evidentemente, en vuelo también nos orienta la visión ya que nos permite identificar terrenos, objetos, distancias, leer instrumentos, HUD, etc.

Sistema vestibular (oído interno): Compuesto por un sistema de conductos y cavidades óseas en el hueso temporal (el que está inmediatamente detrás de las orejas) dentro del cual se encuentran los conductos y cavidades membranosas (llamado laberinto por su forma), formado por caracol (que interviene en la audición), conductos semicirculares y órgano otolítico. El sentido vestibular te dice donde está “arriba”, cómo está tu cuerpo en relación a “arriba”, y cómo tu cuerpo está moviéndose en el espacio. Las sensaciones están basadas en células ciliadas. En el oído interno, hay una configuración especial de tres canales semicirculares alrededor de un área central. En los canales semicirculares (figura 1.4), el movimiento del fluido cuando giras causa

que grumos gelatinosos llamados cúpulas se unan unos a otros, lo que causa que las células ciliadas se unan también. Los tres canales están orientados aproximadamente 90° uno de los otros, y eso te hace tener información del giro en las tres dimensiones.

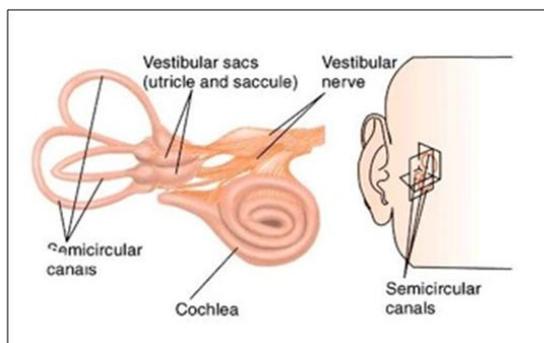


Figura 1.4: Sistema vestibular

El sentido vestibular también está conectado a partes del cerebro que te dicen cuando es tiempo de vomitar. Esto es la causa del mareo por movimiento.

Si giras mucho y luego paras de repente, la sensación se mantiene durante un poco, y te parece que aun sigues girando, pero en la dirección contraria. Tu cerebro puede tratar de compensar esto, y te haga caer o al menos sentirte mareado.

También puedes confundir estos canales cuando te duchas y entra agua fría o caliente en tu oído. Los cambios de temperatura pueden causar que los fluidos se muevan y sientas como que giran, y entonces puedes sentirte mareado.

Las dos áreas centrales de este órgano también tienen células ciliadas, Las células ciliadas están incrustadas en grumos gelatinosos llamados máculas, los cuales los llevarán en una dirección u otra, dependiendo de si estás boca arriba, inclinado hacia un lado u otro, o haciendo el pino. La inclinación de las células ciliadas de nuevo envía señales al cerebro que las interpreta como corresponde.

Su funcionamiento es francamente curioso y detectan, cada uno en un sitio diferente (figura 1.5):

- Rotación (aceleración angular) en los canales semicirculares; es decir: cabeceo, alabeo y guiñada.
- Y en órgano otolítico: Movimientos de traslación (aceleración lineal) y posición (aceleración gravitoinercial).

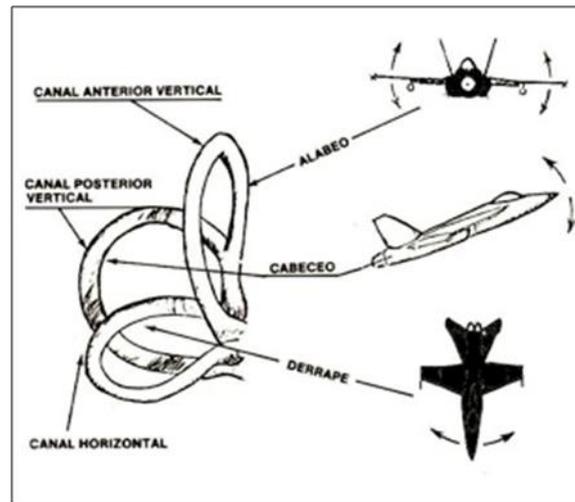


Figura 1.5: Canales semicirculares

Sistema somatosensorial o propioceptivo: Constituido por receptores sensoriales distribuidos ampliamente por (figura 1.6): cápsulas y ligamentos articulares, piel, tejidos profundos cercanos a articulaciones, músculos, tendones, etc. Responden a diversos estímulos: dolor, calor, presión, estiramiento... Y proporcionan información sobre posición estática y la cinestesia (reconocimiento de la velocidad del movimiento en la articulación). En el mundo aeronáutico (y otros) se conoce comúnmente como “*Seat of the pants*”.

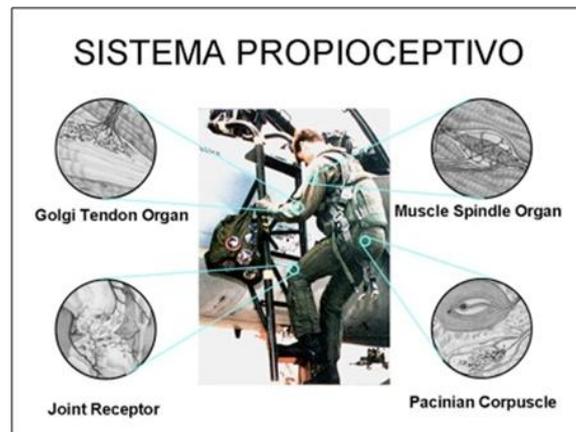


Figura 1.6: Sistema propioceptivo

Después toda la información recibida por estos órganos es llevada a estructuras del Sistema Nervioso Central (tallo encefálico, mesencéfalo, cerebelo y corteza cerebral) en donde nos enteramos de cuál es nuestra postura, sentido del movimiento, orientación en el espacio, etc. y se elabora la

respuesta que se necesite. Todo ello contribuye a mantener nuestra conciencia de situación o SA (*Situational Awareness*).

Existen dos tipos de trastornos del equilibrio: fisiológicos y patológicos.

Dentro de los trastornos fisiológicos del equilibrio tenemos dos casos:

Uno es la cinetosis o síndrome de mala adaptación al movimiento, en donde hay una discordancia entre lo que los órganos de los sentidos perciben entre (por ejemplo leer en un vehículo en movimiento: la lectura no se suele acompañar de aceleración lineal).

Y la desorientación espacial en donde uno es incapaz de apreciar correctamente su posición y movimiento relativo con respecto a la tierra. Con mayores o menores consecuencias, claro está.

1.2. Simulador de la EPSC

1.2.1. Cessna 152

Para nuestro simulador disponemos de la cabina de un cessna 152 (figura 1.7) donada por el aeroclub *du Roussillion*. Realmente sólo es el fuselaje sin cola, sin alas, sin tren de aterrizaje y sin motor. Tampoco tiene las puertas. Por dentro nos encontramos con dos sillones en un estado aceptable y con suficiente sitio detrás para albergar equipamiento para el funcionamiento del simulador. Es perfecta para que los alumnos de la escuela la utilicen para su aprendizaje y estén cerca de una cabina real de avión. Y como no, es ideal para acondicionarla y convertirla en un simulador de vuelo.



Figura 1.7: Simulador cessna EPSC

La cabina está situada en el laboratorio 027A de la EPSC. Un lugar muy amplio suficiente para que el simulador se mueva con libertad.

En la actualidad está totalmente equipada para realizar vuelos simulados con el programa gratuito *FlightGear* y también está disponible el famoso *Flight Simulator* de Microsoft, con la excepción del movimiento físico de la cabina, que se completará con este proyecto.

Todo lo que abarca el simulador se ha dividido en diferentes proyectos que han ido ejecutando distintos alumnos de la escuela. Aunque se han realizado algunos en los que se hablaba de los simuladores en general, comentaremos los que directamente han modificado la cabina.

Uno de los primeros fue el titulado "*Cabina virtual per simuladors de vol*" en el que se desarrolla un mecanismo software para extraer la información del *FlightGear* y comunicarlo a otros componentes que pudieran mostrarla. Luego tenemos el denominado "*Posta en marxa del simulador de la EPSC*", el cual abarca con la implementación y diseño del panel de vuelo, la interface gráfica y las plataformas de proyección. Se explica la configuración e instalación de los elementos de aviónica y por último, los proyectores a elegir. El siguiente proyecto, "*Disseny d'una plataforma dinámica per un simulador de vol*", expone el estudio de viabilidad de la implementación de un sistema de actuadores que doten de movimiento a la cabina de la cessna 152 de la EPSC. Encontramos información general de simuladores, plataformas, actuadores y software de control para dicha implementación, así como cálculos para el diseño de los algoritmos de control. En efecto, nuestro proyecto es muy similar a este e incluso parte se basa en él y se ha extraído alguna información, pero el estudio que realizamos nosotros es más concreto y sólo abarca con la instalación de los actuadores, software de control y sistemas que lo rodean para el funcionamiento dinámico de la cabina de la cessna. Para finalizar, citar el llamado "*Implementación de sistema de mando del simulador CESNA*", el último proyecto presentado referente al simulador. Consiste en adaptar el sistema de mando original de la avioneta, a través del hardware de un joystick conectado al PC principal. Gracias a este proyecto y el uso de un joystick con force-feedback es posible realizar el nuestro por depender de dichas fuerzas.

1.2.2. Movimientos de cabina

Para adaptar toda la teoría del punto 1.1.4. al simulador, nos centraremos en los movimientos básicos de un avión sin entrar en los detalles de los efectos, como podrían ser las turbulencias. Al disponer sólo de 2 grados de libertad (2DOF), estamos restringidos a simular efectos básicos. Para nuestro simulador lo ideal sería tener un límite de inclinación de +/- 25° a +/- 30° tanto de cabeceo (pitch) como de alabeo (Roll) utilizado en la mayoría de los simuladores, pero como la velocidad de los actuadores que poseemos es mínima, tener tanto margen de actuación en grados degradaría la sensación de simulación. Por lo tanto se deberá llegar a un estado en el que el tiempo de respuesta mecánico con el movimiento de la aeronave del juego y transferir las sensaciones al piloto estén compensadas.

Efectos en tierra:

Para producir la sensación de aceleración (figura 1.8) se deberá inclinar la cabina con el morro hacia arriba. Al percibir como tu cuerpo se empuja contra el asiento y observando la pantalla, tu mente creará tal efecto. Y al contrario para las desaceleraciones. Con la cabina un poco amorrada, deberás hacer fuerza para que el cuerpo no se vaya hacia adelante y estarás apretado contra el cinturón, pensando que estás desacelerando o frenando.

Al realizar un giro en tierra se deberá inclinar la cabina hacia el lado contrario y levemente hacia atrás. Así se produce una ficticia fuerza centrífuga. Añadiendo el movimiento de los escenarios se consigue el efecto.

Si tenemos una velocidad constante rodando por pista, la cabina permanecerá en estado de equilibrio y la sensación la transmitirá el juego por pantalla a través del movimiento de los escenarios.

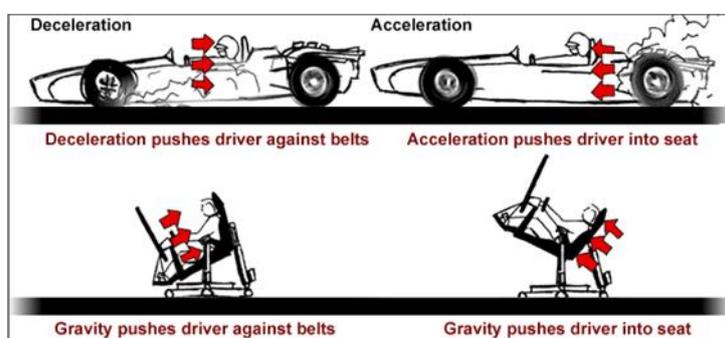


Figura 1.8: Simulación aceleración

Efectos en el aire:

Para sentir los giros en el aire la cabina se inclinará, claramente, hacia el lado correspondiente. Este efecto es muy parecido al que tendrías en un vuelo real. Para reflejar la ascensión de la aeronave, la cabina se inclinará hacia atrás y para el descenso la cabina se inclinará hacia adelante, igual que en la aceleración y desaceleración.

La diferencia en la intensidad del efecto dependerá del sistema de control hardware/software. Lo ideal es que los movimientos del simulador se realicen a la vez que lo hace el juego pero esto dependerá del tiempo de respuesta de todo el sistema, y sobre todo de los actuadores. Si son lentos, las maniobras rápidas no serán del todo realistas, degradando el simulador. Los actuadores que hemos elegido son muy potentes y en contra son bastante lentos pero como la aeronave a tratar es una cessna, en principio no debería haber mucho problema ya que es un tipo de avión que se usa en entrenamientos y es dócil de maniobrar. A la hora de escoger tipos de aeronaves más modernas y rápidas se comprobaría la poca eficacia del simulador.

1.2.3. Centro de gravedad

El proceso que realizamos para hallar el centro de gravedad de la cessna fue el siguiente (figura 1.9). Pasamos un listón de hierro de lado a lado en el suelo para que la cessna reposara en él. Luego pusimos una báscula en cada extremo del listón apoyado en un taco pequeño de goma para centrar la carga. A continuación situamos otra báscula debajo del morro apoyado también en un taco. Tomamos medidas de las básculas laterales, una da 61 kg y la otra 60 kg, de una a otra hay 174,5 cm, la mitad son 87,25 cm pero como hay 1 kg de más en la de la izquierda lo redondeamos a 87 cm. Ya sabemos que en ese punto hay 121 kg. Ahora nos fijamos en la báscula delantera que nos muestra 41 kg, con estos datos y realizando unos sencillos cálculos de fuerzas y distancias obtenemos que el cdg se encuentra a 100 cm desde el taco delantero hacia el culo.

Datos: $F_1 = 121$ kg, fuerza central de las básculas laterales.

$F_2 = 41$ kg, fuerza del morro.

$D = 134$ cm, distancia desde el taco delantero hasta el listón lateral.

$$F_1 \cdot D_1 = F_2 \cdot D - F_2 \cdot D_1 \quad (1.1)$$

$$F_1 \cdot D_1 + F_2 \cdot D_1 = F_2 \cdot D$$

$$D_1(F_1 + F_2) = F_2 \cdot D$$

$$D_1 = \frac{F_2 \cdot D}{F_1 + F_2} = \frac{41 \cdot 134}{41 + 121} = 33,9 \text{ cm}$$

$$D_2 = 134 - 33,9 \approx 100 \text{ cm}$$

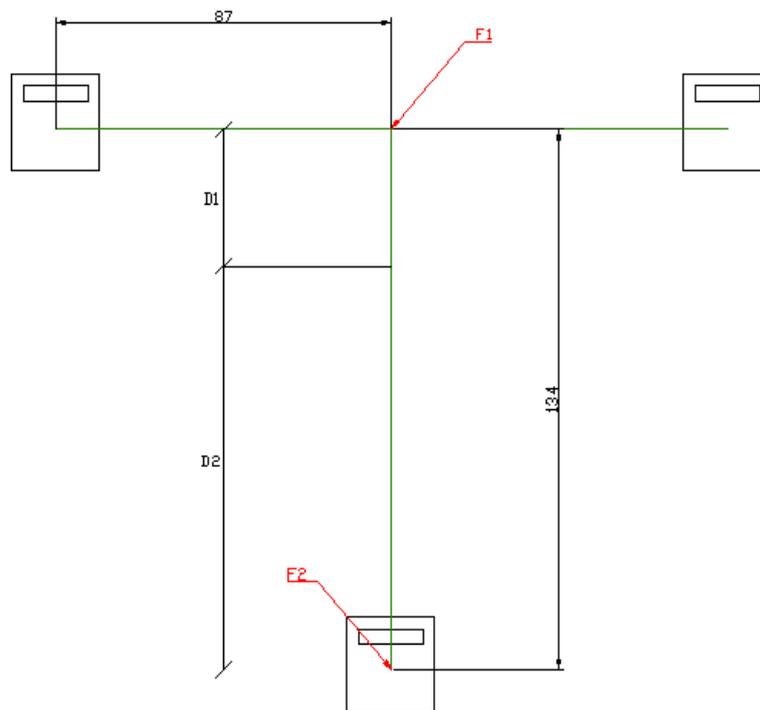


Figura 1.9: Distancias y cargas

1.3. Diseño CAD

Hemos realizado un diseño del simulador en *AutoCAD* para hacernos una idea de cómo quedaría una vez montado. En el anexo A1 se pueden ver las vistas ortográficas y la vista isométrica.

CAPÍTULO 2. MECÁNICA

2.1. Actuadores

2.1.1. Introducción

Los actuadores (figura 2.1) son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.



Figura 2.1: Ejemplos de actuadores

Existen tres tipos de actuadores:

- Neumáticos
- Hidráulicos
- Eléctricos

Los actuadores neumáticos, hidráulicos y eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento

preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento.

Por todo esto es necesario conocer muy bien las características de cada actuador para utilizarlos correctamente de acuerdo a su aplicación específica.

Un actuador consiste de tres elementos básicos:

- Un motor
- Un engranaje
- Un eje roscado incluyendo una tuerca

La capacidad de tracción o fuerza de empuje (Thrust force) de los actuadores se mide en Newtons, podemos encontrar fuerzas desde 200 N hasta más de 40.000 N. Es más, algunas actuadores están construidas para resistir altas temperaturas o condiciones severas. Y otros se pueden entregar en protección hasta IP 66 y son impermeables. Todo depende del tipo de aplicación. Aparte de la fuerza, otras características comunes a la hora de seleccionar un actuador son la velocidad (speed mm/min), la longitud de carrera (stroke length), paso de tornillo (screw pitch), rendimiento (efficiency), tensión alimentación (input power DC or AC) en el caso de actuadores eléctricos, etc. También encontramos gráficas de carga, de rendimiento, de consumo entre otras que describen las prestaciones del actuador.

Una vez seleccionamos el actuador debemos elegir entre las posibles configuraciones (figura 2.2) de las que disponen. Se les puede instalar algún tipo de final de carrera, encoder, etc, además disponen de un variado abanico de front-ends y rear-ends. Normalmente vienen con un “rod-eye” pero podemos elegir otros como: rod clevis, fork clevis, top plate, spherical rod eye, rear clevis, etc.

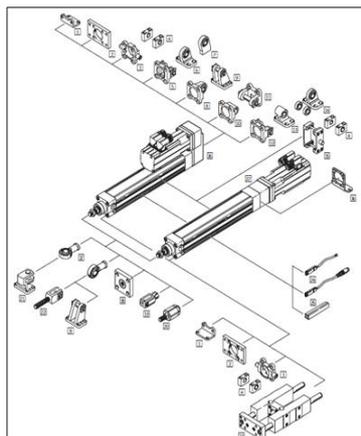


Figura 2.2: Diversos rod-ends

2.1.2. Neumáticos

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad.



Figura 2.3: Partes actuador neumático

En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención. Se clasifican en dos grandes grupos, cilindros y motores.

El funcionamiento general del cilindro es el siguiente: para hacer avanzar el vástago, el aire a presión penetra por el orificio de la cámara trasera, llenándola y haciendo avanzar el vástago. Para que esto sea posible, el aire de la cámara delantera ha de ser desalojado al exterior a través del orificio correspondiente. En el retroceso del vástago, se invierte el proceso haciendo que el aire penetre por el orificio de la tapa delantera, y sea evacuado al exterior a través del conducto unido a la tapa trasera.

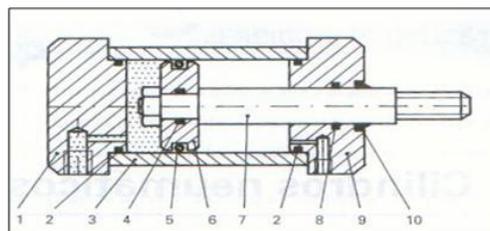


Figura 2.4: Actuador simple

Esencialmente un cilindro neumático (figura 2.4) se compone de tapa trasera (1), tubo o camisa (3), pistón (6), vástago (7) y tapa delantera (9). Para conseguir la estanqueidad es preciso que tanto las tapas, como el pistón y el vástago, posean las correspondientes juntas de cierre. Así, en las tapas se montan juntas estáticas (2), en el pistón juntas estáticas (4) y dinámicas (5), y en el vástago la dinámica (8). La junta (10) es lo que se denomina anillo rascador,

y tiene por misión limpiar el vástago de impurezas de polvo y suciedad que pueden adherirse a la superficie, cada vez que este avanza y se pone en contacto con el aire ambiente.

Encontramos tres tipos de actuador-cilindro.

- De simple efecto: Realiza el trabajo en un sólo sentido. El émbolo se desplaza por la presión del aire y retorna a su posición inicial por medio de un muelle recuperador. Pueden ser de émbolo, membrana y membrana enrollable.
- De doble efecto: Realiza trabajo en ambos sentidos con la fuerza del aire comprimido, ideal para cuando tiene que realizar también una misión de retorno. Pueden ser de vástago pasante, con amortiguación interna, con posicionadores y de percusión.
- De rotación: Por medio de la presión conseguimos un movimiento rotatorio. Los hay de giro y de cable. En los de giro el vástago es una cremallera que acciona un piñón y transforma el movimiento lineal en un movimiento giratorio. Los cilindros de cable transmiten el movimiento por poleas a través de una cuerda enganchada al émbolo.

Los motores transforman la energía neumática en un movimiento de giro mecánico. Funcionan como los cilindros de giro pero el ángulo de giro no está limitado. Por eso es de los más usados. Encontramos 2 tipos, de aletas y de pistones.

2.1.3. Hidráulicos

Los actuadores hidráulicos, que son los de mayor antigüedad, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma de operación, funcionan en base a fluidos a presión. Existen tres grandes grupos:

1. Cilindro hidráulico
2. Motor hidráulico
3. Motor hidráulico de oscilación

Cilindro hidráulico:

De acuerdo con su función podemos clasificar a los cilindros hidráulicos en 2 tipos: de Efecto simple y de acción doble. En el primer tipo se utiliza fuerza hidráulica para empujar y una fuerza externa, diferente, para contraer. El segundo tipo se emplea la fuerza hidráulica para efectuar ambas acciones. El control de dirección se lleva a cabo mediante un solenoide que se muestra a continuación.

En el interior poseen un resorte que cambia su constante elástica con el paso de la corriente. Es decir, si circula corriente por el pistón eléctrico este puede ser extendido fácilmente.

Cilindro de presión dinámica:

Lleva la carga en la base del cilindro. Los costos de fabricación por lo general son bajos ya que no hay partes que resbalen dentro del cilindro.

Cilindro de Efecto simple

La barra está sólo en uno de los extremos del pistón, el cual se contrae mediante resortes o por la misma gravedad. La carga puede colocarse solo en un extremo del cilindro.

Cilindro de Efecto doble:

La carga puede colocarse en cualquiera de los lados del cilindro. Se genera un impulso horizontal debido a la diferencia de presión entre los extremos del pistón.

Cilindro telescópico:

La barra de tipo tubo multietápico es empujada sucesivamente conforme se va aplicando al cilindro aceite a presión. Se puede lograr una carrera relativamente en comparación con la longitud del cilindro.

Motor hidráulico:

En los motores hidráulicos el movimiento rotatorio es generado por la presión. Estos motores los podemos clasificar en dos grandes grupos: El primero es uno de tipo rotatorio en el que los engranes son accionados directamente por aceite a presión, y el segundo, de tipo oscilante, el movimiento rotatorio es generado por la acción oscilatoria de un pistón o percutor; este tipo tiene mayor demanda debido a su mayor eficiencia. A continuación se muestra la clasificación de este tipo de motores.

Motor de Engranaje:

El aceite a presión fluye desde la entrada que actúa sobre la cara dentada de cada engranaje generando *torque* en la dirección de la flecha. La estructura del motor es simple, por lo que es muy recomendable su uso en operaciones a alta velocidad.

Motor con pistón eje inclinado:

EL aceite a presión que fluye desde la entrada empuja el pistón contra la brida y la fuerza resultante en la dirección radial hace que el eje y el bloque del cilindro giren en la dirección de la flecha. Este tipo de motor es muy conveniente para usos a alta presión y a alta velocidad. Es posible modificar su capacidad al cambiar el ángulo de inclinación del eje.

Motor oscilante con pistón axial:

Tiene como función, el absorber un determinado volumen de fluido a presión y devolverlo al circuito en el momento que éste lo precise.

2.1.4. Eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico (figura 2.5) es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador. Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos ha hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales.



Figura 2.5: Actuadores eléctricos

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC):
 - Controlados por inducido
 - Controlados por excitación
- Motores de corriente alterna (AC):
 - Síncronos
 - Asíncronos
- Motores paso a paso

Motores de corriente continua (DC):

Son los más comunes y usados en la actualidad debido a que son fáciles de controlar y son muy económicos y aplicables. Los motores de corriente continua transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Consisten en imanes permanentes y electroimanes.

Su funcionamiento se basa en la interacción entre el campo magnético del imán permanente y el generado por las bobinas, ya sea una atracción o una repulsión, por lo tanto, al activar los electroimanes, estos reaccionan contra los estáticos produciendo que el eje del motor comience su movimiento.

Un motor de corriente continua está compuesto de un estator y un rotor. El rotor es el dispositivo que gira en el centro del motor y está compuesto de arrollados de cable conductores de corriente continua. Esta corriente continua es suministrada al rotor por medio de las "escobillas" generalmente fabricadas de carbón.

Los motores DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimenta con corriente continua (un devanado es un arrollado compuesto de cables conductores que tiene un propósito específico dentro de un motor):

- El inductor o devanado de excitación de campo, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado excitación. En muchos motores DC pequeños, el estator está compuesto de imanes para crear el campo magnético.
- El inducido, situado en el rotor, hace girar al mismo, en el centro del motor, debido a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de la corriente circulante por él y del campo magnético de excitación. El rotor está compuesto de arrollados de cable conductores de corriente continua. Esta corriente exterior es suministrada al rotor por medio de un colector de delgas (conmutador) que se apoya en unas escobillas de grafito o carbón.

Para que se pueda dar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma continua es necesario que los campos magnéticos del estator y del rotor permanezcan estáticos entre sí. Esta transformación es máxima cuando ambos campos se encuentran en cuadratura. El colector de delgas es un conmutador sincronizado con el rotor encargado de que se mantenga el ángulo relativo entre el campo del estator y el creado por las corrientes rotóricas. De esta forma, se consigue transformar automáticamente, en función de la velocidad de la máquina, la corriente continua que alimenta al motor en corriente alterna de frecuencia variable en el inducido. Este tipo de funcionamiento se conoce con el nombre de autopilotado.

Al aumentar la tensión del inducido aumenta la velocidad de la máquina. Si el motor está alimentado a tensión constante, se puede aumentar la velocidad disminuyendo el flujo de excitación. Pero cuanto más débil sea el flujo, menor será el par motor que se puede desarrollar para una intensidad de inducido constante, mientras que la tensión del inducido se utiliza para controlar la velocidad de giro.

En los controlados por excitación se actúa al contrario. Además, en los motores controlados por inducido se produce un efecto estabilizador de la velocidad de giro originado por la realimentación intrínseca que posee a través de la fuerza contraelectromotriz. Por estos motivos, de los dos tipos de motores DC, es el

controlado por inducido el que se usa típicamente en el accionamiento con robots.

Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 rpm con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo. Las potencias que pueden manejar pueden llegar a los 10KW.

Como se ha indicado, los motores DC son controlados mediante referencias de velocidad. Éstas normalmente son seguidas mediante un bucle de retroalimentación de velocidad analógica que se cierra mediante una electrónica específica (accionador del motor). Sobre este bucle de velocidad se coloca otro de posición, en el que las referencias son generadas por la unidad de control (microprocesador) sobre la base del error entre la posición deseada y la real.

El motor de corriente continua presenta el inconveniente del obligado mantenimiento de las escobillas. Por otra parte, no es posible mantener el par con el rotor parado más de unos segundos, debido a los calentamientos que se producen en el colector.

Para evitar estos problemas, se han desarrollado en los últimos años motores sin escobillas. En estos, los imanes de excitación se sitúan en el rotor y el devanado de inducido en el estator, con lo que es posible convertir la corriente mediante interruptores estáticos, que reciben la señal de conmutación a través de un detector de posición del rotor.

Motores de Corriente Alterna (AC):

Este tipo de motores no había tenido una mayor aplicación en la robótica hasta hace unos años, debido fundamentalmente a la dificultad de su control. Sin embargo, las mejoras que se han introducido en las máquinas síncronas hacen que se presenten como un claro competidor de los motores de corriente continua. Esto se debe principalmente a tres factores:

- La construcción de los motores síncronos sin escobillas.
- Uso de convertidores estáticos que permiten variar la frecuencia (y así la velocidad de giro) con facilidad y precisión.
- Empleo de la microelectrónica que permite una gran capacidad de control.

El inductor se sitúa en el rotor y está constituido por imanes permanentes, mientras que el inducido, situado en el estator, está formado por tres devanados iguales decalados 120° eléctricos y se alimenta con un sistema trifásico de tensiones.

El motor síncrono autopilotado excitado con un imán permanente, también llamado motor senoidal, no presenta problemas de mantenimiento debido a que no posee escobillas y tiene una gran capacidad de evacuación de calor, ya que los devanados están en contacto directo con la carcasa. El control de posición se puede realizar sin la utilización de un sensor adicional, aprovechando el detector de posición del rotor que posee el propio motor. Además permite

desarrollar, a igualdad de peso, una potencia mayor que el motor de corriente continua.

En la actualidad diversos robots industriales emplean este tipo de accionamientos por motores síncronos con notables ventajas frente a los motores de corriente continua.

En el caso de los motores asíncronos, no se ha conseguido resolver satisfactoriamente los problemas de control que presentan. Esto ha hecho que hasta el momento no tengan aplicación en robótica.

Motores Paso a Paso:

Los motores paso a paso generalmente no han sido considerados dentro de los accionamientos industriales, debido principalmente a que los pares para los que estaban disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran grandes. En los últimos años se han mejorado notablemente sus características técnicas, especialmente en lo relativo a su control, lo que ha permitido fabricar motores paso a paso capaces de desarrollar suficientes en pequeños pasos para su uso como accionamientos industriales.

Existen tres tipos de motores paso a paso:

- De imanes permanentes: el rotor (con polarización magnética constante) gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator.
- De reluctancia variable: el rotor está formado por un material ferromagnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de fuerza del campo magnético generado por las bobinas del estator.
- Híbridos: Es una combinación del modo de funcionamiento de los dos tipos de motores paso a paso anteriores.

Su señal de control son trenes de pulso que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados.

Para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben estar excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Las inercias propias del arranque y parada (aumentadas por las fuerzas magnéticas en equilibrio que se dan cuando está parado) impiden que el rotor alcance la velocidad nominal instantánea, por lo que ésta, y por tanto la frecuencia de los pulsos que la fija, debe ser aumentada progresivamente.

Su principal ventaja con respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto. Pueden girar además de forma continua, con velocidad variable, como motores síncronos, ser sincronizados entre sí, obedecer a secuencias complejas de funcionamiento, etc. Se trata al mismo tiempo de motores muy ligeros, fiables y

fáciles de controlar, pues al ser cada estado de excitación del estator estable, el control se realiza en bucle abierto, sin la necesidad de sensores de retroalimentación.

Entre los inconvenientes se puede citar que su funcionamiento a bajas velocidades no es suave, y que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto. Tienden a sobrecalentarse trabajando a velocidades elevadas y presentan un límite en el tamaño que pueden alcanzar.

Se emplean para el posicionado de ejes que no precisan grandes potencias (giro de pinzas) o para robots pequeños (educacionales); también son muy utilizados en dispositivos periféricos el robot, como mesas de coordenadas.

2.1.5. Ventajas e inconvenientes

Como ya habíamos comentado, la elección del tipo de actuador depende del tipo de aplicación y el conocer las ventajas e inconvenientes de cada uno ayudará a la hora de elegirlo.

A continuación se muestra una tabla con las principales ventajas e inconvenientes:

	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía	Aire comprimido	Aceite mineral	Corriente eléctrica
Ventajas	Baratos, Rápidos, Sencillos, Robustos	Rápidos, Alta relación potencia-peso, Autolubricantes, Alta capacidad de carga, Estabilidad frente a descargas estáticas	Precisos, Fiables, Fácil control, Sencilla instalación, Silenciosos
Inconvenientes	Dificultad de control continuo, Instalación especial (compresor-filtros), Ruidoso	Dificultad mantenimiento, Instalación especial (filtros, eliminación aire), Frecuentes fugas, Caros	Potencia limitada

Tabla 2.1: Ventajas e inconvenientes actuadores

2.1.6. Actuadores Linak LA36

Para seleccionar nuestro actuador determinamos unas prestaciones mínimas para un simulador ideal.

- Carrera, fuerza, velocidad, rod-ends y CC o CA.

Estas características dependerán de la tipología que se halla seleccionado para el simulador. Nosotros nos hemos centrado en la nuestra, recordamos que era un cilindro central sujeto al centro de gravedad de la cessna y dos actuadores para el cabeceo y alabeo. Los dos se unen al cilindro central por el extremo base pero el otro extremo, uno va al morro (pitch) y el otro a un lateral (roll) de la cessna. Entonces vemos que los actuadores nos quedan en ángulo (ver punto 1.3).

La mayoría de la carga de la cessna lo sufre el cilindro central, unos 400 kg, luego los actuadores eléctricos deberán de soportar, en el peor de los casos, menos de 400 kg y será cuando el actuador esté recogido del todo.

Para hallar la distancia de la carrera deberemos saber la medida del actuador, la posición en la que está y el ángulo de inclinación del simulador.

La velocidad debería ser de unos 150 mm/s para obtener una buena respuesta, que se verá afectada ligeramente por la posición del actuador y los rod-ends dependerán de la configuración del simulador.

Tenemos presupuesto de dos actuadores eléctricos que cubren estas características. El primero viene de la casa *Tecnopower*, les hicimos una visita y después de exponerles nuestros requerimientos nos sugirieron el modelo ALI5, con 500 mm de carrera, 6000 N de fuerza y 50 mm/s de velocidad, tanto en CA como en CC. En CC a 24 v salían a 1.510 euros por unidad y los de CA a 1.383 euros (ver anexo A2).

El siguiente presupuesto lo pedimos vía Internet a la Web de la empresa "mecánica moderna". De los dos que nos ofrecían, de la marca EXLAR, el único que nos podía valer es el GSM40 con 455 mm de carrera, 4440 N de fuerza y 150 mm/s de velocidad, pero con un coste por unidad de 4.380 euros.

Éstos eran los ideales pero como vemos el precio se dispara exageradamente para nuestro plan de abaratar al máximo el proyecto. Lo que se ha hecho fue comprar los actuadores más económicos y adaptarnos a ellos. Éstos son los Linak LA36 de CC a 12 V que aún perdiendo una de las características importantes como es la velocidad de 7 a 11 mm/s, tenemos una fuerza de 10000 N y una carrera de 400 mm. Y lo mejor su precio de 514 euros por unidad. En la actualidad poseemos 3 de estos en el laboratorio preparados para su montaje.

2.2. Uniones mecánicas

A continuación, en este punto se describirán todas las posibles uniones mecánicas que se han investigado para incluirlas en el simulador. Se han estudiado las características de dichos elementos para hallar los más adecuados y que correspondan a lo que defendemos en este proyecto, una elección práctica, económica y segura.

Antes de hablar de las uniones explicaremos las diferentes cargas que soportan estos elementos. A la hora de considerar la carga, se debe distinguir entre:

- Dirección de la carga: la carga puede actuar radialmente o axialmente, o puede ser una combinación de ambas.
- El modo en que actúa la carga: puede mantener un sentido constante o ser alternante.
- El tipo de carga: puede ser dinámica o estática

A continuación la descripción de las cargas.

Carga radial es cualquier carga que actúe formando ángulos rectos con el eje de la rótula y carga axial es cualquier carga que actúa a lo largo del eje de la rótula. Las cargas combinadas están formadas por cargas radiales y axiales.

Cargas de sentido constante son cargas en las que el sentido de la carga no cambia, es decir, la misma parte de la rótula (zona cargada) está siempre sometida a la carga. Las cargas alternantes cambian de sentido de modo que las zonas cargadas en posiciones opuestas a la rótula o cabeza de articulación se cargan y descargan continuamente.

Una carga es dinámica cuando tienen lugar movimientos deslizantes en la rótula bajo carga. Esto causa desgaste en la rótula o cabeza de articulación. Una rótula absorbe una carga estática cuando no hay movimiento en ésta, bajo carga, aunque la carga no sea constante en magnitud y/o en su sentido. Bajo una carga estática, la resistencia del material de la rótula y de la cabeza de articulación es el factor que marca los límites. Las vibraciones, o las cargas alternantes a alta frecuencia, se consideran como casos especiales de carga dinámica, en los que la fatiga del material puede suponer un criterio más de fallo.

2.2.1 Articulaciones o rótulas

Las *cabezas articuladas* de rótula (figura 2.6) constituyen uno de los elementos de unión más empleados habitualmente en la industria. Es posible encontrar esta pieza en todas partes en donde tienen lugar procesos sencillos de movimiento como, por ejemplo, extracción lineal, empuje o incluso equilibrado del desplazamiento del eje y son muy comunes como “rod-ends” de actuadores.



Figura 2.6: Cabeza articulada

Las cabezas articuladas generalmente se componen de dos piezas una parte es el cuerpo y la otra parte es el rodamiento, tienen la facultad de ser autoalineables, soportar grandes cargas y tensiones donde se soporta la flecha. Existen dos tipos, macho la cual tiene rosca por fuera y la hembra la cual tiene rosca por dentro del cuerpo.

También tienen la capacidad de soportar grandes cargas radiales (vertical) y soportan únicamente un pequeño % de su capacidad de carga radial en forma de empuje.

Las hay específicas para cada aplicación, como ambientes corrosivos, para tipos de cargas, selladas y limitadas en movimiento entre otras.

En los catálogos las encontraremos con la descripción de las medidas (figura 2.7) entre ellas el ángulo máximo de giro, la vida útil del rodamiento y si necesita mantenimiento.

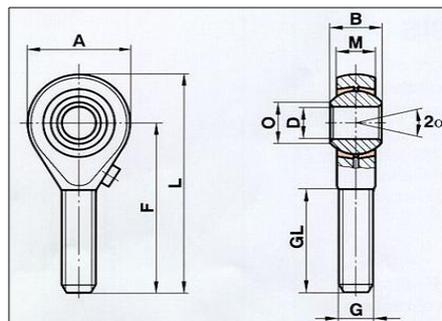


Figura 2.7: Medidas rótula

Las *articulaciones angulares* también están compuestas por dos piezas (figura 2.8), el perno esférico y el cojinete esférico unidas en 90°. Es un enlace mecánico para movimientos oscilantes o rotativos que compensan desalineaciones.

En los catálogos se muestran las medidas de la pieza, ángulo máximo de oscilación, vida útil del elemento, el material con el que está fabricado y

distintas configuraciones según aplicación como pueden ser con el perno remachado, con superficie para llave e incluso con tapa de cierre hermético.

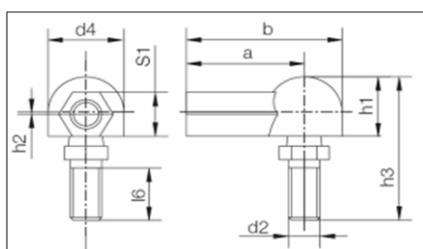


Figura 2.8: Rótula angular

Las *articulaciones axiales* son muy similares a las angulares, pero las axiales las dos piezas están unidas axialmente y soportan más carga axial.

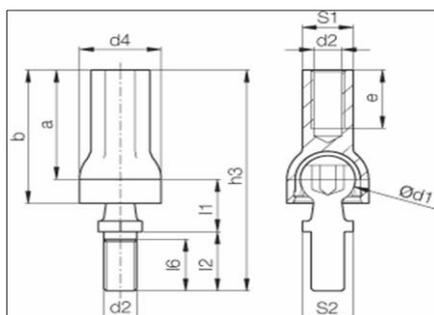


Figura 2.9: Rótula axial

2.2.2. Unión Universal o Cardan

Este tipo de articulación tiene sus orígenes a principios del siglo XVI y su nombre proviene del matemático Italiano Gerolamo Cardano quien teorizó que el principio de trabajo del mecanismo era capaz de realizar un desplazamiento angular y a la vez capaz de transmitir un movimiento rotatorio entre dos elementos. Aunque hubieron otros que lo estudiaron, la utilización de este tipo de unión estuvo marginada hasta el nacimiento de la industria del automóvil.

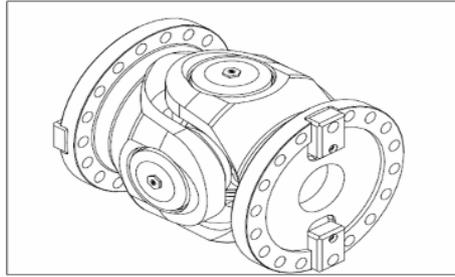


Figura 2.10: Cardan simple

En su forma más simple, una unión cardan se compone de un pieza en forma de cruz (figura 2.11) como elemento central y dos piezas con forma de horquilla rotadas 90° una frente a la otra. Y cuatro cojinetes de aguja alojados en los bujes de la pieza en cruz creando un único acoplamiento rotativo.

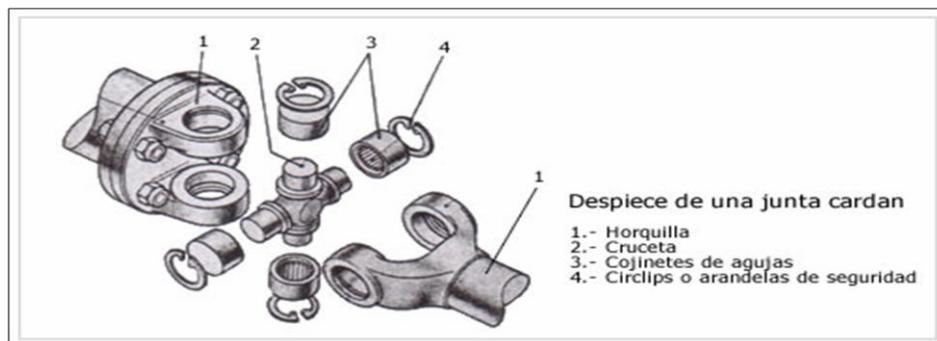


Figura 2.11: Elementos de un cardan

El cardan forma parte de la familia de acoplamientos móviles con libertad angular y está considerado la más simple y económica manera de transmitir el movimiento entre dos ejes desalineados.

Las ventajas más importantes del cardan son:

- La capacidad de compensar grandes ángulos, o en la versión con doble acoplamiento extensible, permitir desplazamientos radiales.
- Alta capacidad de par
- Mínimo juego angular
- Largos Intervalos de mantenimiento
- Fácil instalación: no se requiere tolerancia de alineación entre los componentes que deben conectarse o, en la versión extensible, no es necesario moverlos aparte para la instalación del acoplamiento.

Algunas aplicaciones típicas para su uso: agitadores, generadores, bombas, procesamiento de alimentos, de ensayo, industria del papel, industria del

caucho, mezcladores, calendarios, plantas textiles, industria de embalaje, plantas de madera de trabajo, trenes de laminación en caliente, trenes de laminación en frío, fábricas de tuberías, grúas...

De las características principales que describen un cardan y que encontraremos en los catálogos podemos destacar, aparte de las medidas de la pieza, la fuerza de torque que puede llegar a valores de hasta 10000kNm, el diámetro de la brida en el extremo de la horquilla, velocidad de giro en rpm y un ángulo máximo de unos 35°.

Para seleccionar un cardan deberemos tener en cuenta los siguientes aspectos: el torque máximo transmisible, ciclo de vida del cardan y considerar que las fuerzas axiales realizan una figura senoidal a la par que crece el ángulo de trabajo (figura 2.12).

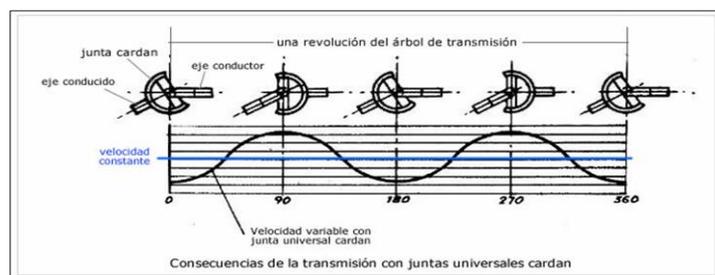


Figura 2.12: Variación fuerza según ángulo

2.2.3. Uniones en el simulador

Uno de los problemas que nos encontramos para realizar el simulador después de la elección de los actuadores, es la forma de conectar estos al cilindro principal y a la base de la cessa, al igual que conectar el cilindro principal a la cessa.

Para conectar los actuadores tenemos que tener en cuenta los movimientos que va a sufrir el simulador y sus límites. Habíamos comentado anteriormente (punto 1.2.2) que los grados de inclinación deberían ser entre 25° y 30° (ideales) entonces, en el peor de los casos, si en el simulador sólo actúa un cilindro el otro aunque este inactivo se verá arrastrado por el conjunto del simulador. Por ejemplo, si el avión cabeceara unos 15°, el cilindro de alabeo también sufriría esos 15° en sus extremidades. Para solucionarlo colocaremos unas cabezas articuladas como las expuestas en el punto 2.2.1. Si miramos la siguiente tabla (figura 2.13) observamos las características de dichos rod ends, la importante en este caso serían los grados de inclinación de la rótula (á). Este fabricante (LSK bearings) posee elementos que van desde los 13° hasta los 17°. Eligiendo la métrica de la rosca para el actuador nos daría unos grados. Nuestro linak es de rosca M12 lo que nos pertenecen 13°. Si colocamos en ambos extremos del actuador este tipo de articulación tendremos un máximo

de 26° (13+13). Ahora estaríamos limitados a una inclinación máxima de la cessna a esos grados, más que suficiente. Para anclarlos a la estructura dispondremos de unos elementos horquilla.

Sigla [®] Designation [®]	Dimensioni mm Dimensions mm																Gradi Degrees	Distanza dagli spigoli Distance from edges (mm.)	Carico Ratings load		Peso Weight
	d H7	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₆	B	C ₁	D	h ₁	l ₃	l ₄	l ₅	l ₇	W			≈ α	r _{ismn}	
TSF 5 C	5	7,7	18	M 5x0,8	8,5	11	11,11	8	6	13	27	10	36	4	10	9	13	0,3	5,7	6	0,02
TSF 6 C	6	8,9	20	M 6x1	10	13	12,70	9	6,75	16	30	12	40	5	11	11	13	0,3	7,2	7,65	0,02
TSF 8 C	8	10,3	24	M 8x1,25	12,5	16	15,88	12	9	19	36	16	48	5	13	14	14	0,3	11,6	12,9	0,05
TSF 10 C	10	12,9	28	M 10x1,5	15	19	19,05	14	10,5	22	43	20	57	6,5	15	17	13	0,3	14,5	18	0,08
TSF 10.1 C ²⁾	10	12,9	28	M 10x1,25	15	19	19,05	14	10,5	22	43	20	57	6,5	15	17	13	0,3	14,5	18	0,08
TSF 12 C	12	15,4	32	M 12x1,75	17,5	22	22,23	16	12	26	50	22	66	6,5	17	19	13	0,3	17	24	0,10
TSF 12.1 C ²⁾	12	15,4	32	M 12x1,25	17,5	22	22,23	16	12	26	50	22	66	6,5	17	19	13	0,3	17	24	0,10

Figura 2.13: Catálogo selección rótula

La articulación que ha dado más quebraderos de cabeza ha sido la que une el cilindro principal con la cessna. Partimos de la base del proyecto de la instalación de dicho cilindro principal de 130 mm de diámetro. La cessna deberá estar anclada desde su centro de gravedad a este gran actuador por una unión que permita los dos grados de libertad necesarios. Después de una larga investigación proponemos dos posibles uniones.

La primera es la descrita en el punto 2.2.2 utilizar un cardan parece lo más lógico ya que tenemos movimiento en ambos sentidos y los hay muy robustos.



Figura 2.14: Articulación universal

Como habréis podido deducir, el cardan está fabricado para trabajar como transmisor de movimiento y fuerza axial. Utilizarlo como eje sufriendo cargas axiales es un delicado tema pero como mostramos en la siguiente figura los hay que ya lo han hecho (figura 2.15).



Figura 2.15: Eje plataforma simulador con cardan

Podemos encontrar uniones universales de hasta 35° de inclinación desde el centro. De nuevo suficiente para nuestra cessna. Un inconveniente es su precio. Quizás no apto para un presupuesto ajustado.

El segundo elemento a proponer es algo más delicado, ya que se trata de un material aislante, de caucho y sirve para amortiguar vibraciones. Pero como tiene unas propiedades mecánicas muy sufridoras (figura 2.16) podría ser una solución económica. Nos referimos a un silent-block.



Figura 2.16: Silent-block con forma diábolo

Son utilizadas en compresión, cizalla o en combinación de ambas, nunca en tracción, para la protección de las más severas vibraciones, choques y ruidos.

Están constituidas por dos armaduras paralelas adheridas al caucho, en forma de diábolo en este caso, y con dos tuercas roscadas de fijación.

Desde la web del fabricante Lesol, tenemos un modelo que apunta alto para su uso en el simulador. Tiene 130 mm de diámetro y las siguientes características en la figura que a continuación se muestra.

Referencia	$\varnothing A$ (mm)	Dureza (sh)	B (mm)	D	$\varnothing E$ (mm)	i	Carga a Compresión (Kg)	Flecha a Compresión (mm)	Carga a Cizalla (Kg)	Flecha a Cizalla (mm)	Guía
H 3868	130	60	95	M-16	117	15	1800	19,0±2,0	320	19,0±2,0	

Figura 2.17: Catálogo selección silent-block

CAPÍTULO 3. ELECTRÓNICA

3.1. Esquema del Sistema

Con el fin de facilitar el estudio del proyecto y su posterior implementación, hemos estructurado nuestro sistema electrónico en 5 bloques:

- PC – Principal
- PC – Control
- Módulo de Control
- Dispositivos de entrada
- Actuadores

PC – Principal

Es el ordenador encargado de capturar los datos procedentes del feedback del simulador y transmitirlos al PC – Control.

Este ordenador contiene: el juego/simulador, una tarjeta gráfica VGA para permitir un correcto funcionamiento del juego/simulador, una tarjeta de red que le permita comunicarse con el PC-Control, los programas encargados de capturar, tratar y enviar las señales del feedback del simulador (Yoda y Force-Sender), y finalmente, puertos USB para conectar dispositivos de entrada.

Además, deberá poseer como mínimo un microprocesador a 1,5 Ghz de velocidad y un sistema operativo Windows 2000 o superior para poder soportar eficientemente los recursos del sistema que consumen tanto el juego/simulador como los programas de captura de datos.

PC-Control

Éste es el ordenador que se encarga de recibir los datos del PC – Principal y transmitirlos al Módulo de Control.

No es necesario que este ordenador contenga un hardware muy potente ya que su única función será la de recibir y transmitir datos. Sin embargo, necesitará un sistema operativo Windows 2000 o superior para garantizar que el sistema soporte correctamente una plataforma USB.

Este PC contiene: Tarjeta de red para comunicarse con el PC – Principal, los programas de captura y tratamiento de datos (Remote-Yoda y Force-Profile) y conexiones USB para conectarse con el Módulo de Control.

Módulo de Control

Básicamente su función consiste en recibir las señales procedentes de los programas de captura instalados en los PCs y enviarlas a los actuadores.

Más adelante trataremos este bloque con más profundidad.

Dispositivos de Entrada

En este bloque hemos incluido el “joystick adaptado” a los mandos de la cessna y los 2 potenciómetros que nos permiten determinar la posición de la cabina cuando esté en movimiento.

Hemos obviado otros dispositivos tales como teclados, ratones, etc. puesto que no interaccionan directamente con nuestro sistema.

Actuadores

Como ya se ha nombrado en el capítulo anterior, los actuadores son los encargados de proporcionar el movimiento a la cabina en función de la señal recibida desde el Módulo de Control.

La siguiente imagen muestra un esquema general del sistema.

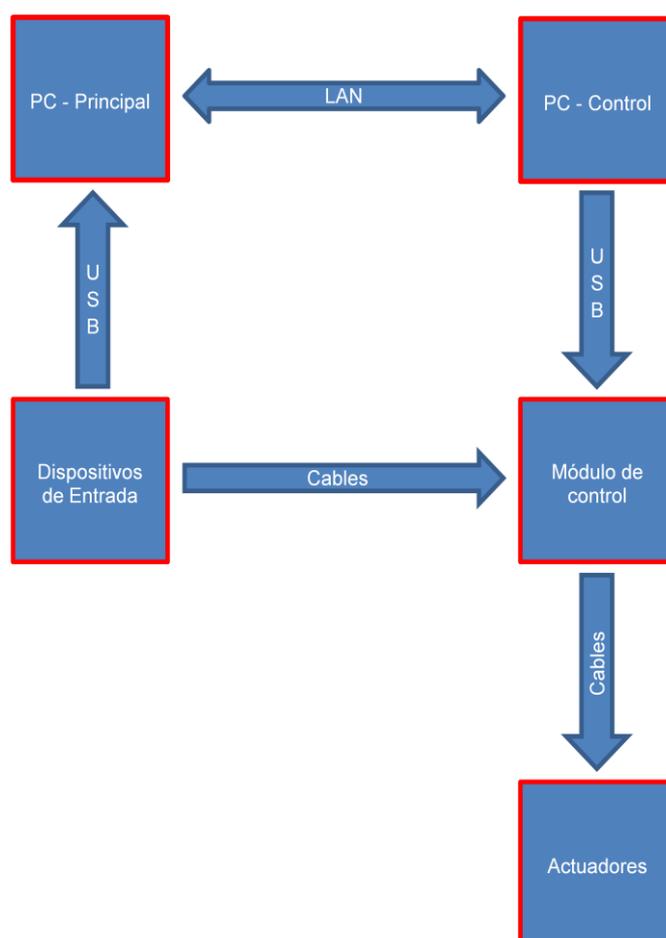


Figura 3.1: Esquema General del Sistema

3.2. Módulo de Control

3.2.1 Introducción

Antes de empezar con las especificaciones de los dispositivos escogidos para el desarrollo de nuestro proyecto, debemos conocer las funciones básicas que deberá presentar nuestro módulo de control.

Entendemos por Módulo de Control como el conjunto de dispositivos que nos permitirán controlar y gestionar ciertos recursos de nuestro sistema con el fin de conseguir unos objetivos de funcionamiento específicos.

La principal característica que deberá presentar nuestro módulo es la capacidad para recibir señales analógicas y/o digitales procedentes de nuestro sistema y convertirlas en señales que accionarán los actuadores. Además, deberá soportar una interface software que permita acondicionar las señales que recibirá el módulo de control.

Por otro lado, y puesto que el espacio del que disponemos es limitado, el módulo deberá ser lo suficientemente pequeño para poder ser instalado en el interior del Simulador.

Finalmente, el módulo deberá poder ser alimentado con corrientes muy bajas con el fin aumentar la seguridad y minimizar los posibles riesgos de electrocución.

En resumidas cuentas, la función básica del Módulo de Control es establecer un puente entre las entradas (señales procedentes del juego, potenciómetros, etc.) y las salidas digitales o analógicas dirigidas a los Actuadores.

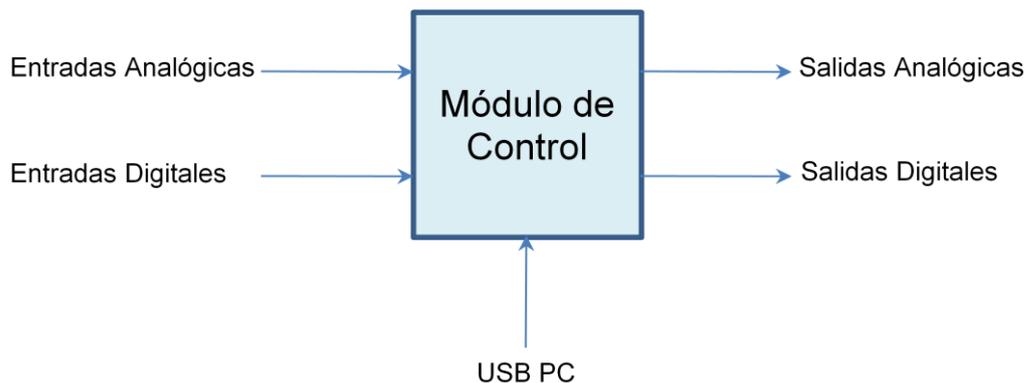


Figura 3.2: Esquema del Módulo de Control

3.2.2. Velleman USB K8055D (VM 110)

3.2.2.1. Aspectos Generales

Como elemento básico para nuestro Módulo de Control se ha escogido una Tarjeta VM 110. Esta tarjeta, fabricada por la empresa Belga Velleman, es una placa de control a través de ordenador mediante conexión USB.

La tarjeta interface se compone de un punto central cuya función es recibir toda la información procedente de las señales de entrada. Estas señales son recogidas primero por un módulo de entradas y enviadas al punto de control central o módulo de control de la tarjeta. Luego, estas señales son enviadas desde el módulo central a un módulo de salidas desde donde saldrán las señales que activarán los dispositivos.

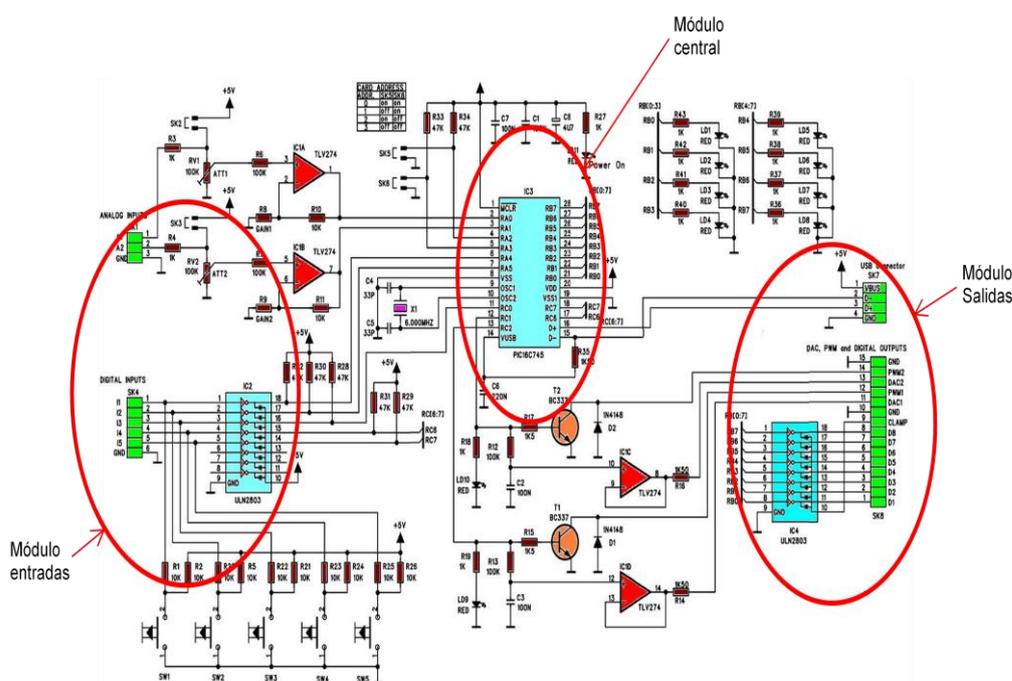


Figura 3.3: Situación de los Módulos

El módulo de entradas está constituido por 5 canales de entrada digitales y 2 entradas analógicas, y el módulo de salidas consta de 8 canales de salida digitales y 2 salidas analógicas con una resolución 8 bits. El módulo central lo compone un microprocesador VK8055.

Las rutinas de comunicación se guardan en un archivo del tipo Dynamic Link Library (DLL). Este fichero es denominado como: "K8055D.dll". Además, se pueden utilizar otros software de programación del tipo C++, Visual Basic o

cualquier otra herramienta de desarrollo de 32 bits para Windows que soporte DLL para diseñar otros entornos distintos a los del fabricante. La VM 110 también se puede utilizar bajo Linux.



Figura 3.4: Placa VM 110

3.2.2.2. Características Técnicas

La tarjeta de control VM 110 presenta las siguientes características técnicas:
8 salidas digitales → Estos interruptores pueden proporcionar señales de salida de hasta 30V/100mA. La tarjeta dispone de indicaciones LED para visualizar la salida que está actuando.

2 salidas analógicas → Suministran señales de salida de 0 a 5 V con una resistencia de salida de 1k5 y también PWM 0 a 100% salidas con colector abierto máx. 100mA/40V. Dispone de indicadores LED para visualizar la salida.

5 entradas digitales → Para las entradas digitales un 0 = tierra y un 1= abierto. Además, la placa está dotada de varios botones de prueba que permiten simular entradas digitales.

2 entradas analógicas → Disponen de conexiones internas de prueba de +5V con atenuación y ganancia opcionales.

El tiempo de conversión media para cada orden es de 20 ms.

La tarjeta se alimenta por USB a ± 70 mA.

Dispone de un software de diagnóstico propio con capacidad de comunicación DLL.

- Las dimensiones de la tarjeta VM 110 son: 145 x 88 x 20 mm.

Si fuera necesario, esta tarjeta de control permite amplificar x1, x4 o x15 una tensión de entrada analógica que fuese demasiado baja. Si queremos obtener una ganancia de 4, será necesario instalar una resistencia de 3K3 para R8 y para R9. Para una ganancia de 15, deberá insertarse una resistencia de 820 Ω. En el caso de que no se necesite amplificar las señales, no se deberán colocar las resistencias R8 y R9. Por defecto, la tarjeta viene sin las resistencias.

Ver siguiente figura para las posiciones de R8 y R9.

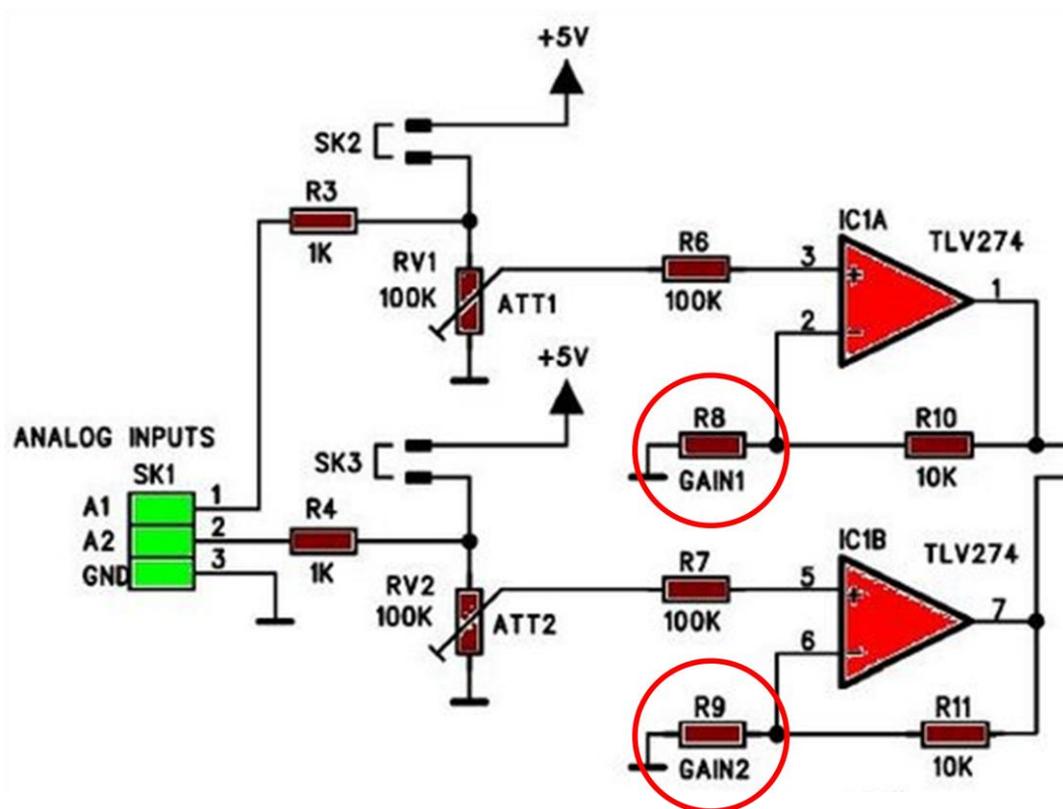


Figura 3.5: Conexión de R8 y R9

Si se desea obtener cualquier otro factor de ganancia se pueden utilizar las siguientes fórmulas, en las cuales, al aplicar el factor de ganancia deseado se puede obtener el valor de la resistencia.

$$\text{Factor A1} = 1 + \left(\frac{R10}{R8}\right) \qquad \text{Factor A2} = 1 + \left(\frac{R11}{R9}\right) \qquad (3.1)$$

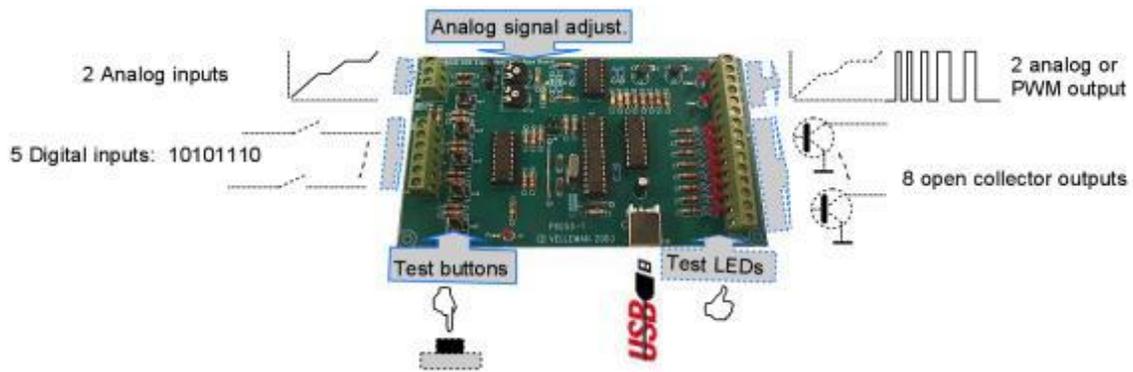


Figura 3.6: entradas y salidas de la placa

3.2.2.3. Componentes

La placa de control Velleman VM 110 está integrada por numerosos componentes electrónicos, cada uno de los cuales presta una función importante para el desarrollo del sistema.

De todos los componentes electrónicos, y debido a la importancia de su función, podemos destacar los microcontroladores. Éstos son los encargados de gestionar y almacenar los recursos VM 110 y aparecen identificados en la placa como IC1, IC2, IC3 e IC4. El microcontrolador IC3 corresponde a un PIC16C745-IP que dispone de un oscilador a 6 Mhz y en él está cargado el programa que gestiona la comunicación con las entradas y salidas. El IC1 lo integra un TLV274IN y agrupa 4 amplificadores operacionales, y finalmente, el IC2 e IC4 que agrupan 8 transistores.

Las Figuras 3.7 y 3.8 muestran la localización de los componentes electrónicos más relevantes:

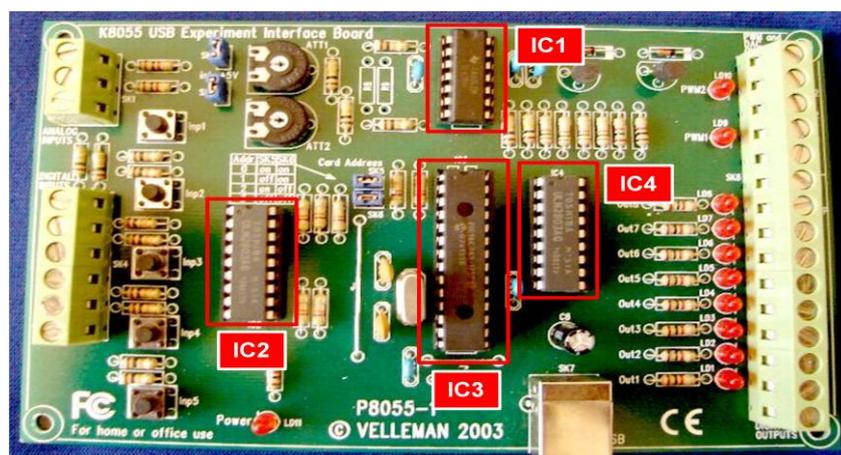


Figura 3.7: Microcontroladores

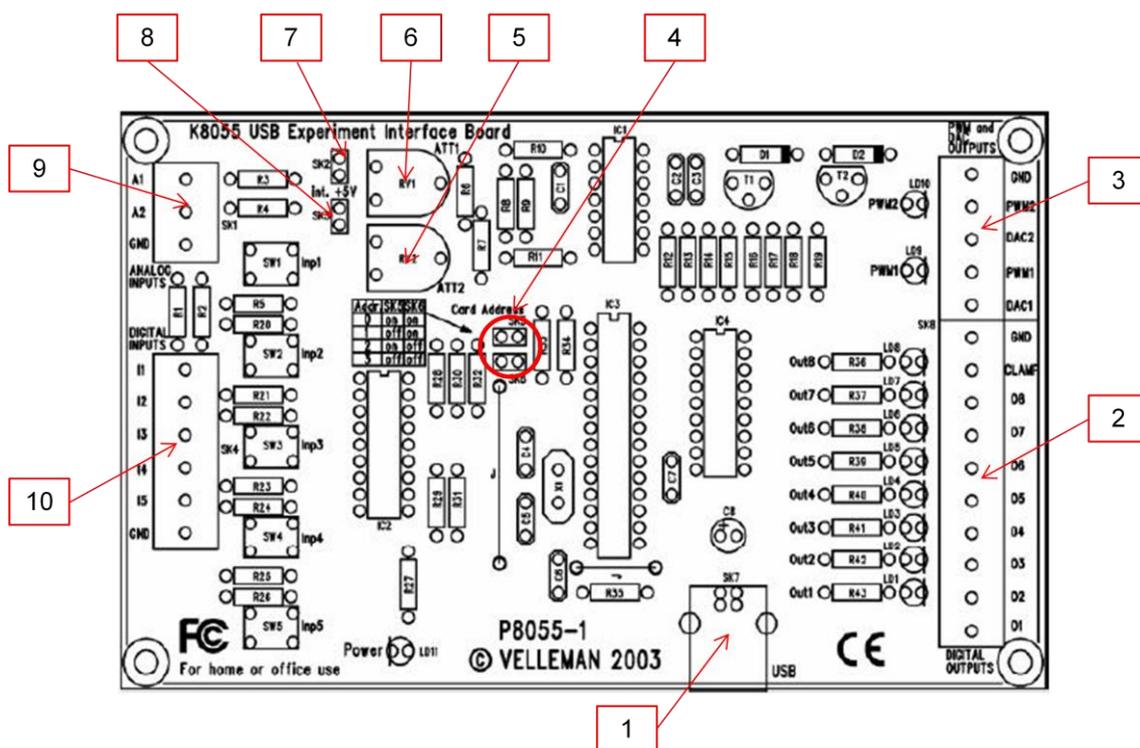


Figura 3.8: Componentes de la placa

1. Conector USB → Su función es conectar la placa al ordenador mediante un cable de conexionado USB para permitir de esta forma el intercambio de datos. Además, a través de este conector se suministra la alimentación eléctrica de 70 mA de la placa.
2. Salidas digitales → Son las encargadas de sacar las señales eléctricas hacia el exterior de la placa (por ejemplo hacia los actuadores u otra placa). Contiene 8 salidas que permiten un paso de corriente de entre 5-30 V y 100mA. Este bloque de salidas digitales dispone de un indicador LED.
3. Salidas analógicas → Está formado por dos salidas analógicas que pueden utilizarse en modos diferentes. El primer modo proporciona una salida de tensión de 0 a +5V con una impedancia de 1K5. El segundo modo proporciona a las salidas una modulación de impulsos.
4. Puentes Sk5 y Sk6 → Este elemento permite seleccionar el número de identificación de la placa, con el fin de que un ordenador pueda controlar hasta 4 placas de forma simultánea. De esta manera se puede ampliar el número de entradas y salidas. Las placas van numeradas del 0-3 y para que el Force-Profiler detecte la placa, ésta deberá estar identificada como la 0.

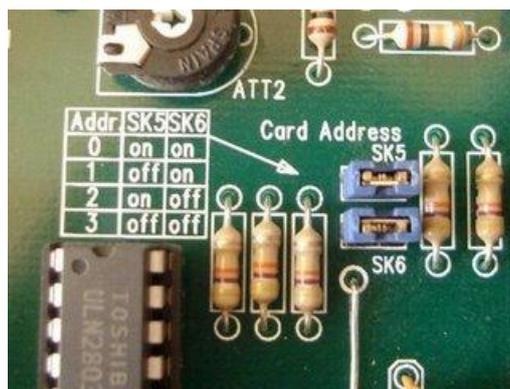


Figura 3.9: Puentes SK5 y SK6

5. Potenciómetro ATT2 → Este dispositivo permite variar la tensión del sensor analógico A2 y también la de su simulación.
6. Potenciómetro ATT1 → Este dispositivo permite variar la tensión del sensor analógico A1 y también la de su simulación.

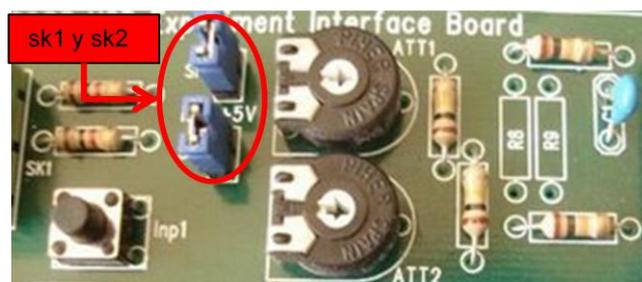


Figura 3.10: Puentes SK1 y SK2

7. Puente Sk2 → Permite simular la entrada analógica A2.
8. Puente Sk1 → Permite simular la entrada analógica A1.
9. Entradas analógicas → Aquí pueden conectarse los dispositivos analógicos tales como los potenciómetros. Estos sensores se conectan entre la entrada correspondiente A1 o A2 y una fuente de +5 V.

Mediante los puentes Sk2 y Sk3 y los potenciómetros ATT1 y ATT2 se puede simular una entrada analógica en los sensores A1 y A2. Si se quieren utilizar sensores externos se deberán quitar los puentes Sk1 y Sk2.

10. Conector de entradas digitales → Está formado por 5 entradas digitales a las que pueden conectarse elementos tales como interruptores, pulsadores o contactos de relés.

Las cinco entradas digitales disponen de un pulsador de prueba que permiten simular entradas (Inp1, Inp2, Inp3, Inp4, Inp5).

3.3. Conexionado

3.3.1. Conexionado de las tarjetas

3.3.1.1. Conexión con el PC

La tarjeta Velleman 110 está dotada de una conexión USB que le permite conectarse con un ordenador personal, y en nuestro caso con el PC-Control.

El conexionado se realiza mediante un cable USB proporcionado por el fabricante de la placa, y con él, se deberán comunicar la entrada/salida USB de la placa con cualquier entrada/salida USB del PC. Si la conexión se realiza correctamente se encenderán dos LEDs de color rojo en la tarjeta de control. El primer LED LD3 permanecerá encendido e indica que la tarjeta está alimentada; y el segundo LED LD4, correspondiente al de la salida 4, parpadeará momentáneamente después de la puesta en marcha del ordenador.

Si se dispone un sistema operativo Windows XP o superior, una vez conectadas las dos partes (placa y PC), la tarjeta es detectada e instalada automáticamente por el ordenador. Para sistemas operativos anteriores, es necesario instalar los controladores o drivers y que se incluyen en un CD proporcionado por el fabricante.

Además de los drivers de la tarjeta, el CD incluye un software específico que simula un entorno de control y que permite comunicar el PC con la placa así como realizar pruebas.

Para instalar el software se debe ejecutar el archivo "*setup.exe*" que se encuentra ubicado dentro de la carpeta "*K8055_VM110 USB board\Demo PC soft install*" del CD.

Una vez instalado el programa, se puede iniciar el software, ejecutando el archivo "*K8055_Demo.exe*", con lo que aparece una pantalla como la que se muestra en la imagen 3.12. Primeramente se ha de seleccionar la identificación de la placa (Card Address) haciendo clic con el ratón sobre SK5 y/o SK6.

A continuación se ha de apretar el botón "**Connect**", con un clic del ratón, para conectar el K8055 al ordenador. Si esta conexión se realiza correctamente aparecerá el mensaje "**Card 0 connected**". Si no es así el mensaje será "**Card 0 not found**".

La figura 3.11 muestra la interface del programa de la placa.

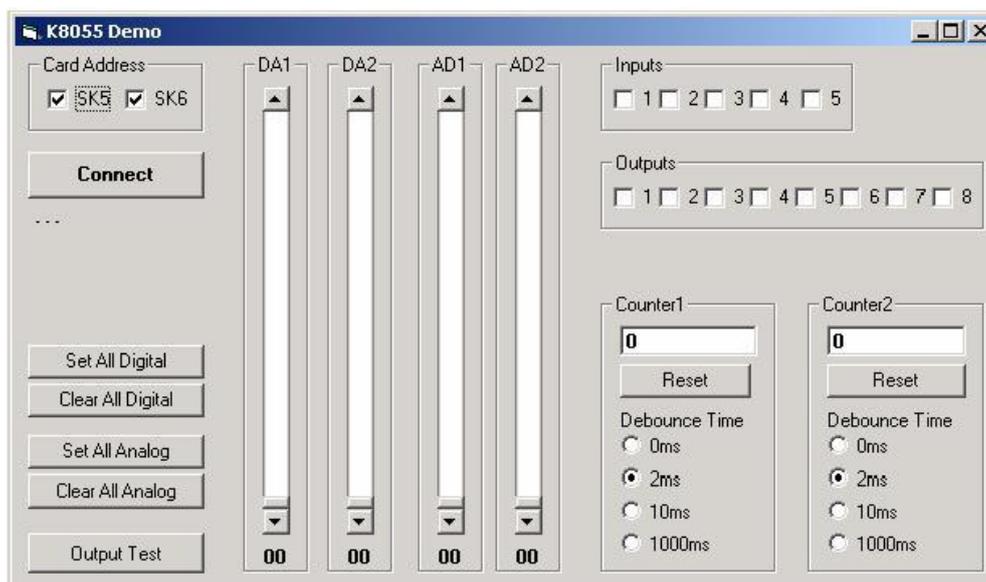


Figura 3.11: Interface del programa VM110

En la imagen anterior podemos apreciar las diferentes aplicaciones ofrecidas por el software:

- Los “*Inputs*” y “*Outputs*” nos permiten simular las entradas y salidas digitales haciendo clic con el ratón sobre los cajetines en blanco. Además, si existe alguna señal digital real, se mostrará marcado en el cajetín correspondiente a dicha entrada.
- Las barras verticales *AD1* y *AD2* muestran los valores de las entradas analógicas reales o simuladas. El valor numérico (De 0 a 255) de la tensión se muestra debajo de las barras de desplazamiento.
- *DA1* y *DA2* regulan el valor de la tensión de las salidas analógicas.
- El botón “*Output test*” se utiliza para testear todas las salidas numéricas automáticamente.
- El botón “***Set all digital***” pone en marcha todas las salidas digitales en la placa.
- El botón “***Set all analog***” activa las dos salidas analógicas en su valor máximo y el botón “***Clear all analog***” las desactiva.
- Los contadores “*Counter1*” y “*Counter2*” se incrementan con las entradas digitales.
- El ajuste “*Debounce time*” permite determinar el tiempo de respuesta del contador (0 ms, 2 ms, 10 ms, 1.000 ms).
- El botón “***Reset***” pone a cero los contadores.

Nota: Por motivos del software del sistema operativo (Windows), si la placa es desconectada del puerto USB del PC o si el PC es apagado, la siguiente vez que se quiera utilizar la placa deberá conectarse en un puerto USB distinto o en

su defecto, se deberán desinstalar los drivers de la placa que quedan guardados en el registro de Windows mediante: clicar con el botón derecho sobre Mi PC, seleccionar la opción Administrador de dispositivos, buscar los drivers de la placa y desinstalarlos, conectar la placa y esperar a que Windows la detecte.

3.3.1.2. Conexión de la placa con los actuadores

El conexionado de la placa de control con los actuadores se ha realizado a través de sus salidas digitales. Se han utilizado 4 de las salidas, dos para cada actuador.

Debido a las características de nuestro sistema no fue posible realizar una conexión directa entre la tarjeta y los actuadores. Esto se debe a que la placa VM110 no es capaz de suministrar más de 500 mA cómo suma de todas sus salidas digitales, y por lo tanto, como los actuadores necesitan 12 A cada uno no recibirían suficiente alimentación.

Para solucionar el problema se ha optado por incorporar una placa de relés entre la tarjeta de control y los actuadores. Un relé es un dispositivo que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. El relé es capaz de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada y de esta manera, al poderse alimentar externamente, la placa de relés nos permite tener tensiones de salida mayores.

En la imagen 3.12 se muestra el conexionado de la tarjeta con los actuadores.

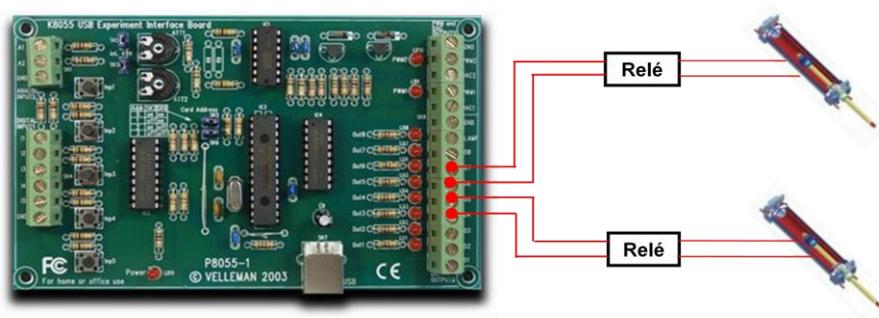


Figura 3.12: Conexión con los actuadores

En el apartado 3.3.3. Alimentación se detalla el conexionado utilizado en los relés.

3.3.1.3. Conexión de las entradas y salidas

La conexión de las entradas y salidas se realizó siguiendo las instrucciones del fabricante con el fin de asegurar un funcionamiento adecuado y evitar posibles daños. De esta forma, se procedió al conexionado basándose en los siguientes procedimientos:

- Las entradas analógicas, como los potenciómetros o sensores, se deben conectar entre la entrada correspondiente (A1, A2), una fuente de +5 V y a GND (Tierra). Para conseguir una señal en tensión basta con realizar una división de tensión como se muestra en la 3.14.
- Las entradas digitales se deben conectar entre la entrada (I1, I2, I3, I4, I5) y GND (Tierra).
- Las salidas o consumos conectados a las salidas digitales se han de conectar entre cada una de ellas (O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8) y CLAMP.
- Las salidas o consumos conectados a las salidas analógicas se han de conectar entre GND y la salida correspondiente (DAC1, DAC2, PWM1 y PWM2).

La Figura 3.13 muestra el conexionado de las entradas y salidas.

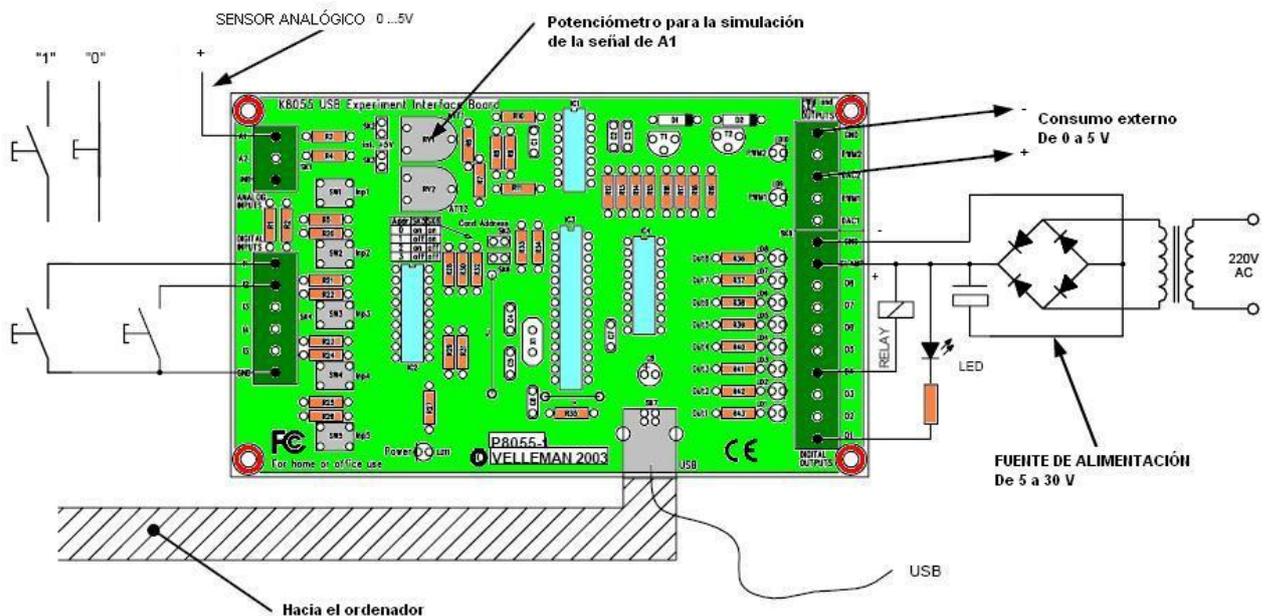


Figura 3.13: Conexionado entradas y salidas

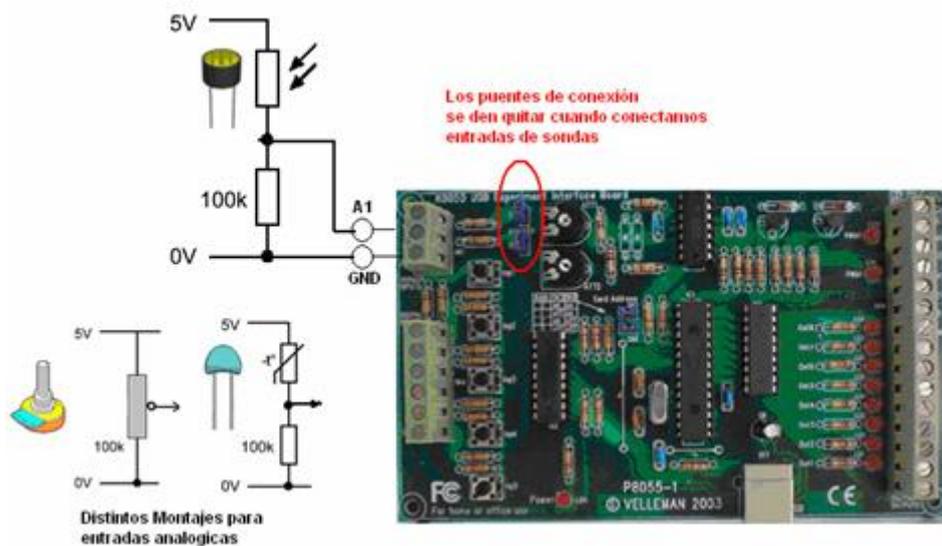


Figura 3.14: Conexionado de entradas analógicas

3.3.2. Potenciómetros

3.3.2.1. Descripción general

Un potenciómetro es un resistor al que se le puede variar el valor de su resistencia. De esta manera, se puede controlar la intensidad de corriente que pasa por una línea si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial si se conecta en serie.

Los potenciómetros se pueden utilizar de distintas formas y con distintos fines en función de los resultados que se quieran conseguir con ellos. Algunas de ellas pueden ser por ejemplo el control de la luminosidad de una bombilla o el volumen de un altavoz.

Para nuestro sistema, hemos aprovechado las características de los potenciómetros para utilizarlos como “sensores de posición”. Es decir, se ha utilizado la señal de salida de los dos potenciómetros con el fin de determinar, y por consiguiente controlar, la posición XY del simulador en cada momento.

Para lograr este fin se debe unir físicamente la varilla del actuador al potenciómetro de 10kΩ mediante una varilla de hierro. De esta forma, cuando se mueva la varilla del actuador debido a la señal proporcionada por la placa de control, se moverá también el potenciómetro. De este modo se consigue que la resistencia del potenciómetro varíe en función del movimiento del actuador, sin embargo, esto no es suficiente para determinar la posición.

La posición del actuador la determinamos a partir del valor de la salida del potenciómetro. Para esto debemos calibrar el sistema y ajustar la intensidad de señal para definir la posición de reposo. Esto lo conseguimos mediante el software X-Simulator del cual se hablará más adelante.

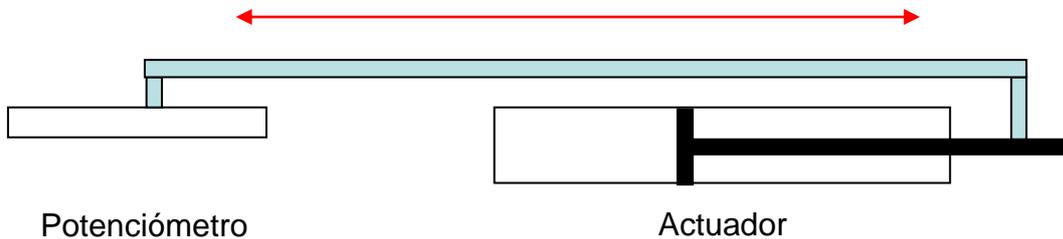


Figura 3.15: Acoplamiento Potenciómetro-Actuador

3.3.2.2. Conexión con la tarjeta de control

Como se ha comentado anteriormente, los potenciómetros son dispositivos analógicos de entrada, y por lo tanto, se conectarán siguiendo los procedimientos descritos para este tipo de entradas.

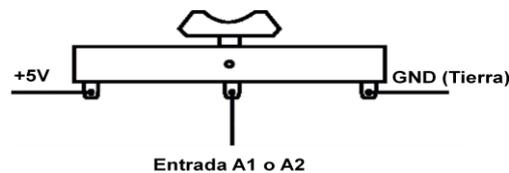


Figura 3.16: Pins del potenciómetro

El potenciómetro no puede ser alimentado con más de 5V ya que las entradas analógicas de la tarjeta están diseñadas para soportar un máximo de +5V. Como se muestra en la imagen anterior, los potenciómetros disponen de 3 *pins* o conectores. El *pin* central o *pin* del *slider* es por donde sale la señal hacia la placa y por lo tanto se conectará a las entradas analógicas A1 o A2. Los otros dos *pins*, uno es la toma de tierra GND de los potenciómetros y se debe conectar al puerto GND de la placa y el otro es la alimentación de 5V.

La Figura 3.17 muestra la disposición de las conexiones de los dos potenciómetros.

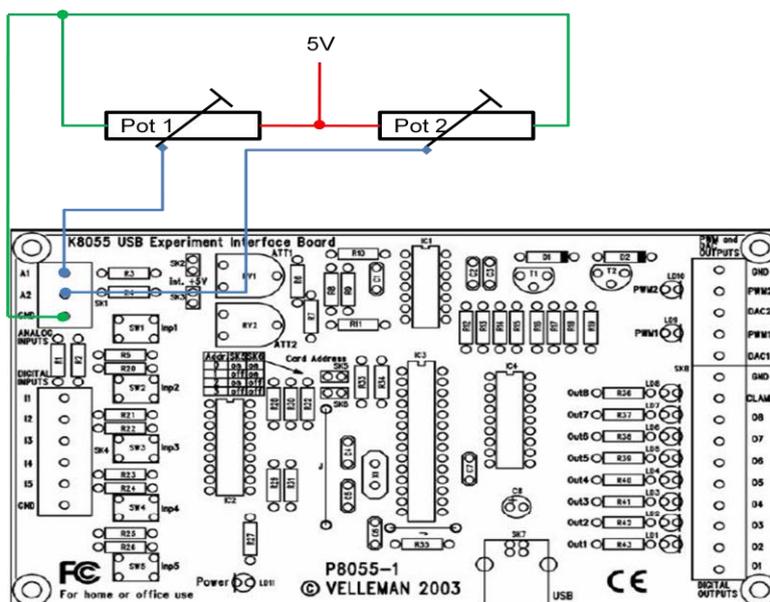


Figura 3.17: Conexión de los potenciómetros

3.3.3. Alimentación

3.3.3.1. Alimentación de la placa

La alimentación de la placa se realiza mediante la conexión USB procedente del PC. Esta conexión además de transmitir datos proporciona los 70 mA que necesita la tarjeta VM 110 para funcionar.

3.3.3.2. Alimentación de los actuadores

Como ya se ha comentado anteriormente, la tensión de salida que proporciona la placa de control no es suficiente para accionar los actuadores. Por este motivo será necesario la utilización de dos fuentes de alimentación externas y un puente de relés entre la placa y los actuadores.

La primera fuente de alimentación se conectará a las salidas de la placa y será la encargada de proporcionar la tensión necesaria para accionar los relés. Esta fuente estará dispuesta de forma que, al abrirse los contactos de las salidas de la placa la corriente procedente de la fuente se dirigirá hacia los relés.

El conexionado de la fuente externa que alimente los relés se realizará de tal manera que el “-“(GND) de la fuente externa Vcc se conecte al la regleta de la placa en el punto etiquetado con GND y el “+” positivo de la fuente externa Vcc se deberá conectar al punto etiquetado con CLAMP. Esta fuente de alimentación suministrará la tensión necesaria para accionar relés.

La figura 3.18 muestra la forma de realizar las conexiones entre la placa y la fuente de alimentación.

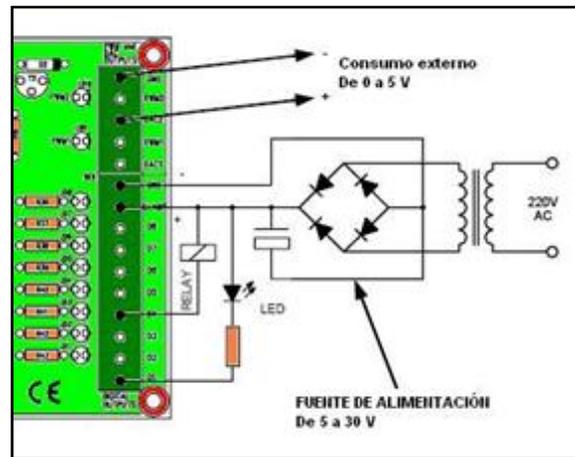


Figura 3.18: Conexión de la fuente/placa

La segunda fuente de alimentación está conectada al puente de relés y proporcionará la corriente suficiente para accionar los actuadores. El puente de relés está constituido por 4 relés, 2 para cada actuador, y éstos, además de proporcionar la potencia suficiente a los actuadores se encargan de invertir las polaridades de los motores de los actuadores haciendo que se muevan en una u otra dirección según convenga.

La figura 3.19 muestra el conexionado de los 4 relés.

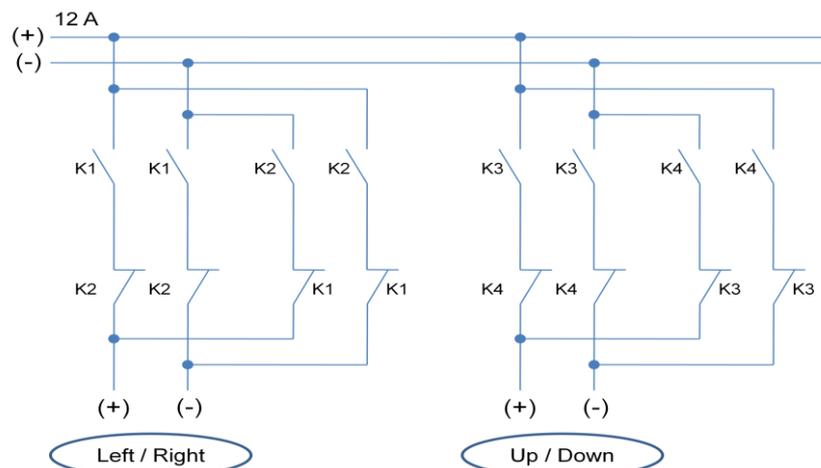


Figura 3.19: Conexión de los relés

CAPÍTULO 4. X-SIMULATOR

4.1. Características del X-SIM

4.1.1. Introducción

A lo largo de este capítulo describiremos las principales características del software utilizado para gestionar los recursos de nuestro simulador. Como programa de control hemos escogido el X-Simulator, de ahora en adelante X-SIM, el cual es un software universal y libre que permite controlar simuladores eléctricos, neumáticos e hidráulicos de hasta 4 ejes.

Aunque actualmente está disponible la versión 2.0 del X-SIM, nosotros hemos utilizado la versión 1.6.9 que es la más utilizada hasta el momento y por lo tanto la más testeada.

La función principal de este software es utilizar los efectos de salida que generan el Force-Feedback y los valores de XYZ proporcionados por los elementos de control (joystick), para controlar los movimientos del simulador. Básicamente, el Force-Feedback es la capacidad para utilizar ciertos datos de salida de los juegos con el fin de reproducir la misma sensación que se tiene al pilotar un avión o al conducir un coche real, ya sea mediante vibraciones en los controles o con movimientos reales del simulador.

Para lograr dichas funciones, el X-SIM está constituido por tres aplicaciones que se encargan de administrar y gestionar los recursos. Dichas aplicaciones son el Yoda, Force-Sender y Force-Profiler y de ellas se hablará a continuación.

4.1.2. Yoda

Esta aplicación es la encargada de escanear los efectos DirectX de los videojuegos y enviarlos al Force-Sender. La característica principal de este programa es que permite capturar únicamente aquellos efectos que nos interesen y guardarlos en un archivo.

Para ejecutar correctamente este software hay que seguir los siguientes pasos en el orden correcto:

- Iniciar el Yoda y esperar a que aparezca la pantalla principal.
- Una vez iniciado el programa hay que desactivar la casilla "*delete released effect*" y la casilla "*Filter enabled*" (en el caso que esté activada). Seguidamente, activar la opción *Start Capture*.
- Ejecutar el juego/simulador e iniciar una partida.

Una vez el juego/simulador se esté ejecutando, deberían aparecer en la pantalla del Yoda los efectos del juego proporcionados por el DirectX. Además, mientras utilizamos el simulador irán apareciendo, desapareciendo y variando los efectos, en función de las acciones que vayamos realizando.



Figura 4.1: Interface de Yoda



Figura 4.2: Muestreo de efectos

Los efectos se pueden ampliar para mostrar todos sus valores, para ello hay que hacer clic en el símbolo [+]. Los valores se pueden exportar haciendo clic sobre ellos con el botón derecho del ratón y una vez exportados quedarán guardados en un fichero del tipo .yet. Más adelante se hablara con detalle sobre estos ficheros.



Figura 4.3: Exportar efectos

Los valores exportados se mostrarán en una ventana denominada Export View. Generalmente, los valores que nos van a interesar serán en su mayoría magnitudes.

4.1.2.1. Remote-Yoda

El Remote-Yoda es un visor externo del Yoda, es decir, se ejecutará en un segundo ordenador, en nuestro caso en el PC-Control, y en él se mostrarán los efectos que aparezcan capturados en el Yoda. Su función es exclusivamente mostrar los efectos del Yoda por lo que sólo se usará como visualizador.

Para ello hay que ejecutar el Remote-Yoda en el segundo PC y una vez iniciado haremos clic en la barra de navegación en red en la opción “*Network*” y clicaremos en “*enable*” para activar la función de red. Hay que remarcar que el ejecutable del Remote-Yoda no aparece por defecto en el escritorio y por lo tanto habrá que buscarlo en la carpeta *Archivos de Programa/X-Sim*.

Después de activar la función de red, hay que introducir la dirección IP del ordenador principal y pulsar el botón de conexión. Si la conexión se ha realizado con éxito, los dos programas mostrarán la dirección IP en la barra de menú, y los efectos de DirectX se visualizarán en la pantalla del Remote-Yoda. En el caso que la conexión sea interrumpida por cualquier motivo, se deberá reiniciar el Yoda para recuperar la sincronización.



Figura 4.4: Activar la función de red

Es imprescindible establecer la conexión entre los dos Yoda antes de iniciar la captura de los efectos.

4.1.3. Force-Sender

Esta aplicación actúa como intercambiador de datos entre el juego/simulador y el Force-Profiler. Por ello, el Force-Sender realiza tres funciones imprescindibles para el desarrollo del sistema:

- Mezcla los movimientos de los dispositivos de entrada (joystick) con los efectos de DirectX procedentes del Yoda.
- Reúne todas las fuerzas de aceleración y datos salientes de los programas de extracción.
- Transmite valores XYZ al Force-Profiler (mezcla con los efectos DirectX).

En el Force-Sender se transmitirán primero los datos del joystick y los datos del Yoda al Force-Profiler. Los datos aparecerán reflejados en el Force-Profiler en el recuadro izquierdo (ventana 2 del Force-Profiler) como x,y,z,rx,ry,rz, y acelerador.

En la interface del programa aparece la opción de selección de joystick mediante la cual seleccionaremos nuestro modelo. También se deberá introducir la dirección IP del ordenador que contenga el Force-Profiler para poder comunicar las dos aplicaciones.

Finalmente, con el botón “*Send data*”, estableceremos la comunicación y se enviarán los datos.

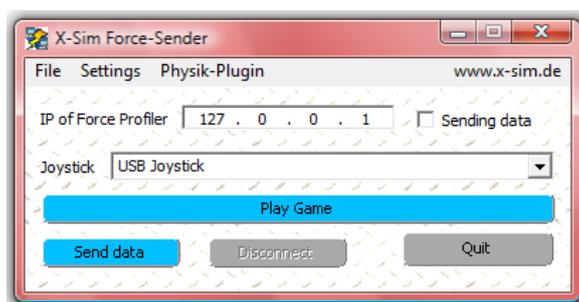


Figura 4.5: Pantalla principal del Force-Sender

Mediante el botón *Play Game* iniciaremos el juego que queremos utilizar para nuestro simulador. Antes de eso deberemos haber establecido la localización del .exe del juego en el apartado *Settings* del Force-Sender para que éste llame al juego cuando se lo pidamos.

4.1.4. Force-Profiler

El Force-Profiler es un software de control que actúa como servidor de intercambio entre el PC-Principal y el PC-Control.

Este programa calcula los valores del DirectX y los valores XYZ proporcionados por Yoda y el Force-Sender y los convierte en comandos de movimiento para el simulador, siendo capaz de controlar simuladores con un máximo de 4 ejes neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Con él pueden hacerse las calibraciones del simulador y de los efectos del DirectX.

Para utilizar los efectos capturados por el Yoda hay que cargar el archivo .yef que contiene los efectos que exportamos anteriormente. Los efectos serán enumerados del 01 al 40 en la lista del Force-Profiler.

Una vez cargados los efectos, el Force-Profiler nos permite definir un valor mínimo para cada efecto que inicializará un movimiento del simulador, y además, nos permite seleccionar que efecto accionará cada eje de movimiento y con qué velocidad.

A continuación se definen las principales características del Force-Profiler.

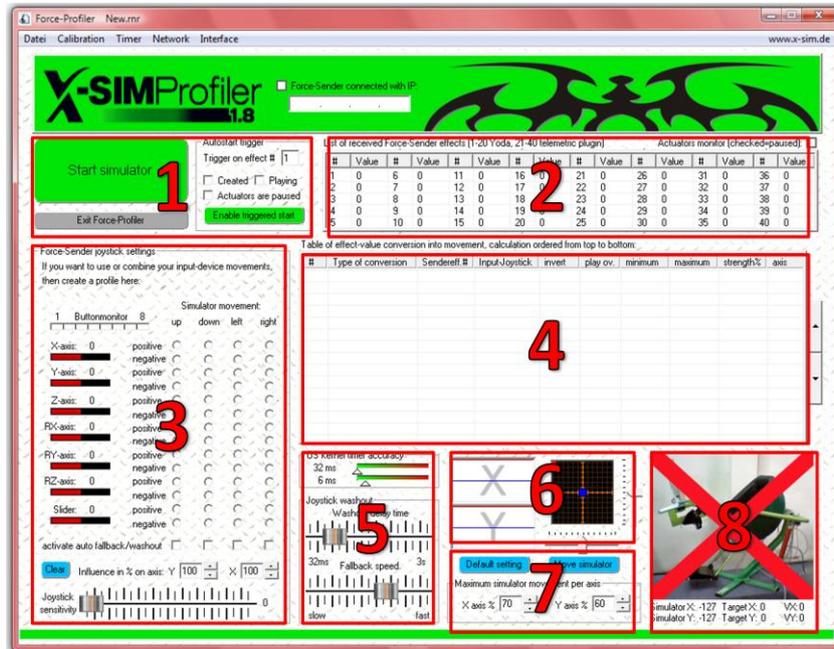


Figura 4.6: Pantalla principal del Force-Profiler

1. Aquí encontramos el botón de inicio (Start Simulator), el auto start y el botón de salida (Exit Force-Profiler). Mediante el botón de inicio se inicia el procesamiento de todas las señales y el movimiento del simulador. El autostart determina si el juego se está ejecutando o si esta en pausa. En la parte superior de la interface, en la franja de color verde, aparece la dirección IP del ordenador con el Force- Sender, sólo si se ha activado el botón "Send Data" en el Force-Sender.
2. Una vez activado el Force-Sender, aparecerán en esta ventana los valores de Yoda.
3. En esta ventana aparece la matriz del joystick. Esta matriz contiene los movimientos de joystick y con ella se pueden asignar las direcciones de los movimientos del simulador, es decir, qué movimiento realizará el simulador en función de cómo movamos el joystick. El regulador que aparece en la parte inferior de la ventana permite calibrar la sensibilidad de entrada del joystick.

4. En esta ventana se pueden agregar los efectos que deseemos utilizar en el simulador. Para ello hay que clicar con el botón derecho del ratón en los efectos que aparecen en la ventana superior (ventana2). Al hacer clic con el botón derecho aparecerá un desplegable que nos permitirá asociar el valor seleccionado con un tipo de efecto. Si seleccionamos alguno de los efectos, aparecerá otra ventana que nos permite configurarlo. Los efectos disponibles son: efectos de colisión, efectos G, efectos de aceleración, de cambio de marcha y efectos por presión del joystick.

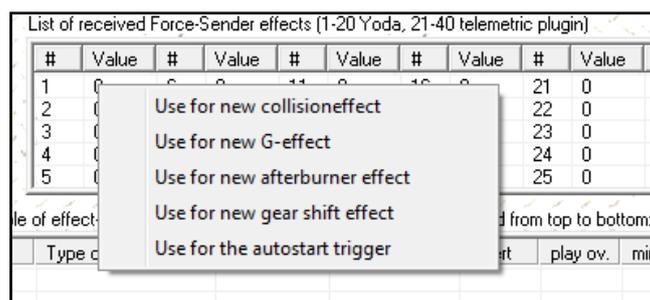


Figura 4.7: Asociación de efectos

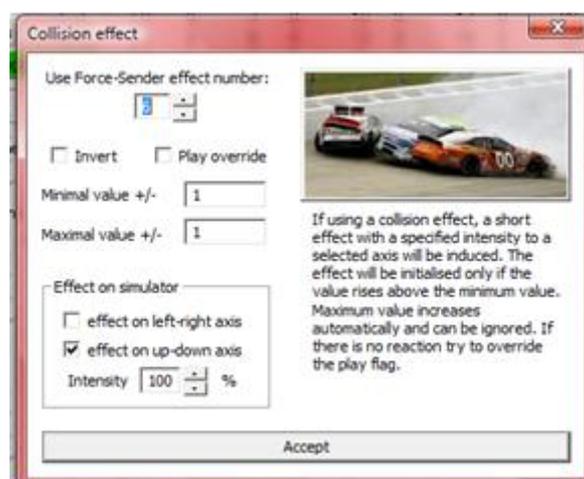


Figura 4.8: Ejemplo. Configurar efecto de Colisión

5. En este apartado aparecen dos variables, Autofallback (“autoretorno”) y Washout faders. Si esta activado el Autofallback el retraso en el tiempo y la velocidad se pueden ajustar aquí. El fallback (retorno) es útil, por ejemplo, si el acelerador está presionado. Normalmente, el simulador sube y se mantiene en esta posición mientras el acelerador este presionado. Con el Autofallback (autoretorno) el simulador vuelve lentamente a la posición central.

6. En esta ventana aparece una gráfica donde se muestra con una línea azul la posición actual del simulador y con una roja la posición en la que debería de estar.

La línea verde es la posición central del simulador. Haciendo clic con el botón derecho se puede invertir el eje del Display y actualizar su velocidad.

7. Esta sección nos permite calibrar la posición centrada del simulador. Esto se consigue ajustando el valor con los botones laterales manualmente. El porcentaje que aparece en las casillas tendrá que ser ajustado, a fin de evitar que el simulador intente avanzar cuando ya está en el final de su posición. Cuando esto sucede reduciremos el valor.

Para ajustar correctamente el simulador es recomendable empezar con un 50-70% y a partir de ahí ir subiendo los valores en pequeños pasos hasta conseguir la amplitud deseada.

8. En la parte inferior de esta ventana aparecen los valores del potenciómetro una vez los hayamos conectado a la placa. Estos valores son sólo de control y no pueden modificarse directamente. Mediante la barra de herramientas superior, en Datei/Set own simulator picture, podemos insertar la imagen de nuestro simulador en formato BMP 199x175.

4.2. Force-Feedback

4.2.1. Introducción

En este punto vamos a describir con más detalle las características principales del Force-Feedback y la manera de distinguir, capturar y guardar los efectos del juego que más nos interese.

Como ya se comentó en el apartado del Yoda, los efectos del juego son recogidos por una aplicación denominada DirectX. Esta aplicación fue creada por Microsoft para administrar el hardware y Force-Feedback de los juegos y es la encargada de reconocer los efectos del juego y enviarlos a los dispositivos para crear el efecto del Force-Feedback.

El DirectX reconoce los siguientes tipos de efectos:

"ConstantForce", "RampForce", "Square", "Sine", "Triangle", "SawtoothUp", "SawtoothDown", "Spring", "Damper", "Inertia", "Friction" and "CustomForce"

4.2.2. Escaneo de efectos

Se puede decir que con este apartado hemos llegado a una de las partes más trabajosas del proyecto ya que se requiere mucho tiempo y paciencia para detectar y capturar aquellos efectos que nos serán útiles en el simulador.

Como ya sabemos, el X-Sim utiliza su aplicación Yoda para mostrar todos los efectos que el DirectX obtiene del juego. Sin embargo, de la multitud de efectos que nos aparecen en el Yoda, a nosotros sólo nos van a interesar como mucho una decena de ellos.

Por ejemplo, en el caso de un simulador de coches, habría efectos de asfalto defectuoso (baches), de fuga en una curva o de colisiones. En nuestro caso particular, al tratarse de un simulador de vuelo, nos interesarán los efectos del Pitch, el alabeo del avión, el efecto G o las colisiones.

Por desgracia, estos efectos no están claramente etiquetados y cada programador de un juego genera sus propias etiquetas para los efectos, o simplemente, dejan el valor del efecto sin ningún etiquetado de distinción. Esto provoca que aparezcan muchísimos efectos con nombres distintos y que además, las distinciones puedan variar de un juego a otro.

Hace algunos años se puso de moda el uso de volantes y joysticks en los juegos, por eso durante esa época los efectos estaban mejor creados y etiquetados, y por consiguiente, su captura era mucho más sencilla. Actualmente, debido a que la mayoría de gente utiliza el teclado o el mouse, y también por falta de tiempo de los programadores, se ha dejado de utilizar el Force-feedback. Debido a esta “dejadez” del Force-feedback, es común que algunos efectos sean creados, ejecutados y seguidamente borrados, y también es posible que algunos efectos se queden durante todo el juego sin ser utilizados.

De esta manera, el único sistema para encontrar y capturar los efectos deseados es mirarlos uno por uno y observar si cambian en función de las acciones que se estén realizando en el juego. Una forma de hacerlo podría ser, por ejemplo, dirigir un vehículo contra un obstáculo o efectuar un viraje y observar los cambios que aparecen en la pantalla del Yoda.

4.2.3. Creación de Perfiles

Una vez hemos logrado localizar los efectos utilizables, se deberán capturar y exportar tal y como se especifica en el apartado del Yoda. La forma de conseguir que los efectos capturados queden guardados, es crear un perfil. Un perfil es un conjunto de archivos que contendrán los datos capturados para un determinado juego y/o sistema.

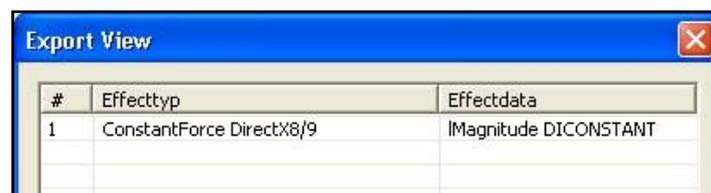
Por regla general, hay que crear un perfil para cada juego y por cada joystick o volante. Un perfil se compone de tres archivos: un *.yef* para el Yoda, *fsd* para Force- Sender y *.nr* para el Force-Profiler.

A continuación se explica el procedimiento para crear estos archivos y el orden en que deben ser creados.

1. Crear un archivo *.yef*:

Éste es el archivo de datos del Yoda, y en él quedarán guardados los efectos que hayamos decidido capturar y enviar al Force-Profiler. Para crear este archivo hay que seguir los siguientes procedimientos:

- Primero hay que asegurarse de que los dos Yodas estén conectados entre sí (en el caso de querer activar el Remote-Yoda). Una vez conectados los dos Yodas se puede proceder a capturar los efectos. Para ello hay que activar la opción *Start Capture* en la interface del Yoda y luego arrancar el juego.
- Seleccionar el efecto que nos interese exportar.
- Clicar con el botón derecho del ratón sobre dicho efecto y activar la opción *“use this data for export”*.
- A medida que exportemos efectos, éstos quedarán registrados en una lista llamada *“Export View”*. Esta lista es la que representará el archivo *.yef*.



#	Effecttyp	Effectdata
1	ConstantForce DirectX8/9	IMagnitude DICONSTANT

Figura 4.9: Lista de exportaciones

- Una vez capturados todos los efectos, los guardaremos en un archivo mediante la pestaña *Export/Save list as* de la barra de herramientas del Yoda.

2. Crear un archivo *.fsd*:

El siguiente paso es enviar al Force-Profiler la información almacenada con el Yoda. Para ello se utilizará el Force-Sender y deberán seguirse los siguientes procedimientos:

- Introducir la dirección IP del ordenador que contenga el Force-Profiler.
- Seleccionar el joystick.

- Pulsar el botón “Send data” para comunicar el Force-Sender y el Force-Profiler.
- Cargar el archivo .yef que guardamos con el Yoda mediante Settings/Yoda locations. Al activar esta opción el programa primero nos requerirá que introduzcamos la ubicación de una .dll y del .exe que se encuentran dentro de la carpeta del Yoda.
- Introducir la ruta del juego .exe en Settings/Game EXE location (el .exe se encuentra dentro de la carpeta del juego).
- Clicar en el botón “Play Game”

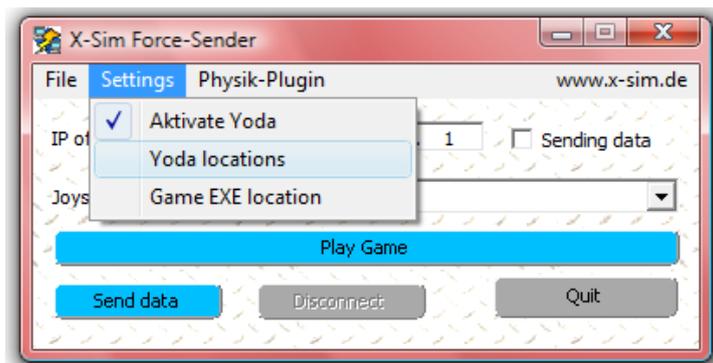


Figura 4.10: Localizaciones .yef y.exe

- Finalmente hay que guardar los ajustes como un archivo .fsd en el que quedarán registrados los ajustes que hayamos realizado en el Force-Sender. Para ello hay que ir a la pestaña *File/Save* de la barra de tareas.

3. Crear un archivo .nr:

Antes de crear el archivo .nr hay que configurar las señales del joystick y los efectos capturados por el Yoda. Esto se logra mediante las diferentes aplicaciones que se han comentado anteriormente en el apartado del Force-Profiler.

Ésta es la parte más complicada de la configuración puesto que el Force-Profiler dispone de muchísimas aplicaciones.

Además de los ajustes y acondicionamiento de las señales, se deben realizar una serie de configuraciones para conseguir un correcto funcionamiento del simulador. Para ello nos iremos a la barra de herramientas situada en la parte superior de la pantalla principal del Force-Profile y clicaremos en la opción *Interface*. Con ello se nos abrirá un desplegable que nos permitirá seleccionar el tipo de tarjeta de control a donde se enviarán las señales. En nuestro caso seleccionaremos la tarjeta USB Velleman K8055 (Conrad Elektronik).

Este ajuste es imprescindible para poder empezar con la simulación.

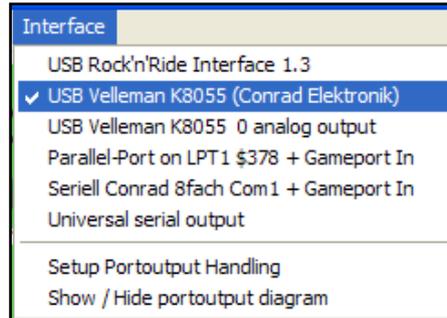


Figura 4.11: Selección de la tarjeta

Seguidamente, deberemos comprobar que aparece la dirección IP del ordenador que contiene el Force-Sender. Si la conexión entre los dos programas es correcta, aparecerán los efectos del Yoda en la ventana nº2 de Force-Profiler (ver apartado del Force-Profiler).

Con lo anterior resuelto ya podemos empezar con los ajustes del sistema. Para ello, deberemos seguir los siguientes pasos:

- Configurar la matriz del joystick (ventana 3 del Force-Profiler). En esta ventana simplemente seleccionaremos la dirección en la que queremos que se mueva el simulador al accionar el joystick. Es decir, si queremos que el simulador se mueva a la derecha cuando accionemos el mando hacia la derecha.
- Seleccionar los efectos procedentes del Yoda (ventana 2) y vincularlos a unos efectos en concreto tales como fuerza G, aceleración, etc. Una vez vinculados aparecerán en la ventana 4. Estos efectos pueden configurarse en función de las necesidades del sistema y se explican en el apartado del Force-Profiler.
- Configurar la matriz de control. Esto se consigue accediendo a la pestaña Interface/Setup Portoutput Handling
- La matriz de control nos permite configurar los bits de salida de la tarjeta y que a su vez abrirán los puertos de salida permitiendo acceder a los actuadores.

La configuración de la matriz es un procedimiento delicado y variará en función de las necesidades de cada sistema. A continuación se explican los elementos más destacados de la matriz.

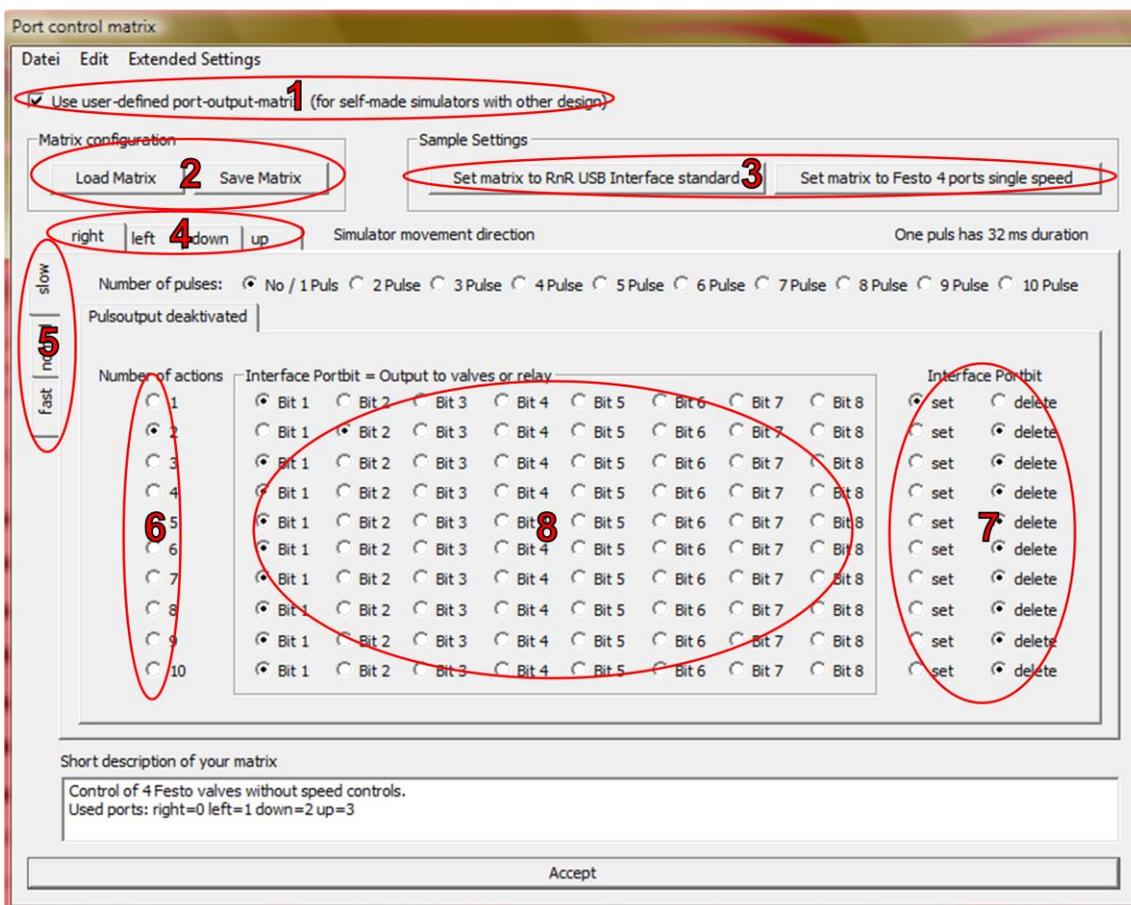


Figura 4.12: Matriz de configuración

1. Con esta pestaña conseguiremos que el programa utilice la matriz que nosotros creamos.
2. Nos permite cargar o guardar una matriz.
3. Estos dos botones activan unas matrices predeterminadas.
4. Mediante estas pestañas se selecciona entre los distintos ejes de movimiento.
5. Nos permite configurar las posibles velocidades de movimientos del sistema. Esto sólo es útil para sistemas neumáticos.
6. Aquí deberemos seleccionar el número de acciones que llevará a cabo en cada secuencia. Cada bit utilizado cuenta como una acción por lo que activar dos bits (activar o desactivar) contaría como 2 acciones.
7. Aquí se activan o desactivan los bits. Mediante el *set* los activamos y con *delete* los suprimimos.

8. Ésta es la matriz de salidas. Aquí seleccionaremos los bits que queremos que activen las salidas; hay que tener en cuenta que las salidas de la placa van del 0-7 por lo que el bit 1 del programa corresponderá a la salida 0 de la placa.

Por ejemplo, si queremos que se active la salida 0 de la placa que provocaría el movimiento de alabeo hacia la derecha, nos iremos a la pestaña *Right* y deberemos activar el bit 1 de la primera fila y seleccionarlo como *set*. Por otro lado, también se deberá seleccionar siempre el bit contrario o bit que activaría el opuesto en el eje (en este caso que haría el alabeo a izquierdas) y activarlo como *delete* para evitar que se produzcan contradicciones. De esta forma activaríamos el bit 1 como *set* y el bit 2 como *delete*.

Luego, para el alabeo a izquierdas que activaría las salida 1 de la placa, seleccionaremos la pestaña *Left* y activaremos el bit 2 como *set* y el bit 1 como *delete* (justo al contrario que en la derecha).

- Calibrar la señal de los potenciómetros. Para ello iremos a la pestaña *Interface/SetupPortoutputHandling/ExtendedSettings/CalibrationToolbox*. En esta ventana podremos compensar los movimientos del simulador y calibrar la posición de éste.
- Activar el botón *Start Simulator*. Al activar esta opción se pondrán en funcionamiento el simulador y se empezarán a enviar los datos a los actuadores.
- Finalmente, podemos guardar las configuraciones realizadas en un archivo *.nr* para poder cargar nuestra configuración siempre que queramos. Para guardar el archivo habrá que entrar en *Datei/Save as*.

4.2.4. Plugins

También existe otra manera de configurar efectos y es a través de plugins que vienen por defecto en el Force-sender. Si vamos a la opción "Physik-Plugin" observamos la existencia de varios plugin de diversos juegos. En nuestro caso debemos elegir el "MSFlightV2" y previamente copiar el archivo "FSUIPC.dll" desde la carpeta "X-Sim\other stuff\MicrosoftFS\FSUIPC-98-2000\" y pegarlo en "Microsoft Games\Flight Simulator 9\Modules\". En el juego aparecerá una opción llamada modules en la lista superior, esto indicará que se ha copiado correctamente. En el Force-Profiler aparecerán datos en las casillas desde la 21 a la 40. Ahora sólo tendremos que seleccionar un tipo de efecto para cada dato.

CAPÍTULO 5. AMBIENTALIZACIÓN

Desde que los pilotos tienen acceso a los simuladores para realizar sus prácticas y realizar horas de vuelo virtuales, es de sentido común deducir que el ahorro energético llevado a cabo por esta solución, es incomparable al gasto de carburante producido por un vuelo real.

Por otra parte también se podría utilizar para realizar pruebas con UAVs (vehículos aéreos no tripulados) y observar cómo se comportan. Se vuelve a ahorrar la energía del vuelo físico. Además se ahorra el tiempo de petición de permisos para poder volar los UAVs en una determinada zona. Téngase en cuenta, que el diseño de estos vehículos estaba limitado a usos militares en gran parte por el costo de poder hacerlos volar.

Con la elección de unos actuadores eléctricos se ha minimizado el ruido ambiente frente a los de tipo neumáticos o hidráulicos que hasta hace poco se utilizaban en plataformas dinámicas.

También obtenemos una componente social al encontrarse el simulador en la misma universidad. De esta manera, los estudiantes pueden acercarse a un sistema al que tenían acceso unos pocos privilegiados, ayudando así a su docencia. Incluso el público en general puede aproximarse a ver el simulador y observar sus dimensiones y posibilidades.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Empezamos con mucha ilusión sin conocer lo que nos íbamos a encontrar, un proyecto de este calibre apuntaba muy alto y era fácil encontrarse con más de un muro en el camino. Aunque no se han cumplido todas las expectativas sobre el simulador, el trabajo ha resultado ser tan gratificante como complicado hasta la etapa que se ha realizado.

Del simulador se esperaba que estuviera montado al completo pero topamos con diversas complicaciones en su estudio y práctica que dilató el tiempo en demasía. Por otro lado el tiempo burocrático en la universidad no es lo rápido que uno desearía, tiene un proceso que da muchos saltos hasta que llega la resolución.

En principio dependíamos de la instalación del actuador principal en el cual irían instalados los actuadores como vimos en el plano de AutoCAD, pero no era del todo necesario ya que se propuso hacer una plataforma provisional con un tubo que simularía el cilindro principal (En la actualidad se ha realizado el agujero por donde pasará el cilindro).

Por otro lado, se dedicó mucho tiempo a la hora de seleccionar los actuadores a utilizar, era un tema delicado por la seguridad que conllevaba su instalación y lo costoso que son estos elementos. Después de obtener algunos presupuestos el asunto se inclinó hacia los económicos Linak que nos aseguran una fuerza sobradamente superior a la necesaria aunque a costa de perder velocidad.

Pensar en las uniones fue un tema abstracto, teníamos que imaginarnos que movimientos, esfuerzos y límites tendría el simulador para encontrar un elemento que lo solucionara. Los de los actuadores eléctricos fueron relativamente fáciles, instalando cabezas articuladas para corregir los movimientos que el otro actuador forzaba, pero el que unía todo el simulador desde el centro de gravedad con el cilindro principal trajo más quebraderos de cabeza. No encontrábamos una solución perfecta y nos decantamos por sugerir dos elementos que podrían ser capaces de resolver el problema.

La panacea del asunto fue cuando encontramos el software X-Simulator. Nos animó el ver las posibilidades de dicho programa y además es de software libre, es decir, de adquisición y uso gratuitos. En un principio se pensó en utilizar PLCs lo que supondría horas y horas programando y un presupuesto bastante elevado. X-Simulator solucionó estos problemas pero presentó otros. La mayoría de información estaba en alemán y lo más necesario en inglés. Inicialmente tiene una complicada configuración superada a base de pruebas constantes realizadas en laboratorio. También surgían problemas de estabilidad con múltiples bloqueos tanto de X-Simulator como del Flight Simulator lo que retardaba el trabajo. Después sólo dependía de una tarjeta electrónica de control y algunos elementos eléctricos.

En definitiva, aunque no se haya llegado a ver montado el simulador íntegramente, se ha conseguido uno de los objetivos del proyecto, intentar que

fuera lo más económico posible. Con esto superado consideramos que dejamos una puerta abierta y con medio camino recorrido para que a través de otro proyecto acabemos de ver el simulador al completo.

BIBLIOGRAFÍA

Libros de consulta:

Introducción a la neumática, Antonio Guillén Salvador, Boixareu editores, Barcelona (1988).

Tesis/Proyectos:

“Estudio Previo de la Instalación de un Sistema Dinámico para el Simulador de Vuelo de la Escuela Cessna”, AeroUPC, Castelldefels, 12 de enero de 2009.

“Diseny d'una plataforma dinàmica per a un simulador de vol”, Albert Fajula Catlla, Castelldefels, 10 de marzo de 2006. EPSC

“Cabina virtual per simuladors de vol”, Juan Tarrago Ventura, Castelldefels, 1 de febrero de 2006, EPSC.

“Posta en marxa del simulador de la EPSC”, Osvaldo Fidel Betancourt Castellanos, Castelldefels, 7 de junio de 2007, EPSC.

“Implementación de sistema de mando del simulador CESNA”, Sergio Ros Salvador, Castelldefels, 8 de junio de 2009, EPSC.

Documentos:

“Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual for Cessna 152”, abridged for KCN Aero Club, January 2, 2003

“VM110 Users Manual”, Velleman Components nv - HVM110G – 2004 – ED1 (Rev. 2)

“Tarjeta interface USB de experimentación”, Velleman Components nv – H8055IP – 2003 – ED1 (Rev. 3.0)

“Aplicaciones de simulación y control con la tarjeta K8055 de Velleman y MyOpenlab”, José Manuel Ruiz Gutiérrez (j.m.r.gutierrez@gmail.com)

URLs consultadas:

[1] <http://www.x-simulator.de> [Consulta: Mayo-Julio 2009]

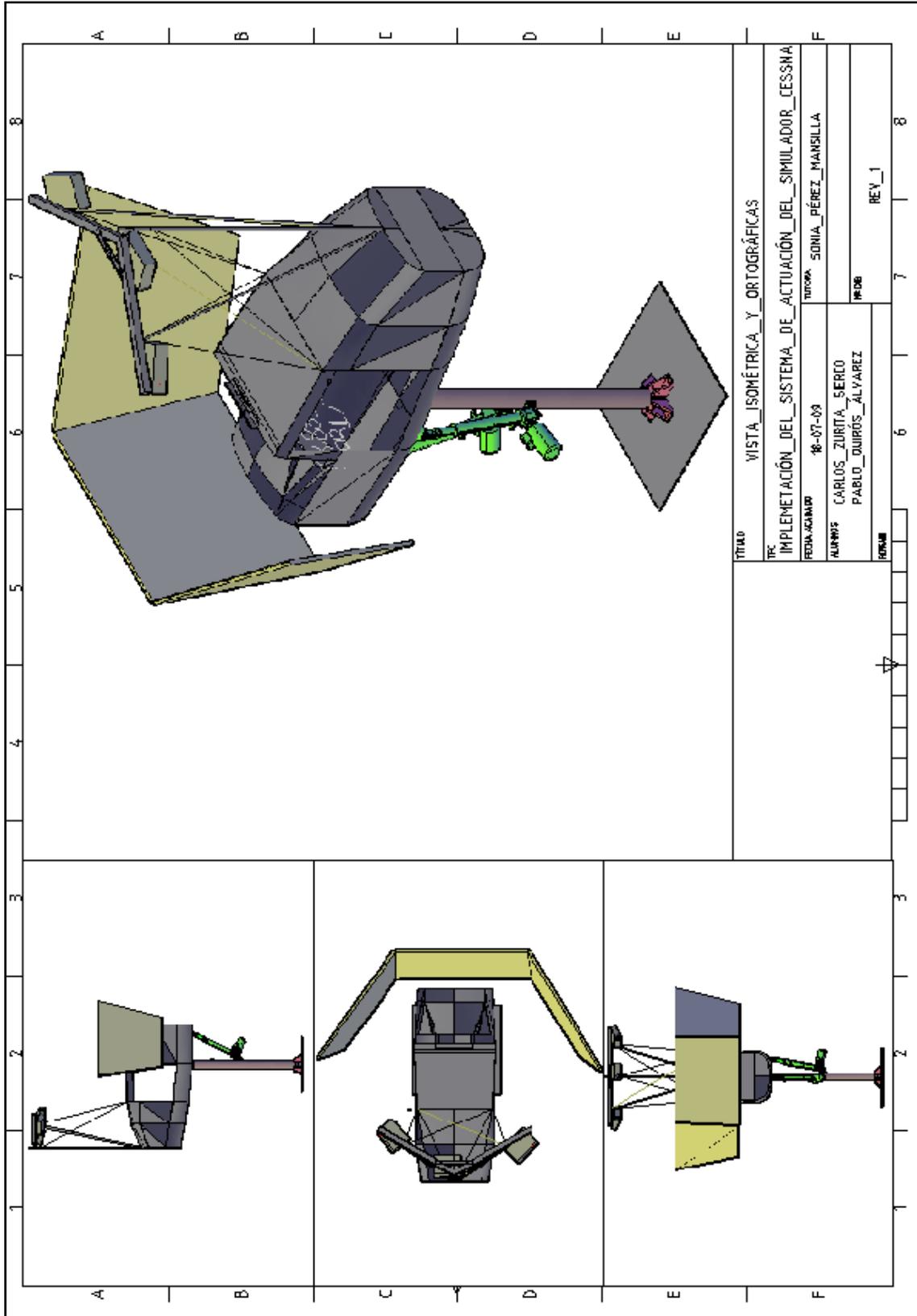
[2] <http://www.velleman.be> [Consulta: Mayo-Julio 2009]

[3] <http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=11737> [Consulta: Mayo

- 2009]
- [4] <http://simtxus.googlepages.com/home> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [5] <http://igus.kimweb.de/index.asp> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_simulator [Consulta: Mayo 2009]
 - [7] <http://www.inmotionsimulation.com/> [Consulta: Mayo 2009]
 - [8] <http://www.simcockpits.com/links.htm> [Consulta: Mayo 2009]
 - [9] <http://www.force-dynamics.com/index.php> [Consulta: Mayo 2009]
 - [10] <http://thalamus.wustl.edu/course/audvest.html> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [11] <http://www.mecmod.com/index.html> [Consulta: Mayo 2009]
 - [12] <http://www.directindustry.es/> [Consulta: Mayo 2009]
 - [13] <http://www.skf.com/portal/skf/home?lang=es&site=COM> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [14] <http://www.cabezas-articulacion.com/InfoTecnica.htm> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [15] <http://www.epidor.com/documentos/pdf> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [16] <http://www.rollix.com/324-3525-1542-1598-1613/p-font-face-Verdana-size-2-b-Determinacion-de-cargas-b-font-p.htm> [Consulta: Junio-Julio 2009]
 - [17] <http://www.lesol.es/> [Consulta: Junio-Julio 2009]

ANEXOS

Anexo A1. Planos en AutoCAD





TECNOPOWER S.L.
TRANSMISION Y MOVIMIENTO LINEAL

Polígono Industrial Moli dels Frares, Calle C nº 10
08520 SANTI VICENÇ DEL HORTS - BARCELONA
Teléfono : 93 656 80 50 - Fax : 93 656 80 26
E-mail: tp@tecnopower.es - Web: www.tecnopower.es

OFERTA

Numero	Fecha	Cliente
31566	23/03/2009	10769

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE CASTELLON
AV. CANAL OLIMPIC S/N
08860 CASTELLDEFELS
BARCELONA

Tel: 619404982 Fax:

A la atención: SR. PABLO QUIRÓS

A continuación les indicamos nuestro mejor precio y plazo de entrega, para el suministro del siguiente material :

De : MATAS

Nº Pag: 1

Código	Descripción	Cant.	Precio Dto.	Total
ACL	ACTUADORES LINEALES ALI5 F/0500/MOO/CC-24- CARRERA 500 MM CARGA A DESPLAZAR 6000 N VELOCIDAD 50 MM/SEG MOTOR DE CC DE 900 W CON FRENO FINALES DE CARRERA INCLUIDOS TERMINACIONES A 4 PLAZO DE ENTREGA 5 SEMANAS	3	1.510,00	4.530,00

	Total Oferta
Portes y embalajes a su cargo	(IVA NO INCLUIDO)
Forma de Pago: CONTADO 1ª OPERACION-CONTADO	4.530,00
Validez de la Oferta: 30 Dias	

Estamos a su disposición, para cualquier duda o aclaración que puedan precisar.
 Atentamente, TECNOPOWER,S.L.

Técnica Lineal
Transmisión Mecánica
Electrónica

www.tecnopower.es

Figura A2.2: Presupuesto actuadores Tecnopower (1)

 TECNOPOWER S.L. TRANSMISION Y MOVIMIENTO LINEAL		Polígono Industrial Moli dels Frares, Calle C nº 10 08820 SANI VICENÇ DEL HORTS - BARCELONA Teléfono : 93 656 80 50 - Fax : 93 656 80 26 E-mail: tp@tecnopower.es - Web: www.tecnopower.es		
OFERTA		ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE CASTELLON AV. CANAL OLIMPIC S/N 08860 CASTELLDEFELS BARCELONA		
Numero	Fecha	Cliente		
31584	24/03/2009	10769		
Tel: 619404982		Fax:		
A la atención: SR.PABLO QUIRÓS		De : RUBEN	Nº Pag: 1	
A continuación les indicamos nuestro mejor precio y plazo de entrega, para el suministro del siguiente material :				
Código	Descripción	Cant.	Precio Dto.	Total
ACL	ACTUADOR LINEAL ALI-5 ALI-5-F/0500/M02/CA-400-50-T-71-2-0,55 FECC+LS/M02FC2/FC1/AR0/P1/A4/T CARRERA 500 mm FUERZA MÁXIMA 6000N VELOCIDAD 50 mm/s Motor CA con Freno y Finales de Carrera integrados El freno está siempre a 180º de donde está el motor este tendrá que ser alimentado separado con 24 VC	3	1.383,33 25	3.112,49
Portes y embalajes a su cargo Forma de Pago: CONTADO 1ª OPERACION-CONTADO Validez de la Oferta: 30 Dias		(IVA NO INCLUIDO)	Total Oferta 3.112,49	
Estamos a su disposición, para cualquier duda o aclaración que puedan precisar. Atentamente,				TECNOPOWER,S.L.
Técnica Lineal		Transmisión Mecánica		Electrónica
www.tecnopower.es				

Figura A2.3: Presupuesto actuadores Tecnopower (2)

PABLO QUIROS

OFERTA Nº 37.385/JCR

PALLEJÀ

Hola Pau,

T'he preparat dues propostes d'actuadors de la marca EXLAR, pel simulador de la UPC.

La primera és amb el GSM30, que pot proporcionar una força nominal de 2664 N a 150 mm/seg.

La segona és amb el GSM40, que pot proporcionar una força nominal de 4440 N a 150 mm/seg.

Aquest tipus d'actuadors incorporen internament un servomotor brushless amb resolver.

Són de mecànica reversible. Per tant, no poden sostenir una carga vertical quan estan desconnectats.

No tenen finals de carrera elèctrics. En poden dur, però aquest accessori és molt car.

La nostra proposta és utilitzar els límits de cursa per software del drivers Compax 3 i, per buscar el punt zero, fer-ho per la modalitat de detecció d'augment de corrent al arribar al límit mecànic de l'actuador.

La cotització és la següent:

3 unitats: Actuador GSM30-1802-MCA-PC7-258

Cursa màxima: 455 mm

2.940,00 net/unitat

3 unitats: Actuador GSM40-1802-MCAMPC7-158

Cursa màxima: 455 mm

4.385,00 net/unitat

3 unitats: Convertidor Compax C3S038V4F10I12T11M00

Posicionador a través de comunicació RS232/485

1.341,07 net/unitat

Nota: Si la comunicació fos a través de CANopen o DeviceNet, hi hauria un sobrepreu de 116,80 Euros.

Si la comunicació fos a través de Profibus, hi hauria un sobrepreu de 194,67 Euros.

Creiem que el més adequat per aquesta aplicació serà CANopen, ja que permet fer sincronitzacions a una elevada velocitat de transmissió de cotes.

3 unitats: Joc de regletes ZBH02/02 74,19 net/unitat

3 unitats: Joc de cables robòtics de 5 metres 478,47 net/joc

1 unitat: Cable de programació SSK01/02 86,30 net/unitat

IVA: 16%, no inclòs

Ports: inclosos

Plaç d'entrega: 8 setmanes

Atentes salutacions,

Jaume Cuadras | jcuadras@mecmod.com

Técnico de Aplicaciones | Técnico d'Aplicacions | Applications Engineer

Aviso: Este correo electrónico, y en su caso, cualquier documento anexo al mismo, se dirige única y exclusivamente al destinatario o destinatarios indicados y puede contener información de carácter confidencial. En caso de haber recibido este correo electrónico por error, se ruega la notificación inmediata a su remitente mediante el reenvío a su dirección electrónica, así como la eliminación del mensaje original. No está autorizado ningún otro uso de este correo electrónico por el receptor erróneo del mismo.

Avís: Aquest correu electrònic, i en el seu cas, qualsevol document annex al mateix, es dirigeix única i exclusivament al destinatari o destinataris indicats i pot contenir informació de caràcter confidencial. En cas d'haver rebut aquest correu electrònic per error, es prega la notificació immediata al seu remitent mitjançant el reenviament a la seva adreça electrònica, així com l'eliminació del missatge original. No està autoritzat cap altre ús d'aquest correu electrònic pel receptor erroni del mateix.

Warning: This electronic message information is confidential, personal and not transferable and is only mailed to the above indicated addresse(s). If you read this message by mistake, we inform you that its complete or partly disclosure, use or distribution is forbidden by law. Moreover, we beg you to immediately notify it to the person who sent it as well as to erase the original message and its attached files, without reading or recording it.

© 2005 Mecánica Moderna S.A. | CIF A08341851



C/Àlaba, 60 08005 Barcelona (Spain)

(+34) 93 300 03 57 (+34) 93 309 44 79

mecmod@mecmod.com www.mecmod.com

Figura A2.4: Presupuesto actuadores GSM

DESCRIPCION	UNIDADES	PRECIO	% DTO.	PRECIO DTO.	TOTAL
Tarjeta Interface USB VM110	1,00	65,74		0,00	65,74
Sabana de Acero 2000x1000x5 mm	1,00	48,23		0,00	48,23
Tubo acero (6000 mm) 120 mm diámetro	1,00	80,00		0,00	80,00
				0,00	0,00
				TOTAL BRUTO	193,97
				I.V.A. %	16%
					31,04
TOTAL PRESUPUESTO.....					225,01 €

Anexo A3. Catálogos

PRODUCT DATA SHEET

ACTUATOR LA36

Features:

- 12, 24 or 36 V DC Permanent magnetic motor with resetable thermal overload protection
- Thrust from 500 N - 10.000 N depending on gear ratio and spindle pitch
- 10.000 N actuator cannot be ordered without electrical endstop
- 10.000 N actuator can be ordered in push now and pull from 01-09-207
- Max. speed up to 160 mm/sec. depending on load and spindle pitch
- Heavy duty aluminium housing for harsh conditions
- Highly efficient acme thread spindle
- Protection class: IP66 for outdoor use (dynamic), furthermore the actuator can be washed down by a high pressure cleaner (IP69K - static)
- Hand crank for manual operation
- Mechanical overload protection through integrated slip clutch (adjusted to 1.2 - 1.5 times max. load)
- Integrated brake, high self-lock ability
- End play - 2 mm max.
- Non rotating piston rod eye (turnable 0-90 degrees)
- Back fixture turnable in steps of 30 degrees

Options:

- Built in end stop switches
- Adjustable magnetic sensors for end stop signals (code no. 1017031)
- Hall effect sensor with A/B -signal
- Potentiometer full scale at 333 mm stroke with 8 mm pitch, 500 mm stroke with 12 mm pitch and 833 mm with 20 mm pitch
- Different back fixtures and piston rod eyes
- Exchangeable cables in different lengths

Usage:

- Duty cycle at max. load 20% (up to 600 mm stroke, for strokes between 601-999 mm the max. duty cycle is 15%) at ambient temperature 25°C
- Ambient operating temperature -30°C to +65°C full performance from 5 - 40°C




LA36 is ideal for use in harsh conditions. It is our most solid actuator based on the philosophy that it must be able to operate under extreme conditions. The actuator is ideal for mobile "off-highway" equipment such as agricultural, forestry and construction machines.



WE IMPROVE YOUR LIFE

Figura A3.1: Actuadores Linak

Technical specifications

LA36 with 12V motor

Order number	Push max. (N)	Pull max. (N)	*Self-lock min. (N) Push	*Self-lock min. (N) Pull	Pitch (mm/spindle rev.)	Typical speed (mm/s) Load		Standard stroke lengths (mm) In steps of 50 mm	Typical amp. (A) 12 V	
						no	full		No load	Full load
362CXXXXXXXXXX	10000	10000	13000	13000	8	11	7	100 - 999*	4.5	22
363AXXXXXXXXXX	2600	2600	3400	3400	12	40.7	30.6	100 - 999	4.5	21
363BXXXXXXXXXX	4500	4500	5800	5800	12	23.1	17.8	100 - 999*	4.5	20.7
363CXXXXXXXXXX	6800	6800	8800	8800	12	15.5	11.9	100 - 999*	4.5	21
365AXXXXXXXXXX	1700	1700	2200	2200	20	68	52	100 - 999	4.5	22
365FXXXXXXXXXX	500**	500**	1000	1000	20	160	135	100 - 999	4.5	20

LA36 with 24V motor

Order number	Push max. (N)	Pull max. (N)	*Self-lock min. (N) Push	*Self-lock min. (N) Pull	Pitch (mm/spindle rev.)	Typical speed (mm/s) Load		Standard stroke lengths (mm) In steps of 50 mm	Typical amp. (A) 24 V	
						no	full		No load	Full load
362CXXXXXXXXXX	10000	10000	13000	13000	8	11	7	100 - 999*	Not tested	
363AXXXXXXXXXX	2600	2600	3400	3400	12	41	32.3	100 - 999	2.4	10.4
363BXXXXXXXXXX	4500	4500	5800	5800	12	23.3	18.9	100 - 999*	2.4	10.2
363CXXXXXXXXXX	6800	6800	8800	8800	12	15.7	12.7	100 - 999*	2.4	10.3
365AXXXXXXXXXX	1700	1700	2200	2200	20	68	52	100 - 999	2.4	10.3
365FXXXXXXXXXX	500**	500**	1000	1000	20	160	135	100 - 999	2.4	10.0

LA36 with 36V motor

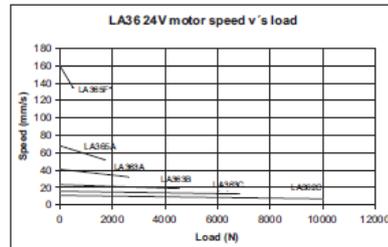
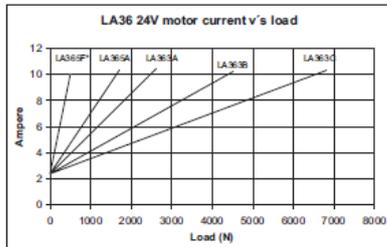
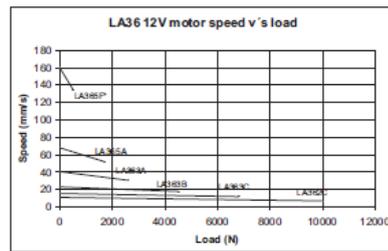
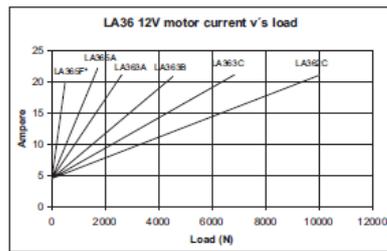
Order number	Push max. (N)	Pull max. (N)	*Self-lock min. (N) Push	*Self-lock min. (N) Pull	Pitch (mm/spindle rev.)	Typical speed (mm/s) Load		Standard stroke lengths (mm) In steps of 50 mm	Typical amp. (A) 36 V	
						no	full		No load	Full load
362CXXXXXXXXXX	10000	10000	13000	13000	8	11	7	100 - 999*	Not tested	
363AXXXXXXXXXX	2600	2600	3400	3400	12	41	33.5	100 - 999	2.0	8.0
363BXXXXXXXXXX	4500	4500	5800	5800	12	23.3	19.1	100 - 999*	2.0	8.0
363CXXXXXXXXXX	6800	6800	8800	8800	12	15.7	12.8	100 - 999*	2.0	8.0
365AXXXXXXXXXX	1700	1700	2200	2200	20	68	52	100 - 999	2.0	8.0
365FXXXXXXXXXX	500**	500**	1000	1000	20	160	135	100 - 999	2.0	8.0

* There are limitations on the stroke length if you need full load, please see " LA36 Load v. Stroke Length"

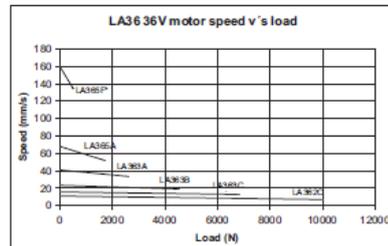
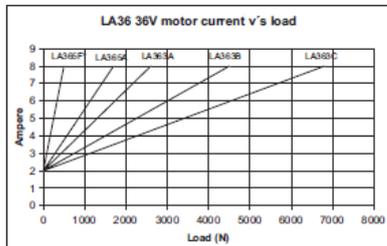
** Note: Fully loaded actuators need a softstart in order to prevent the clutch slipping at start (see curves).

Figura A3.2: Especificaciones I. Actuadores Linak

Speed and current curves:



10.000N not tested



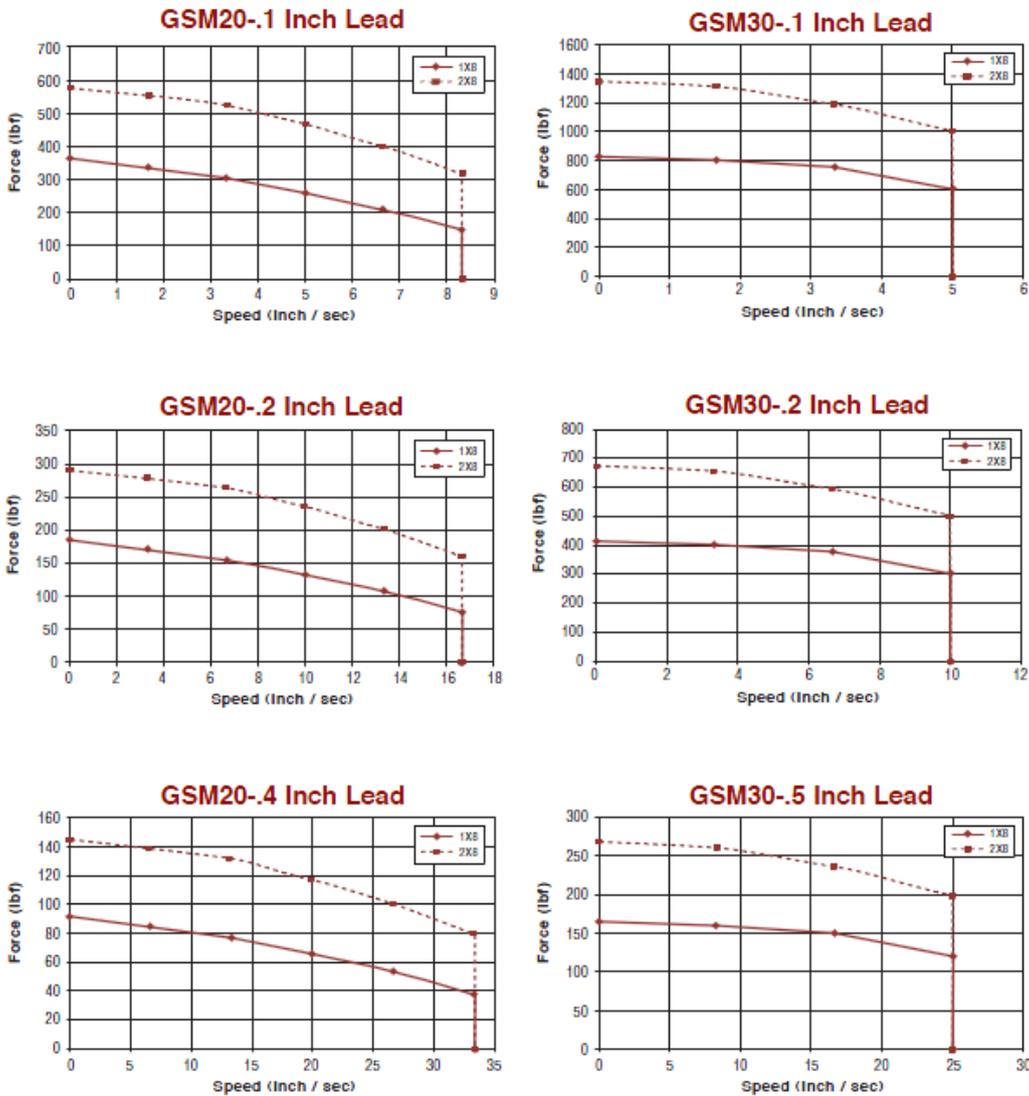
10.000N not tested

* Speed and current based on nominal power supply of 12, 24, 36VDC.

Figura A3.3: Especificaciones II. Actuadores Linak

GSM Series Performance and Life Curves

The below speed vs. force curves represent approximate continuous thrust ratings at indicated linear speed. Different types of servo amplifiers will offer varying motor torque and thus actuator thrust. These values are at constant velocity and do not account for motor torque required for acceleration.



Test data derived using NEMA recommended aluminum heatsink 10" x 10" x 1/4" on GSM20 and 10" x 10" x 3/8" on GSM30

Figura A3.4: Actuadores GSM

Actuadores Lineales



ECV1

Fuerza máx: 7.500 N
 Velocidad máx: 80 mm/s
 Carrera: hasta 1000 mm
 Alimentación: 220/380 Vac / 12 - 24 - 36 Vdc
 Accesorios: Final de carrera magnético, Final de carrera Integrado,
 Potenciometro rotativo, Encoder, Limitador de par, Tuerca de seguridad.



9000S

Fuerza máx: 9.000 N
 Velocidad máx: 60 mm/s
 Carrera: hasta 1000 mm
 Alimentación: 220/380 Vac / 12 - 24 - 36 Vdc
 Accesorios: Final de carrera magnético, Final de carrera Integrado,
 Potenciometro rotativo, Encoder, Tuerca de seguridad.



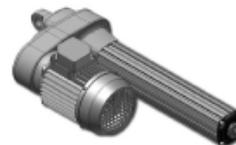
ALI5

Fuerza máx: 15 kN
 Velocidad máx: 100 mm/s
 Carrera: hasta 1400 mm
 Alimentación: 220/380 Vac - 90 Vdc
 Accesorios: Final de carrera mecánico, Final de carrera magnético,
 Encoder, Feno de Seguridad, Tuerca de Seguridad.



ALI5-P

Fuerza máx: 15 kN
 Velocidad máx: 100 mm/s
 Carrera: hasta 1400 mm
 Alimentación: 220/380 Vac - 90 Vdc
 Accesorios: Final de carrera mecánico, Final de carrera magnético,
 Encoder, Feno de Seguridad, Tuerca de Seguridad.



ALI5A

Fuerza máx: 15 kN
 Velocidad máx: 100 mm/s
 Carrera: hasta 1400 mm
 Alimentación: 220/380 Vac - 90 Vdc
 Accesorios: Final de carrera mecánico, Final de carrera magnético,
 Encoder, Feno de Seguridad, Tuerca de Seguridad.



Figura A3.5: Actuadores Tecnopower