

# AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILLA CON ACCIONAMIENTO ELECTRICO Y CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA A LA CAMA

Rafael Morales, Jonathan Becedas, Vicente Feliu  
Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad Castilla-La Mancha  
E.T.S de Ingenieros Industriales de Ciudad Real, Avda. Camilo José Cela s/n  
[rafael.morales@uclm.es](mailto:rafael.morales@uclm.es), [jonathan.becedas@uclm.es](mailto:jonathan.becedas@uclm.es), [vicente.feliu@uclm.es](mailto:vicente.feliu@uclm.es)

## Resumen

*Se está desarrollando un prototipo de silla para minusválidos que incorpore una serie de funciones de forma mecanizada y automatizada. Estas funciones permitirán dotar de mayor autonomía al minusválido y permitirán simplificar el trabajo de los cuidadores o personal de servicio en los hospitales. Las funciones han sido controladas mediante una interfase hombre-máquina que variará en función del tipo de minusvalía.*

**Palabras Clave:** Silla de ruedas automatizada, equipamiento para minusválidos.

## 1 INTRODUCCIÓN

El prototipo de silla de ruedas en el que se está trabajando pretende aportar nuevas capacidades para los minusválidos. En concreto, las capacidades que la silla aporta son:

- Desplazamiento autopropulsado
- Control de altura
- Control de inclinación hacia atrás
- Transformación en cama
- Transformación en bipedestación
- Transferencia silla-cama/cama-silla

Es necesario indicar que no existe ninguna silla en la actualidad que incorpore todas estas funciones simultáneamente de forma manual, ni mucho menos de forma automatizada. Nuestro reto consiste en desarrollar mecanismos y sistemas de control complejos y originales que permitan realizar las funciones de la forma más eficiente posible. Un requisito de diseño que impondremos será un desarrollo modular.

Todas estas funciones que se están desarrollando, aumentarán la autonomía de los minusválidos en su vida cotidiana, y simplificará el trabajo de los cuidadores en residencias y hospitales. Este tipo de

mejoras de calidad de vida afectan a un número muy elevado de personas. En España viven aproximadamente 2.000.000 discapacitados que necesitan este tipo de ayuda, con lo que sólo en España podemos ver que hay una demanda importante.

Por último, algunas de las capacidades con las que se dotará a la silla de ruedas vienen motivadas por factores médicos. Ejemplos de ello son la función de bipedestación se consigue mejorar la función respiratoria del enfermo o la función de inclinación hacia atrás se consigue la prevención de úlceras.

## 2 FUNCIONES DE LA SILLA

En la siguiente figura podemos ver el prototipo de silla que se ha construido:



Figura 1: Prototipo de silla de ruedas

A continuación, se expondrá detalladamente cada una de las funciones con las que cuenta el prototipo.

### 2.1 DESPLAZAMIENTO AUTOPROPULSADO

Gracias a esta función, el paciente adquiere mayor grado de autonomía al poder moverse libremente subido en la silla. La dirección y el sentido de movimiento de la silla es comandado mediante un

joystick que envía las órdenes de movimiento a los motores de las ruedas motrices, los cuales realizan el movimiento.

## 2.2 CONTROL DE ALTURA

Esta función es necesaria para dotar al prototipo de mayor flexibilidad, ya que aumenta el rango de funcionamiento de muchas de las otras funciones. Por ejemplo, dicha función se utiliza para realizar con mayor facilidad y eficacia el traslado del enfermo a la cama, ya que, gracias al control de altura, podemos adaptar la altura de la silla a la de la cama en la que se encuentre el paciente.

Dentro de nuestro prototipo, esta función es realizada únicamente mediante el movimiento de un actuador lineal situado en posición vertical.

## 2.3 CONTROL DE INCLINACIÓN HACIA ATRÁS

Con esta función se consigue una mayor relajación de la parte inferior del cuerpo del paciente y prevención de úlceras, ya que, al inclinarse la silla un cierto ángulo, parte del peso total que recaía sobre la parte inferior del cuerpo pasa a ser soportado por la espalda del paciente.

En la realización práctica de esta función en nuestro prototipo, la parte correspondiente al asiento del paciente, es en realidad una plataforma biarticulada.

Cuando esta función es seleccionada, el mecanismo desactiva dos de los solenoides, lo que dota a la silla de la capacidad de poder realizar la función de inclinación. El grado de inclinación deseado se consigue gracias al movimiento de un actuador lineal situado en dirección horizontal. Esta explicación se hace más clara observando la figura 2.

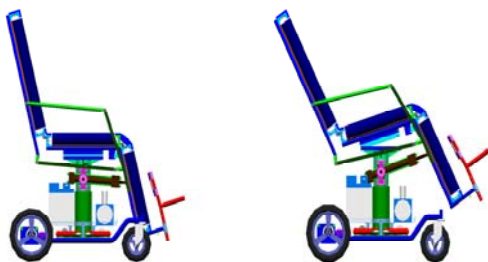


Figura 2: Inclinación de la silla

## 2.4 TRANSFORMACIÓN EN CAMA

Con esta función se consigue situar la silla en una posición de plena horizontalidad, facilitando una posterior transferencia a la cama si así fuera requerida.

En la realización práctica en nuestro prototipo, cuando esta función es seleccionada, los solenoides encargados de fijar las posiciones finales de la silla son desactivados. Comienza el movimiento del actuador lineal situado en posición horizontal, poniendo la silla de ruedas en posición totalmente horizontal. En la Figura 3 podemos ver el resultado.

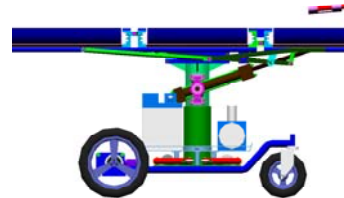


Figura 3: Transformación en cama

## 2.5 TRANSFORMACIÓN EN BIPEDESTACIÓN

Mediante esta función se consigue situar al paciente en posición vertical. Esta función es importante para prevenir la osteoporosis, problemas vasculares, respiratorios, es decir, prevenir complicaciones relacionadas con la falta de movilidad.

En nuestro prototipo, para conseguir poner a nuestro paciente verticalmente, previamente, debemos convertir la silla en cama. A continuación, comienza el cilindro vertical a desplegarse hasta su final de carrera superior, finalizando la transformación. El resultado se puede ver en la Figura 4.



Figura 4: Bipedestación

## 2.6 TRANSFERENCIA SILLA-CAMA/CAMA-SILLA

Este proceso, en la actualidad, es un proceso complicado que requiere bastante esfuerzo por parte de la persona que asista en estas operaciones. Con la incorporación de esta función a la silla de ruedas, se logra el traslado del paciente de la cama a la silla o de la silla a la cama reduciendo considerablemente los requerimientos físicos del personal que actualmente realiza estas tareas.

En el prototipo, partimos de la posición en cama. Mediante un conjunto formado por dos cremalleras

dentadas superior e inferior y cuatro embragues electromagnéticos, se logra el despliegue/repliegue de las bandejas de la silla, logrando el posicionamiento del paciente a la cama o la recogida del paciente de la cama de una forma suave. En la Figura 5 podemos ver un esquema del mecanismo de transferencia silla-cama y en la Figura 6 podemos ver un ejemplo del despliegue de la silla.

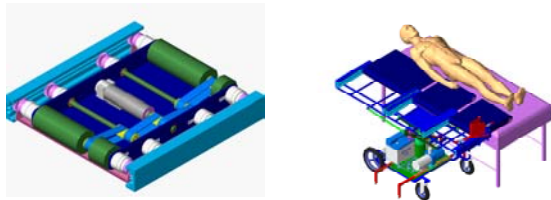


Figura 5: Sistema de transferencia silla-cama y viceversa. Figura 6: Transferencia plataformas correderas.

### 3 AUTOMATIZACIÓN

El diseño de la electrónica y el control se ha realizado con el fin de conseguir la automatización de los siguientes objetivos:

- Configuraciones y movimientos de la silla (control de altura, bipedestación, transformación en cama y inclinación)
- Sistema de transferencia.

#### 3.1 SISTEMA DE CONTROL

El control de toda la silla se está realizando mediante un microprocesador. En concreto, se trata de un PC-104 serie PCM-3350 cuyas características son:

- Procesador 300 MHz, 16KB Cache, 64 MB SDRAM.
- 2 RS232, 1 LPT, 2 USB, Ethernet

Para comunicar dicho procesador con los componentes electromecánicos de la silla de ruedas se le ha instalado una tarjeta de E/S. En concreto, se ha instalado una tarjeta GPIO-104 cuyas características más generales se muestran a continuación:

- Chip MAX197 DAS: proporciona 8 canales de entrada analógicos de 12 bits programables en los rangos de entrada  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $+5V$ ,  $+10V$ . Los canales de entrada funcionan con tensión bipolar (dos pines por canal, positivo y negativo).
- 2 Chips AD7237 : Proporcionan cuatro canales de salidas analógicas de 12 bits. Cada canal tiene un interruptor que permite

seleccionar entre los rangos de salida:  $\pm 5V$ ,  $+5V$ ,  $10V$ . Los canales son de tensión unipolar (un único pin por canal).

- Chip 82C55: proporciona 24 canales digitales de E/S configurables a través de tres puertos de 8 bits. El funcionamiento es con tensión unipolar. Los niveles de tensión con los que trabajaremos en estos canales serán TTL.

El diagrama de bloques del conjunto se muestra a continuación:

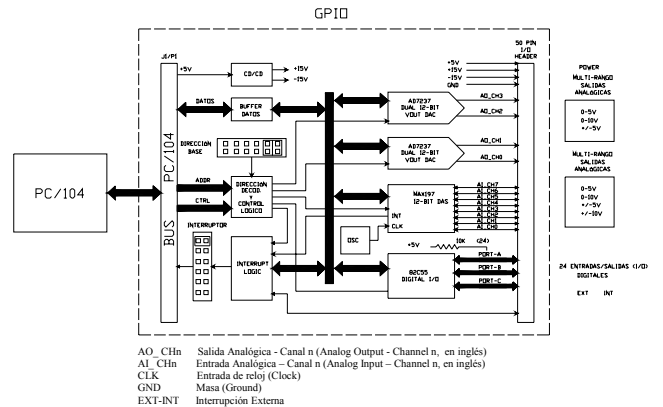


Figura 7: Diagrama de bloques del sistema de control

El esquema de distribución de los pines en la tarjeta de entradas salidas es el siguiente:

+5V	PUERTO C	PUERTO B	PUERTO A	-15 AGND	AO	AGND																		
49	47	45	43	41	39	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1
50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DGND	PUERTO C	PUERTO B	PUERTO A	E/I-15	AO	AI																		

Figura 8: Distribución de pines en tarjeta E/S

Para automatizar la silla, únicamente se utilizará la parte de la tarjeta correspondiente a E/S digitales. En concreto, se configurarán los puertos A y B como entradas digitales y el puerto C como salidas digitales.

Las señales de entrada digitales que llegarán a nuestro computador vendrán de dos partes diferentes. Por un lado, se tendrán las señales procedentes de los finales de carrera de los motores y, por otro lado, las señales introducidas por el usuario para poner la silla en las diferentes configuraciones. En total, de las 24 posibles E/S digitales se utilizarán 16 como entradas procedentes de nuestro sistema.

Las salidas digitales se utilizarán para la activación o desactivación de los motores, solenoides y embragues electromagnéticos.

En el diseño de nuestro prototipo, hubo que ampliar el número de salidas digitales, debido a que no eran suficientes para controlar la silla. Para paliar este problema, se utilizó un demultiplexor con el fin de aumentar el número de salidas digitales.

El esquema de conexionado final quedó de la siguiente forma:

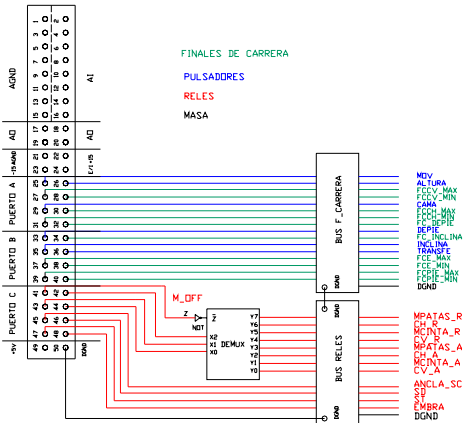


Figura 9: Conexionado externo a la tarjeta de E/S

### 3.2 ADAPTACIÓN DE LAS SALIDAS DIGITALES

Las salidas digitales de la tarjeta tienen una tensión de 5V y pueden aportar una corriente máxima de 2.5 mA. Si queremos controlar con estas salidas los componentes electromecánicos (motores, embragues, solenoides, etc) necesitaremos una etapa intermedia de potencia que aporte a estos componentes los requerimientos de funcionamiento necesarios.

El circuito de adaptación que se utilizará estará compuesto por una etapa de control y por una etapa de potencia. El circuito de control, se encargará de dar alimentación a la etapa de potencia.

El circuito de control estará formado por un transistor cuyo funcionamiento se diseñará para que trabaje únicamente en los estados de corte y saturación.

Para la etapa de potencia, se ha utilizado en este primer prototipo un relé, ya que, además de ser un esquema muy simple, separa eléctricamente la etapa de control de la de potencia (mayor seguridad a la hora de realizar las pruebas).

En la figura 10 podemos ver el esquema del circuito. El diodo led se ha puesto con el fin de indicar cuando

actúa una entrada de control determinada y la resistencia en serie se ha puesto para limitar la corriente que pasará a través del diodo. La bobina y la resistencia en serie es el relé y, por último, el diodo en antiparalelo  $D_p$ , se ha puesto con el fin de proteger al transistor de control en las conmutaciones del relé.

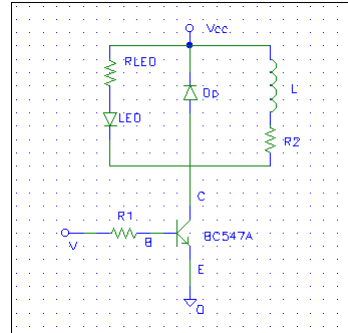


Figura 10: Circuito de control mediante relé

### 3.3 CONEXIÓN DE MOTORES, SOLENOIDES Y EMBRAGUES

Para el circuito de conexión de los motores se construirá un inversor mediante relés bipolares, de tal forma que cuando se activa uno de los relés, el motor gira en un sentido y cuando se activa el otro relé, el motor gira en sentido contrario. El esquema de conexión es el siguiente:

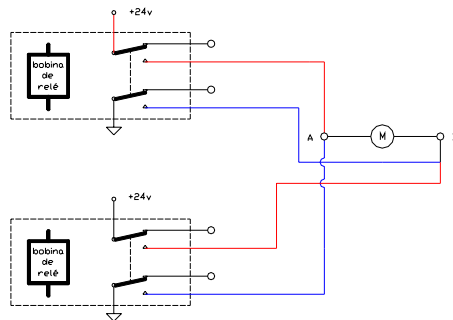


Figura 11: Esquema de conexión del motor

Para el circuito de conexión de los solenoides, necesitamos que se activen cuando el relé entra en funcionamiento y que se desactiven cuando el relé deja de ser alimentado. El esquema de conexión es el siguiente:

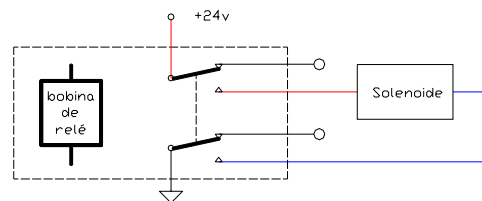


Figura 12: Esquema de conexión de los solenoides

Finalmente, para realizar la conexión de los embragues, necesitamos que cuando los embragues superiores se activen, los inferiores se desactiven y viceversa. El esquema de conexión es el siguiente:

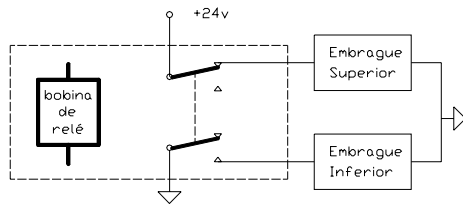


Figura 13: Esquema de conexión de los embragues

### 3.4 ADAPTACIÓN DE ENTRADAS DIGITALES

Necesitamos adaptar las señales de los finales de carrera y de los pulsadores procedentes de la interfase hombre-máquina con la tarjeta de adquisición. Para conseguirlo, únicamente necesitaremos un divisor de tensión. El esquema obtenido es el siguiente:

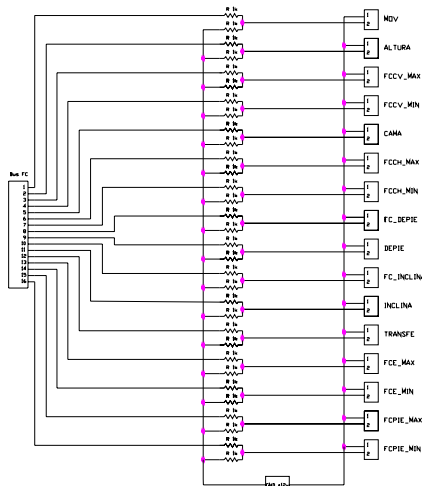


Figura 14: Circuito adaptador de entradas digitales

## 4 INTERFASE HOMBRE-MÁQUINA

La interfase hombre-máquina, se ha realizado mediante un teclado formado por pulsadores estándar. El funcionamiento del teclado, acorde a las necesidades de la silla, se ha llevado a cabo mediante un PIC 16F877. El esquema del teclado se muestra en la figura 15:

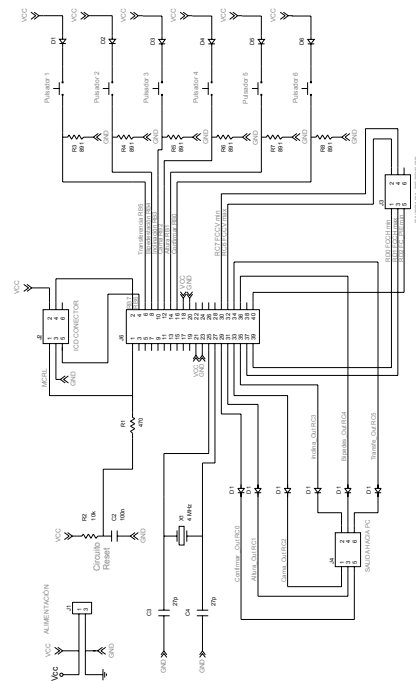


Figura 15: Circuito interfase hombre-máquina

## 5 SOFTWARE

El sistema operativo sobre el cuál funcionará todo el sistema será QNX 6.1. Dicho sistema se caracteriza por ser un sistema en tiempo real de gran robustez y fiabilidad. Por otro lado, toda la programación llevada a cabo para automatizar el sistema ha sido realizada mediante lenguaje ANSI C.

El comportamiento del prototipo, básicamente, puede verse en el siguiente diagrama de bloques:

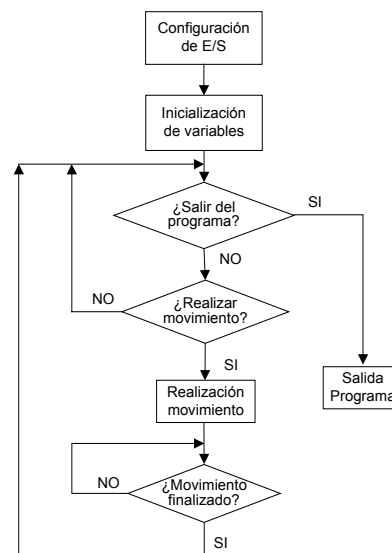


Figura 15: Esquema básico del software de funcionamiento del prototipo.

Para finalizar, comentar que en la programación del teclado del prototipo, se ha programado el microcontrolador PIC 16F877 que gobierna todo el funcionamiento en lenguaje MPLAB. De manera reducida, se expondrá el esquema de funcionamiento del teclado.

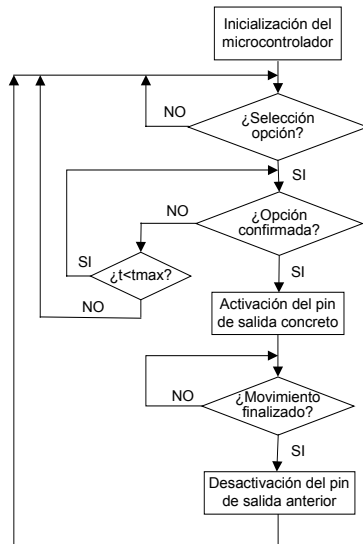


Figura 16: Esquema básico funcionamiento teclado.

## 6 CONCLUSIONES

Se ha desarrollado la automatización de la silla de ruedas, tanto la electrónica como el control. Además, dicho prototipo ya está construido y en funcionamiento.

Como futuras mejoras, se pretende mejorar la interfase hombre-máquina para que la silla de ruedas sea usada por pacientes con un elevado grado de minusvalía. En concreto, se pretende que el paciente se comunique con la silla mediante secuencias de soplos.

Por último, otra futura mejora será dotar a la silla de ruedas de un sistema de audio, de forma que el paciente sea informado en todo momento de las diferentes situaciones y sucesos en los que se puede encontrar mientras se encuentra subido en la silla.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer el soporte suministrado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) bajo ref. DPI2001-1308-CO2.

### Referencias

- [1] Ibot <sup>tm</sup> 3000 is a product of Independence Technology a Johnson & Johnson Company. [www.indetech.com](http://www.indetech.com).

- [2] Murray J. Lawn and Takakazu Ishimatsu, "Modeling of a Stair-Climbing Wheelchair Mechanism With High Single-Step Capability". *IEEE Trans. On Neural Systems and rehabilitation engineering*, vol. 11 n°3, September 2003.
- [3] Prototype of of Tamagawa University School of Engineering. [www.tamagawa.jp](http://www.tamagawa.jp).
- [4] R.Morales, A.González, P.Pintado, V.Feliu, "A new staircase climbing wheelchair", ISMCR03, Madrid, December 2003.
- [5] Stairclimber of The Wheel Chair Lift Company [www.thewheelchairlift.co.uk](http://www.thewheelchairlift.co.uk)