



## Sillas de ruedas autónomas

Dickson Barrera, Ronald Felipe

Roca Franco, Hernando Javier

Upegui Ferrer, Margarita

Director

Universidad Tecnológica De Bolívar

Ingeniería Eléctrica

Cartagena de Indias

2004

## INTRODUCCIÓN

Uno de los campos de aplicación más interesantes de la Robótica Móvil es el que se dirige hacia el colectivo de personas con discapacidad. Así, en los últimos años, numerosos grupos de investigación en todo el mundo han trabajado en el campo de las Tecnologías de la Asistencia diseñando y probando Sillas de Ruedas Autónomas (SRA's) con objeto de lograr prestaciones similares a otros robots móviles. Sin embargo, el nivel de real de autonomía incorporado en una SRA varía notablemente según cada caso, pues dentro del conglomerado grupo de soluciones existentes en robótica móvil no todas son aplicables al problema de partida.

Dentro del campo de la navegación autónoma existe una tecnología computacional emergente como es el caso de las redes neuronales, donde en áreas como esta, los métodos convencionales no han tenido mucho éxito.

Existen diferentes tipos de redes neuronales, cada una con características particulares que los hacen comportarse mejor ante determinados problemas. Las redes neuronales artificiales se han aplicado con éxito en técnicas de visión artificial, reconocimiento de rostros, reconocimientos de trayectoria, en el procesado de señales e imágenes, en el reconocimiento de voz y caracteres, en sistemas expertos, control remoto de procesos, control de robots, entre otras. Donde esta ultima incluye una nueva tecnología que reúne varias de las aplicaciones anteriormente mencionadas, como es el caso de las sillas de ruedas autónomas.

Los años 1990 se vio un notable aumento de la investigación en Sillas de Ruedas Autónomas (SRA) en todo el mundo en un intento de aplicar tecnologías, ya experimentadas en los múltiples campos de la robótica móvil, al campo específico de la asistencia a la movilidad. El objetivo final de crear una SRA parece, sin embargo, no haber tenido aceptación por parte del usuario y beneficiario final: una persona con severas discapacidades motrices que le impiden manejar una silla de ruedas motorizada convencional.

Las razones de esta escasa, por no decir nula, implantación práctica son múltiples pero pueden destacarse entre ellas las siguientes:

- No se han resuelto de manera suficientemente fiable los problemas de seguridad planteados al colocar en un vehículo autónomo una persona de reacciones necesariamente limitadas.
- Soluciones válidas en el campo de la robótica móvil no son directamente exportables a una silla de ruedas por razones de costo, dimensiones y autonomía del vehículo (duración y peso de las baterías).
- El escaso interés de las empresas fabricantes de sillas de ruedas en la incorporación de soluciones parcialmente desarrolladas y con una relación costo / beneficio no adecuadamente probada.

De esta manera, y a pesar del tiempo transcurrido y los esfuerzos dedicados, no se ha cubierto aún el vacío existente entre los laboratorios de investigación y el usuario final. No obstante, tanto las realidades actuales como las potenciales vías de desarrollo que las diversas tecnologías aplicables ofrecen, prometen un futuro esperanzador al colectivo de discapacitados motrices. Sólo falta encontrar aquél aspecto de entre los ya probados que permita activar el interés de la industria en este campo.

El propósito de este trabajo se centra en las ventajas y posibilidades abiertas para el uso de diversas tecnologías y de buses series en estos sistemas, principalmente por abrir el campo de la interacción real con el entorno del usuario de SRA's, sea éste doméstico, industrial o comercial. En éste último aspecto se aborda el problema de la Interconectividad entre equipos, estudiando tanto las soluciones existentes como las tendencias futuras y su aplicación a la fabricación rentable de SRA's.

Para ello se partirá de las experiencias de distintos grupos de trabajo desarrolladas en diferentes partes del mundo.

## **1.0 SILLAS DE RUEDAS INTELIGENTES**

La silla de ruedas inteligente es una silla eléctrica con un regulador computarizado y sensores especiales que ayuden al usuario a moverse.

- En primer lugar, los sistemas inteligentes proporcionan algunas ayudas para los usuarios que no pueden controlar la silla de ruedas independientemente.
- En segundo lugar, las sillas inteligentes pueden ayudar al usuario a controlar y asumir algo de responsabilidad en el manejo y en la evasión de objetos. La cantidad de maniobras que el usuario decide hacer, y el control ejercido por la silla de ruedas, es decidida por el usuario.

### **1.1 Modos de control de la silla de ruedas**

1. Control total por parte del conductor de la silla de ruedas a través de los controles normales (joystick).
2. Autonomía de la silla de ruedas en decidir la trayectoria, en el cual el usuario solo elige simplemente cuándo moverse. El manejo y detención son controlados por la silla de ruedas.

La silla de ruedas permite establecer la comunicación con el usuario por medio de una interfase, la cual le permite poner el control de la silla de ruedas al cuidado de computadoras inteligentes.

## 1.2 Manejo de la silla de ruedas

El simple hecho de Movilizarse es divertido, excitante y motivador para el ser humano. Poder moverse abre nuevas oportunidades para el trabajo, el juego y la exploración. Los niños y los adultos capaces de movilizarse son más curiosos, activos, y aprenden con mayor eficacia.

La operación de Controlar una silla de ruedas accionada es difícil para mucha gente con inhabilidades motrices severas. La silla de ruedas inteligente por lo tanto, fue diseñada teniendo en cuenta ciertos parámetros.

- 1) Cuando el usuario está aprendiendo una nueva y difícil tarea, le gustaría poder compartir esta labor con algo o alguien mas. En este caso sería la silla de ruedas.
- 2) Algunas habilidades que usted pueda utilizar para los propósitos de la comunicación (tales como la conmutación) no tienen que volverse a aprender para los propósitos de la movilidad y viceversa.
- 3) Debe ser posible progresar lentamente desde las tareas más simples hasta las más complejas mientras que su nivel de habilidad aumenta.

El usuario puede pensar en la silla de ruedas como una herramienta de aprendizaje en el manejo de la misma; haciendo de esta forma más simple la transferencia de habilidades a partir de una tarea a otra. El usuario puede decidir en tomar el control, o decidir entregar el control a la silla de ruedas en determinado momento.

El diagrama ilustra las demostraciones de como el usuario utiliza las ayudas de las sillas de ruedas para desarrollar gradualmente sus habilidades en la conducción, mientras que reduce la cantidad de control tomada por la silla.

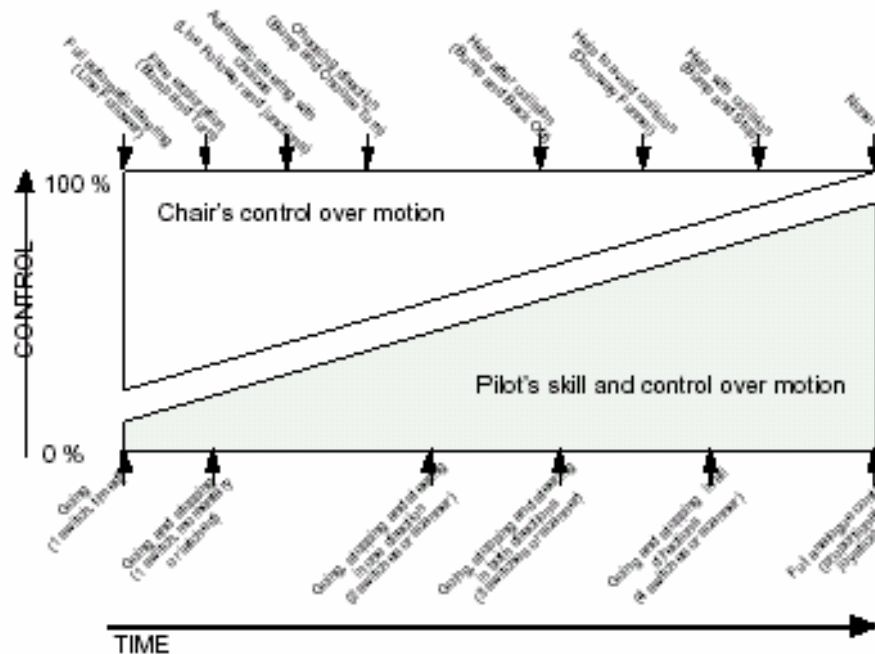


Figura 1.1 Habilidades del usuario en el control de la silla de ruedas.

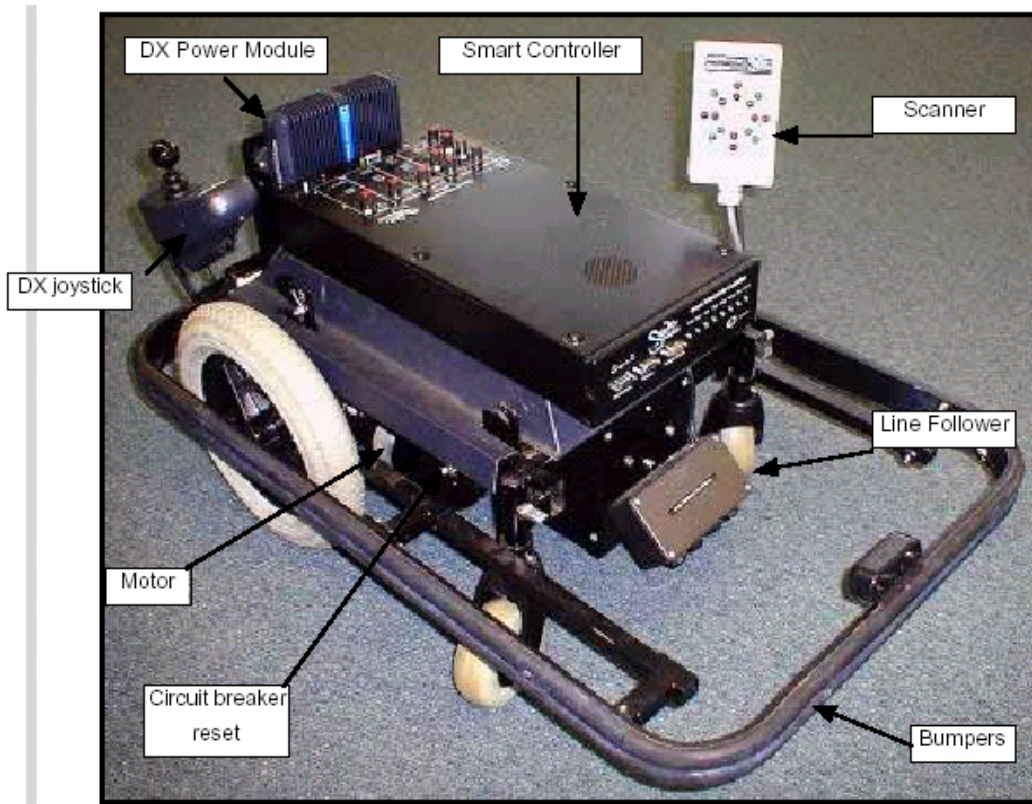
### 1.3 Partes de una silla de ruedas inteligente\*

La silla de ruedas inteligente consta de:

- Chasis de la silla de ruedas.
- Modulo de energía, encargado de alimentar las ruedas de la silla.
- Joystick, encargado de transmitir el mando a las ruedas de la silla.
- Controlador de la silla de ruedas inteligente, el cual contiene el control del sistema.
- Parachoques
- Seguidor de línea.
- Explorador (scanner)
- Motor

\* [http://callcentre.education.ed.ac.uk/Smart\\_WheelCh/Resources\\_SWA/resources\\_swa.html](http://callcentre.education.ed.ac.uk/Smart_WheelCh/Resources_SWA/resources_swa.html)

- Circuito de interrupción (Breaker)



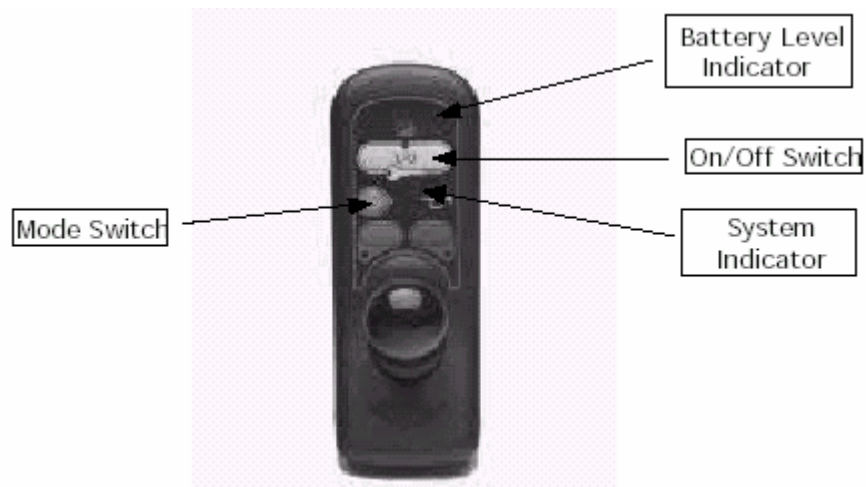
**Figura 1.2 Partes de una silla de ruedas inteligente**

**1.3.1 Controladores inteligentes, modulo de energía** Por debajo del asiento y encima de la caja de la batería está el controlador de la silla de ruedas, y el módulo de energía. También habrá una palanca de mando, que generalmente se encuentra en la parte posterior del asiento de los usuarios.

La palanca de mando y el controlador inteligente de la silla de ruedas se deben conectar con el módulo de energía para la operación correcta de la silla de ruedas inteligente.



El interruptor principal de la silla de ruedas on/off es el botón blanco grande que se



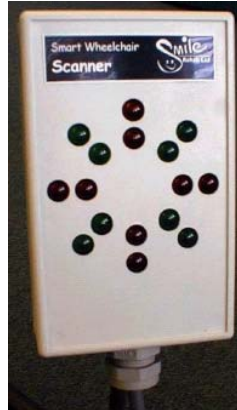
encuentra en la parte superior de la palanca de mando (joystick).

**Figura 1.3 Palanca de mando (joystick)**

El botón Modo Switch cambia el control de la silla entre la palanca de mando y el controlador inteligente. Para conducir la silla con la palanca de mando se presiona el botón Modo Switch hasta que el indicador muestre el número 2; para cambiar de nuevo se presiona el botón Modo Switch (nuevamente) de modo que el indicador muestre el número 1.

**1.3.2 Manejo de la silla de ruedas por medio de interruptores** Usted puede conducir la silla de ruedas inteligente ya sea con cualquier tipo de interruptor. Los interruptores pueden funcionar con la mano, cabeza, dedo, pie, codo, respirando hacia adentro y hacia fuera, tacto y sonido etc.

**1.3.3 Explorador (scanner)** El explorador es una unidad pequeña con 8 pares de leds que corresponden a cada una de las 8 direcciones de los movimientos de la silla.



**Figura 1.4 Explorador (scanner)**

El explorador debe ser montado de modo que el conductor de la silla de ruedas pueda verlo.

#### **1.4 Arquitecturas *hardware* típicas en SRA's**

Pueden distinguirse dos niveles en las diferentes arquitecturas de SRA existentes: el nivel físico (*hardware*) y el nivel lógico (*software*), siendo éste último parcialmente independiente del primero. No obstante, las posibilidades funcionales y el coste del sistema está más ligado al nivel físico que al lógico, por lo que el primer criterio de decisión es la definición del hardware del sistema. A grandes rasgos, las arquitecturas a nivel físico de los diferentes sistemas de SRA responden a alguna de las siguientes líneas:

- Control centralizado, monoprocesador.
- Control centralizado, multiprocesador.
- Control distribuido, multiprocesador.

#### 1.4.1 Control centralizado, monoprocesador



**Figura 1.5 Silla de ruedas de control centralizado**

La solución más común parte de una silla motorizada comercial básica a la que se le añade una unidad de control basada en un PC comercial.

Una gran ventaja derivada del uso de recursos ligados al sistema PC son bajo coste y alta potencia de cálculo en la unidad central, así como un amplio repertorio de recursos *software*. Pero el inconveniente estriba en su propia estructura centralizada. La conexión entre las unidades sensoras y los actuadores del sistema (motores, etc.) se realiza mediante cableado dedicado usando puertos de Entrada/Salida, o mediante tarjetas periféricas diseñadas al uso; de esta forma resulta difícil modificar o actualizar el *hardware* del sistema para adaptarse a nuevas necesidades, nuevos sensores o a cambios en la configuración del mismo.

**1.4.2 Control centralizado, multiprocesador** El principio de diseño coincide en principio con el anterior: se parte de una plataforma estándar a la que se le añaden las interfaces de E/S necesarias para acceder a las informaciones de los sensores y elementos de mando y poder actuar sobre las unidades motrices. Un ejemplo típico de estos sistemas son los basados en Bus Paralelo.

Su máxima ventaja, reside en la utilización de componentes estándar en robótica industrial y en la paralelización de procesos mediante el uso de varios procesadores independientes. Sin embargo, el uso de esta arquitectura se liga, casi de forma exclusiva, con la experimentación de estructuras *software* de control, pues se trata de una solución desventajosa frente a la anterior, principalmente en términos de coste, compartiendo además sus inconvenientes: escasa flexibilidad y compleja configuración hardware.

**1.4.3 Control distribuido, multiprocesador** Las soluciones más flexibles y con mejor relación prestaciones/coste se basan en sistemas distribuidos en los que la inteligencia del sistema reside en múltiples *Unidades de Proceso Dedicadas*, intercomunicadas por uno o varios canales serie. En este sistema la estructura sensorial está constituida por una red de microcontroladores en un sistema de bus serie SPI, unidos por un canal adicional asíncrono a una unidad central de proceso basada en PC, que realiza tareas de fusión de datos y mapeo del entorno.

Las arquitecturas distribuidas tienen como principal ventaja la de operar vía mensajes; esto es: las informaciones de configuración, estado y comandos entre los elementos del sistema, se realizan mediante el intercambio de datos siguiendo un protocolo prefijado. La actualización o reconfiguración de los diversos subsistemas se facilita al no ser necesario realizar recableados de conexiones físicas sino sólo lógicas: añadir, quitar o cambiar una determinada prestación del sistema se logra insertando un nuevo elemento en el Bus y reconfigurando la programación, simplemente.

El aumento objetivo de las prestaciones de una silla de ruedas que siga esta estructura justifica la elección de esta configuración como la óptima de entre las enumeradas anteriormente, tanto a nivel *hardware* como a nivel *software*.

## 2.0 EL PROBLEMA DE LA INTERCONECTIVIDAD

La capacidad de comunicación con el entorno inmediato (sea el medio doméstico o el laboral) es lo que hace más interesante el uso de un Bus de comunicaciones en lugar de señales o interfaces eléctricas específicas en los prototipos de sillas de ruedas.

Por añadidura, una de las primeras consecuencias que puede extraerse al estudiar el problema del acceso al entorno por parte de las personas discapacitadas, es la de la sutil convergencia existente entre diversos mundos, hasta ahora paralelos e incluso divergentes:

- La industria,
- El hogar y
- El soporte a los discapacitados.

La necesidad de incrementar la capacidad de comunicación entre toda clase de equipos, derivada del auge de las telecomunicaciones e Internet principalmente, ha provocado dos efectos de notable importancia también para las Tecnologías de la Asistencia:

- La existencia de más recursos *hardware*, cada vez de mayor potencia y prestaciones, con mayor repertorio de aplicaciones, incluso domésticas, y cada vez con menores precios.
- La aparición de nuevas formas de acceso y/o control desde o hacia otros equipos, en definitiva: el aumento de la interconectividad, añadiendo enlaces o Buses serie de mayor capacidad de transferencia y mayor flexibilidad en su conexión, incluso mediante enlaces inalámbricos.

Sin embargo, en el momento preciso de elegir una determinada opción de entre las existentes, el problema práctico reside en el Bus a adoptar, pues no existe un claro candidato a imponerse como estándar, bien oficial o bien *de facto*, en los diversos entornos en los que un usuario de sillas de ruedas pueda encontrarse. Es más: en lugar de converger, parecen existir cada vez más soluciones al mismo problema, ligada cada solución a un fabricante, grupo de fabricantes, grupo económico o industrial.

## **2.1 Buses Serie en las Tecnologías de Rehabilitación**

Una silla de ruedas debe tener la *versatilidad* necesaria para admitir modificaciones al diseño base y adaptarse a las particularidades de cada usuario rápidamente. Caso de tratarse de una SRA, en la que el uso de técnicas de robótica móvil permiten la incorporación de prestaciones avanzadas, un diseño modular permite esta adaptación en términos razonables de coste y tiempo, tanto de desarrollo como de montaje y mantenimiento.

No obstante, las ventajas inherentes a un diseño modular se ven diluidas si cada módulo resultase ser un bloque estanco, con entradas / salidas particularizadas. Aún siendo ésta la solución preferente en sillas de ruedas comerciales éstas poseen, en el mejor de los casos, un número reducido y bien definido de módulos:

- Unidad de potencia: entre batería y motores de ruedas y/o accesorios como los asientos reconfigurables.
- Unidad de comando: sea ésta un *joystick* convencional o adaptado (de mentón, de boca, etc.), o un sistema de pulsadores convencionales.

En consecuencia, la mayor parte de los sistemas comerciales existentes consisten en unos pocos módulos entre los que se establecen conexiones dedicadas, esto es: un conector para cada función. Pero si se trata de construir un sistema

robótico, con gran número de unidades sensoras, actuadores y de comando la situación cambia. Con conexiones dedicadas:

- Cada interfaz requiere un repertorio de especificaciones distinto.
- La fiabilidad se reduce debido al número de cables y conectores necesario.
- Cualquier modificación o reconfiguración del sistema instalado acarrea un alto coste y/o un replanteo del sistema completo.

En caso de ser posible, la mejor forma de interconectar numerosos módulos entre sí, de forma rápida y flexible, es mediante un Bus Serie, utilizando además *mensajes* en lugar de señales dedicadas. Las ventajas son notables:

- Un único interfaz y una única especificación de acceso para cada módulo.
- Mayor fiabilidad del sistema, al reducirse el número y volumen de las interconexiones.
- Facilidad de reconfiguración *hardware*, mediante la inserción o extracción de los módulos necesarios sobre el Bus.
- Facilidades añadidas de reconfiguración y/o mantenimiento, inclusive a distancia, mediante mensajes especiales para tal fin.

Pero aún reconociendo la conveniencia de la adopción de un Bus Serie, la determinación de cuál ha de ser éste no parece ser una tarea trivial: desde el punto de vista interno al vehículo existen varias posibles elecciones en este caso.

**2.1.1 El sistema DX** La empresa Dynamic Controls Ltd. es líder en la producción y comercialización de componentes para sillas de ruedas motorizadas. Entre los productos desarrollados por este fabricante se encuentra un amplio repertorio de dispositivos interconectables a través de un protocolo desarrollado por ellos mismos: el sistema DX.

Aunque los propietarios del sistema lo declaran como abierto, la realidad es que no está reconocido como estándar por ningún organismo de normalización; tampoco es posible encontrar información técnica, en ámbitos públicos, para conocer más datos del mismo (interfaz físico, velocidades de transferencia, tipo de datos, etc.) aunque es posible realizar desarrollos con este bus utilizando las herramientas de desarrollo proporcionadas por el fabricante.

**2.1.2 El bus M3S\*** El bus M3S (Multiple Master Multiple Slave) fue desarrollado en un proyecto específico dentro de la fase piloto del programa de investigación TIDE (*Technology Initiative for Disabled and Elderly people*) de la Comunidad Europea; el proyecto en sí define una arquitectura modular para mejorar la intercomunicación entre dispositivos y sistemas en el campo de las Tecnologías de Asistencia. El M3S se encuentra dentro del estándar ISO 7176-17\* bajo el nombre de '*Interfaz serie para controladores de sillas de ruedas eléctricas*'.

En el sistema M3S existe una igualdad de nivel en el acceso de todos los nodos respecto al Bus. La agrupación de los mismos es a nivel lógico, siguiendo las pautas marcadas por el nodo o nodos de Control y Configuración; el resto de los nodos son agrupables en alguna de estas categorías:

- Nodos de entrada, correspondientes a los dispositivos de comando como: joystick, pulsadores, *scanners*, etc.
- Nodos de salida, que engloban a los actuadores, de distintos niveles y efectos, como motores, controles remotos, interacción con el entorno, etc.

La intención del Bus M3S es, además, incluir el sistema a bordo de la silla dentro de una super-red que permita, teleoperar otros dispositivos compatibles en el

---

\* [www.tno.nl/m3s/beta/doc/papers/pcd98.pdf](http://www.tno.nl/m3s/beta/doc/papers/pcd98.pdf)



entorno del usuario, como pueden ser electrodomésticos, puertas automatizadas, ascensores, etc.

## 2.2 Buses Serie en el entorno doméstico: Europa y Estados Unidos

La multiplicidad de estándares y fabricantes que hacen uso de buses de comunicación serie, tanto en el entorno doméstico como en el industrial, hacen necesario un estudio previo, lo más global posible, de la situación actual.

Bus	EHS	BatiBUS	EIB
<b>Fuente Principal</b>	European Home Systems Assoc.	BatiBUS Club Internacional (BCI)	Asociación de Firmas
<b>Página Web</b>	www.ehsa.com	www.batibus.com	www.eiba.com
<b>Otras, asociados</b>	SGS Thomson	Merlin Gerin, EDF Landis & GYR	ABB, Bosch, Siemens, etc.
<b>Lanzamiento en</b>	(1987) 1990	1989	1990
<b>Area de influencia</b>	Europa (escasa)	Europa (Francia)	Europa (Alemania, Suecia)
<b>Campos ppales. de aplicación</b>	Hogar	Hogar	Hogar y edificios Inteligentes
<b>Velocidad max.</b>	9600 bit/s	4800 bit/s	9600 bit/s
<b>Medios físicos</b>	Par trenzado, RF, IR, Red Eléctrica	Par trenzado	Par trenzado
<b>Max. #nodos/red</b>	256	7680	64 (x12)
<b>Chip de acceso</b>	No	No	Si: BAU-Bus Access Unit (?)
<b>Estándar</b>	<b>Rechazado por CENELEC</b>	Francia, NFC46620 ISO/IEC JTC1 SC25	DIN V VDE0829 ISO/IEC 802-2
<b>Estándar Abierto</b>	No (miembros)	Sí	Sí
<b>Interfaces a M3S</b>	No	Sí	Sí

**Tabla 2.1 Buses de campo en el entorno doméstico: situación en Europa**

La situación actual del mercado europeo de Buses domésticos se ilustra en la tabla 2.1, A grandes rasgos, tres grandes grupos se destacan: el bus EHS, cuyo mayor soporte es el grupo SGS Thomson; el BatiBUS, de mayor implantación en el área de influencia francesa; y el EIB, apoyado por empresas del sector germánico-nórdico, como Bosch y ABB. De los datos resumidos en la tabla se extraen las siguientes conclusiones:

- Ninguno de los tres buses mencionados ha conseguido desplazar a los demás e imponerse como un estándar europeo.
- Son idóneos sólo en entornos domésticos por su baja velocidad, limitada a 9600Bd, y por el escaso número de nodos posibles en una misma red.
- Utilizan preferentemente el par trenzado en el nivel físico, aun existiendo interfaces inalámbricas (infrarrojos y radiofrecuencia, en el caso del EHS) y también a través de la red eléctrica.
- No existe *hardware* específico para acceso al Bus (salvo el caso anunciado del EIB), confiando la tarea de cumplir con el estándar a los diseñadores de los equipos.

La posibilidad de perder mercado en favor de opciones extracomunitarias y la falta objetiva de una opción mayoritaria, llevaron a los tres grupos mencionados a un proceso de '*Convergencia*' (así llamado) hacia un estándar común, usando los elementos positivos de cada uno de los sistemas ya existentes. Este proceso se inició en 1998 con un aparente entusiasmo. Sin embargo, los resultados no pueden más que calificarse como frustrantes: sólo el buscar un nombre para el nuevo sistema ha llevado *casi dos años*, decidiéndose finalmente en Junio de 2000 que el nombre del nuevo estándar sería *Konnex*, abreviado como *KNX*.

La situación americana es notablemente más dinámica (tabla 2.2). Aunque condenado a desaparecer a corto o medio plazo por sus escasas prestaciones, uno de los Buses domésticos más populares (y más antiguos) es el X10, para el cual existen multitud de pequeños dispositivos útiles para tareas simples, tipo *on-off*. Su popularidad se debe a su bajo coste, su facilidad de programación (*dip-switches*) y a utilizar la red eléctrica como medio de transmisión, con lo que pueden automatizarse hogares no preparados con una red de datos propia.

<b>Bus</b>	<b>CEBus</b>	<b>LonTalk</b>	<b>X10</b>
<b>Fuente Principal</b>	CEBus Industry Council (CIC)	Echelon (LonWorks)	X10 Incorporated
<b>Página Web</b>	www.cebuse.org	www.echelon.com	www.x10.com
<b>Otras, asociados</b>	IBM, Honeywell, Motorola, RCA	Toshiba, Cypress, LonMark Asocc.	(no abierto)
<b>Lanzamiento en</b>	1992	1991	1978
<b>Area de influencia</b>	EEUU	EEUU, Asia	EEUU
<b>Campos ppales. De aplicación</b>	Hogar y edificios Inteligentes	Industria, hogar y edificios inteligentes	Hogar
<b>Velocidad max.</b>	7500 bit/s (reales)	2.5 Mbit/s	60 bit/s
<b>Medios físicos</b>	Par trenzado, RF, IR, Red Eléctrica	Par trenzado, RF, IR, Red Eléctrica	Red Eléctrica
<b>Max. #nodos/red</b>	4·10 <sup>9</sup> (teóricos)	32000	256
<b>Chip de acceso</b>	Sí: Intellon www.intellon.com	Sí: Neuron Chip www.toshiba.com	Sí (series X10)
<b>Estándar</b>	EIA-600	EIA709.1/.2/.3	No
<b>Estándar Abierto</b>	Sí	Sí	No
<b>Interfaces a M3S</b>	No	No	No

**Tabla 2.2 Buses de campo en el entorno doméstico: situación en Estados Unidos**

Mucho mayor interés futuro tienen CEBus y el protocolo LonTalk. El CEBus tiene su origen en la *Electronic Industries Association* (EIA) americana, la cual en 1984 decidió estandarizar la señalización infrarroja usada en los teletandos de diversos electrodomésticos; tras estos trabajos iniciales se amplió el alcance inicial hacia la obtención de un estándar para un Bus de uso doméstico, creándose un primer borrador del *Consumer Electronics Bus* (CEBus) en 1992. Actualmente, la especificación CEBus se encuentra disponible como recomendación EIA-600; en esta norma se recogen detalles tanto del nivel físico como de protocolo, definiéndose un denominado *Common Application Language* (CAL), que proporciona una base para la comunicación en una red doméstica equipada con aparatos y sistemas procedentes de sectores industriales y fabricantes diversos, por ejemplo videoconsolas, aparatos de audio/video, electrodomésticos, aparatos de climatización, etc.

En lo que respecta a las características técnicas del CEBus es necesario resaltar su gran versatilidad, admitiendo múltiples medios físicos lo que le habilita para ser instalado incluso en edificaciones no equipadas con un cableado de datos separado. A destacar también la existencia de una familia de chips, los SSC-Px (*Power Line*) y -Rx (RF), de la firma *Intellon*, diseñados para facilitar el acceso al bus cumpliendo la especificación EIA-600.

En lo que respecta al LonTalk, se trata de un protocolo completamente desarrollado por la empresa *Echelon Corporation*, fundada en 1988 con el fin de especificar y obtener la tecnología necesaria para interconectar eficientemente sensores, actuadores y controladores en un entorno industrial. Las redes de datos diseñadas con el protocolo LonTalk han dado en llamarse redes LON (*Local Operating Network*) y al conjunto *hardware/software* se le conoce más por el nombre genérico de LonWorks.

El núcleo de todo el sistema reside en un chip específico de acceso a la LON, denominado *Neuron Chip*. Este chip facilita en *firmware* el desarrollo de sistemas abarcando los 7 niveles del modelo de referencia OSI.

La facilidad del desarrollo de aplicaciones, la fiabilidad del sistema LonTalk y la versatilidad en cuanto a medios físicos de transmisión (que incluyen la red eléctrica y nodos inalámbricos), son puntos a favor de este sistema, a pesar de los inconvenientes indudables de haber comenzado como estándar cerrado, ligado únicamente a los productos Echelon. Uno de los inconvenientes principales es, además, la dependencia de dos únicas compañías (actualmente Toshiba y Cypress) para el suministro de chips de acceso a LonTalk. No obstante, Echelon abrió su protocolo en 1996 y solicitó su estudio por EIA, la cual elaboró el estándar abierto EIA-709, con el que es posible acceder a los niveles más bajos del modelo OSI (físico y de protocolo) sin necesitar de los Neuron Chip's.

### **3.0 SILLA DE RUEDA ROBOTICA BASADA EN LA INTERACCIÓN DEL SER HUMANO Y EL ENTORNO**

Con el incremento en el número de personas discapacitadas y de la tercera edad, ha surgido un crecimiento en la demanda de sillas de ruedas. Las sillas de ruedas robóticas autónomas han sido propuestas para satisfacer las necesidades de movilidad e interacción con el medio de dichas personas.

Una de las características más importantes que debe poseer una silla de ruedas es la seguridad y la facilidad de operación; en donde la autonomía es una forma de mejorar estos factores.

El más reciente éxito es una silla de ruedas que lleva al usuario automáticamente al destino que ellos especifican; Sin embargo, además de ir ciertamente al lugar designado, también se requiere que la silla de ruedas se mueva tan libremente como el usuario desee. En este caso una buena interfase con el usuario sería de gran importancia para el control de la silla de ruedas. Por ejemplo, un joystick como dispositivo para el control del movimiento de una silla de ruedas convencional, podría ser reemplazado por un sistema de reconocimiento de voz como una nueva alternativa en el manejo de estas sillas.

Para realizar sistemas autónomos se necesita información del medio. Donde la información estática puede ser brindada a través de planos, además, los sensores ultrasónicos y de visión son usados para obtener información complementaria. Por otro lado se necesita información del usuario para la interfase con la silla de ruedas. Aunque la información del usuario en una silla de ruedas convencional es obtenida a través de un joystick se podrían usar acciones más simples para realizar una interfase usuario más amigable. Esto requiere que la silla de ruedas observe las acciones del usuario para entender sus intenciones. Sin embargo

acciones simples tienden a ser ruidosas o confusas; incluso cuando el usuario muestra movimientos que puedan ser vistos como comandos de acción para la silla de ruedas aunque no representen una orden para esta. Para resolver este problema, se propone integrar la observación del usuario con la observación del medio, lo cual es usualmente usado para realizar autonomía.

Para un caso específico tenemos una silla de ruedas que usa la dirección del rostro para introducir las intenciones del usuario al sistema. Cuando los usuarios quieren moverse en cierta dirección, es una acción natural para ellos mirar en esa dirección. Usar la dirección para el control de movimiento tiene otros méritos: cuando el usuario quiere girar a la izquierda, o a la derecha, el o ella necesita ver en esa dirección girando la cabeza intencionalmente. Cuando el giro es completado el usuario podría girar su cabeza a la posición frontal y ajustar la dirección de la silla de ruedas. Sin embargo este comportamiento es tan natural que se hace inconscientemente.

Como se mencionó anteriormente, estos movimientos son ruidosos o confusos. Los usuarios pueden mover sus cabezas incluso cuando ellos no tienen pensado realizar el giro. Primero que todo se tratará de resolver estos problemas ignorando los movimientos rápidos, ya que se suele suponer que estos comportamientos para el giro no se han hecho intencionalmente; a si los movimientos voluntarios serán más lentos y estables. Sin embargo este método no es suficiente. Por ejemplo, es natural para el ser humano observar obstáculos que se encuentran en su trayectoria, pero de esta forma el sistema podría girar hacia los obstáculos que el ser humano está observando.

El punto clave es la integración de la interfase entre la dirección del rostro y la capacidad de autonomía. En otras palabras combinar la información obtenida por la observación del usuario y del medio. Esta integración significa más que eso, el sistema tiene estas dos clases de funciones separadas; este usa la información

obtenida de los sensores para la navegación autónoma evitando que la silla de ruedas gire hacia los obstáculos que el usuario pueda estar observando, resolviendo de esta manera el problema de control de dirección del rostro mencionado anteriormente. También, si este puede entender las intenciones del usuario por medio de la observación del rostro, escoge una función apropiada de navegación autónoma para reducir la participación del usuario en la ocupación del sistema.

Además se introduce otra función la cual no ha sido considerada en los sistemas convencionales, esta nueva función se lleva a cabo observando al usuario cuando no se encuentre usando la silla de ruedas. Dicha función tiene la capacidad de encontrar al usuario por la técnica de reconocimiento de rostro. Una vez que el usuario es reconocido, la silla de ruedas puede moverse de acuerdo a las instrucciones indicadas por los gestos de la mano. Dicha función es útil porque las personas que necesitan una silla de ruedas pueden encontrar una dificultad para llegar a ellas.

### **3.1 Diseño del sistema de una silla de ruedas robótica**

La figura 3.1 muestra un esquema del sistema de la silla de ruedas robótica.



**Figura 3.1 Esquema del sistema de la silla de ruedas**

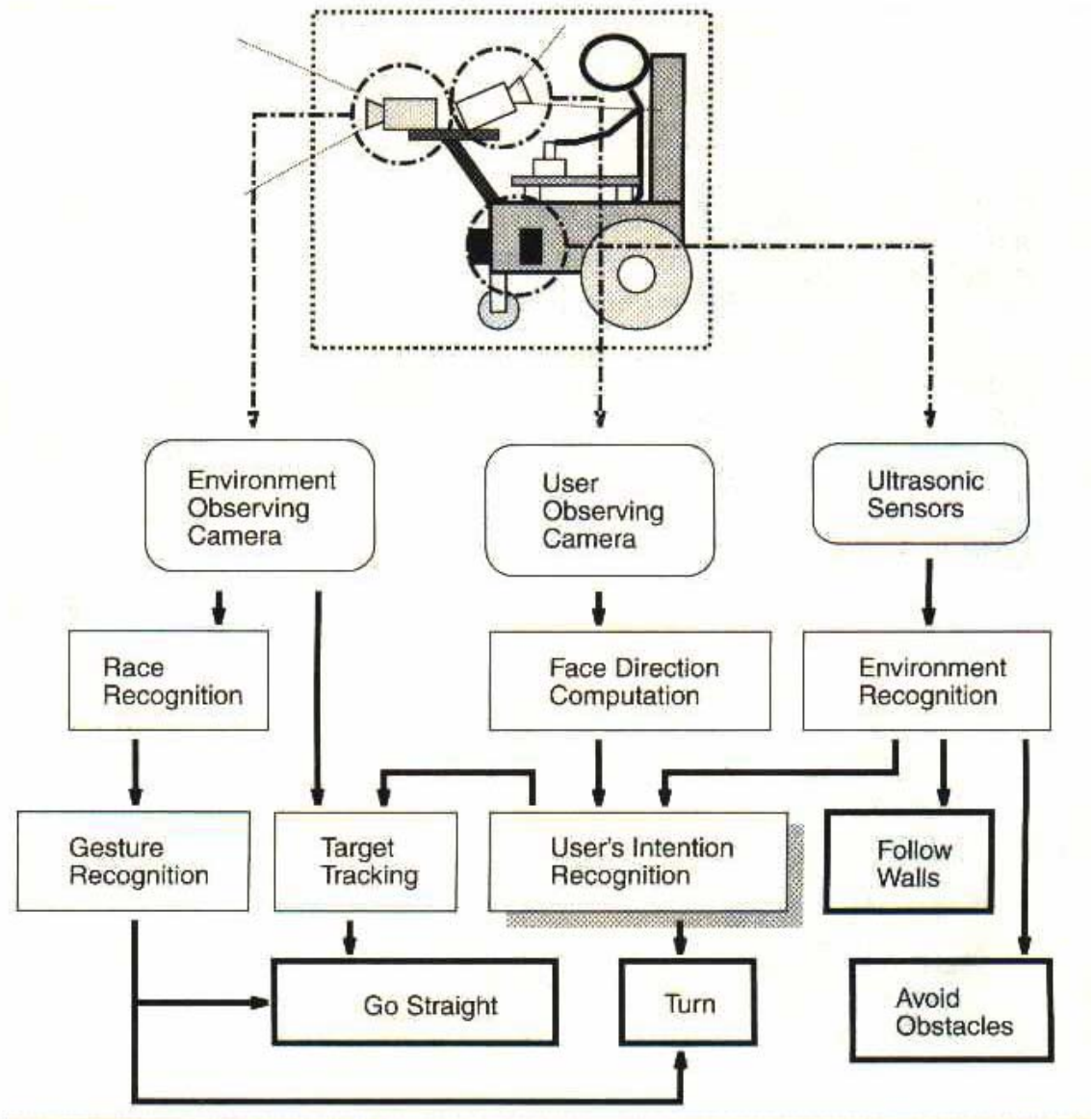
**3.1.1 Características de hardware** El sistema consta de un computador con procesador AMD athlon de 400 MHz con una tarjeta de procesamiento de imágenes en tiempo real. El sistema tiene 16 sensores ultrasónicos\* para percibir las características del entorno y dos cámaras de video. Una cámara es ajustada para observar el entorno, mientras la otra es usada para mirar el rostro del usuario.

El sistema controla sus movimientos basado en los datos del sensor. La figura 3.2 ilustra como los datos del sensor son usados en la silla de ruedas. Los sensores ultrasónicos detectan obstáculos alrededor de ella. Si algún obstáculo es detectado, la silla de ruedas es controlada para evitarlos.

---

\* <http://sumar.utic.com.ar/infotec.html>





**Figura 3.2 Configuración del sistema**

El sistema procesa la imagen del rostro captada por la cámara que esta observando al usuario. Los usuarios pueden dar a conocer sus intenciones a el sistema girando su rostro. El problema sin embargo es que los usuarios muevan su cabezas por otras razones que las de controlar la silla de ruedas.

El sistema necesita conocer como discernir los diferentes comportamientos del usuario en la silla de ruedas. Nuestra suposición es que el usuario mueva su cabeza en forma lenta y estable cuando ellos quieran que la silla de ruedas se mueva en la dirección de su rostro. Hay casos sin embargo donde los usuarios miran en cierta dirección establemente sin ninguna intención de controlar la silla de ruedas. Por ejemplo cuando el usuario nota un cuadro sobre la pared de un corredor; ellos pueden observarlo girando su rostro en una dirección mientras se mueven a través del corredor; en general si hay objetos cercanos al usuario, el puede intentar observar estos por seguridad o por otras razones; en estos casos los usuarios no requieren girar sus silla de ruedas en esas direcciones. Sin embargo, el sistema no puede excluir la posibilidad de que ellos realmente quieran girar sus silla de ruedas hacia estos objetos. Para adaptarse a estas situaciones el sistema cambia la sensibilidad para la detección del giro del rostro dependiendo de los datos obtenidos del entorno a través de los sensores ultrasónicos. Si el sensor ultrasónico detecta objetos cercanos a la silla de ruedas en ciertas direcciones, el sistema reduce la sensibilidad para la detección del giro del rostro en otras direcciones. Así la silla de ruedas no girará al menos que el usuario mantenga fijamente la mirada en esa dirección.

La cámara que observa el entorno es usada para desplazarse. Con el sistema de mando de las sillas de ruedas convencionales, los usuarios necesitan mantener el joystick todo el tiempo para controlar el movimiento. Incluso cuando solo quieran desplazarse.

Para el procedimiento de evasión de obstáculos, el sistema no convencional tiene un comportamiento autónomo para reducir la carga del usuario en estos casos. Este comportamiento es iniciado por la observación de la dirección de rostro. Si el rostro esta mirando hacia delante el sistema considera que el usuario quiere ir hacia delante, iniciando así, este comportamiento.

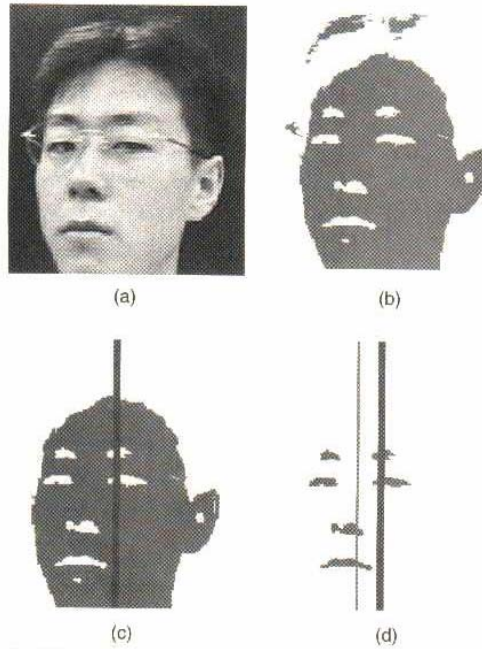
El sistema como primera medida, establece un punto de referencia en el centro de la imagen, tratando de coincidir este último con un punto imaginario localizado en el centro del rostro del usuario; el movimiento de la silla de ruedas es controlado manteniendo las facciones en el centro de la imagen. En el caso de desplazarse por un corredor este obtiene las orillas o los bordes del mismo, controlando los movimientos de la silla de ruedas para mantener la intersección de los bordes o de las orillas en la misma posición de la imagen.

### **3.2 Control de movimiento mediante la dirección de rostro**

El sistema anteriormente mencionado usa un método de computación de detección de rostros basado en las direcciones de las facciones del mismo. Sin embargo este método algunas veces pierde las facciones por lo que se aconseja un nuevo y simple método robusto. La figura 3.3 muestra cada paso del proceso. La figura 3.3(a) es una imagen original. Como Primera medida se extraen los brillos de la región en la imagen (figura 3.3(b)), se escoge la región más grande como la región del rostro (figura 3.3(c)), entonces se extrae las regiones oscuras dentro de la región del rostro, la cual contiene las facciones de la cara tal como los ojos, las cejas y los labios (figura 3.3(d)). Se compara el centroide de la región del rostro y el centroide de la combinación de todas las facciones de la cara. En la figura 3.3(c) y 3.3(d) las líneas verticales que pasan el centroide de la región del rostro son dibujadas en líneas rojas y gruesas. En la figura 3.3(d) una línea vertical que pasa el centroide de las facciones del rostro es dibujada en una línea verde delgada. Si esta última se encuentra a la izquierda o a la derecha de la imagen anterior, el rostro puede ser considerado como un giro a la izquierda o a la derecha. La salida del proceso es la distancia horizontal entre los dos centroides, la cual indica aproximadamente la dirección del rostro.

Los movimientos verticales de las facciones del rostro son usados como interruptores de inicio o de parada. Si el usuario mueve la cabeza verticalmente, la

silla de rueda inicia el desplazamiento, y si el usuario vuelve a realizar este movimiento la silla de ruedas finaliza el desplazamiento.



**Figura 3.3 Procesamiento de la dirección del rostro**

### **3.3 Experimentos preliminares**

El sistema puede calcular la dirección del rostro a 3 tramas por segundo. Se aplica un filtro a los datos de dirección para discernir los diferentes comportamientos de control de la silla de ruedas. El filtro que se usa es un simple filtro smoothing que promedia los valores sobre un cierto numero de tramas. Si este numero es grande, el sistema no será afectado por los movimientos de cabeza no intencionales.

### **3.4 Uso de la información del medio**

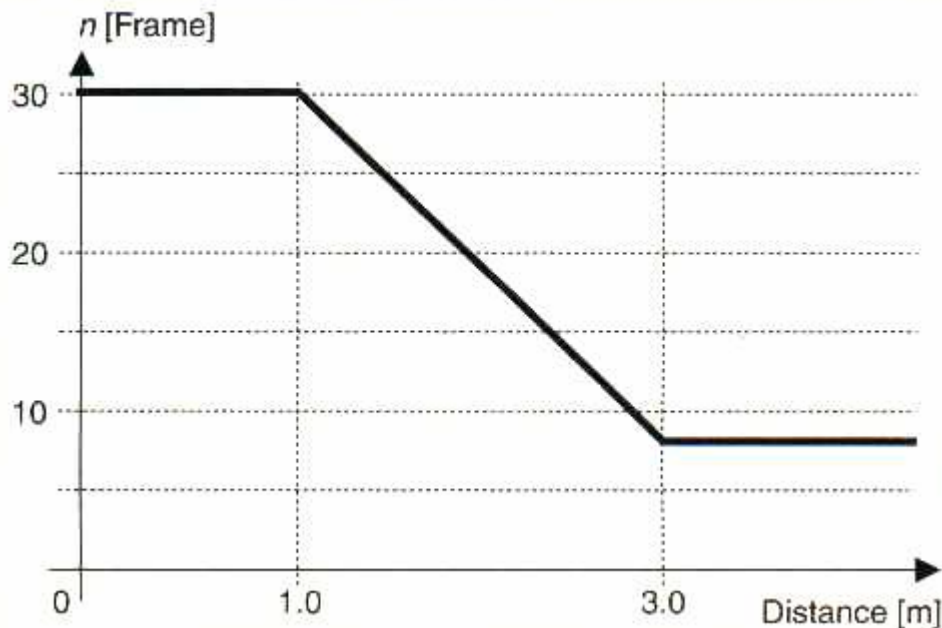
En muchas ocasiones, se considera usar información del medio en vez de obtener mas información por parte del usuario. Esto es basado en la suposición que nuestro comportamiento puede ser obligado por las condiciones del medio.

Se ha modificado la silla de ruedas, tal que, esta pueda cambiar el valor de  $n$  dependiendo de la información del medio obtenida por los sensores ultrasónicos. Por otro lado los usuarios pueden preferir respuestas rápidas para moverse libremente si ellos están en un espacio abierto donde no se tenga ningún obstáculo alrededor de ellos. De esta forma es apropiado usar un valor de  $n$  pequeño, incluso si ocurre un error en el reconocimiento de la intención del usuario.

Basándose en las consideraciones anteriores y en los diferentes experimentos se ha determinado escoger un  $n$  basado en la relación mostrada en la figura 3.4 el eje horizontal muestra la distancia al objeto medida por el sensor ultrasónico. El valor de  $n$  es determinado por cada dirección de giro usando el sensor de medida en la dirección. En las implementaciones convencionales se consideran solamente las direcciones hacia la derecha y hacia la izquierda. Además se ha determinado usar un  $n = 8$  cuando el rostro gira de derecha / izquierda al centro.

En los resultados de las pruebas realizadas, cuando los usuarios giraban la silla de ruedas hacia la derecha o hacia la izquierda ellos no pensaban en la velocidad de respuesta, sin embargo cuando el giro era completado y ellos regresaban su rostro a la posición frontal los usuarios sintieron que la respuesta de la silla de ruedas era lenta. en el primer caso el comportamiento de giro de sus cabezas fue intencional. así ellos no pensaron en la lentitud de la respuesta porque sus movimientos en si mismo fueron lentos y estable. En el segundo caso sus comportamientos fueron inconscientes y rápidos, así la respuesta del sistema fue

lenta y notable. Esta consideración ha permitido usar un valor de  $n$  pequeño para que los movimientos del rostro tengan una mayor prioridad.



**Figura 3.4 Número de tramas Vs distancia**

### **3.5 Como desplazarse por medio de la visión**

El sistema tiene dos procesadores de visión para esta función. El primero, es un simple patrón de ajuste basado en la suma de diferencias absolutas (SAD). Cuando el sistema supone que el usuario quiere ir hacia delante, este examina la región del centro de la imagen. Si la variación de la intensidad en esta región es grande, el sistema selecciona esta región como un patrón. De tal forma, en imágenes sucesivas, este calcula la mejor posición de ajuste con el patrón, controlando la silla de ruedas para mantener la posición de ajuste en el centro. El patrón es actualizado con los movimientos de la silla de ruedas. Si este método falla y la silla de ruedas se mueve en una dirección incorrecta, el usuario gira el rostro en la dirección deseada. Esto significa que el sistema puede establecer su falla a partir de los resultados del procesamiento de la dirección del rostro. Si esto

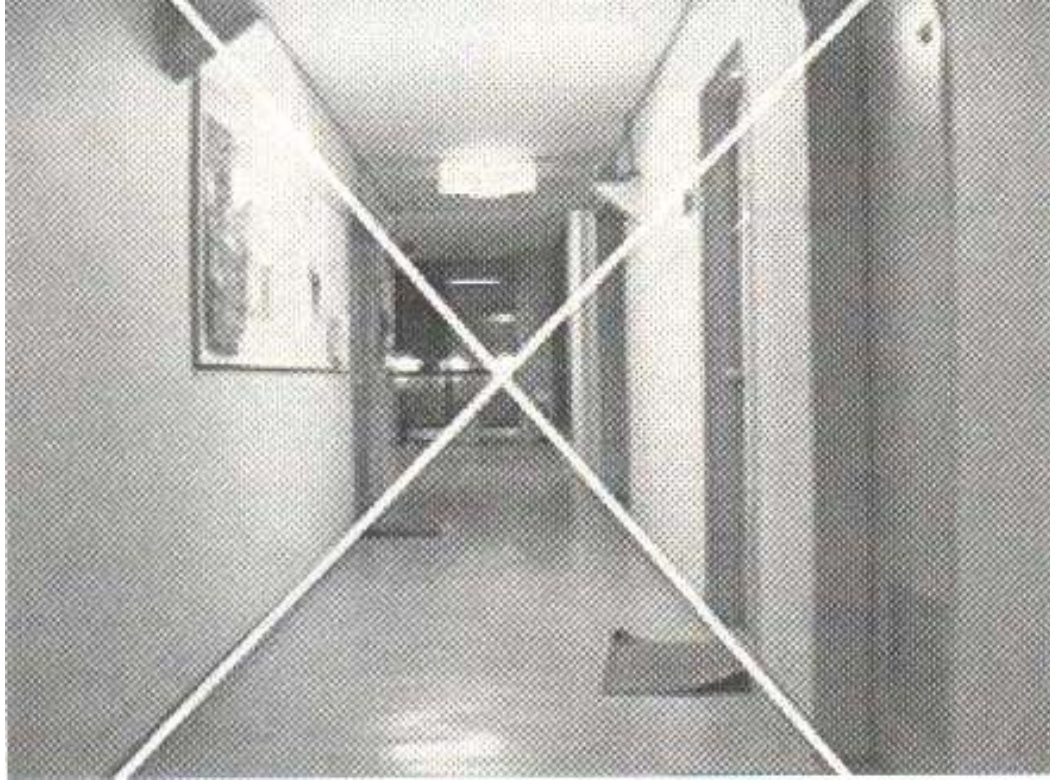
sucede este espera un momento hasta que el usuario mantenga la mirada hacia delante, entonces resume el proceso con un nuevo patrón.

El segundo esta basado en un punto imaginario. Este es usado en un corredor, donde un blanco que ha sido distinguido para ser descubierto puede no ser obtenido. El sistema extrae ambas orillas del corredor calculando así la intersección de los bordes. Esto controla el movimiento de la silla de ruedas para mantener la Intersección en la misma posición de la imagen.

La figura 3.5(a) muestra un ejemplo del método de búsqueda, donde la región rastreada es indicada por el cuadro blanco. La figura 3.5(b) muestra un ejemplo del punto imaginario donde las líneas de intersección de los bordes del corredor son dibujados en blanco.



**Figura 3.5(a) Procesamiento de desplazamiento a través de la visión**

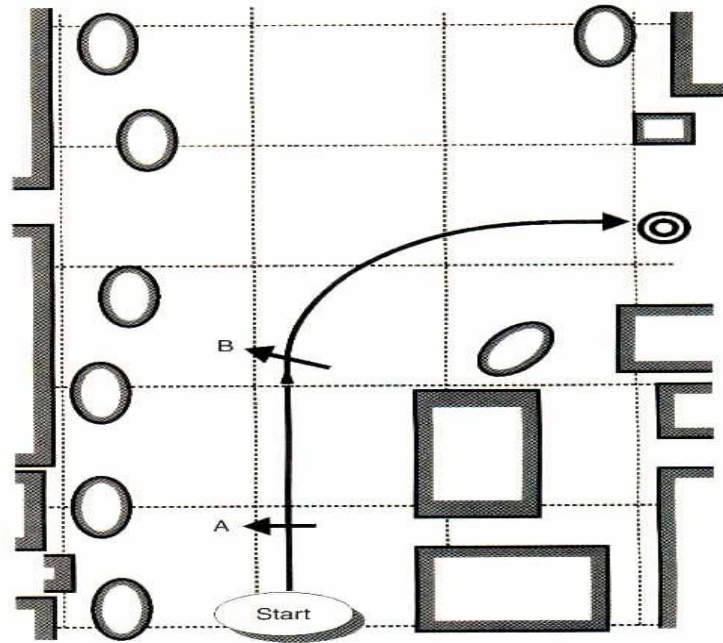


**Figura 3.5(b) Procesamiento de desplazamiento a través de la visión**

### **3.6 Experimento del sistema**

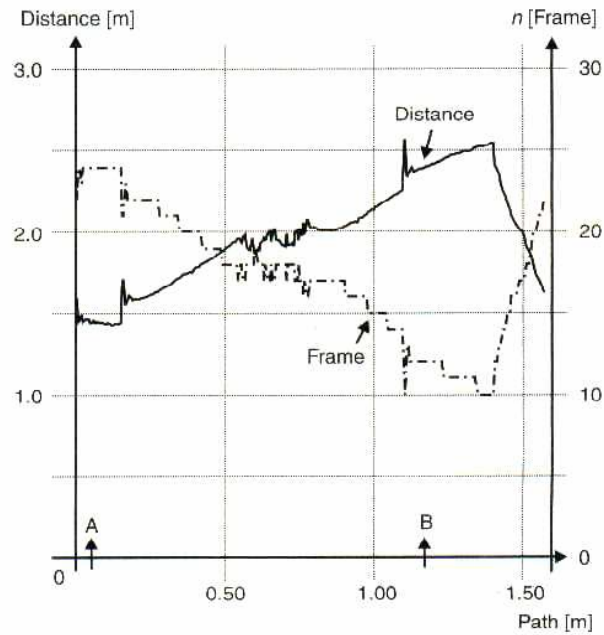
Primero que todo se llevaron a cabo experimentos para examinar si las funciones propuestas son correctas, y si las sillas de ruedas podrían navegar en un espacio angosto. La figura 3.6 muestra el mapa experimental del medio, donde los rectángulos y las elipses simbolizan los escritorios y las sillas respectivamente. La curva en esta figura muestra un ejemplo de la trayectoria de la silla de ruedas.





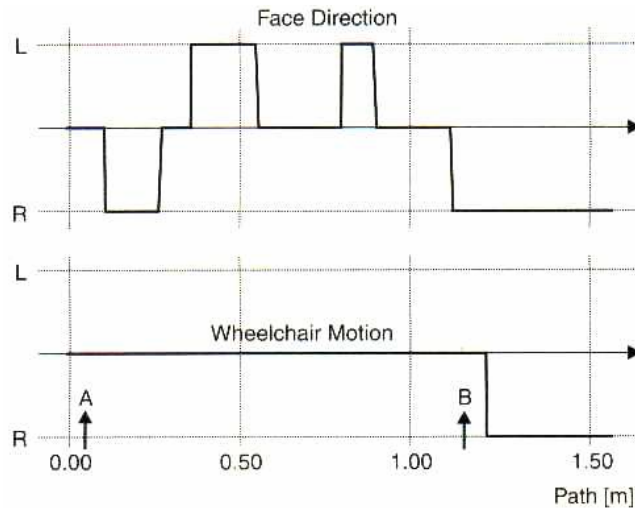
**Figura 3.6 Mapa experimental del medio**

La figura 3.7 muestra la distancia de la silla de ruedas a los obstáculos que se encuentran a la derecha de la trayectoria de A hasta B. Este también muestra el número de tramas  $n$  usadas en la rectificación de los datos de dirección del rostro. Ya que muchos objetos estaban localizados alrededor de A, el sistema se ajustó a un valor de  $n$  grande. Cuando la silla de ruedas se acerca a B el giro hacia la derecha se habilita, así, el valor de  $n$ , disminuye.



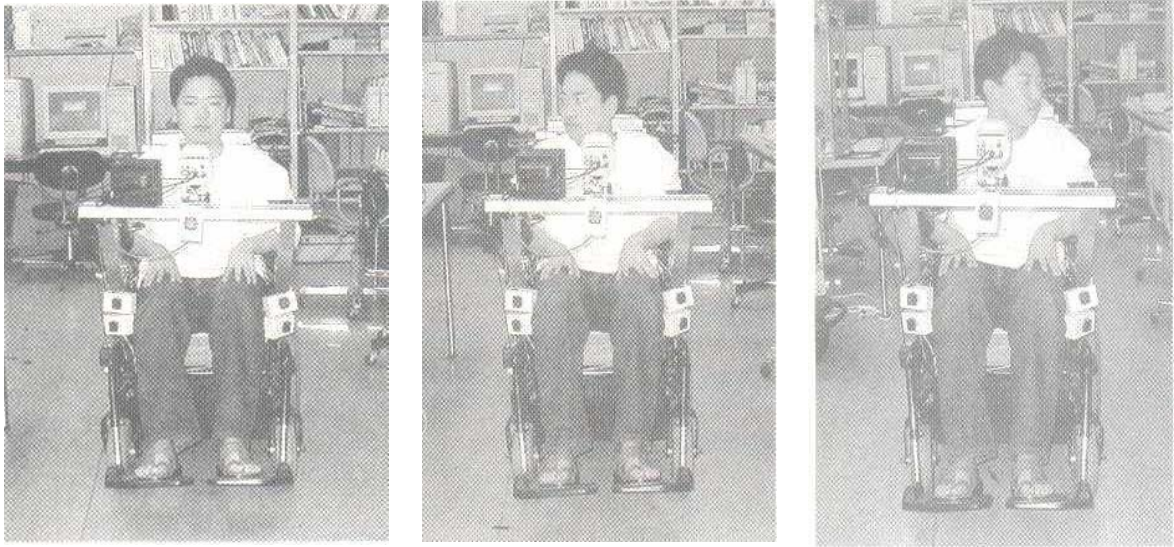
**Figura 3.7 Distancia a los obstáculos y número de tramas**

La parte superior de la figura 3.8 muestra la dirección del rostro durante el viaje, la parte más baja muestra el movimiento actual de la silla de ruedas. Aunque el usuario mueve su cabeza tres veces para mirar la escena antes de alcanzar B, la silla de ruedas se mueve hacia delante. Entonces, este gira a la derecha cuando el usuario gira su cabeza a la derecha para mostrar su intención de giro.



**Figura 3.8 Dirección del rostro y desplazamiento de la silla de ruedas**

La figura 3.9 muestra la silla de ruedas donde se simuló el experimento.



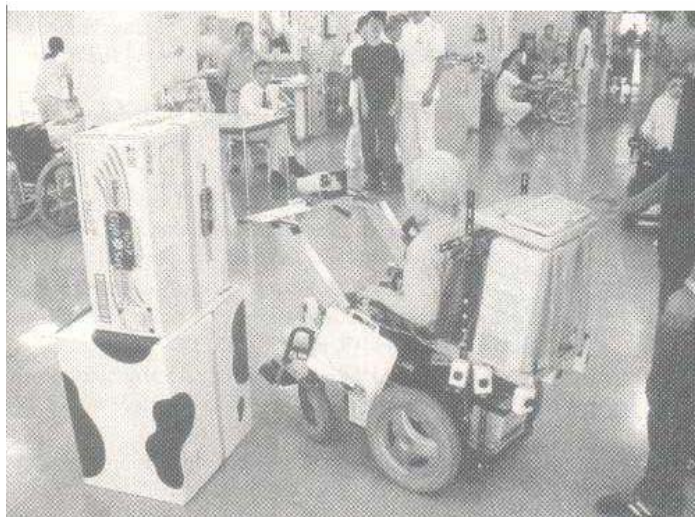
**Figura 3.9 Simulación del experimento**

### **3.7 Experimentos para los usuarios de las sillas de ruedas**

Se realizaron pruebas en un hospital donde los programas de rehabilitación fueron aplicados a personas que tenían dificultades motrices. Cinco pacientes, tres mujeres y dos hombres se reunieron para el experimento. Tres usaron las sillas de ruedas manuales y los otros dos usaron sillas de ruedas que se adaptaron a nuestro sistema.

Antes de montar las sillas de ruedas se les dieron las siguientes instrucciones: Si se mueve la cabeza verticalmente la silla de ruedas iniciara el desplazamiento, si se realiza nuevamente este movimiento la silla de ruedas se detendrá. La silla de ruedas se moverá en la dirección donde el usuario mire. Con estas instrucciones todos fueron capaces de mover la silla de ruedas sin ningún problema.

Después de confirmar que ellos fueron capaces de mover la silla de ruedas se llevaron a cabo experimentos para comprobar la efectividad de la integración de la observación del usuario y la observación del entorno. Se colocaron cajas como se muestra en la figura 3.10 sobre la trayectoria. Se le pidió a los usuarios evadir las cajas. Incluso aunque ellos intentaran observar las cajas, la silla de ruedas evadía exitosamente las cajas. Luego, se deshabilitó la función de integración y se les pidió a los usuarios nuevamente que evitaran las cajas. Aunque ellos también fueron capaces de evitar los obstáculos, el radio de giro alrededor de estos fue mayor que el del caso anterior. Debido a que cuando el usuario observa los obstáculos, la silla de ruedas gira en esa dirección. De esta forma, para evitar colisionar los usuarios trataron de mover la silla de ruedas para alejarse de ellos.



**Figura 3.10 Pruebas realizadas en un hospital**

### **3.8 Mando de la silla de ruedas por control remoto basado en el reconocimiento de rostros y gestos.**

En varias ocasiones las personas que usan silla de ruedas necesitan disponer de sus sillas de ruedas cuando no se encuentran utilizándolas, para esto se le brinda

la posibilidad de que la silla de ruedas vaya a ellos por medio de gestos de la mano, ya que estos gestos de la mano pueden ser usados en condiciones ruidosas. Sin embargo, el reconocimiento de los gestos de la mano por el computador es difícil en escenas complejas. En casos típicos, muchas personas se movilizan con el movimiento de sus manos. Así es difícil distinguir “un ven aquí” de cualquier otro comando de gestos que esté usando el usuario en una escena.

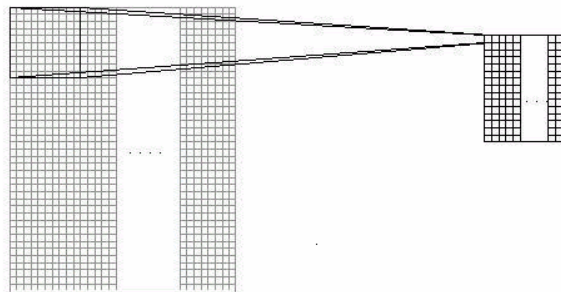
A través de la combinación de reconocimiento de rostro y el reconocimiento de gestos, el sistema extrae primero las regiones del rostro, detectando así el rostro del usuario. Luego, rastrea las manos del usuario, reconociendo a si los gestos de la mano. Desde que el rostro del usuario es localizado, un simple método puede reconocer los gestos de la mano. Este no puede ser alterado por otros movimientos en la escena.

El sistema extrae las regiones de intensidad de color de la piel a través de la segmentación. Este también extrae las regiones en movimiento a través de la sustracción entre tramas consecutivas. Las regiones que se encuentran alrededor de aquellas que fueron extraídas en ambos procesos son considerados como un posible rostro. El sistema enfoca a uno por uno de los posibles rostros, chequeando si es realmente un rostro examinando la existencia de las características del mismo.

**3.8.1 Reconocimiento de Rostros** Las imágenes que fueron reconocidas como rostro, son representadas por un vector  $\mathbf{F}$  de dimensión  $N \times 1$ , donde  $N$  es el número total de píxeles de la imagen. Este vector es obtenido al concatenar cada uno de los renglones de la matriz que representa un rostro. Cada uno de los elementos de un vector dado, representa las intensidades de los píxeles de la imagen en niveles de gris. Una vez que se cuenta con los vectores de los rostros, se procede a realizar la etapa de extracción de características.

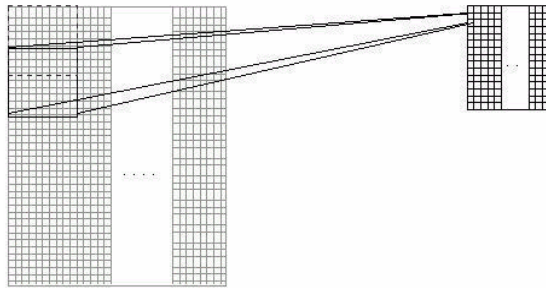
**3.8.1.1 Extracción de características** Para poder realizar la extracción de características del rostro, se puede utilizar un método que consiste en obtener un conjunto de ventanas aplicando los siguientes pasos: Primero se toma una pequeña área de la imagen original a la cual llamaremos ventana. Una vez que se obtienen los píxeles que formaran parte de la ventana, se obtiene el valor promedio de dichos píxeles. Este valor es colocado en una nueva matriz que contendrá todos los promedios de cada una de las ventanas obtenidas de la imagen original.

Después, se recorre la ventana un cierto número de píxeles, de tal forma que quede traslapada con la ventana anterior, como se muestra en la figura 3.11. A esta nueva ventana se le aplica el mismo procedimiento de la primera. El procedimiento de ir obteniendo ventanas a lo ancho de la imagen como se mostró anteriormente, se repite hasta llegar al otro extremo de la imagen.



**Figura 3.11 Primera ventana obtenida de la imagen original**

Una vez que se ha llegado al otro extremo de la imagen, se repite el mismo proceso pero ahora con la ventana desplazada una cierta cantidad de píxeles hacia abajo, de tal forma que esta nueva ventana quede traslapada por la ventana que se obtuvo en el proceso anterior como se muestra en la figura 3.12.



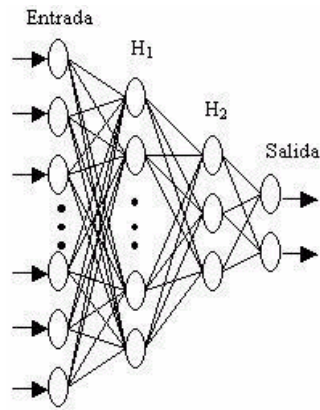
**Figura 3.12 Segunda ventana obtenida de la imagen original**

Nótese que la ventana obtenida al extremo derecho de la imagen puede llegar a ser más pequeña que las ventanas anteriores; esto ya dependerá del tamaño de la ventana y de cuantos píxeles se traslapan entre cada una de las ventanas. Lo mismo puede llegar a suceder con las ventanas obtenida de la parte inferior de la imagen. Estas ventanas de diferentes tamaños a las anteriores no deben llegar a causar muchos problemas, ya que de igual manera se obtiene el promedio de los píxeles que la conforman.

Este proceso se repite hasta que se llega a la esquina inferior derecha de la imagen original.

La matriz que se obtiene al final del proceso, la cual también podemos considerar como un vector si concatenamos los renglones, es a lo que nosotros llamaremos el vector de característica de la imagen original.

**3.8.1.2 Arquitectura de la Red Neuronal** Una vez que se cuenta con los vectores de características de los rostros, procedemos a realizar el reconocimiento, para lo cual, utilizamos una red neuronal alimentada hacia delante de perceptrones multicapa (MLP). Esta red consta de tres componentes principales, una capa de entrada, dos capas ocultas  $H_1$ ,  $H_2$  y una capa de salida. En la figura 3.13 se muestra la arquitectura de la red neuronal.



**Figura 3.13 Arquitectura de la red neuronal**

Para realizar la clasificación de un rostro durante la etapa de reconocimiento, es decir, decidir de que sujeto se trata, se utilizó el método de la mínima distancia entre vectores, utilizando la salida de la red neuronal como un vector de dimensión equivalente al número de rostros en la base de datos completa y calculando la distancia de este a los vectores posibles (imágenes reconocidas como rostros), dando como resultado el vector con la mínima distancia. Ver figura 3.14.



**Figura 3.14 Imagen original del usuario**



Después de que el rostro del usuario es detectado este es rastreado basándose en el método simple SAD. El movimiento de las regiones del color de la piel alrededor y bajo el rostro son consideradas como movimientos de las manos. Ellos también son rastreados. La figura 3.15 muestra un resultado de reconocimiento. Donde la posición relativa de las manos con respecto al rostro son computadas.



**Figura 3.15 Reconocimiento del rostro y de las manos**

El reconocimiento de gestos en medios complejos no puede ser perfecto, de esta forma el sistema mejora la capacidad a través de la interacción con el usuario. Si el patrón de un gesto particular registrado excede un umbral predeterminado, la silla de ruedas se mueve de acuerdo al comando indicado por ese gesto. Por lo tanto, el gesto más cercano al umbral predeterminado es escogido, aunque esté por debajo del valor umbral. De esta forma, la silla de ruedas se mueve de acuerdo a este comando de gestos. Si el usuario continua el mismo gesto después de ver este pequeño movimiento de la silla de ruedas, este considera que el resultado del reconocimiento es correcto, realizando a si la orden. Si el usuario cambia su gesto, este inicia el reconocimiento para un nuevo gesto. Iterando el proceso anterior, el patrón de gestos es registrado tal que el sistema pueda aprender este como una nueva variación del comando de gestos.

## **4.0 ASISTENCIA EN LA CONDUCCIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS**

Este artículo presenta una estructura mecánica y de control supervisado para asistencia a la conducción de una silla de ruedas robotizada. Con esta estructura se pretende aprovechar la capacidad del usuario de la silla de ruedas, aumentándola con un sistema de seguridad, que evite que la silla evolucione hacia situaciones peligrosas para el usuario, y de un sistema de funciones especiales o de alto nivel. Estas funciones son de dos tipos: unas liberan al usuario de actuaciones tediosas, mientras que otras le permiten conducir la silla en situaciones complejas.

### **4.1 Diseño Mecánico de la Silla de Ruedas**

Como primera instancia en el diseño de la silla de ruedas se ha considerado una población de usuarios compuesta por niños afectados por diversos tipos de enfermedades que derivan en incapacidades cerebrales, neuro-musculares y osteo-musculares. Estas van desde incapacidades temporales por procesos de recuperación, hasta enfermedades congénitas que disminuyen fuertemente la movilidad del niño en forma permanente.

En este sentido se tuvieron en cuenta los requerimientos propios del estado de los niños, tales como medidas antropométricas, comodidad y adaptabilidad de la silla. Sin embargo no se puede desconocer que a pesar de sus limitaciones, los niños siguen teniendo capacidades suficientes para decidir hacia donde moverse en función de las actividades que deseen realizar. Las características más relevantes derivadas de este estudio se enumeran a continuación:

- Asiento, espaldar y apoyabrazos graduables.
- Apoya cabezas con sujetador.

- Asiento muy suave para evitar escaras y úlceras.
- Las telas antialérgicas de fácil limpieza.
- Cinturones para sostener el tronco cruzado.
- Soportes para adaptar la interfase requerida.

Para poder atender a un número variado de potenciales usuarios se diseñó la estructura mecánica compuesta por dos módulos: la plataforma móvil y el asiento. De esta forma el asiento se puede retirar fácilmente y remplazarse por otro diseñado a medida para usuarios especiales.

**4.1.1 Cálculo del sistema motor** Para calcular el torque requerido por el sistema motor se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Peso de la silla y el usuario.
- Velocidad máxima.
- Diámetro de las ruedas de tracción.
- Efecto de aplastamiento que se presenta en las llantas debido a la carga que soporta.
- Condiciones críticas de funcionamiento (subir una rampa). El torque máximo está dado por la siguiente ecuación:

$$T_{Max} = T_{Arranque+Rampa} + T_{Aplastamiento}$$

$$T_{A+R} = R * \frac{\left( M \left( \left( \frac{V}{t} \right) + g(P * \cos(\theta) + \sin(\theta)) \right) \right)}{2}$$

Donde:

R: Radio de la rueda de Tracción = 0.15875 [m]

M: Masa total (silla de ruedas + niño) [Kg]

Silla = 70 [Kg]

Niño = 60[Kg]

V: Velocidad de avance = 0.277[m/s]

g :Gravedad = 9.8[m/s<sup>2</sup>]

t: Tiempo de respuesta de la silla = 0.25[s]

θ : Angulo de inclinación = 6.8[°]

p: Porcentaje de pérdida de energía = 0.12

Obteniendo

$$T_{A+R} = 35.5[Nm]$$

$$T_{Aplastamiento} = \frac{d * M * \text{Cos}(\theta) * g * p}{2}$$

Donde:

d: Aplastamiento de la llanta = 0.03 [m]

$$T_{Aplastamiento} = 2.3[Nm]$$

Como resultado se obtienen las condiciones de torque de los motores:

$$T_{Nom} = 26.4[Nm]$$

$$T_{Max} = 37.8[Nm]$$

## 4.2 Sistema sensorial de la silla de ruedas

El sistema sensorial contienen sensores de dos tipos: ultrasonido e infrarrojo\*. Se ha dispuesto un conjunto de sensores de ultrasonido alrededor de la silla para detectar obstáculos a nivel del suelo. Los sensores de infrarrojo se disponen para detección de huecos en el piso de tal forma que se puedan evitar escaleras o desniveles que puedan voltear la silla.

Para manejar estos sensores se diseñaron tarjetas electrónicas que proveen la alimentación y que procesan la señal de cada sensor. Adicionalmente se puede

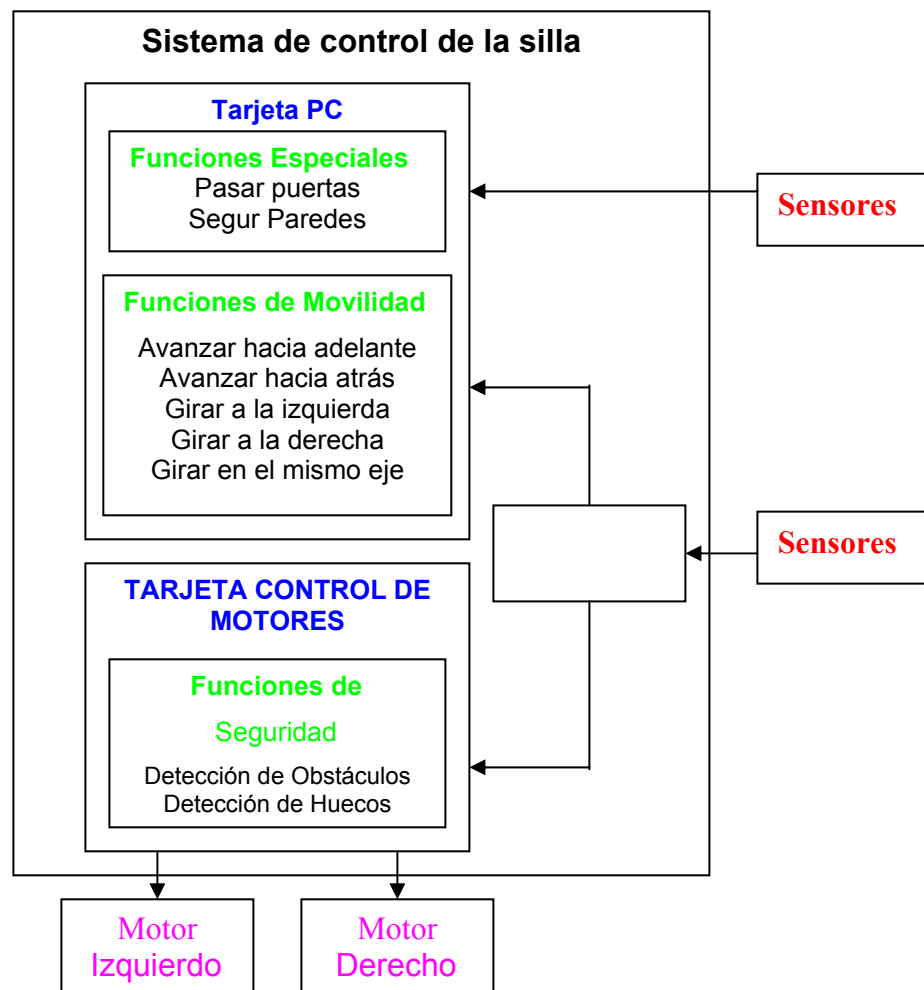
---

\* <http://sumar.utic.com.ar/resum4.html>

controlar la secuencia de lectura, para dar prioridad a los sensores que protegen la dirección de avance de la silla. Una de las metas más interesantes del proyecto es la utilización de estos mismos sensores cuya función primaria es la seguridad, para tareas de más alto nivel. Este aspecto se describirá posteriormente.

### 4.3 Sistema de control de la silla de ruedas.

El sistema de control que se propone es de control compartido o supervisado, en el cual el usuario indica la dirección de movimiento por medio de una interfase (tablero de botones o joystick) y el sistema de control lo valida automáticamente, verificando que la silla no se encuentre dentro de una zona de peligro.



### **Figura 4.1 Sistema de control de la silla**

El control compartido tiene como prioridad obedecer las órdenes que provengan del sistema sensorial ya que el usuario debido a su discapacidad puede estar ordenando a la silla un movimiento inseguro que puede estar perjudicando su integridad personal.

En la figura 4.1 se muestra un esquema de la arquitectura de funciones propuesta. En esta se distinguen tres niveles de funciones y que elemento del sistema de control que las realiza.

Las funciones de nivel 1 son funciones de seguridad que se ejecutan de forma continua siempre y cuando la silla este en movimiento. El resultado de su ejecución es una habilitación de las funciones de nivel 2, que son las de movilidad básica. Si alguna de las funciones de nivel 1 detecta una situación no segura bloquea los comandos de la interfase que conducen a esta situación y detiene la silla.

Por ejemplo, la silla ha recibido la orden de avanzar hacia adelante, luego de avanzar cierto tiempo la función detección de obstáculos detecta la proximidad a una pared, como resultado de esto se bloquean los comandos que hacen avanzar la silla en esta dirección y la silla se detiene. Al usuario le quedan cuatro únicos comandos operables (funciones de nivel 2), girar a la derecha, girar a la izquierda, girar sobre su mismo eje o avanzar hacia atrás, todos ellos alejándolo de la situación de peligro, siempre y cuando las funciones de nivel 1 lo permitan.

Las funciones de nivel 2 son funciones de movilidad básica que se ejecutan como resultado de una entrada a través de la interfase, previa habilitación de las funciones de nivel 1, como se explicó anteriormente.

Las funciones de nivel 3 son algoritmos de movimiento implantados a través del algoritmo de control. Cada una de ellas tiene su propio elemento accionador en la interfase (un botón) y siempre están bajo la supervisión de las funciones de nivel 1 para evitar situaciones de riesgo.

#### **4.4 Desarrollo de funciones de seguridad**

Para desarrollar las funciones básicas de seguridad se requieren algunos parámetros como:

- Velocidad de avance.
- Desaceleración.
- Tiempo de frenado.
- Distancia de frenado.
- Información suministrada por el sistema sensorial como función de la velocidad de avance de la silla.
- Tiempo de procesamiento de la información suministrada por el sistema sensorial.

En la Figura 4.2 se observan las diferentes zonas de seguridad para un caso específico como es “ir hacia delante”. Cada una de estas zonas de seguridad depende de la velocidad de avance, en este caso hay tres zonas de seguridad correspondientes con tres velocidades.



**Figura 4.2 Zonas de seguridad**

Las funciones básicas de seguridad están clasificadas según el movimiento que se ejecute con el objetivo mejorar el tiempo de respuesta realizando ciclos de sensado más cortos.

#### **4.5 Funciones especiales de la silla de ruedas**

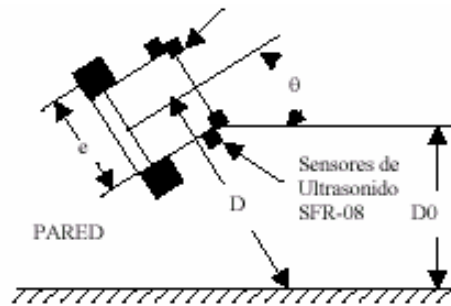
En las funciones especiales existen dos grandes grupos: funciones tediosas y funciones complejas. Para cada uno de estos grupos se presenta el desarrollo de una función: seguir un muro y pasar puertas. Estas se eligieron debido a la cotidianidad con que se pueden requerir.

**4.5.1 Seguimiento de Muros** Seguir un muro es una acción tediosa, ya que el usuario requiere estar permanentemente ejecutando la acción de avanzar a la vez que evita obstáculos menores en su recorrido: materas, cestas de basura, asientos, etc.

Esto motivó el desarrollo de una función seguir muro la cual es capaz de evitar de forma parcial todos los obstáculos anteriormente mencionados: el usuario oprime un botón y la silla se encarga de ejecutar la acción.



La implementación de esta función se basa en la información suministrada por los sensores de ultrasonido ver figura 4.3.



**Figura 4.3 Seguimiento de Muros**

El algoritmo se basa en la medición realizada por un solo sensor. Este toma el primer valor como la distancia a la cual se quiere seguir el muro y con la siguiente medición se inicia a evaluar la orientación correspondiente de la silla respecto a la pared. De forma iterativa, hasta cumplir con la condiciones de orientación y distancia.

La solución al seguimiento de muros se realiza por medio de un control proporcional.

$$\Delta\omega = \frac{-K(D - D_0)}{V_{Des} * \cos(\theta)} - \beta * \tan(\theta)$$

En la ecuación anterior adaptada de (Bemporad 1977) se realizan dos tipos de correcciones una de posición y otra de orientación, la primera corrección esta compuesta por el término  $\frac{-K(D - D_0)}{V_{Des} * \cos(\theta)}$  con el cual se busca corregir la posición de

la silla respecto al muro y con la segunda corrección que contiene el término  $-\beta * \tan(\theta)$ , se corrige la orientación de la silla respecto al muro.

$$\omega_1 = (V + e * \Delta\omega) / r$$

$$\omega_2 = (V - e * \Delta\omega) / r$$

Donde:

$V$ :  $V$  desplazamiento = 0.30 m/s.

$K, \beta$ : Son parámetros de ajuste del control.

$D_0$ : Distancia a la cual se quiere seguir el muro [m].

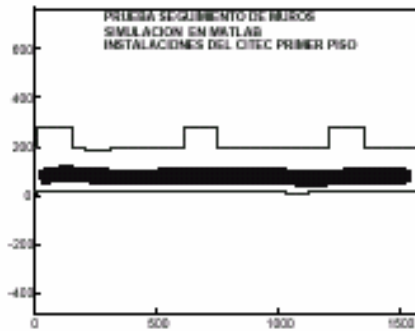
$D$ : Distancia entre el centro del móvil y la pared [m].

$\theta$ : Es el ángulo entre el móvil y la pared [Rad].

$r$ : Radio de la ruedas de tracción [m].

$\omega_1$  y  $\omega_2$  Son las velocidades angulares dadas a los servomotores.

**4.5.2 Resultado Experimental** Empleando un sensor de ultrasonido SRF-08 se realizó una prueba de seguimiento de muro derecho, con  $k = 0.05$ ,  $\beta = 2$ ,  $D_0 = 0.42$  m, *inicial*  $\theta = 20^\circ$ ,  $V_{\text{Desplazamiento}} = 0.3$  m/s,  $r = 0.158$  m



(a)

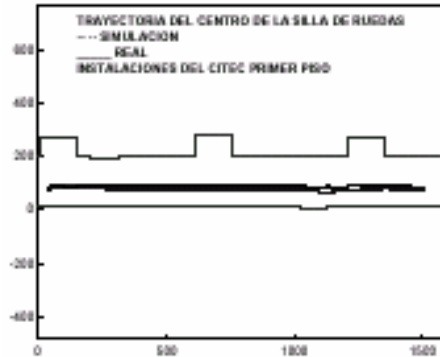


(b)

**Figura 4.4 Trayectoria de la silla en función del seguimiento de muros**

En la figuras 4.4(a) y 4.4(b) se observa las trayectorias seguidas por la silla en la función seguir muro, tanto en simulación y prueba real, donde se observa como en simulación la silla reacciona inmediatamente cuando se detecta una puerta, esto se debe a que en la simulación el sensor de ultrasonido se considera como un haz perpendicular a la silla.

En la Figura 4.4(b) se observa como dicha reacción es más tardía debido a que el patrón de radiación de los sensores es en realidad un cono de  $85^\circ$  y falta aumentar un poco la tasa de muestreo de los sensores.

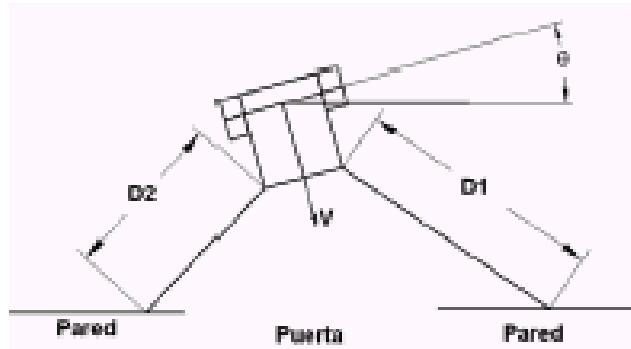


**Figura 4.5 Simulación de la trayectoria del punto medio de la silla de ruedas**

En la Figura 4.5 se observa la comparación entre la trayectoria del punto medio de la silla en simulación como real obteniendo un resultado satisfactorio, presentándose desviaciones entre la trayectoria real y simulación debido a un posible deslizamiento de las ruedas y la desalineación de las ruedas locas.

**4.5.3 Pasar Puertas** Pasar puerta se clasifica como un función compleja debido a que el usuario no tiene una buena capacidad de movimiento para poder observar que obstáculos tiene cerca de la silla lo cual hace que la función de seguridad no le permita poder avanzar ya sea por un obstáculo o por que esta muy cerca uno de los párales del marco de una puerta. Con la implementación de esta función se bajan la velocidad a  $0.1 \text{ [m/s]}$  y se bajan los rangos de seguridad para poder pasar por una puerta.

Para implementar esta función se emplea la información obtenida del sistema sensorial, donde se compara la información entre los dos sensores de ultrasonido ubicados en las esquinas de la silla en la parte frontal con un ángulo de inclinación de  $30^\circ$  (ver figura 4.6), cuando los dos sensores indiquen una misma distancia se garantiza que se encuentra en frente de una puerta.



**Figura 4.6 Identificación de puertas o entradas de un recinto**

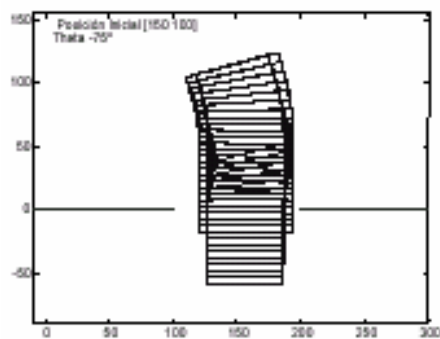
$$\Delta\omega = \frac{-K(D_1 - D_2)}{V_{Des} * \cos(\theta)}$$

$$\omega_1 = (V + e * \Delta\omega) / r$$

$$\omega_2 = (V - e * \Delta\omega) / r$$

En la última ecuación se realizan correcciones de orientación de tal manera que a medida que las dos distancias sean iguales se está garantizando que se encuentra enfrente a la puerta y puede seguir avanzando.

Se implementó una primera aproximación del algoritmo de pasar puerta desarrollado en MatLab obteniendo los resultados que se ilustran en la figura 4.7, donde se puede observar como a medida que avanza se va corrigiendo su orientación hasta que da de forma paralela al marco de la puerta para seguir avanzando.



**Figura 4.7 Simulación en Matlab de la orientación de la silla de ruedas**

## **5.0 AUTOLOCALIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO MEDIANTE MARCAS ARTIFICIALES CODIFICADAS**

Un nuevo Sistema de Posicionamiento y Localización (SPL) basado en Marcas Artificiales codificadas se diseñó para ser instalado a bordo de Sillas de Ruedas Autónomas (SRA's); con el fin de mejorar las estrategias de navegación. Las necesidades especiales de estos vehículos descartan otras soluciones que, a pesar de estar suficientemente contrastadas en robótica móvil, no pueden ser directamente extrapoladas a este caso por razones de coste o fiabilidad. Las Marcas Artificiales del SPL han sido diseñadas para proporcionar, con un coste mínimo, información sobre la posición relativa del móvil respecto a la marca y de la localización de la marca respecto de un mapa topológico asociado; de esta forma se puede conocer la posición absoluta del móvil incluso en entornos fuertemente estructurados, sin las ambigüedades inherentes a otros sistemas. Dadas sus prestaciones, el campo de aplicación del SPL no se restringe sólo a las SRA's, sino que es fácilmente extrapolable a cualquier robot móvil, de similares características.

### **5.1 Guiado y navegación en las SRA's**

Las prestaciones de navegación autónoma de las SRA's están directamente relacionadas con la estructura sensorial definida, tanto para el entorno como para el vehículo. En la mayor parte de los casos, la estructura sensorial mínima consiste en sensores de infrarrojos (IR) y ultrasonidos (US) usados además como detectores de obstáculos. De esta forma se encuentran vehículos de comportamiento similar a los filoguiados industriales pero que, por razones de coste, siguen líneas pintadas en el suelo.

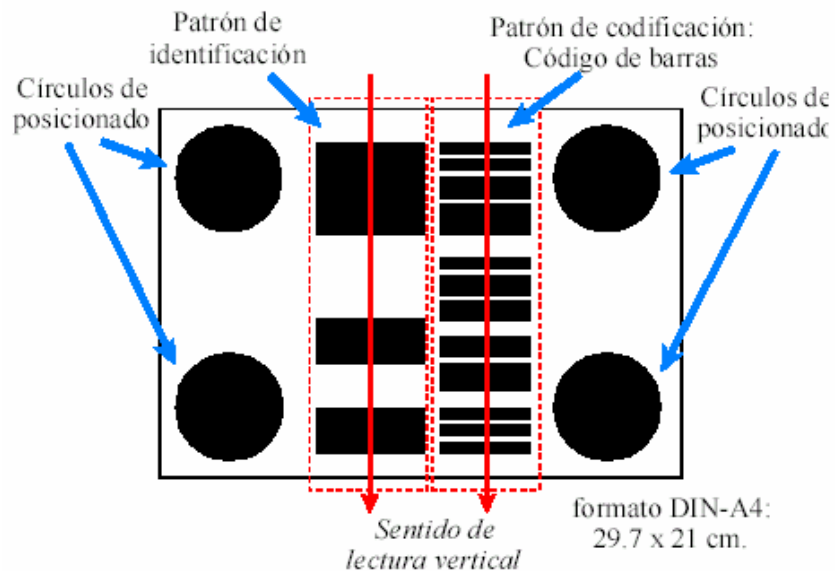
La estructura sensorial con IR y US es suficiente para realizar sistemas de navegación reactiva, y además permiten la navegación mediante técnicas de correspondencia con mapas adecuados del entorno; este es el caso de la silla *SENARIO* [7]. Sin embargo, estos sistemas no responden suficientemente en casos de ambigüedades, inherentes a entornos fuertemente estructurados y sujetos a cambios imprevistos en la distribución de obstáculos.

**5.1.1 Visión y Marcas Artificiales** Los sensores de visión permiten aumentar las posibilidades de reconocimiento del entorno, bien utilizando *marcas naturales* o bien usando *marcas artificiales*. El primer caso, mediante marcas naturales, es potencialmente más interesante pues en teoría no necesitaría infraestructura externa adicional; este es el caso, por ejemplo, de la SRA experimentada en el *Shirai Lab* de Osaka, la cual utiliza estereo-visión en color; sin embargo, los tiempos de proceso son todavía muy largos y la velocidad del móvil es muy reducida (de 0033m= s). En otros casos se usa visión panorámica o una unidad de *pan-tilt*, con cámara convencional, para reconocer parámetros más definidores del entorno. Las dificultades de responder suficientemente a las condicionantes asociadas a una SRA, principalmente coste, infraestructura necesaria y rapidez de proceso, fuerzan a marcar el entorno de una u otra forma. Así, en *Tetranauta* se proponen elementos inalámbricos de corto alcance, como los RFID's; también, se usan pequeñas marcas codificadas, detectadas por visión, como *señalizadores de ruta*. Por otro lado, las marcas artificiales permiten obtener, si su geometría es conocida *a priori*, información métrica correspondiente a la posición y orientación relativas entre marca y cámara. Sin embargo, no se han combinado en una sola marca artificial información geométrica, suficiente para determinar la posición-orientación relativa marca-cámara, e información codificada, necesaria para determinar la localización absoluta en un entorno dado.

## 5.2 Sistema de Navegación basado en marcas artificiales codificadas

El sistema de navegación experimentado en la SRA *SIAMO*, desarrollada por el equipo del departamento de Electrónica de la Universidad de Alcalá, utiliza Marcas Artificiales codificadas para conocer la posición-orientación absoluta del vehículo. Los componentes básicos del sistema de navegación propuesto son:

- Un subsistema de visión artificial estándar (cámara VGA y un PC empotrado), a bordo de la SRA.
- La marca artificial, denominada *Marca de Posicionamiento y Localización* (MPL), diseñada para esta tarea.
- El Mapa Topológico de descripción del entorno.



**Figura 5.1** Marca de Posicionamiento y Localización: estructura y componentes de la misma.

Tanto las prestaciones del sistema de navegación como la estructura del mismo se encuentran directamente relacionadas con las prestaciones del sistema de visión artificial y de la marca definida. Al subconjunto de estos dos componentes, que forman un sistema en sí mismo, se le denominará en adelante *Sistema de Posicionamiento y Localización* (SPL).

### **5.3 Marca de Posicionamiento y Localización, MPL**

La MPL es el elemento clave del SPL; su estructura se muestra en la figura 5.1. Se trata de una hoja de papel blanco, formato DIN-A4 (de 2907£21 cm), con un patrón en blanco y negro impreso en él. Los patrones se pueden agrupar, de acuerdo a su función, de la siguiente forma:

- Cuatro círculos iguales, situados en posiciones extremas (cerca de las esquinas), de dimensiones y posición conocidas y que conforman el patrón de posicionamiento.
- Un patrón vertical de identificación de MPL (barras gruesas, grupo central-izquierdo), el mismo para todas las marcas.
- Un patrón vertical de codificación (código de barras finas, grupo central-derecho), único para cada MPL en un determinado entorno y que permite establecer, de forma unívoca, la localización de la misma.

La combinación en la MPL de información geométrica (los cuatro puntos) y codificada (el código de barras) permite obtener una precisión suficiente en la determinación de la posición-orientación así como eliminar ambigüedades en la



localización. Por su parte, el patrón de identificación de marca, al ser el mismo para todas las MPL, simplifica y aumenta la fiabilidad del proceso de segmentación de la MPL de entre el resto de elementos de una imagen dada. A la rapidez del proceso de segmentación también contribuye el hecho de que tanto el patrón de identificación como el código de barras son patrones unidimensionales, con un sentido de lectura correspondiente a las columnas de la imagen. La elección de un formato estándar para el soporte (hoja DIN-A4) y de un patrón en blanco y negro facilitaría, además, la implantación práctica del sistema, pues cualquier usuario o terapeuta puede imprimir y colocar las marcas necesarias para su entorno de interés.

En lo que respecta a las capacidades de codificación, se utiliza un código de barras basado en el sistema de identificación de productos, UPC, y similar al EAN-131. La codificación usada contiene cuatro dígitos decimales, con un sencillo *checksum* de verificación, con lo que se obtienen hasta 10.000 MPL distintas para codificar un entorno dado, número que se estima más que suficiente en esta fase de definición. Cada código de MPL proporciona una entrada a la base de datos asociada al Mapa Topológico del entorno, en donde el código anterior se traduce en una localización unívoca la cual, en conjunción con la información de posición relativa dada por los cuatro círculos, proporciona la posición absoluta del móvil.

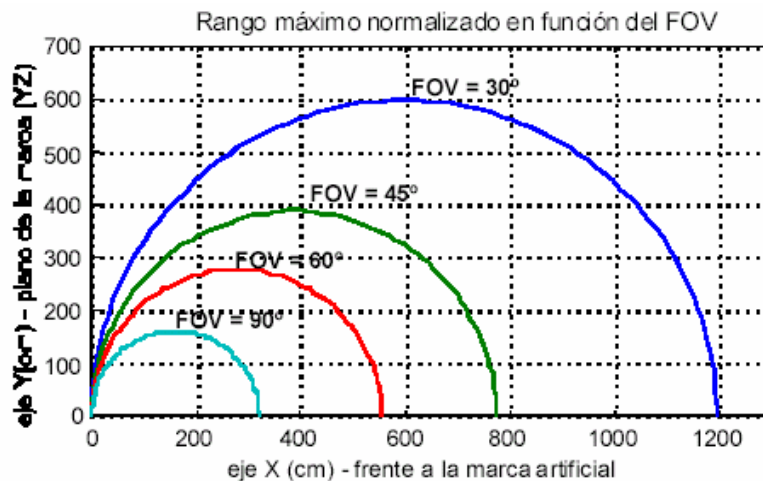
**5.3.1 Detección y segmentación de la MPL** En adelante, y a efectos del análisis de las prestaciones del sistema, se tomará como plano de rodadura el XY. En esta situación, la MPL ocupará el origen y estará situada en el plano Y Z (lo que en 2D equivale al eje Y ). Supuesta conocida la relación entre el vehículo y la cámara instalada a bordo, el problema queda definido estableciendo las relaciones que ligan la MPL con la cámara. En consecuencia, las prestaciones del SPL quedarán determinadas por las obtenidas en el sistema MPL-cámara.

**5.3.2 Área de cobertura de la MPL** La disposición en vertical de los patrones de identificación de marca y del código de barras permiten obtener mayor zona de

cobertura que si éstos estuvieran orientados en horizontal, aumentando así el rango asociado a cada MPL. En las mejores condiciones, suponiendo una correcta alineación entre el eje óptico de la cámara y la MPL, la distancia máxima de cobertura del sistema viene dada por:

$$D = \frac{P_h}{\#p} \cdot \frac{\cos \phi}{2 \tan\left(\frac{FOV}{2}\right)} \quad (\text{expresión 1})$$

En donde D representa la distancia normalizada por cada centímetro de patrón, FOV es el campo de visión horizontal de la cámara usada, Ph es el número de píxeles horizontales de la cámara, #p es el número de píxeles proyectados en el plano imagen y Á es el ángulo formado entre la normal a la marca y el eje óptico. Una representación de la función anterior se muestra en la figura 5.2, observándose la forma circular del área de cobertura, siendo el diámetro de la misma el alcance máximo del SPL en la normal a la marca.

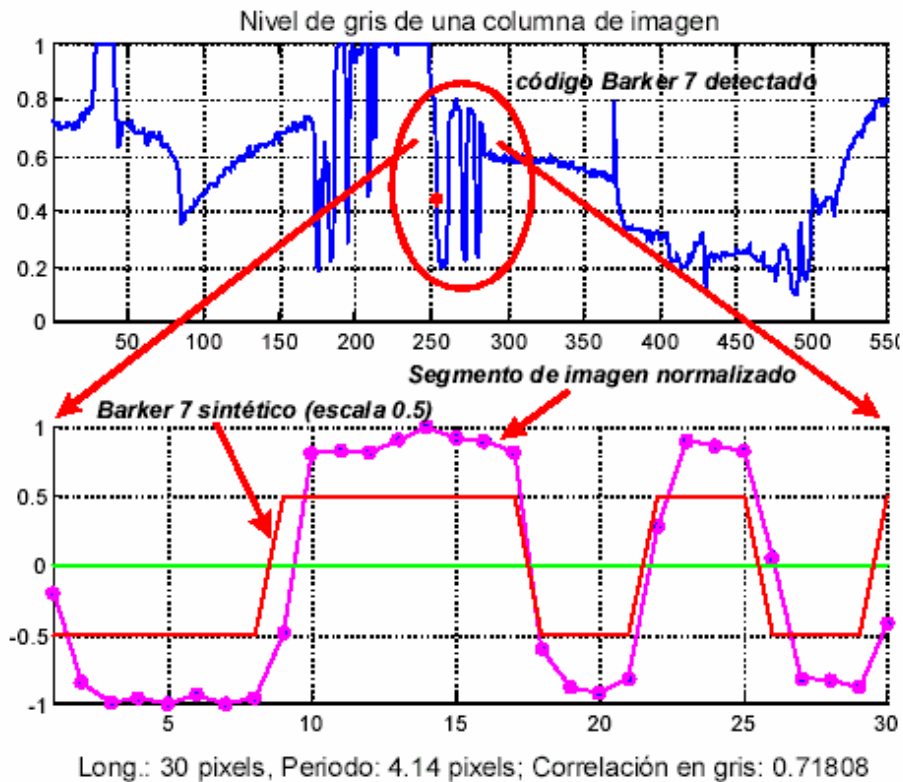


**Figura 5.2 Área de cobertura máxima de la MPL, en función del FOV de la cámara.**

Tomando como ejemplo una cámara VGA estándar con una óptica de FOV=45 ±, y considerando aceptable una proyección de #p = 3 pixels, el alcance obtenido es

de 2:57m por cada centímetro del patrón. En la figura 5.1 puede verse como la dimensión horizontal de los patrones a detectar es considerablemente mayor que la vertical. Cuando la cámara gira alrededor de la marca al rodar por el plano XY , la dimensión vertical apenas sufre cambios mientras que la horizontal se comprime siguiendo la forma indicada por la expresión 1; por ello la dimensión horizontal de los patrones es la que condiciona en la práctica el área de cobertura real, por lo que se ha maximizado el ancho de los símbolos dentro de lo posible.

**5.3.3 Detección de la presencia de una MPL** El patrón de identificación de MPL (figura 5.1) responde a una codificación Barker de 7 bits; la característica más importante de este patrón es su alta autocorrelación, frente a patrones de ruido similares, lo cual facilita la detección de su presencia en imágenes estructuradas. Dada la estructura unidimensional de este código, su búsqueda se realiza explorando la imagen por columnas, en sentido descendente. El problema radica en que no se conoce el tamaño del código Barker, pues la distancia a la marca es desconocida, en primera instancia; por ello, se deben explorar todas las posibles ocurrencias de un código Barker 7 en la imagen a procesar. Cada columna de imagen es filtrada, como un array lineal, en busca de las transiciones blanco-negro y negro-blanco más significativas, que se muestran como picos negativos y positivos en la derivada del array de datos; encontrados estos picos, se buscan todas las combinaciones de los mismos que puedan corresponder a un código Barker y se extraen los intervalos de separación entre ellos. Si estos intervalos se corresponden a los que encierra el código Barker 7 de referencia, aún se realiza una última correlación, en niveles de gris normalizados, entre el segmento de la columna imagen bajo prueba y una síntesis del código Barker 7 con su mismo periodo. Un resumen de este proceso se muestra gráficamente en la figura 5.3.



**Figura 5.3** Secuencia de detección de una MPL: búsqueda del código Barker 7 en una columna de imagen.

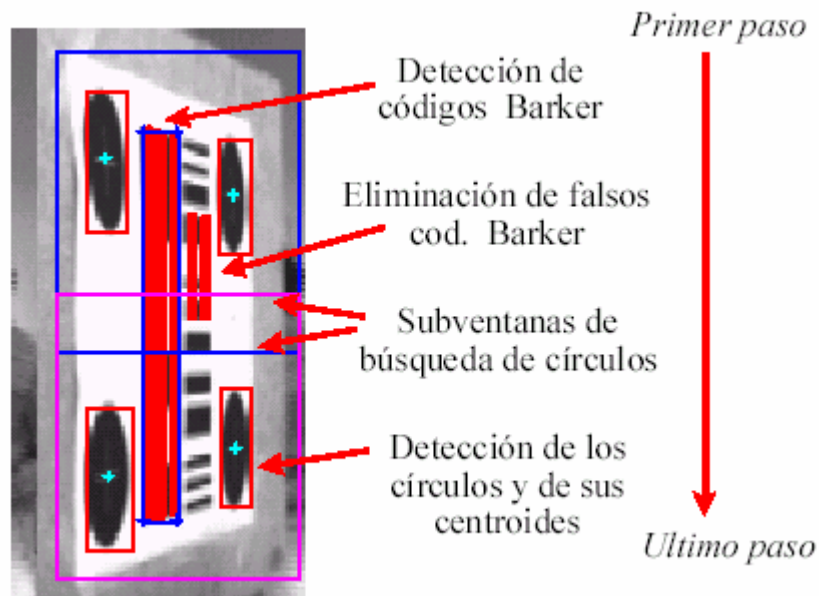
La efectividad del algoritmo propuesto se puede observar en la imagen de prueba que se muestra en la figura 5.4; ésta corresponde a una imagen de 768 x 576 píxeles, tomada con iluminación artificial, y en la cual existen tres marcas válidas y numerosas fuentes de posibles errores, debido a estructuras similares al código Barker a detectar.



**Figura 5.4 Imagen de prueba: puntos de prueba y códigos detectados.**

Del total de 442368 píxeles de la imagen, se detectaron 1716 secuencias de transiciones a comprobar, lo que se corresponde con sólo un 2'5% de todos los puntos de la imagen; de ellos, sólo 26 se identificaron como códigos Barker válidos, lo que representa un 100% de aciertos y un 0% de falsos blancos.

**5.3.4 Segmentación de los distintos patrones sobre la MPL** Una vez identificada la presencia de una MPL, la segmentación del resto de componentes de la misma y la extracción de sus características se facilita notablemente a partir de la posición del código Barker 7 identificado.



**Figura 5.5 Segmentación de la información de la MPL**

La figura 5.5 muestra, esquemáticamente, el proceso seguido. Una vez encontrados todos los posibles códigos Barker en la imagen, éstos se agrupan para eliminar, en su caso, marcas secundarias o falsos blancos; la figura 5.5 muestra un caso interesante en el que cierta combinación del código de barras resulta ser similar al código Barker 7: este falso blanco es eliminado por su cercanía al código Barker mayor. Los círculos se buscan en el interior de varias subventanas, cuyas dimensiones y posición se determinan a partir de la del código Barker válido. La información de entrada al algoritmo de posicionamiento, que se describirá en la siguiente sección, es la posición de los centros de los círculos. Esta información se extrae de las centroides de las proyecciones horizontal y vertical de los círculos segmentados, mediante un ajuste parabólico de las citadas proyecciones.

De las pruebas realizadas en una batería de 300 imágenes, con la MPL a distancias entre 1 y 5 metros y con desviaciones angulares,  $\hat{A}$ , entre 0 y  $90\pm$ , se desprende que la desviación típica en la obtención de las centroides por este

método se encuentra por debajo los 0015 píxeles, dato que condicionará las prestaciones del algoritmo de posicionamiento. Dada la menor dimensión de los patrones del código de barras, la segmentación del mismo se realizará sólo si la MPL se encuentra lo suficientemente cerca, dentro del área de cobertura prevista por la expresión (1).

#### 5.4 Algoritmo de posicionamiento

La recuperación de la posición-orientación se realiza a partir de las coordenadas en 2D de las proyecciones en el plano imagen de los centros de los círculos de la MPL. El problema estriba en que los errores en la recuperación de tales centros pueden llevar a errores inaceptables en la recuperación de la posición. La geometría básica del algoritmo de recuperación de posición se muestra en la Figura 5.6.

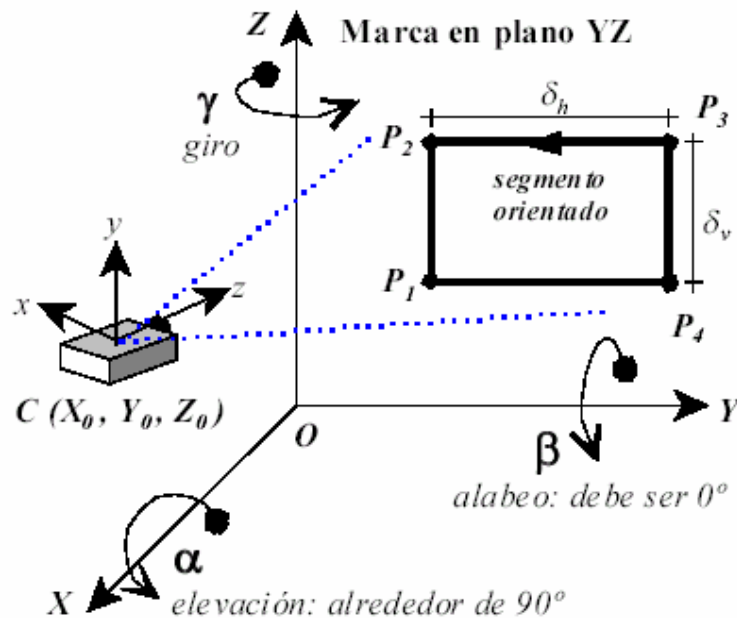
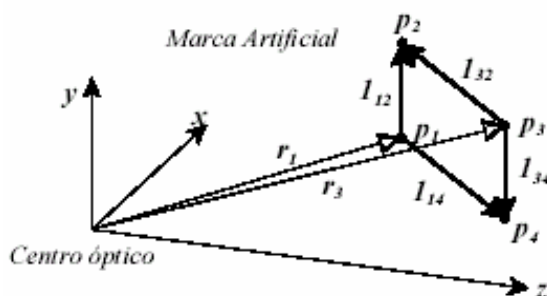


Figura 5.6 Recuperación de la posición: ejes de referencia, variables implicadas y estructura de la marca para esta fase.

En efecto, con sólo los cuatro puntos definidos por la marca, de P1 a P4, la sensibilidad a los errores de detección de centroides es muy grande, lo cual limita el alcance efectivo del SPL a poco más de dos metros de distancia, coincidiendo con resultados de sistemas similares]. Sin embargo, admitiendo ciertas restricciones en el sistema, la sensibilidad de las soluciones disminuye y con ello aumenta muy notablemente el rango de medida. Estas restricciones implican, en esencia, un cierto conocimiento *a priori* de la solución, en concreto respecto a los ángulos  $\alpha$ , de elevación, y  $\beta$  de alabeo (figura 5.6). Se toma  $\beta = 0^\circ$ , por el montaje de la cámara sobre su soporte, y el ángulo  $\alpha$  se conoce bien por montaje (caso de ser fija la elevación de cámara) o por lectura del ángulo de elevación en una unidad *pan-tilt*, caso de equiparse ésta. Estas suposiciones no resultan ser especialmente críticas en la recuperación de la posición relativa, pues tanto por simulación como experimentalmente se obtiene que desviaciones en los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$  de  $\pm 5\%$  no afectan notablemente al resultado del algoritmo, pues la posición obtenida se mantiene dentro de la elipse de incertidumbre ligada al error de recuperación de centroides previsto.

**5.4.1 Algoritmo de recuperación de posición-orientación** La figura 5.7 ilustra el fundamento geométrico de este algoritmo. Partiendo de la marca mostrada en la figura 5.6, pueden reconocerse en la MPL dos estructuras triangulares formada por dos vectores orientados ortogonales.



**Figura 5.7 MPL: Recuperación de la posición-orientación**



En la figura 5.7, ambas estructuras se muestran referenciadas por los vectores  $r_1$  y  $r_3$ , formados por los conjuntos de puntos y segmentos orientados siguientes:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_1 &\rightarrow [\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_4, \mathbf{l}_{12}, \mathbf{l}_{14}] \\ \mathbf{r}_3 &\rightarrow [\mathbf{p}_3, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_4, \mathbf{l}_{32}, \mathbf{l}_{34}] \end{aligned} \quad (\text{expresión 2})$$

Supuestos conocidos  $\alpha$  y  $\beta$ , y extrayendo el subconjunto adecuado de las transformaciones de rotación y traslación de la cámara respecto de la marca se obtiene :

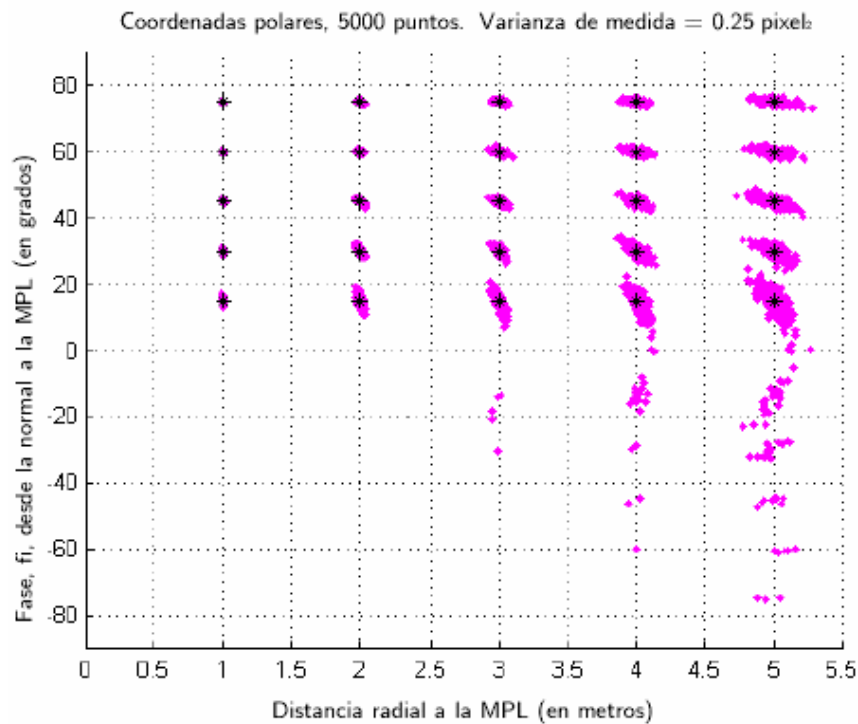
$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} u_2 - u_1 \\ v_2 - v_1 \end{bmatrix} z_1 &= \begin{bmatrix} -\delta_v u_2 C\alpha \\ \delta_v (\lambda S\alpha - v_2 C\alpha) \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} u_4 - u_3 \\ v_4 - v_3 \end{bmatrix} z_3 &= \begin{bmatrix} \delta_v u_4 C\alpha \\ -\delta_v (\lambda S\alpha - v_4 C\alpha) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (\text{expresión 3})$$

en donde  $S\alpha$  y  $C\alpha$ , son abreviaturas de  $\sin\alpha$  y  $\cos\alpha$ , respectivamente;  $U_i$  y  $V_i$  las coordenadas horizontal y vertical de la proyección de los centroides de  $p_i$  sobre el plano imagen de la cámara;  $\lambda$  la distancia focal;  $\delta_h$  y  $\delta_v$  las longitudes de los segmentos horizontal y vertical definidos por los puntos  $P_i$  y  $\alpha$  el ángulo de elevación (conocido). De la expresión 3 se obtienen las distancias  $z_1$  y  $z_3$  a los puntos de referencia  $p_1$  y  $p_3$ . Conocidas estas distancias, la determinación del ángulo de giro se realiza mediante:

$$\begin{bmatrix} (u_4 - u_1) \frac{z_1}{\delta_h} \\ (v_4 - v_1) \frac{z_1}{\delta_h} \\ (u_2 - u_3) \frac{z_3}{\delta_h} \\ (v_2 - v_3) \frac{z_3}{\delta_h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda & u_4 S\alpha \\ 0 & (\lambda C\alpha + v_4 S\alpha) \\ -\lambda & -u_2 S\alpha \\ 0 & -(\lambda C\alpha + v_2 S\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S\gamma \\ C\gamma \end{bmatrix} \quad (\text{expresión 4})$$

en donde  $\sin\lambda$  y  $\cos\lambda$  pueden considerarse variables independientes en un sistema lineal de esta forma queda determinada la matriz de rotación  $R = f(\alpha, \beta, \lambda)$  sabiéndose además los vectores  $r_1$  y  $r_3$  con lo que la recuperación de la posición-orientación de la cámara respecto de la MPL es inmediata.

La figura 5.8, muestra los resultados de la simulación del SPL para distancias de la marca,  $R$ , comprendidas entre 1 y 5m y con desviaciones de la normal,  $\phi$ , entre  $0^\circ$  y  $75^\circ$ .



**Figura 5.8 Resultados de la simulación del SPL, con varianza de detección de centroides de valor  $\sigma^2 = 0.25\text{pixel}^2$ .**

La varianza de detección de centroides en la imagen se fijó en  $0.25\text{pixel}^2$ , correspondiente a una  $\sigma = 0.5$  píxel. Se comprueba cómo la precisión en la medida de la distancia se mantiene dentro de límites aceptables: incluso para  $R = 5\text{m}$ , la elipsoide de error tiene por límites unos  $\pm 25$  cm.

Al respecto de la medida de la desviación angular cabe señalar varios efectos:

- Para ángulos elevados el error es muy bajo, del orden de  $\pm 2^\circ$  para  $\phi = 75^\circ$ .
- El error es creciente según el ángulo de desviación  $\phi$  se aproxima a cero.
- En ocasiones, aparecen puntos erróneos en posiciones especulares ( $\phi$  con signo contrario).

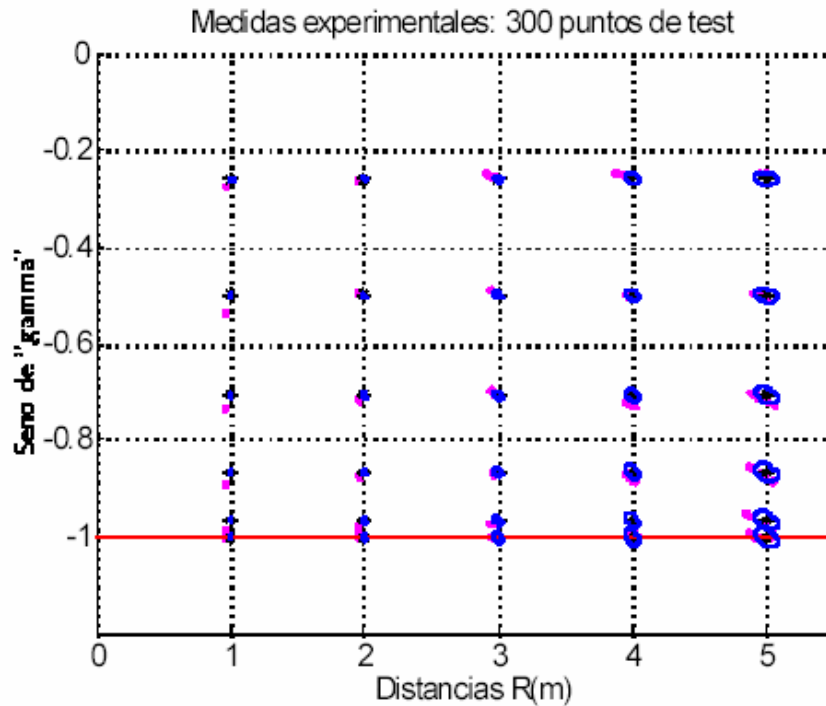
Este último efecto tiene su origen en la distinta sensibilidad de los valores de  $\sin \gamma$  y  $\cos \gamma$  a los errores de detección de centroides. Puede demostrarse que la varianza de  $\cos \gamma$  es mucho mayor (hasta casi tres órdenes de magnitud) que la varianza de  $\sin \gamma$ ; se tiene además que, dada la geometría del problema (figura 5.6), el valor de  $\gamma = \phi + 3\pi/2$ , por lo que el módulo de  $\phi$  puede obtenerse sin problemas de  $\sin \gamma$  mientras que el signo debe extraerse de  $\cos \gamma$ , y por tanto estará más sujeto a errores que el módulo.

No obstante, una forma casi inmediata de evitar este problema es incorporar al SPL información sobre la dinámica del móvil mediante la fusión de datos de odometría, por ejemplo mediante un Filtro Extendido de Kalman (EKF).

**5.4.2 Resultados experimentales** La bondad del modelo se comprobó mediante un conjunto de 300 imágenes reales de la MPL, tomadas en las mismas posiciones que las simulaciones (figura 5.8). Los resultados obtenidos se muestran en la figura 5.9, en donde se ven las dos variables de salida del algoritmo con menor varianza: la distancia,  $R$ , a la marca y  $\sin \gamma$ .

También se representan las elipsoides de error correspondientes a las posiciones nominales de medida, considerando un error de medida de centroides de valor

$\sigma^2 = 0.022 \text{ pixel}^2$ , lo que se corresponde con la desviación típica observada,  $\sigma = 0.015 \text{ píxel}$ . La forma y tamaño de la distribución de los puntos recuperados y de las elipsoides nominales coinciden, aunque es visible un cierto desplazamiento entre ambos achacable al proceso de toma de imágenes.



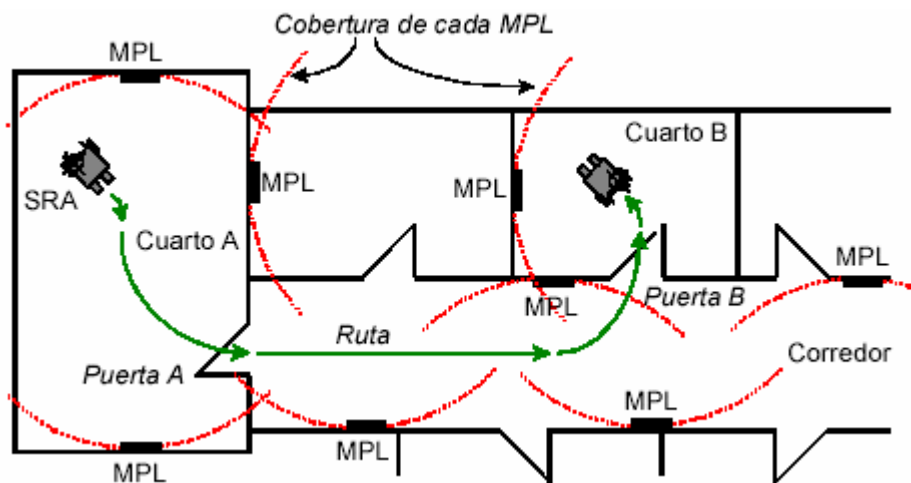
**Figura 5.9 Resultados experimentales sobre 300 puntos de prueba. Se superponen las elipsoides de error predichas para la varianza de medida de centroides obtenida, de valor  $\sigma^2 = 0.022 \text{ pixel}^2$ .**

Los datos de las medidas reales confirman la validez del modelo y las prestaciones del SPL diseñado, el cuál, con un conocimiento previo de los ángulos de rotación  $\alpha$  y  $\beta$  (perfectamente asumible) mejora los resultados de sistemas similares. Por añadidura, el bajo coste de los recursos empleados (marcas planas, fácilmente impresas con medios estándar y un equipo de visión de bajo coste) resulta ser idóneo para incorporarse en vehículos tales como las SRA's.

**5.4.3 Cobertura práctica y posibles emplazamientos de las MPL's** Las características de alcance y cobertura de las MPL permiten cubrir un entorno relativamente amplio usando un número reducido de marcas. Teniendo en cuenta parámetros como el error de medida de centroides y el error de posicionamiento admisible, se puede formular el alcance máximo según la relación:

$$\sqrt{\left[ \left( \frac{\sigma_R}{\sigma} \cdot \frac{\delta_v * W}{2 \tan(0.5 * FOV)} \right)^2 \right]}$$

en donde  $\sigma$  es la desviación típica en la medida de centroides de los círculos, en metros;  $\sigma_R$  representa el error admisible en la medida de distancias hasta la marca, también en metros;  $\delta_v$  es la longitud del segmento vertical de cada estructura triangular de la marca (distancia vertical entre los centros de los círculos laterales);  $W$  es el ancho del sensor; y  $FOV$  es el campo de visión horizontal obtenido con la óptica usada. Con la óptica usada en las pruebas prácticas (similar a la que se usó para obtener la figura 4), y con un valor de  $\sigma = 0.15$  pixel, el alcance máximo para un error admisible de  $\sigma_R = 2\text{cm}$  es de unos 4m, lo cual confirma los resultados mostrados en la figura 5.9.



**Figura 5.10 Posibles ubicaciones de las MPL en un entorno de interior típico**

Con estos datos, cada MPL sería suficiente para cubrir una habitación de tamaño medio; además, dado que los mayores errores angulares se cometen en la normal a la marca, conviene ubicar éstas en posiciones laterales respecto a la ruta más habitual o los puntos de paso, como las puertas.

La figura 5.10 muestra un ejemplo de ubicación de marcas en un entorno de interior típico. Cada marca cubre una habitación desde una de sus paredes secundarias; en caso de ser mayor el tamaño del recinto, el número de MPL's se ampliaría en concordancia con sus respectivas áreas de cobertura. Por último, para cubrir un corredor, la mejor disposición de marcas es ubicando éstas en paredes alternas, con objeto de cubrir en lo posible las zonas muertas de las mismas y aprovechar mejor la forma circular de sus respectivas áreas de cobertura.

## 6.0 OTROS DISEÑOS DE SILLAS DE RUEDAS

Muchos proyectos de sillas de ruedas han sido desarrollados con la intención de brindarle a las personas discapacitadas una comunicación mucho más fácil con su silla de ruedas.

C. W. Anderson y S. V. Devulapalli examinaron las señales EEG\* de un sujeto, clasificando de esta forma los patrones de ondas cerebrales a través de una red neuronal back propagation. La idea se basó principalmente en identificar patrones repetidos asociados con posibles estados mentales y así permitir al usuario comunicarse con la silla de ruedas a través de la composición de secuencias con dichos estados; desafortunadamente los resultados en rendimiento duramente superaron el 70% la cual es muy bajo para esta aplicación.

N. Birbaumer, N. Ghanayim y T. Hinterberger examinó las ondas cerebrales continuas de un sujeto, denominándolas bajos potenciales corticales (SCP's), ya que un ser humano puede iniciar intencionalmente estos potenciales y escoger deliberadamente una palabra o carácter a través de la alteración de sus ondas cerebrales.

Una característica que vuelve este sistema inapropiado para el tipo de aplicaciones en tiempo real es que la respuesta de control es muy lenta. Sin embargo, la característica que realmente inhabilita este tipo de interfases de usuarios basadas en las señales EEG, para aplicaciones en mundo real, es la sensibilidad que presenta este tipo de señales (EEG), cuando es afectada por el movimiento natural del usuario en la silla de ruedas. (Ver figura 6.1)

---

\* <http://www ldc.usb.ve/~vtheok/cursos/ci4325/trabajos/neurales1/#DEFINICION>



**figura 6.1 Señal EEG perturbada por las contracciones musculares del usuario**

En la figura 6.1, se muestra una señal EEG afectada por el movimiento del usuario. El comportamiento de la grafica en el principio, representa una señal EEG donde el usuario esta estático, después de los 1.2 segundos, al usuario se le ha pedido que gire un poco la cabeza. Este pequeño movimiento afecta la señal EEG a través de la alteración de su amplitud en casi 10 veces su valor inicial.

Estos movimientos afectan considerablemente el análisis de estas señales; por lo tanto las interfases basadas en el análisis de estas señales solo pueden funcionar correctamente al menos que el usuario no realice algún otro movimiento, o se abstenga de realizar alguna contracción muscular (estaría totalmente paralizado). La cual no seria una buena alternativa en los métodos de control de sillas de ruedas.

Otro sistema completamente diferente que no depende de las condiciones clínicas esta dado por un sistema que es controlado por medio de los movimientos del ojo. Este sistema determina la trayectoria de la silla de ruedas, invocando un comando en respuesta a un parpadeo intencional del usuario, donde la posición y orientación de la cabeza son tomados en cuenta . la determinación de la trayectoria, se logra examinando la reflexión de ojo cuando es iluminado por una fuente de luz infrarroja.

Desafortunadamente este método también es inapropiado para el control de una silla de ruedas, ya que mantener todo este hardware adicional (y el usuario) en una silla de ruedas en movimiento es casi imposible.



Otro sistema desarrollado es el EYEGAZE, que también consiste en permitir al usuarios seleccionar palabras, caracteres y oraciones a través del movimiento de los ojos. El enfoque del ojo es determinado por un computador, el cual monitorea su movimiento a través de una cámara de video. Aunque trabajar este sistema es relativamente fácil de aprender, su uso implica el riesgo de producir tensiones musculares, como se puede ver este método también posee repercusiones clínicas.

Otro diseño realizado para el control de una silla de rueda, se baso en una interfase humano-computador a través del reconocimiento de la voz. Sin embargo en este método, mantener una conversación en la silla de ruedas en lugares ruidosos no era posible ya que conducía a errores.

Se han diseñado varios tipos de sillas de ruedas inteligentes. Una de éstas puede controlarse a través de la expulsión de aire, lo que supone una alternativa a los sistemas de control de voz, para aquellas personas que no pueden hablar. La silla dispone de un tubo que detecta el soplido y lo transmite por un sensor para que lo procese el ordenador. “El sensor emite una orden dependiendo de cómo se sopla; en realidad, tiene cinco comandos básicos: expulsión de aire débil y fuerte, aspiración débil y fuerte, y ausencia de soplo. Según el soplo emitido, la silla se dirigirá hacia delante, atrás, izquierda, derecha o se detendrá. Se trata de jugar con estos comandos combinados con un poco de lógica. Por ejemplo, si soplas dos veces fuerte, el movimiento se acentúa, se hace más rápido”.