

## Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen  
Volume 24

Número  
Number 1

Marzo  
March 2003

*Artículo:*

Diseño y construcción de un abrepuestas  
automático casero para usuarios de sillas  
de ruedas

Derechos reservados, Copyright © 2003:  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de  
este sitio:

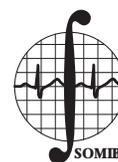
- 👉 Índice de este número
- 👉 Más revistas
- 👉 Búsqueda

*Others sections in  
this web site:*

- 👉 *Contents of this number*
- 👉 *More journals*
- 👉 *Search*



Medigraphic.com



# Diseño y construcción de un abrepuertas automático casero para usuarios de sillas de ruedas

Héctor Macías,\* Michel  
Alvarez,\*\* Jorge  
Letchipia\*,\*\*

\* Universidad Iberoamericana. Departamento de Ingeniería Biomédica.

\*\* Centro Nacional de Rehabilitación. División de Investigación. Ingeniería de Rehabilitación.  
hectormacias@rocketmail.com

## RESUMEN

Los usuarios de sillas de ruedas tienen dificultades para abrir y cerrar puertas. Los abrepuertas automáticos proporcionan independencia a los usuarios de sillas de ruedas al permitirles entrar y salir de su casa en forma autónoma. Para aumentar la independencia y seguridad del usuario de sillas de ruedas se diseñó un abrepuertas. El diseño consideró las características de los abrepuertas comerciales, las necesidades de los posibles usuarios y la norma internacional para estos dispositivos. Este trabajo describe el proceso de diseño y construcción de un abrepuertas automático para viviendas, adecuado a los usuarios de sillas de ruedas en México, presenta las ventajas del dispositivo sobre los abrepuertas comerciales existentes, así como las modificaciones sugeridas para hacerlo más eficiente.

## Palabras clave:

Abrepuertas, sillas de ruedas, mecanismo.

## ABSTRACT

Wheelchair users usually have difficulties opening and closing doors. Automatic door openers give independence to wheelchair users by allowing them to go in and out of their homes in an autonomous way. To increase the safety and independence of wheelchair users we designed an automatic door opener. The design took into consideration the characteristics of commercial door openers, the needs of potential users and the international standard for these devices. This work describes the design and construction of an automatic door opener for home use that is well adapted to Mexican wheelchair users. It also presents the advantages of our device over commercial door openers as well as some suggested modifications to improve the design.

## Key Words:

Door Opener, Wheelchair, Mechanism.

## INTRODUCCIÓN

Los usuarios de sillas de ruedas experimentan dificultades para abrir y cerrar puertas, ya que les es difícil alcanzar y manipular la chapa, girar la llave, así como jalar y empujar las puertas<sup>1</sup>. Esta dificultad

para manipular las puertas limita el acceso a la casa habitación de forma autónoma y requiere la presencia y ayuda de un acompañante para entrar y salir de la propia casa.

En países industrializados los usuarios de sillas de ruedas no requieren de la asistencia de otra per-

sona para entrar y salir de su casa, ya que existen abrepuertas automáticos. Los abrepuertas automáticos aumentan la independencia, seguridad y calidad de vida de las personas con discapacidad<sup>2</sup>.

En México, los abrepuertas automáticos para vivienda son de origen extranjero, lo cual eleva su costo y dificulta su adquisición, instalación y mantenimiento, además, sus características de operación no se adaptan a la forma de vida en este país, por ejemplo, la mayoría de los abrepuertas comerciales dejan de funcionar si existe una falla en el suministro eléctrico. En países desarrollados este suministro es constante, pero en México la falla del suministro eléctrico es frecuente e impredecible por lo que el abrepuertas dejaría de funcionar con frecuencia, inclusive en situaciones de emergencia.

Otra característica de los abrepuertas de importación es que la mayoría de ellos no permiten dejar la puerta abierta por tiempo indefinido, sino que tienen rangos de tiempo ajustables después de los cuales la puerta vuelve a cerrar. En México la gente acostumbra y disfruta de tener la puerta de su casa abierta ya que el clima lo permite.

Debido al alto costo de los abrepuertas de importación y a la falta de adecuación de su operación a las condiciones y costumbres de México, la gran mayoría de los usuarios de sillas de ruedas en México, no tienen acceso a un abrepuertas y por lo tanto dependen de otra persona para entrar y salir de su casa. Esta dependencia restringe su movilidad, y al restringir su movilidad, se limitan sus oportunidades de participar en actividades educativas, laborales, sociales y recreativas.

Por lo anterior y con la finalidad de proporcionar independencia a los usuarios de sillas de ruedas de México, el objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un abrepuertas automático de uso casero.

## METODOLOGÍA

La metodología seguida para el diseño y construcción del abrepuertas se describe a continuación:

*A. Revisión de las características de los abrepuertas comerciales.*

Se analizaron abrepuertas comerciales de las siguientes marcas: Power Access, Besam Electra, Open Sesame, Gentleman y Dorma. El propósito de este análisis fue conocer las funciones más comunes que realizan los abrepuertas automáti-

cos caseros. Los resultados de este análisis se presentan en la sección de resultados.

*B. Aplicación de encuestas a posibles usuarios.*

Se realizaron encuestas a 31 pacientes del Centro Nacional de Rehabilitación<sup>3</sup> con la finalidad de conocer sus necesidades sobre abrepuertas automáticos. Los criterios de inclusión para esta encuesta fueron: hombres y mujeres mayores de 18 años con lesión medular, usuarios de sillas de ruedas. Los resultados de estas encuestas se encuentran en la sección de resultados.

*C. Revisión de normas internacionales para este tipo de dispositivos.*

Se revisó la norma internacional ANSI/BHMA 156.19. ("American National Standard for Power Assist and Low Energy Power Operated Doors")<sup>4</sup> para conocer los requerimientos de los abrepuertas automáticos. Esta norma indica las especificaciones de velocidad angular y fuerza para puertas giratorias de bisagra lateral de diferentes tamaños y pesos, indica el tiempo mínimo que debe permanecer la puerta completamente abierta antes de volver a cerrar, así como las variaciones permitidas de estas especificaciones, después de los ciclos de prueba. En la sección de resultados se presentan los requerimientos de esta norma.

*D. Medición de dimensiones y pesos de puertas de acceso a vivienda.*

Se realizaron mediciones a cuatro puertas de bisagra lateral, de metal, vidrio y madera, con el fin de conocer el rango de dimensiones y pesos de las puertas de acceso a viviendas más comunes. Los resultados de estas mediciones se presentan más adelante.

*E. Construcción de un simulador para pruebas.*

Se construyó una puerta de metal de 60 cm de ancho por 1 m de alto y 2.5" de espesor, con un peso de 20 kg, que permite añadir hasta 32 kg de peso y moverlo horizontalmente para variar el centro de masa y el momento de inercia de la puerta. Esta puerta se montó en un marco de madera de 25 cm de alto por encima de la puerta, con tres bisagras de acero marca Cimsa, de 3" por 1.5", y tiene una cerradura estándar marca Phillips, modelo 715CL. En el marco de la puerta se instaló una contracerradura eléctrica marca Dixon, modelo 3DD-2. En este simulador se realizaron las mediciones de torques necesarios para abrir y cerrar puertas, además de que su tamaño facilitó la manipulación del dispositivo construido.

*F. Medición de torques necesarios para abrir y cerrar puertas.*

Se realizaron mediciones de fuerza para conocer el torque necesario para abrir y cerrar puertas de diferentes pesos. Estas mediciones se realizaron en el simulador de pruebas utilizando una báscula de resorte, marca Ohaus, modelo 8265-M, con rango de 20 a 2,000 gramos y resolución de 20 gramos, y un dinamómetro medidor de fuerza marca Wagner, modelo FDK40, con rango de 200 gramos a 20 kg y resolución de 200 gramos. Se registró la fuerza necesaria para abrir y cerrar la puerta a cada 5 cm a todo lo ancho de la puerta. Los resultados de estas mediciones se muestran en la sección de resultados.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

### A. Revisión de abrepuertas comerciales

Se revisaron cinco marcas de abrepuertas automáticos, todos de importación, ya que en México no se fabrican este tipo de dispositivos. En cuatro de los cinco modelos, se permite que la puerta permanezca abierta por un período ajustable antes de volver a cerrar, sólo una marca permite dejar la puerta abierta por un período indefinido. En el Cuadro 1 se muestran algunas de las características de estos abrepuertas comerciales.

### B. Aplicación de encuestas a posibles usuarios

Se realizaron encuestas en el Centro Nacional de Rehabilitación a hombres y mujeres, mayores de

18 años que utilizan una silla de ruedas para desplazarse.

De los 31 encuestados, el 87% está en edad productiva, de éstos, cuatro de cada cinco piensan que un dispositivo que abra y cierre la puerta de acceso a su vivienda, les sería de utilidad. Los encuestados señalaron las siguientes necesidades:

1) *Dispositivo seguro.* El sistema no debe permitir la entrada de personas ajenas a la vivienda. Los encuestados también mencionaron que el dispositivo debía seguir funcionando si fallara el suministro de energía al aparato.

2) *Fácil operación.* La secuencia para activar el dispositivo debe ser sencilla, lógica y con pocos pasos. El dispositivo debe funcionar con varios tipos de interruptores, ya que hay personas con discapacidad que sólo pueden operar interruptores especialmente diseñados.

3) *Fácil instalación.* Para la colocación y funcionamiento del dispositivo no deben de hacerse instalaciones especiales, ni cambiar la puerta de acceso existente.

### C. Revisión de la norma internacional para abrepuertas

La norma ANSI/BHMA 156.19 especifica que el tiempo mínimo de apertura desde los 0 grados hasta los 80 grados, o bien, el tiempo mínimo de cierre desde los 90 grados hasta los 10 grados, depende del ancho y peso de la puerta, y debe calcularse con la ecuación (1):

$$T = Dx W/2260 \quad (1)$$

Donde:

T = Tiempo de apertura o cierre (seg).

D = Ancho de la puerta (mm).

W = Peso de la puerta (kg).

Si el valor de T obtenido es menor a 3 segundos, debe tomarse 3 segundos como mínimo. El tiempo de cierre desde los 10 hasta los 0 grados, no debe ser menor a 1.5 seg. La fuerza necesaria para detener la puerta en movimiento no debe ser mayor a 67 N.

El abrepuertas debe probarse por 300,000 ciclos, al final de estas pruebas, el tiempo de apertura y cierre debe ser el valor respectivo al comenzar la prueba ( 10%.)

Cuadro 1. Características de abrepuertas comerciales.

Marca / Modelo	Operación manual normal	Batería de respaldo	Seguro en puerta	Detector de obstáculo
Power Access/ 4,300	----	Sí	Sí	No
Besam Electra/ 150 Series	No	No	Opción	No
Open Sesame/ System II	Sí	Sí	Sí	Sí
Gentleman Swinging Door				
Operator Dorma/ ED 800	Sí	No	Sí	No
	Sí	No	Sí	Sí

Cuadro 2. Características de puertas de acceso a vivienda.

Material	Peso	Ancho	Alto
metal	24 kg	76 cm	206 cm
metal y vidrio	23 kg	78 cm	204 cm
madera (sólida)	52 kg	123 cm	232 cm
madera (tambor)	21 kg	92 cm	202 cm

#### D. Medición de puertas de acceso a vivienda

Se midieron y pesaron 4 puertas de acceso a vivienda de los materiales más comunes (madera, metal y vidrio) que se utilizan para hacer puertas comerciales. En el Cuadro 2 se encuentran los valores obtenidos de dichas mediciones.

Sustituyendo en (1) los valores de la puerta más ancha y más pesada del Cuadro 1 (puerta de madera sólida), obtenemos que el tiempo mínimo de apertura y cierre,  $T$ , es de 4 seg para satisfacer la norma ANSI/BHMA 156.19.

#### E. Medición del torque necesario para abrir las puertas

El torque máximo necesario para abrir y cerrar puertas de 20, 35 y 52 kg, con la cerradura de la puerta instalada, tomando como referencia la bisagra de la puerta, fue de 9.5 Nm. El valor del torque fue máximo al momento de cerrar completamente la puerta debido a la fuerza necesaria para vencer la cerradura. La mayor diferencia entre los valores de torque para los diferentes pesos de puertas fue de 1.5 Nm.

#### F. Diseño y construcción del sistema de abrepuertas.

Después de revisar las características de los abrepuertas comerciales, la norma internacional para este tipo de dispositivos, realizar encuestas a los posibles usuarios y hacer la caracterización de las puertas de acceso más comunes, se realizó el diseño y construcción del sistema de abrepuertas automático que consistió de:

- 1) diseño del mecanismo para mover la puerta
- 2) diseño de las funciones del sistema
- 3) diseño del control de las funciones
- 4) construcción del dispositivo

El diseño del dispositivo se describe a continuación:

##### 1) Mecanismo para mover la puerta.

El diseño del mecanismo contempló la selección del mecanismo, el cálculo de la posición del eje

del mecanismo y la selección del actuador del mecanismo. El dispositivo se diseñó para abrir y cerrar puertas de un máximo de 52 kg y 110 cm de ancho. Estos valores exceden los valores promedio de ancho y peso de las puertas de acceso a viviendas.

##### 1.1) Selección del mecanismo.

Se analizó el mecanismo de dos barras, el mecanismo de actuador lineal y el mecanismo deslizante, para identificar cuál de estos mecanismos era el más recomendable para realizar las funciones de apertura y cierre de puertas. Estos mecanismos se muestran en la Figura 1.

El mecanismo seleccionado fue el mecanismo deslizante (Figura 1c) que se instala en el marco de la puerta. Este mecanismo consta de una barra rectangular que, mediante un movimiento circular, abre y cierra la puerta por medio de una corredera, instalada en la parte superior de la puerta, en la que desliza un balero. La barra cuenta con un perno para el acople con el actuador, que constituye el eje del mecanismo (Figura 2). Este mecanismo presenta las siguientes ventajas:

- Puede funcionar para puertas izquierdas o derechas que abren hacia el interior haciendo pequeñas modificaciones.
- Se instala en el marco de la puerta quedando el dispositivo y su cableado juntos.
- Requiere sólo de una corredera de fácil instalación (canal de aluminio).
- Bajo costo.

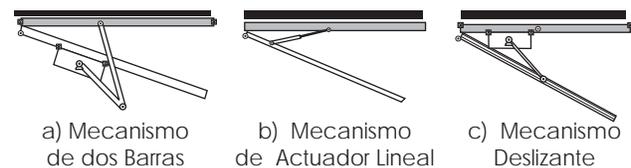


Figura 1. Mecanismos analizados para el sistema de abrepuertas.

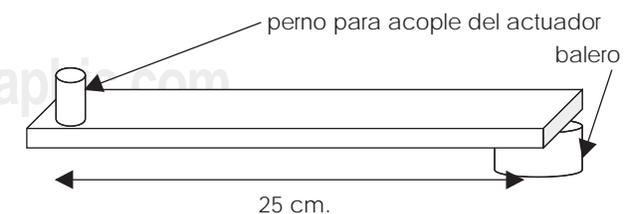
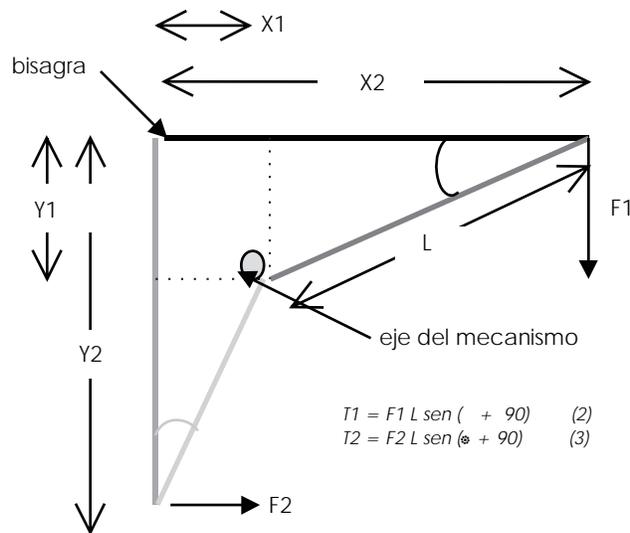


Figura 2. Barra del mecanismo deslizante.



- Puerta cerrada (cero grados). Posición 1.
- Puerta abierta (90 grados). Posición 2.
- Barra generadora de movimiento en la posición 1.
- Barra generadora de movimiento en la posición 2.

Donde:

- X1 = Posición en "x" del eje del mecanismo (posición 1)
- X2 = Distancia en "x" de la aplicación de F1
- Y1 = Posición en "y" del eje del mecanismo posición 2
- Y2 = Distancia en "y" de la aplicación de F2
- L = Longitud de la barra
- F1 = Fuerza en la posición 1 para abrir la puerta
- F2 = Fuerza en la posición 2 para cerrar la puerta
- $\alpha$  = Ángulo entre la barra y la puerta en la posición 1
- $\beta$  = Ángulo entre la barra y la puerta en la posición 2
- T1 = Torque posición 1
- T2 = Torque posición 2

Figura 3. Diagrama de la posición del eje del mecanismo con respecto a la bisagra de la puerta (vista superior).

### 1.2) Posición del eje del mecanismo

El torque necesario para abrir y cerrar las puertas se modifica dependiendo de la posición del eje del mecanismo, con respecto a la bisagra de la puerta (Figura 3). Tomando como referencia la bisagra de la puerta se calculó la posición ideal del eje del mecanismo. Conociendo el valor de las fuerzas necesarias para abrir y cerrar las puertas (F1 y F2), las cuales se tomaron de manera experimental, se realizaron iteraciones en (2) y (3) para conocer X1, Y1 y L para los cuales el requerimiento de los torques T1 y T2 es mínimo. Los valores ideales de X1, Y1 y L obtenidos son 20, 5 y 25 cm respectivamente.

En esta posición, el torque máximo necesario para cerrar la puerta fue de 7.5 Nm sin tomar en cuenta la inercia de la puerta, es decir, en el peor de los casos. Con el mecanismo calculado se en-

contró que el giro total de la barra, para llevar la puerta desde los 0° hasta los 90° es de 155°.

### 1.3) Actuador del mecanismo

La velocidad de giro del actuador del mecanismo, para satisfacer la norma ANSI 156.19, es de 5 rpm desde los 90° hasta los 10° y de 2 rpm en los últimos 10° de cierre.

Para generar el movimiento se utiliza un motor eléctrico de corriente continua del tipo imán permanente. Este tipo de motores producen alto torque inicial con poca pérdida térmica, no hay peligro de descargas, tienen poca interferencia con radio o televisión, tienen bajas velocidades y buena potencia por unidad de peso, ocupan poco espacio y son fáciles de controlar<sup>5</sup>. El motor seleccionado fue el motor CEM-1205-1M de la marca MOLON. Este motor tiene las siguientes características:

Voltaje de operación: 12 vdc

Torque a carga completa: 12 Nm

Velocidad a carga completa: 5 RPM

Corriente a carga completa: 1.4 amps

### 2) Diseño de las funciones del sistema

Las funciones del sistema de abrepuertas incluyen: dos modos de operación del sistema, control de la cerradura, ángulo de apertura máxima de la puerta, tiempo de espera en apertura máxima, detección de obstáculo y respaldo de energía. Estas funciones se describen a continuación:

#### 2.1) Modos de operación del sistema

El dispositivo cuenta con dos modos de operación: uno manual y otro automático. Al modo automáti-

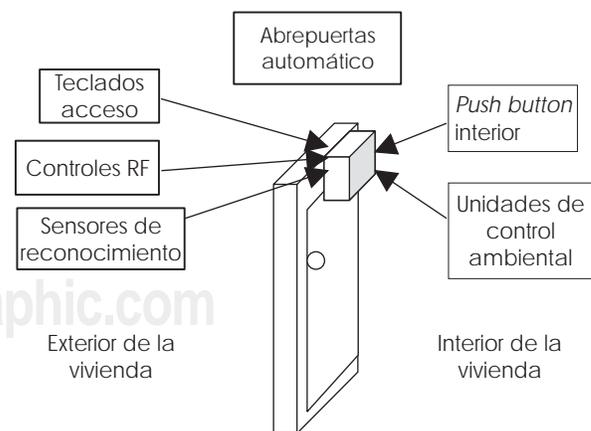


Figura 4. Interruptores de usuario para el abrepuertas.

co se accede oprimiendo una vez el interruptor de usuario, el cual se describe más adelante. En este modo la puerta abre, cuando está completamente abierta se espera un tiempo determinado por el usuario, antes de volver a cerrar completamente. Para acceder al modo manual se tiene que oprimir dos veces seguidas el interruptor de usuario. En este modo la puerta abre y se detiene una vez que está completamente abierta y permanece así hasta que el usuario oprime nuevamente el interruptor para que la puerta cierre completamente.

Deben colocarse dos interruptores de usuario, uno en el interior de la vivienda y otro en el exterior. El interruptor interior consiste de un push button. El interruptor exterior debe proveer seguridad a la vivienda y puede consistir de un teclado de acceso, un control de radiofrecuencia, sensores de reconocimiento de huella digital o de metales, etc., los cuales existen comercialmente. La selección de este interruptor dependerá de las habilidades y preferencias del usuario.

### *2.2) Control de la cerradura*

El dispositivo opera una contracerradura eléctrica Dixon, modelo 3DD-2, instalada en el marco de la puerta, con las siguientes ventajas:

- No requiere cambiar la cerradura de la puerta existente, sólo se cambia la contracerradura.
- Se puede accionar de manera eléctrica.
- No requiere de energía eléctrica para cerrar la puerta.
- Bajo costo

### *2.3) Apertura máxima de la puerta*

En el dispositivo se puede seleccionar el ángulo de apertura máxima de la puerta a 80, 90 y 100 grados. Para realizar este ajuste se debe colocar la puerta en la posición de apertura máxima deseada y oprimir el botón de ajuste de apertura máxima ubicado en el panel de controles del dispositivo.

### *2.4) Tiempo de espera en apertura máxima*

El tiempo de espera que la puerta permanece abierta en modo automático es ajustable a 8, 12, 16 y 20 segundos, de esta forma el usuario no necesita activar nuevamente el interruptor después de haber pasado por la puerta, para que ésta comience a cerrar nuevamente. Este ajuste se realiza por medio de un selector, ubicado en el panel de controles del dispositivo.

### *2.5) Detección de obstáculo*

El sistema detecta cuando la puerta encuentra un objeto a su paso. La detección de obstáculo se realiza utilizando el sensor de corriente integrado en el Puente H utilizado para manejar el actuador del mecanismo. Este sensor de corriente tiene una sensibilidad de 300 milivolts por cada 100 miliamperes que demanda el motor. De esta forma, cuando existe algún obstáculo en el camino de la puerta, éste se ve como un aumento en el voltaje del sensor de corriente del Puente H. El voltaje de salida del detector de corriente es comparado con un umbral ajustable por medio de un potenciómetro, y si es mayor, se asume que existe algún objeto en el camino de la puerta y ésta se detiene.

### *2.6) Respaldo de energía*

El dispositivo funciona permanentemente con una batería recargable, de 12 volts y 4 Ah, marca YUASA, modelo NP4-12, por lo que debe de estar conectado a una línea de alimentación de 127 volts AC para asegurar que la batería esté siempre cargada.

### *3) Control de las funciones del sistema*

El control de las funciones del sistema se divide en: software de control, control de posición de la puerta y operación del usuario.

#### *3.1) Control de posición de la puerta*

Para realizar sus funciones el sistema necesita conocer las siguientes posiciones de la puerta:

- Posición de cerrado (cero grados)
- Posición de 5 grados de apertura
- Posición de 10 grados de apertura
- Posición de 70 grados de apertura
- Posición de 80, 90 y 100 grados para apertura máxima.

Para conocer en todo momento la posición de la puerta se utilizó un encoder incremental, óptico, diseñado para este propósito, el cual se colocó en la flecha del motor. El encoder cuenta con dos canales de salida A y B, para conocer la posición y dirección en la que se mueve la puerta. Estos sensores se encuentran a 180 grados uno del otro. En la Figura 5 se muestra el encoder y las señales del canal A y B.

El canal A y B están desfasados 2 grados en todo momento, esto con la finalidad de conocer la dirección en que se mueve la puerta. Un microcontrolador ATMEL, modelo AT90S2313 realiza la cuen-

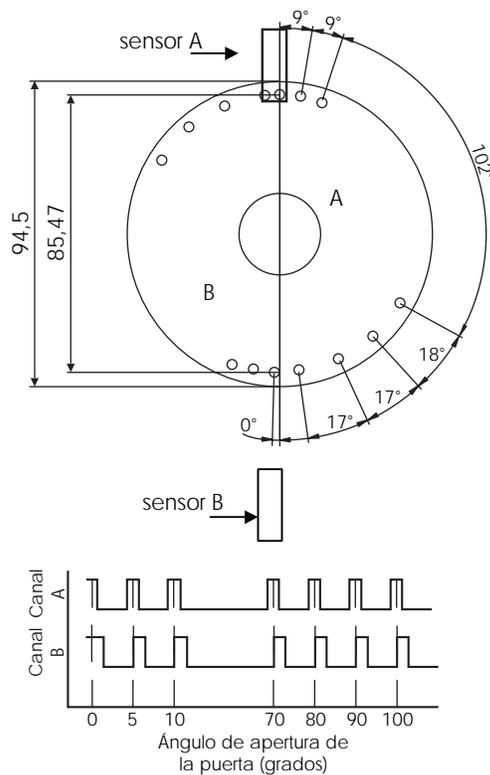


Figura 5. Señales obtenidas de los sensores ópticos.

ta de los pulsos en los canales A y B, de esta manera se pueden conocer en todo momento las posiciones de la puerta y dependiendo de esta posición, el microcontrolador envía cinco señales de retroalimentación al microcontrolador principal.

3.2) Software de control

Con los parámetros predeterminados por el usuario, la señal de acción y las señales de retroalimentación del sistema, un segundo microcontrolador AT90S2313 de ATMEL controla las funciones del sistema.

Los parámetros determinados por el usuario en el panel de controles son: el tiempo de espera en apertura máxima y el ajuste del umbral para detección de obstáculo. El sistema guarda el valor de estos parámetros hasta que sean alterados nuevamente. La señal de acción es controlada por el usuario e inicia la operación del dispositivo, ya sea en modo automático o en modo manual.

El microcontrolador recibe seis señales de retroalimentación: la señal de obstáculo y cinco señales de un encoder que da la posición de la puerta. El microcontrolador utiliza dos señales para controlar el motor a través de un puente H mode-

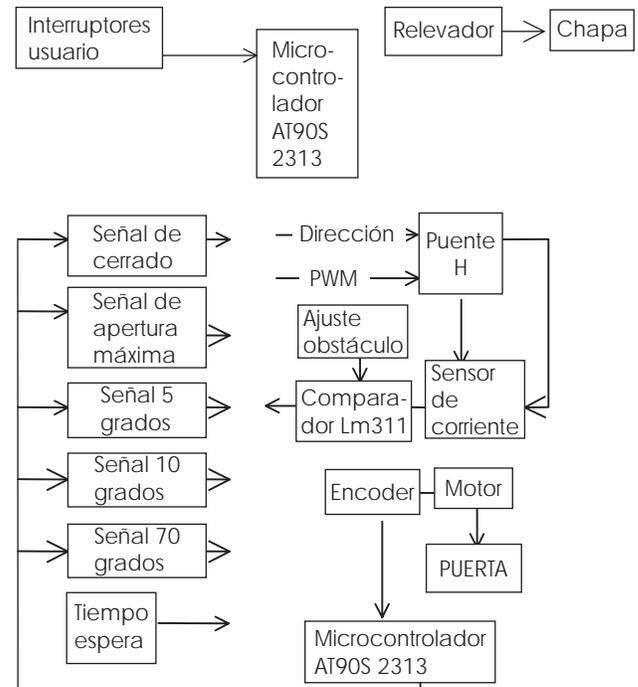


Figura 6. Diagrama del control del sistema de abrepuertas.

lo LMD18201, de NATIONAL. Una es un bit para controlar la dirección del giro del motor, y la otra, una señal de PWM (Pulse Width Modulation) que controla la velocidad del motor. Se utiliza otra señal para controlar la cerradura contraeléctrica de la puerta por medio de un relevador. En la Figura 6 se muestra un diagrama del sistema de abrepuertas.

Para la secuencia de apertura se utilizan la señal de cerrado, la señal de 5 grados, la señal de 70 grados y la señal de abierto. La señal de cerrado indica que se debe de activar la chapa contra eléctrica antes de comenzar a abrir la puerta. La señal de 5 grados indica que la puerta ha comenzado a abrir, entonces se puede desactivar la chapa contraeléctrica. Cuando la puerta llega a los 70 grados de apertura el motor disminuye su velocidad con la finalidad de hacer más suave el paro de la puerta cuando ésta se abra completamente. La señal de posición de abierto indica que la puerta está completamente abierta y el motor debe detenerse. Mediante el ajuste de apertura máxima se define la señal de abierto. Para la secuencia de cierre se utilizan todas las señales de posición, excepto la señal de 70 y la señal de 5 grados. La señal de abierto indica que la puerta está completamente abierta y entonces puede comenzar a cerrar. La señal de 10 grados indica

que la velocidad del motor del mecanismo debe disminuir, esto con la finalidad de cumplir el tiempo de cerrado en los últimos 10 grados que establece la norma. La señal de cerrado indica que la puerta ha cerrado completamente y el motor debe detenerse.

### 3.3) Operación del usuario

El usuario acciona el dispositivo por medio de cualquiera de los dos interruptores instalados en la vivienda. El sistema cuenta con tres entradas para los interruptores, dos de estas entradas funcionan con interruptores de contacto, es decir, que cierran el circuito electrónico. La tercera entrada, funciona con un nivel de voltaje TTL.

## DISCUSIÓN

El dispositivo construido cumplió con las preferencias de los usuarios de sillas de ruedas en México, es decir, seguridad, fácil instalación y fácil operación.

Una de las ventajas más importantes del dispositivo es que tiene dos modos de operación que permiten dejar la puerta completamente abierta por un período indefinido de tiempo y también tener tiempos ajustables de espera en los que la puerta permanece totalmente abierta antes de cerrar, lo cual se adecua a las necesidades y costumbres de los usuarios en México. La selección de los modos se realiza cada vez que se activa el dispositivo y no requiere de un ajuste predeterminado.

El sistema de abrepuertas ofrece seguridad a la vivienda, ya que puede operarse con distintos interruptores codificados con los que sólo el usuario tiene acceso. El dispositivo se opera fácilmente sólo activando alguno de los interruptores de usuario. También provee de seguridad al usuario, ya que funciona con una batería recargable que permite el uso del dispositivo, al fallar el suministro de energía al aparato, lo cual es importante, sobre todo en situaciones de emergencia tales como temblores o incendios.

El dispositivo es de fácil instalación, ya que no requiere cambiar la puerta de acceso existente, ni la cerradura de la puerta, sólo es necesario colocar el dispositivo en el marco de la puerta, la corredera en la parte superior de la puerta y la cerradura contraeléctrica. El dispositivo obtenido no requiere de un ajuste periódico.

Se sugieren algunas modificaciones al dispositivo para hacerlo más eficiente y compacto:

- Cambiar la batería utilizada por una batería recargable de ácido-plomo de 12 volts pero menor capacidad (2Ah) que es más compacta, ya que la corriente máxima consumida por el sistema, no excede los 1.5 amperes.
- Utilizar un embrague para separar el movimiento del eje del mecanismo y de la puerta cuando el dispositivo no está en uso, de esta manera se permite el uso normal de la puerta.
- El nuevo dispositivo deberá ser probado de acuerdo con los ciclos de prueba citados por la norma, y evaluado por usuarios de sillas de ruedas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo deseamos agradecer a la Universidad Iberoamericana plantel Santa Fe y al Centro Nacional de Rehabilitación por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización de este proyecto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Steinfeld E, Scott Danford G. Automated Doors: Toward Universal Design". Center for Inclusive Design & Environmental Access, School of Architecture and Planning, University of Buffalo; Octubre 1993.
2. Making Homes Accessible: Assistive Technology and Home Modifications. RESNA Technical Assistance Project; 1999. Disponible en: <http://www.resna.org/taproject>
3. Centro Nacional de Rehabilitación, Laboratorio de Ingeniería de Rehabilitación. Calz. México Xochimilco 289 Col. Arenal de Guadalupe. México, D.F.
4. American National Standard for power assist and low energy power operated doors". American National Standards Institute, Inc.; Julio 1997.
5. Robert W, Smeaton. Motores Eléctricos. Selección, mantenimiento y reparación". 2ª ed. Tomo 2, México: McGraw Hill; 1991.