

DISEÑO DE SILLA DE RUEDAS STAND-UP POR EL MÉTODO LAGRANGIANO Y CONTROLADA ELECTRONICAMENTE POR METODOS ADAPTATIVOS

AUTORES

Alarcón Saldaña, José Danny	dannyalarconm6@hotmail.com
Arellano Teodor, César Luís	clat2002@hotmail.com
Furukawa Fukuda, Roberto Sumiyoshi	royoshii@yahoo.com
Gallardo Rodríguez, Manuel Enrique	enriquegallardo2005@hotmail.com
Grande Reyes, Luís Antonio	satre24@hotmail.com
Mamani Choquehuanca, César Raúl	cesar_mamani82@hotmail.com

ASESOR

M.Sc Rolando Pérez Ñaupá
Ing. Manuel Luque Casanave

**ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de una silla de ruedas stand-up¹. La estructura de la silla será analizada por métodos de elementos finitos y el método lagrangiano para asegurar su funcionamiento, estabilidad y fiabilidad, su construcción se realizara con material de preferencia ofrecidos por el mercado nacional como varillas, ángulos, soldadura, tapices, etc. La silla se podrá desplazar en cualquier dirección y colocar a la persona en la posición parada; el movimiento será transmitido por motores DC², estos serán controlados electrónicamente por métodos adaptativos para asegurar la velocidad de desplazamiento aprovechando la robustez e insensibilidad a las perturbaciones de este tipo de control, garantizándose así la seguridad y confortabilidad del usuario mientras haga uso de la silla de ruedas.

ABSTRACT

This project consists in the design and construction of a stand up wheelchair. For the design the wheelchair structure will be analyzed by finite elements method and Lagrange method in order to assure the right work, stability and reliability of the chair, the construction will be made with materials that we can find in our national market, like sticks, angles, welding, etc. This chair could move in any direction and keep a person in a stand up position; the movement will be transmitted by DC motors, will be electronically controlled by adaptive methods in order to have a regular speed during the chair movement taking benefit of the robustness and insensibility to disturbs of this kind of control; in this way we can guarantee the security and comfortably of the wheelchair user.

INTRODUCCIÓN

El avance de las ciencias en las áreas de la mecánica, electrónica y control ha afectado directamente al desarrollo de dispositivos para el bienestar y/o recuperación de personas discapacitadas. Es dentro de esta área en donde encontramos a las sillas de ruedas electrónicas, las cuales permiten al usuario trasladarse en cualquier dirección, en ciertos casos poder subir escaleras y en el caso de la silla stand-up dar al opción de colocar al usuario de pie. Estas nuevas posibilidades que nos brinda el avance tecnológico pueden y deben ser aprovechadas por nuestros ingenieros, científicos e industriales para el desarrollo de tecnología de fin social desarrollada por nosotros para las necesidades propias de nuestros habitantes. Es por esta razón que nuestro proyecto se desarrolla con materiales ofrecidos por nuestra industria nacional con tecnología y un diseño principalmente orientado a las necesidades del usuario nacional.

¹ Una silla de ruedas stand-up permite al usuario pasar de la posición sentada a la posición de pie mediante algún sistema de movimiento integrado a la silla.

² En un inicio se pensó en el uso de un sistema hidráulico para el mecanismo de levante de la silla, pero el costo y disponibilidad de equipos adecuados para este fin nos hizo elegir motores DC

DISEÑO MECÁNICO

Mecanismo de Levante

El diseño del mecanismo de levantamiento de la silla de ruedas Stand-Up esta basado en el principio básico del “Mecanismo de 4 Barras” lo podemos observar en la Fig. 1.

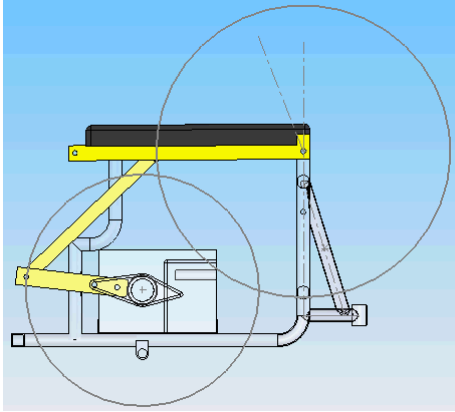


Fig. 1. Mecanismo de Levante

Mecanismo Respaldar

Es necesario que el espaldar se mantenga, en todo estado del mecanismo, en posición vertical, por lo que se usa un mecanismo de cuatro barras donde las barras extremas son de igual dimensión, con lo que se logra tener el respaldo siempre con la misma orientación, lo apreciamos en la Fig. 2.

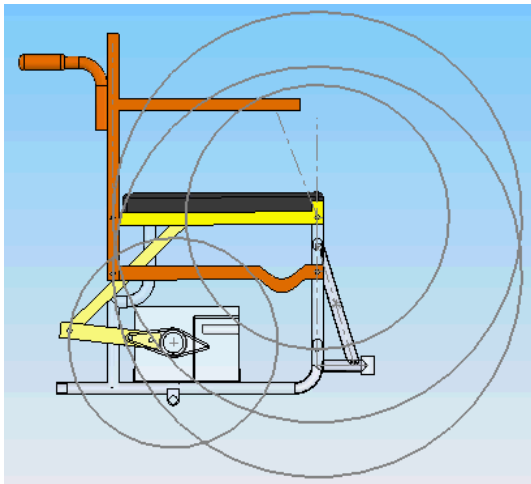


Fig. 2. Mecanismo de respaldo

Con esto, llegamos al diseño final de la silla que lo podemos observar en la Fig. 3. nuestro diseño cuenta con las siguientes características:

- Sistema robusto con adecuada distribución de masas.
- Alimentación autónoma (2 baterías de 12 voltios).
- Control de mando tipo joystick analógico (posibilidad de distintas velocidades)

- Tamaño compacto.
- Dimensiones Standard (para Perú, personas de 1.70 m)
- Fácil maniobrabilidad ideal para casas y departamentos.

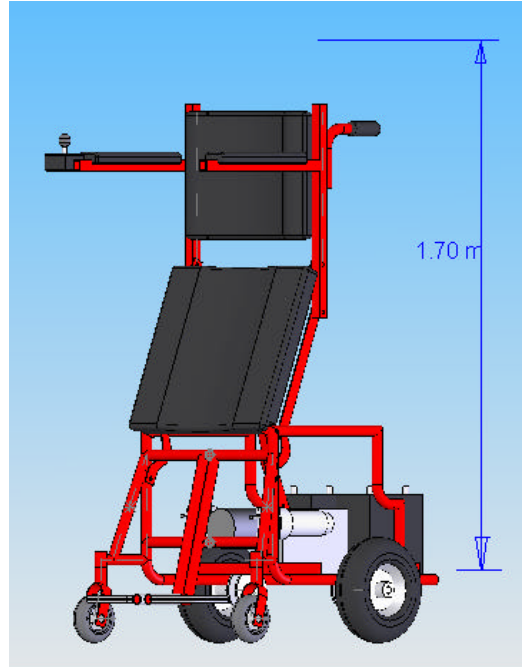


Fig. 3. Diseño mecánico final de la silla

Análisis del mecanismo de levante por Lagrange

Se obtendrá el modelo dinámico del mecanismo de elevación de la Silla de ruedas Stand Up, aplicando el método de Lagrange.. Las ecuaciones obtenidas servirán de base para realizar la selección del motor que proporcione el torque necesario para poder elevar al usuario desde la primera posición de reposo (horizontal), hasta la segunda (vertical), Fig. 4.

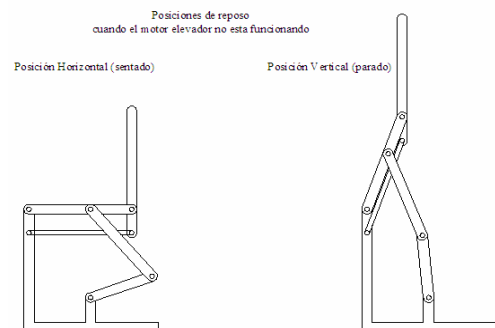


Fig. 4. Posiciones de la silla

El modelo se desarrollara basándonos en las siguientes consideraciones, nos basamos en el esquema de la Fig. 5:

- El movimiento del mecanismo es plano.

- Para el cálculo se tomarán las piezas del mecanismo como barras rígidas de masa m_n
- El peso del usuario se asumirá como una fuerza puntual y constante tanto en modulo como en sentido y aplicada a una distancia d del centro de gravedad del elemento de asiento.
- Para efectos del cálculo solo consideraremos las barras que están implicadas directamente en la transmisión de movimiento.

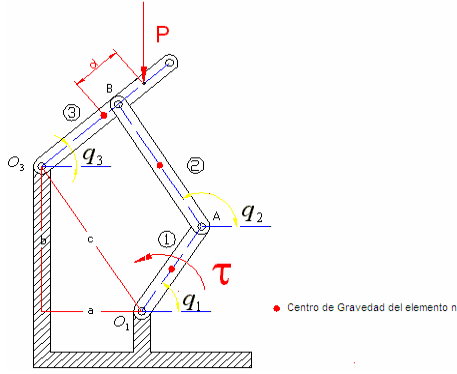


Fig. 5. Esquema del mecanismo de levante

Hallamos la energía cinética del mecanismo, Los I_{O_n} son los momentos de inercia de cada elemento n ; tendríamos la siguiente expresión para la energía cinética:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

$$T_1 = \frac{1}{2} * I_{O1} * \dot{q}_1^2 \quad (2)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 * v_{CG2}^2 + \frac{1}{2} I_{CG2} * (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \quad (3)$$

$$T_3 = \frac{1}{2} * I_{O3} * \dot{q}_3^2 \quad (4)$$

Posteriormente hallamos la energía potencial.

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (5)$$

$$U_1 = m_1 * g * \frac{L_1}{2} * \text{sen}(q_1) \quad (6)$$

$$U_2 = m_2 * g * \left(L_1 * \text{sen}(q_1) + \frac{L_2}{2} * \text{sen}(q_1) \right) \quad (7)$$

$$U_3 = m_3 * g * \left(L_1 * \text{sen}(q_1) + L_2 * \text{sen}(q_1) - e * \text{sen}(q_3) \right) \quad (8)$$

De las restricciones geométricas y análisis cinemático obtenemos las siguientes expresiones:

$$L_B * \cos(q_3) - a = L_1 * \cos(q_1) + L_2 * \cos(q_2) \quad (9)$$

$$L_B * \text{sen}(q_3) + b = L_1 * \text{sen}(q_1) + L_2 * \text{sen}(q_2) \quad (10)$$

De las relaciones anteriores obtendremos expresiones con la siguiente estructura:

$$q_2 = f_1(q_1)$$

$$q_3 = f_2(q_1)$$

$$\dot{q}_2 = f_3(q_1, \dot{q}_1)$$

$$\dot{q}_3 = f_4(q_1, \dot{q}_1)$$

Con esto podremos tener las ecuaciones del lagrangiano (Energía cinética – Energía potencial) solo en función del parámetro independiente y aplicar la ecuación de Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_r \quad (11)$$

Hallamos Q usando el principio de los trabajos virtuales:

$$dW_{q_1} = \mathbf{t} * dq_1 - P * d(Lp * \text{sen}(q_3))$$

$$dW_{q_1} = \mathbf{t} * dq_1 - P * Lp * \cos(f_2(q_1)) * \frac{df_2(q_1)}{dq_1} * dq_1$$

$$Q_r = \mathbf{t} - P * Lp * \cos(f_2(q_1)) * \frac{df_2(q_1)}{dq_1} \quad (12)$$

Asumiendo el peso de nuestro usuario en 800N, una aceleración angular de 0.11 rad/s, velocidad de 0.25 rad/s y ángulo inicial de 15° y utilizando el software de cálculo MAPLE obtenemos el torque necesario para el movimiento de la silla:

$$\mathbf{t} = 210 \text{ N} - m \quad (13)$$

Selección de Material y Actuadores

Para la elección de materiales nos basamos en los estándares de las sillas de ruedas que se comercializan en nuestro país. La construcción de la silla se realizara solo con materiales que ofrece el mercado peruano.

Se usaron 3 motores DC con la potencia suficiente para nuestro propósito, dos de iguales características para el traslado de la silla y uno de mayor torque para el levante de la silla; además se armo la estructura usando acero estructural LA36 y platinas de acero SAE 1009, que son de fácil compra en el mercado nacional.

Análisis de rigidez

Se analizó por elementos finitos el brazo que transmite la fuerza al mecanismo de levante, esto se realizó mediante el software COSMOSWORKS, en la Fig. 6. vemos el eslabón de análisis.



Fig. 6. Brazo de levante

En la tabla 1 observamos algunas características del análisis por elementos finitos:

Tipo de malla	Malla de sólido
Mallador utilizado	Estándar
Superficie lisa	Activar
Verificación Jacobiana	4 Puntos
Tamaño de elementos	4.2118 mm
Tolerancia	0.21059 mm
Calidad	Alta
Número de elementos	6452
Número de nodos	11004

Tabla 1. Propiedades del material

La tabla 2 nos muestra los resultados de los esfuerzos y la Fig.7 nos muestra un diagrama de esfuerzos³:

Mínimo	Ubicación	Máximo	Ubicación
0.06717 N/m ²	30.00 mm 33.05 mm 4.160 mm	3.08·10 ⁶ N/m ²	226.45 mm 13.970 mm 0.000 mm

Tabla 2. Esfuerzos máximos y mínimos

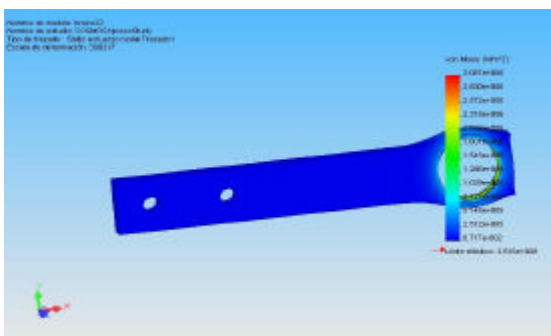


Fig. 7. Diagrama de esfuerzos

La tabla 3 nos muestra los desplazamientos en la barra y la Fig. 8. nos muestra un diagrama de estos,

los resultados obtenidos aseguran el correcto funcionamiento mecánico de la silla y nos permite construir el modelo.

Mínimo	Ubicación	Máximo	Ubicación
0.0 mm	100.0 mm 17.50 mm 0.000 mm	7.17·10 ⁻⁵ mm	233.78 mm 20.767 mm 7.500 mm

Tabla 3. Desplazamientos máximos y mínimos

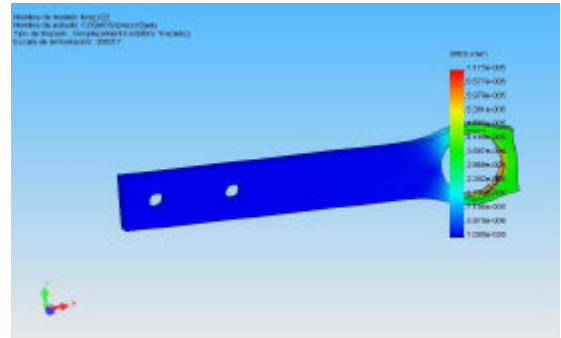


Fig. 8. Diagrama de desplazamientos

DISEÑO ELECTRÓNICO

Modelamiento de motores DC

Se usaron 2 motores del mismo modelo cuyos parámetros para el control son los siguientes:

Motor Derecho	
R	4.8 O
I	0.516 mH
K _V	0.0618 V-s/rad
K _T	0.0618 N-m/A
J	0.0000022 kg-m ²

Motor Izquierdo	
R	2.9 O
I	0.52 mH
K _V	0.0613 V-s/rad
K _T	0.0613 N-m/A
J	0.0000019 kg-m ²

El motor DC se modelará según las ecuaciones (14) y (15) de estado, para simplificar las ecuaciones asumimos que el coeficiente de fricción viscosa es nulo y las constantes K_V y K_T iguales.

$$\frac{dw}{dt} = (K \times i - T_c) / J \quad (14)$$

$$\frac{di}{dt} = (U - i \times R - K \times v) / L \quad (15)$$

Siendo:

? : Velocidad angular del motor
K : Constante del motor

³ El Esfuerzo calculado por el software es el esfuerzo de Von Misses

i : Corriente del motor
Tc : Torque de carga
J : Inercia del motor
U : Voltaje de alimentación
L : Inductancia del motor
R : Resistencia del motor

Diseño de observador de Torque por Lyapunov

Definamos el error de velocidad:

$$\mathbf{w}_{err} = \mathbf{w}_{ref} - \mathbf{w} \quad (16)$$

Donde:

?_{ref} : Velocidad de referencia
? : Velocidad del motor

La dinámica del error será:

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = d\mathbf{w}_{ref}/dt - d\mathbf{w}/dt \quad (17)$$

Con lo cual obtenemos:

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = d\mathbf{w}_{ref}/dt - (K \times -Tc) / J \quad (18)$$

Hacemos que la dinámica de la velocidad de referencia sea:

$$d\mathbf{w}_{ref}/dt = (K \times i - T_{obs}) / J - K_w \times \mathbf{w}_{err} \quad (19)$$

Donde:

T_{obs} : Torque Observado
K_w : Constante de error

Reemplazando en la ecuación anterior

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = (Tc - T_{obs}) / J - K_w \times \mathbf{w}_{err} \quad (20)$$

Definimos el error de torque

$$T_{err} = T - T_{obs} \quad (21)$$

Con lo que obtenemos

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = (Tc - T_{obs}) / J - K_w \times \mathbf{w}_{err} \quad (22)$$

De las 2 ecuaciones anteriores tomamos \mathbf{w}_{err} y T_{err} como variables de estado y definimos la función de Lyapunov del sistema

$$V = 1/2 \times \mathbf{I}_1 \times \mathbf{v}_{err}^2 + 1/2 \times \mathbf{I}_2 \times T_{err}^2 \quad (23)$$

Derivamos la función de Lyapunov para encontrar la condición de estabilidad⁴, Ec. (24).

$$dT_{err}/dt = -(\mathbf{I}_1 / J \times \mathbf{I}_2) \times \mathbf{w}_{err} \quad (24)$$

Pero tenemos

$$dT_{err}/dt = dTc/dt - dT_{obs}/dt \quad (25)$$

La razón de cambio del torque aplicado al motor es muy lenta en comparación con la velocidad de procesamiento, por tanto tendríamos

$$dT_{err}/dt = -dT_{obs}/dt \quad (26)$$

Con lo que tenemos

$$dT_{obs}/dt = (\mathbf{I}_1 / J \times \mathbf{I}_2) \times \mathbf{w}_{err} \quad (27)$$

Sea

$$K_T = (\mathbf{I}_1 / L \times \mathbf{I}_2) \quad (28)$$

Con lo que la expresión queda

$$dT_{obs}/dt = K_T \times \mathbf{w}_{err} \quad (29)$$

De este modo se obtienen las ecuaciones dinámicas de nuestro observador de torque

$$d\mathbf{w}_{ref}/dt = (K \times i - T_{obs}) / J - K_{w-err} \times \mathbf{w}_{err} \quad (30)$$

$$dT_{obs}/dt = K_T \times \mathbf{w}_{err} \quad (31)$$

Las entradas al observador de torque son:

- Corriente
- Velocidad angular

Las salidas del observador de torque son:

- Torque observado
- Velocidad de referencia

Parámetros de ajuste

- Kw-err
- KT

⁴ Sea un sistema cualquiera, de existir su función de Lyapunov V(x,t) si su derivada respecto al tiempo es negativa se asegura la estabilidad del sistema.

Diseño de controlador no lineal de velocidad

Con el error de velocidad Ec. 16 y la dinámica del error Ec. 17 y considerando que la velocidad del error varía lentamente respecto a la velocidad de procesamiento tenemos

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = -d\mathbf{w}/dt \quad (32)$$

De la Ec.32 y la Ec. 14 tenemos

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = -(K \times i_{ref} - Tc) / J \quad (33)$$

Nuestra señal de control será la corriente de referencia (deseada) del motor para que este de una salida deseada por lo tanto hagamos

$$i_{ref} = 1/K \times (Tc + K_w \times J \times \mathbf{w}_{err}) \quad (34)$$

Reemplazando Ec. 34 en Ec. 33 tenemos

$$d\mathbf{w}_{err}/dt = -K_w \times \mathbf{w}_{err} \quad (35)$$

Definimos la función de Lyapunov con el estado \mathbf{w}_{err}

$$V = 1/2 \times \mathbf{w}_{err}^2 \quad (36)$$

Derivando para asegurar la condición de estabilidad

$$dV/dt = \mathbf{w}_{err} \times d\mathbf{w}_{err}/dt = -K_w \times \mathbf{w}_{err}^2 \leq 0 \quad (37)$$

Nuestro control será hecho por corriente mediante la siguiente ecuación

$$i_{ref} = 1/K \times (Tc + K_w \times J \times \mathbf{w}_{err}) \quad (38)$$

Las entradas del controlador no lineal son:

- Corriente
- Error velocidad angular

Las salidas del controlador no lineal son:

- Corriente de referencia

Parámetros de ajuste

- K_w

Esta señal de control en si activara un rele lo que hace que nuestra verdadera señal de control sea el voltaje que le llega a nuestro motor y que varia

entre +24V y -24 V. Este tipo de control es conocido como control por métodos deslizantes, la superficie deslizante será nuestro error y el diseño por Lyapunov nos asegura la estabilidad en la zona de funcionamiento y ofrece mayor robustez respecto a las perturbaciones.

El control por corriente, el observador de torque y el control por modos deslizantes convierte a nuestro controlador en uno del tipo adaptativo STR⁵, este controlador una vez seteado funcionara a pesar que la carga de nuestro motor varíe, siempre y cuando los regímenes de trabajo sean físicamente posibles para el motor.

Programación del algoritmo de control

Para la programación del algoritmo de control se uso un microcontrolador de la empresa Microchip, el modelo dsPIC 30F3011; este microcontrolador reúne las características principales de un PIC además de la velocidad de procesamiento de un DSP, basado en tecnología de microcontroladores de 16 bits puede llegar hasta a 30 MIPS, algunas de sus características son:

- Multiplicador rápido de 17x17 bits.
- Registro de desplazamiento de 40 bits.
- Sumador/Restador de 40 bits.
- Dos registros acumuladores destino A y B de 40 bits.
- Módulo de redondeo lógico con modos de funcionamiento relacionables.
- Núcleo RISC con arquitectura Harvard modificada.
- Juego de instrucciones optimizada para el lenguaje C.
- Bus de Instrucciones de 24bits.
- Bus de Datos de 16bits.
- Manejo de Pila con software.

La programación se realizó en lenguaje C, para ello se utilizó el compilador "MPLAB C30" que está optimizado por el fabricante "Microchip" para generar un código mas eficiente. En la Fig. 9. vemos un esquema de trabajo del microcontrolador para nuestro caso.

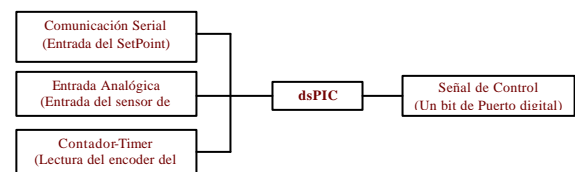


Fig. 9. Esquema de trabajo del Microcontrolador

⁵ STR (Regulador autosintonizable), se cambio del modo MRAC a STR para simplicidad de cálculo.

Comunicación del mando y la etapa de control

Se uso un mando analógico tipo “joystick”, las señales de los dos potenciómetros que tiene entran a un PIC 16F877 que calcula la señal de referencia para la velocidad de cada llanta y lograr un avance, retroceso o giro según sea el caso, esta señal de referencia se transmite al dsPIC que efectúa la acción de control sobre los motores de tracción.

Lo anterior se logro usando dos etapas principales:

- Conversión Análogo-Digital.- Para el procesamiento de la señal de referencia dada por el mando analógico.
- Comunicación RS-232.- Usada en la transmisión de la señal de referencia digitalizada por el PIC hacia el dsPIC.

Electrónica de Potencia

Para el desarrollo de la etapa de potencia se implementaron circuitos tanto para el control de los motores de potencia como del motor de elevación; cada uno independiente.

La corriente nominal de los motores de movimiento es de aproximadamente 3.3A, por lo que la etapa de potencia debe de ser capaz de soportar la alta corriente con la que los motores trabajan debido a la carga que necesitan mover.

Para el motor de elevación la señal con la que se trabaja es de alta corriente, alrededor de los 30A, por lo que se implemento un circuito de potencia con un rele con la capacidad de corriente necesaria. Para los motores de movimiento se utilizó un puente H con transistores tipo Mosfets, debido a su capacidad para soportar altas corrientes y su alta velocidad de respuesta.

Los Mosfets tienen un resistor llamado RDS (on) que actúa al poner el transistor en funcionamiento. El RDS (on) es la resistencia entre Fuente y Drenador que presenta el transistor al activarse. Es bastante fácil comprar MOSFETs que tengan RDS (on) de valores muy bajos de menos de 0.1 Ω . Esto significaría que con 4 A, el voltaje bajaría a 0.4V por MOSFET, esto nos asegura una menor pérdida de potencia. En la Fig. 10. observamos el diseño del puente H.

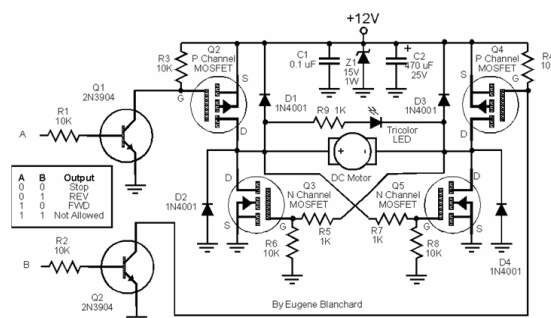


Fig. 10. Puente H

Para el motor de elevación se utilizó un mando tipo ON-OFF, que controlaban la activación o no del relé principal. Estos estados están condicionados por dos switch tipo fines de carrera, para tener una etapa de seguridad y no forzar al motor innecesariamente, la Fig. 11. nos muestra el esquema de conexión.

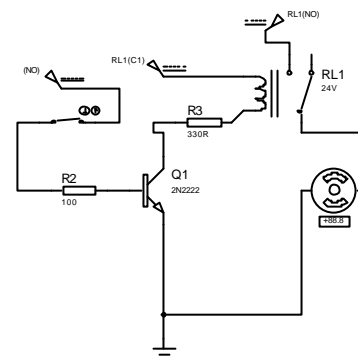


Fig. 11. Control del motor de Levante

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Fig. 12. observamos el prototipo construido

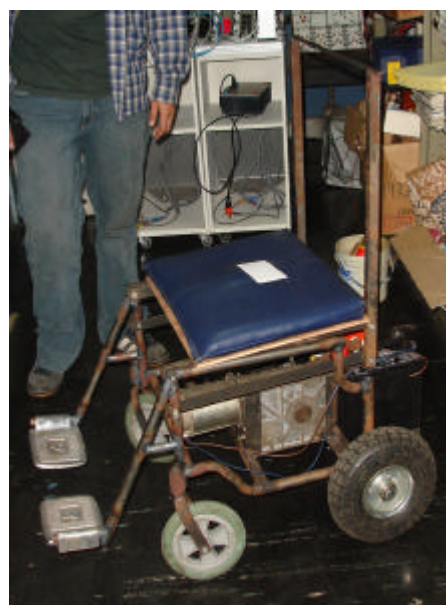


Fig. 12. Silla de Ruedas Stand Up

Las siguientes fotografías de la Fig. 13. muestran los principales estados de la silla.



Fig. 13. Silla Stand Up en funcionamiento

Con los valores de

- $K_{w_err} = 45000$,
- $K_t = 2000$

Voltaje inicial $U = 5$, final $U = 24$ en $t = 0.15$, Torque inicial de $T_c = 0.02$ y $T_c = 0.002$ aplicado en $t = 0.25s$. Nuestro observador de torque presenta el siguiente comportamiento que lo podemos ver en la Fig. 14. Fig. 15 y Fig. 16.

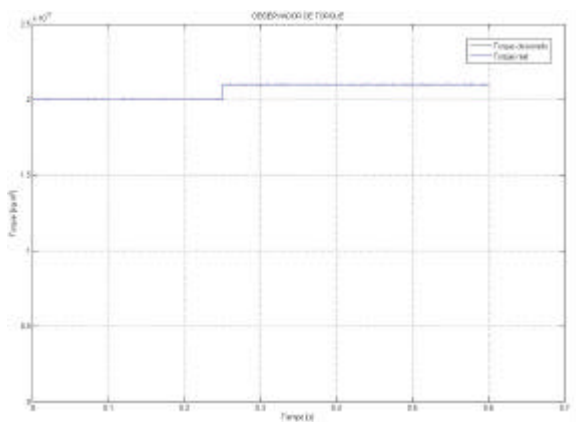


Fig. 14. Torque aplicado al motor

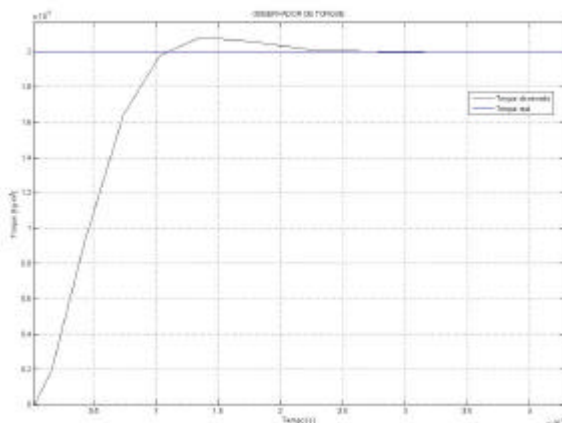


Fig. 15. Seguimiento del torque observado al torque real

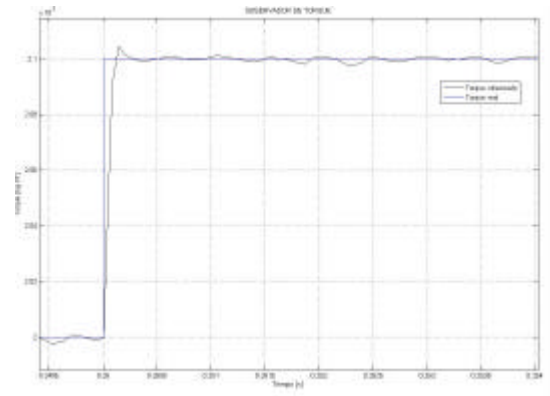


Fig. 15. Seguimiento del torque observado al torque real

Con los valores de

- $K_{w_err} = 45000$
- $K_t = 2000$
- $K = 120000$
- $T_s = 0.0000025s$

$W_r = 380$ $U = 24$, Torque inicial $T_c = 0.02$ y $T_c = 0.03$ aplicado en $t = 5s$, El controlador de velocidad presenta el siguiente comportamiento. Esto lo apreciamos en las Fig. 17. Fig. 18. Fig. 19.

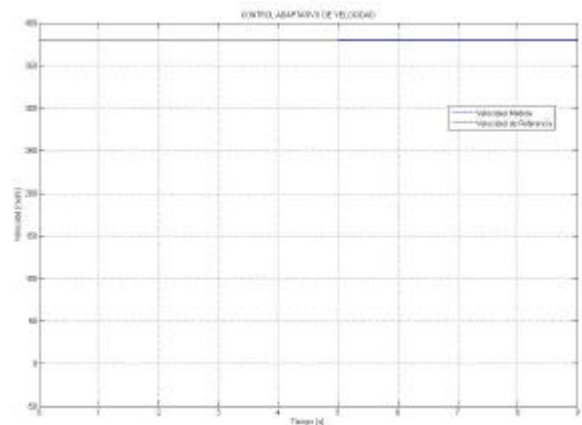


Fig. 17. Señal de referencia de velocidad y Velocidad real

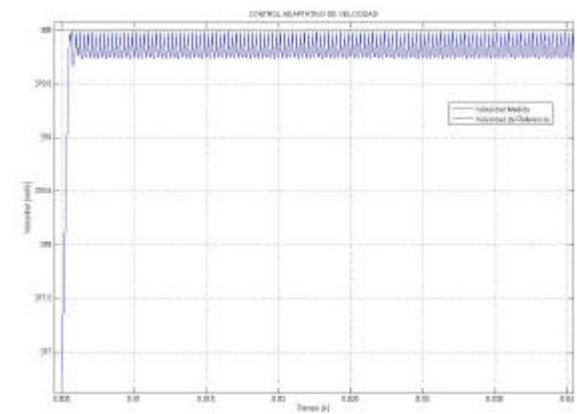


Fig. 18. Seguimiento de la velocidad del sistema a la velocidad de referencia

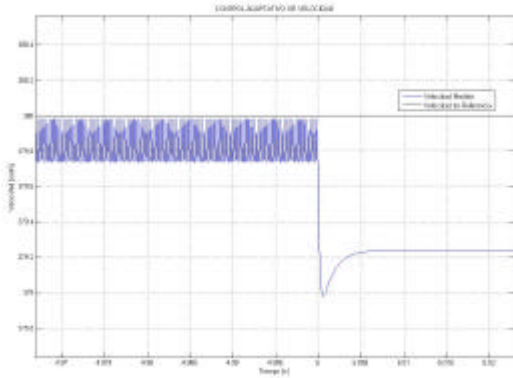


Fig. 19. Seguimiento de la velocidad del sistema a la velocidad de referencia

La silla de ruedas fue construida en prototipo y en estos momentos nos encontramos realizando el modelo final con ciertas modificaciones para su mejor funcionamiento.

Se puede observar que el funcionamiento del observador de torque es el deseado, además en el controlador de velocidad vemos un pequeño error y oscilaciones pero estas son del orden del 1%, este fenómeno es una característica del control por modos deslizantes y a pesar de la perturbación vemos como el error aumenta, pero se mantiene en un porcentaje aceptable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El diseño de la estructura de la silla cumple con nuestras especificaciones de seguridad y fiabilidad.
- La construcción con materiales del mercado nacional no es compleja y es una buena opción para producción en masa.
- El control electrónico se encuentra en la parte de prueba, los resultados de la simulación son muy buenos y cumplen nuestras expectativas.
- El control usado es muy robusto y nos permite someter al motor a diferentes cargas y asegurar la velocidad de desplazamiento.
- El diseño de observadores de estado por el método de Lyapunov es sencillo y nos permite obtener observadores muy buenos.
- La elección del controlador en este caso el dsPIC 30F3011 nos genera un ahorro tanto económico como de implementación.
- La potencia de procesado “30 MIPS” permite procesar el algoritmo sin preocuparnos de la velocidad de la data que ingresa.
- La suficiencia se asegura al usar el formato Q15 (coma fija) para el manejo de los datos.

- El controlador también responde bien cuando se usa coma flotante, pero no se asegura su total eficiencia debido a la complejidad de las operaciones.
- La comunicación RS232 cumplió las expectativas, pero se usó una jaula de Faraday en las tarjetas electrónicas para prevenir de interferencia por ruido eléctrico.
- Los puentes H respondieron de manera correcta a la velocidad en que se le exigió.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Dare A. Wells, *Dinámica de Lagrange*. Schaum-Mcgraw-Hill.
- Solidworks 2005 Manual
- Maple 9.5 Manual
- <http://ib.cnea.gov.ar/~dsc/index.html>, *Dinámica de Sistemas de Control*
- Universidad Nacional de Rosario – Escuela de Ingeniería Electrónica – Argentina, *Análisis de Catering para control por modos deslizantes en tiempo discreto – Técnicas de Reducción*.
- Microchip Manual “dsPIC 30F3011”
- Microchip Manual “PIC 16F877A”
- Muhamed Rashid, *Electrónica de Potencia*.

Centro de Desarrollo e Investigación
 en Mecatrónica - CEDIM
www.cedim.uni.edu.pe
 Universidad Nacional de Ingeniería
 Lima - Perú