



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL BASADO EN ESTRATEGIAS DE EVASIÓN DE OBSTÁCULOS PARA UN MÓDULO DE ELEVACIÓN Y DESPLAZAMIENTO AUTÓNOMO, PRECUATELANDO LA SEGURIDAD DE PERSONAS PARAPLÉJICAS

AUTORES: - TATIANA ALEXANDRA LÓPEZ INGA
- ALEXIS FABIAN PILATASIG AYNUCA

DIRECTOR: ING. HECTÓR TERÁN

ENERO, 2019





GENERALIDADES

Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de control basado en estrategias de evasión de obstáculos para un módulo de elevación y desplazamiento, precautelando la seguridad de personas parapléjicas.



Objetivos Específicos

- Investigar las tecnologías existentes vinculadas a técnicas basadas en estrategias de evasión de obstáculos.
- Implementación de un sistema control manual mediante la utilización de elementos mecánicos y electrónicos.
- Diseño e implementación de un sistema de control autónomo basado en estrategias de evasión de obstáculos mediante algoritmos de programación.
- Realización de pruebas y análisis de resultados del control tanto manual como autónomo para el sistema de elevación y desplazamiento.



Introducción

En presente proyecto se realiza la implementación de un sistema de control en un módulo de elevación y desplazamiento, está basado en estrategias de evasión de obstáculos, siempre pensando en la seguridad de los usuarios como prioridad. Esta implementación aportó de nuevas habilidades para las personas parapléjicas, además que este sistema sea accesible para cualquier persona con recursos moderados.





Planteamiento del problema

La mayoría de sistemas de control para un módulo de elevación y desplazamiento, constan de un empuje muy fuerte al momento de ponerle verticalmente a la persona, lo que puede ocasionar lesiones además de dolor y limitación de movimientos, dañando permanentemente al riñón y sus tejidos.





Justificación e Importancia

La implementación de un sistema de control para un módulo de elevación y desplazamiento permite ejecutar movimientos en una superficie horizontal. Es posible alcanzar áreas de trabajo fácilmente, además gracias al sistema de control para elevación se puede realizar actividades en zonas altas manteniendo la estabilidad de la persona, lo que mejora la calidad de vida del paciente.





Diagnóstico de enfermedades de las extremidades inferiores

Las enfermedades neurológicas son trastornos del cerebro, la medula espinal y los nervios de todo el cuerpo; en conjunto, esos órganos controlan todas las funciones del cuerpo cuando algo funciona mal en algunas partes de los sistemas nerviosos, es posible que tenga dificultad para moverse hablar, traga, respirar o aprender.





Afectación a la Columna vertebral

Cuando ocurre una lesión medular, todos los nervios situados por arriba de la lesión funcionan correctamente, en cambio, por debajo se produce una desconexión entre el cerebro y las diferentes partes del cuerpo. Dependiendo la zona y grado de afectación esta desconexión puede ser total o arbitraria.





Antropometría

La antropometría es una estrategia científica que está significativamente conectada con la ergonomía física, la cual tiene muchas áreas de aplicación. Es una disciplina que se encarga en analizar las longitudes del cuerpo humano, los estudios y las estrategias para realizar las mediciones, además de su análisis estadístico.





Ventajas del uso de los recursos tecnológicos y discapacidad

Gracias al progreso tecnológico, los usuarios con capacidades especiales superan sus limitaciones cada día, para ascender hacia su composición digital y social en equivalencia de condiciones.





Sistemas alternativos y aumentativos

Son medios y herramientas al favor de usuarios con algún tipo de discapacidad visual o auditiva, que modifican la señal, aumentándola o cambiándola para lograr ser percibida de una forma más asequible.

Los sistemas de tipo aumentativos se enfocan en personas con dificultades visuales y auditivas.

Los sistemas alternativos son medios que permiten a los usuarios, que es casi imposible que la información les llegue mediante una determinada particularidad sensorial



Tecnologías para la movilidad personal

Conectados con la movilidad de las personas y las barreras arquitectónicas. Estos instrumentos están encargados de la disminución de la discapacidad en las personas, realizando alguna actividad que la persona afectado no puede realizar por ella sola. Por ejemplo: brazos o soportes articulados, comunicadores adosados a silla de ruedas, micro-robots, grúas adaptadas.





Sistemas de Control

Un sistema de control administra, ordena, dirige o regula el comportamiento de otros dispositivos o sistemas que utilizan bucles de control. Puede abarcar desde un único controlador de calefacción doméstica que usa un termostato que controla una caldera doméstica hasta grandes sistemas de control industrial que se utilizan para controlar procesos o máquinas.





La ingeniería en los sistemas de control

Consiste en la investigación y el análisis de las diferentes características de un sistema de control presente, para el diseño se escogen todos los componentes necesarios para formar el sistema de control que realice un trabajo específico, para este diseño se puede utilizar dos métodos los cuales son:

Diseño por análisis.

Diseño por síntesis.





Dispositivos lógicos de control

En la actualidad los sistemas de control sostienen un nivel alto de complejidad en su diseño para poder dar soporte a procesos más exactos, por esta razón los dispositivos de control son cada vez más potentes y de mayor alcance, además que su facilidad de uso se ha ido incrementando pasando de la programación de bajo nivel hasta llegar a la programación de alto nivel o en algunos casos estos dispositivos simplemente se configuran desde interfaces gráficas.





Clasificación de Métodos para la Evasión de Obstáculos

Dentro de la categoría de robots móviles de ruedas, la principal tarea a desarrollar es evadir obstáculos durante su tránsito hacia la meta, para ello se han desarrollado series de algoritmos con la finalidad de minimizar errores y proporcionar una mayor autonomía cada vez más certera en el tránsito del robot móvil.





Método de seguimiento planeado.

Se caracteriza por hacer uso de infraestructura especializada en pisos lisos, que en conjunto definen la trayectoria y orientación del móvil, incluyen tapetes magnéticos adheridos al piso, siendo detectado el campo magnético por sensores del tipo magnético montados en la estructura mecánica del móvil, y con la incorporación de sensores láser y ultrasónicos facilitan la orientación y navegación del robot.



Método de cartografía de obstáculos

Es un método de evasión que aprovecha la representación de probabilidad de obstáculos en un medio ambiente cartesiano cuadrulado artificialmente por el robot móvil, donde cada celda contiene un valor de certeza que indica la existencia de un obstáculo.

Análisis de seguridad

A la etapa de ejecutar una investigación de seguridad, en un diseño de aparato, en un estudio de peligrosidad o bien en la producción de normas y disposiciones de empleo, se han de tener presentes todos y cada uno de los peligros susceptibles de ser generados por las máquinas.

Alcances de la máquina

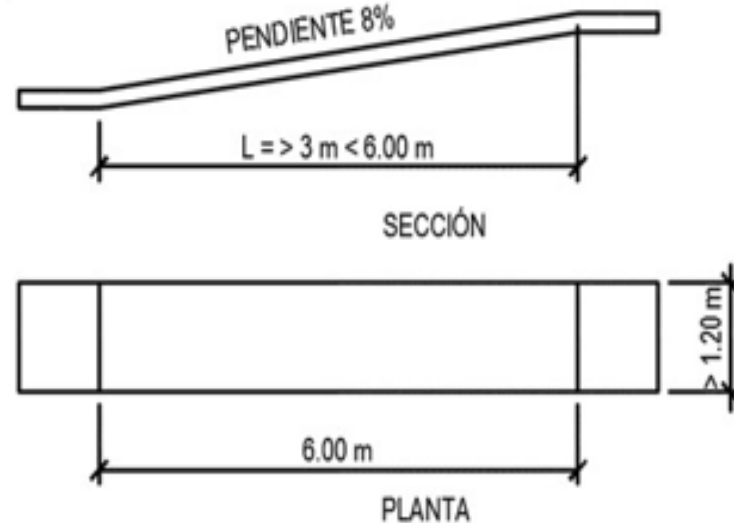
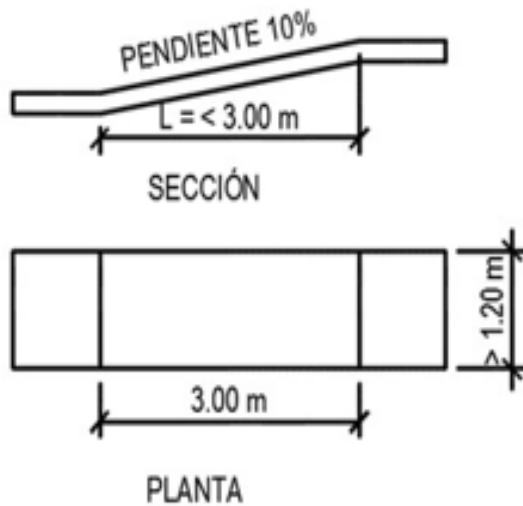
En el entorno, desplazamiento y recorridos.

En la práctica-condiciones de manejo.

En el tiempo-vida total o de las partes.

Normativa para el diseño de rampas estandarizadas

Rampa menor a tres metros de longitud, debe tener una Pendiente Máxima de 10%.



DISEÑO DEL CONTROLADOR BIESTABLE



Estructura funcional

Se establecen las características técnicas más importantes a fin de determinar las posibilidades para implementar los diseños.

No.	Característica Técnica	Función
1	Sensaje distancia	Determina la detección de un obstáculo o la culminación del área de desplazamiento.
2	Sensaje inclinaciones	Determina la detección de inclinaciones.
3	Tarjeta de control	Determina la tarjeta encargada de ejecutar el algoritmo de control.
4	Medio de transmisión de datos	Determina el medio que se utilizará para realizar la transmisión de datos.



Alternativas para la selección de la batería

Solución	Imagen	Características
Polímero de Litio Solución A		<ul style="list-style-type: none">- Eficiencia Carga/Descarga 99.8%- Costo Alto- Durabilidad <1000 ciclos
Plomo Ácido Solución B		<ul style="list-style-type: none">- Eficiencia Carga/Descarga 50-95%- Costo Medio- Durabilidad 500-800 ciclos

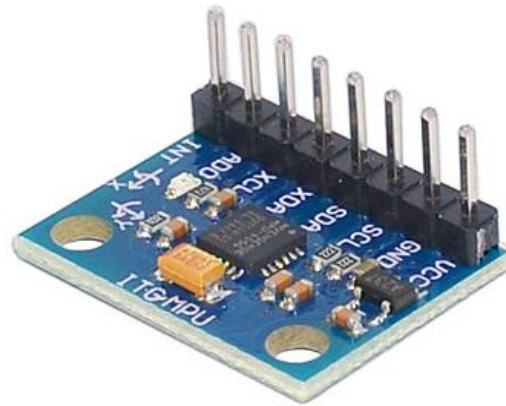


Alternativas Sensaje distancia



Solución	Imagen	Características
Ultrasónico Solución A		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$2 - Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm - Tensión de alimentación: 5 Vcc - Frecuencia de trabajo: 40 KHz - Rango máximo: 4.5 m - Rango mínimo: 1.7 cm - Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μS. - Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μS.
Infrarrojo Solución B		<ul style="list-style-type: none"> - Número de modelo: FC-51 - Ángulo de cobertura: 35 ° - Voltaje de funcionamiento: 3.0V – 6.0V - Rango de detección: 2 cm – 30 cm (ajustable con el potenciómetro) - PCB tamaño: 3,1 cm (largo) x 1,4 cm (W) - Dimensión total: 4,5 cm (L) x 1,4 cm (W), 0.7cm (H) (WebRobotica, 2018)

Detección de inclinación

Se utilizará para la detección de inclinación el giroscopio MPU 6050

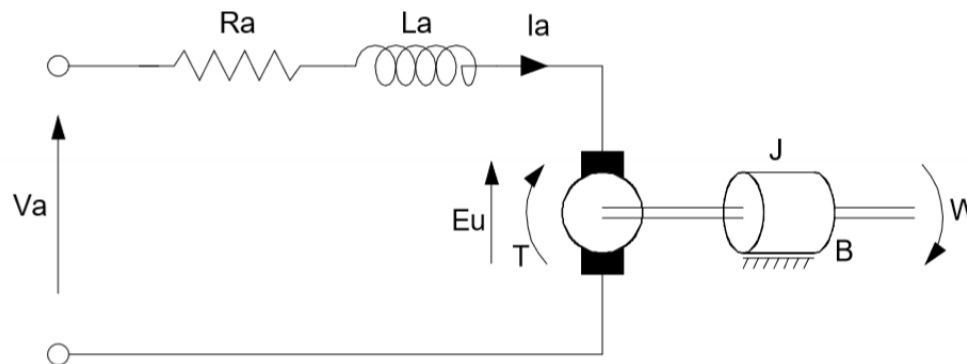


Alternativas para la selección del medio de transmisión de datos

Solución	Imagen	Características
<p>Comunicación</p> <p>Serial D-SUN USB a TTL</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Comunicación rápida - Distancia de transmisión corta - Costo: \$5 - Velocidad: 112Kbps - Tamaño de datos: 1 bit de inicio +5 a 8 bits de datos + 1 bit de parada
<p>Módulo Bluetooth</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Costo: \$7.50 - Velocidad de 2 a 3 Mbps - Tamaño de datos: 8 bits de datos +1 bit de parada

Modelado y simulación del sistema

Se realiza la modelación del sistema de translación utilizando las ecuaciones que rigen el comportamiento del motor de corriente continua.





Aplicación para teléfonos móviles

Se desarrollo la aplicación para el funcionamiento del bipedestador en forma inalámbrica se utilizó App Inventor que permite la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android.

La navegación del sistema permite entender de mejor manera el direccionamiento entre las ventanas. El esquema de navegación de una HMI debe ser intuitivo y fácil de usar.



Navegación del Sistema NIVEL 1

INGRESO



BIENVENIDO AL SISTEMA



Proyecto de Titulación
Diseño e implementación de un sistema de control basado en estrategias de evasión de obstáculos para un módulo de evasión y desplazamiento autónomo, precautelando la seguridad de las personas parapléjicas.

Autores:
-Pilatasig Aynuca Alexis Fabian
-López Inga Tatiana Alexandra

MENÚ **SALIR**

Nivel 1

NIVEL 2



Nivel 2

NIVEL 3

Funcionamiento

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VIDEO DEMOSTRATIVO



REPRODUCIR

MENU
SALIR

Control

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SELECCIONAR BLUETOOTH **CONECTAR**

ESTADO: DESCONECTADO

ENCENDER
MODO



SUBIR
BAJAR

MENÚ
SALIR

Ayuda

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

1. Clicar en Estado del sistema
2. Expandir el dispositivo Bluetooth
3. Abrir la aplicación
4. Ir a MENU
5. Clic en AYUDA
6. Clic en FUNCIONAMIENTO
7. Clic en Reproducir
8. Clic en CONTROL
9. Seleccionar dispositivo Bluetooth y clic en Aceptar
10. Clic en CONECTAR

En caso de que el bipedestador detecte un obstáculo o una inclinación mayor a los 10 grados, se presentará una alarma para alertar al usuario.

MENÚ
SALIR

Nivel 3

Bloques de programación Ventana Control

Bloque	Función
Seleccionar Bluetooth	Abre una nueva ventana para seleccionar la dirección del bluetooth al que se desea conectar.
Conectar	Conecta el teléfono con el módulo Bluetooth
Encender	Envía una la letra “E” para encender el bipedestador
Modo	Envía la letra “T” para usar el bipedestador en modo inalámbrico.
Subir	Envía la letra “M” para subir el actuador.
Bajar	Envía la letra “N” para bajar el actuador.
Adelante	Envía la letra “W” para mover la plataforma hacia adelante.
Atrás	Envía la letra “S” para mover la plataforma hacia atrás.
Centro	Envía la letra “P” para detener la plataforma.
Derecha	Envía la letra “A” para mover la plataforma hacia la derecha.
Izquierda	Envía la letra “D” para mover la plataforma hacia la izquierda.
Estado	Muestra el estado de la conexión: “CONECTADO” /”DESCONECTADO”
Menú	Abre la nueva ventana de nombre “MENU”
Salir	Cierra la aplicación

INSTALACIÓN DEL CONTROL BIESTABLE

Implementación sensores de distancia

Se realizó la implementación de los sensores de distancia para lo cual se diseñó una carcasa de protección que permitirá asegurar los sensores en la base de la estructura.

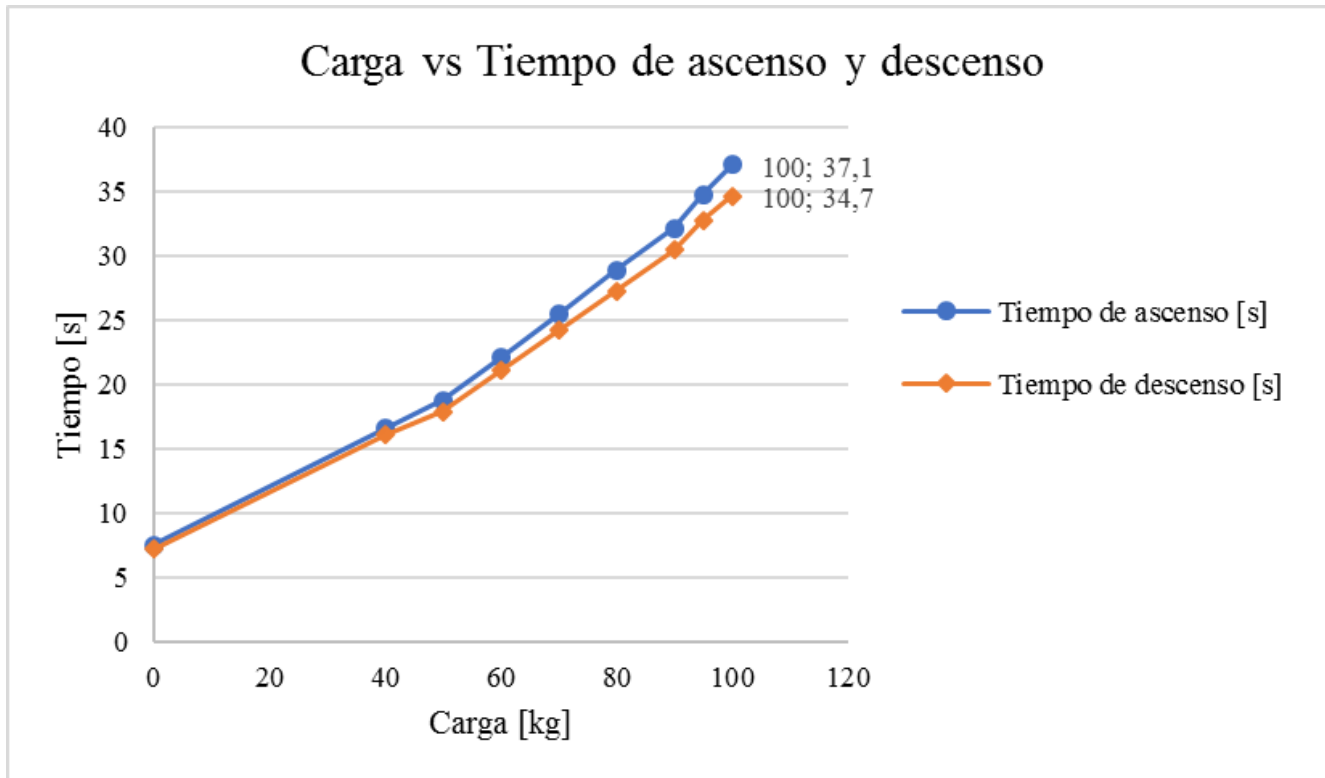


PRUEBAS Y RESULTADOS

Pruebas del sistema de elevación (Etapa 1)

Sistema de elevación					
Carga [kg]	Tiempo nominal [s]	Tiempo de ascenso [s]	Tiempo de descenso [s]	Error ascenso [%]	Error descenso [%]
0	7	7,5	7,2	7,1	2,9
40	15	16,6	16,1	10,7	7,3
50	17	18,8	17,9	10,6	5,3
60	20	22,1	21,1	10,5	5,5
70	23	25,5	24,2	10,9	5,2
80	26	28,9	27,3	11,2	5,0
90	29	32,2	30,5	11,0	5,2
95	31	34,8	32,8	12,3	5,8
100	33	37,1	34,7	12,4	5,2

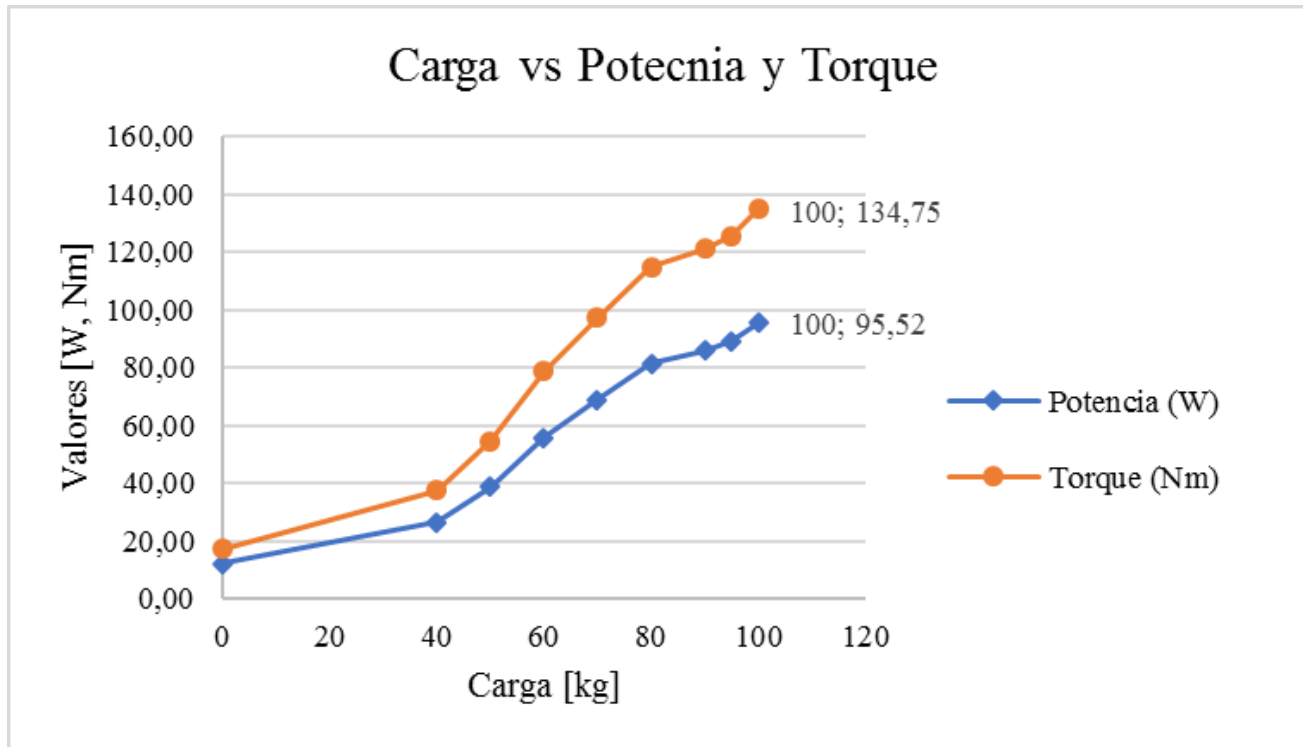
Carga vs Tiempo de ascenso y descenso en el sistema de elevación



Resultado pruebas voltaje, corriente, potencia y torque.

SISTEMA DE ELEVACIÓN					
Carga [kg]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Torque [Nm]	Eficiencia [%]
0	10,15	1,2	12,18	17,18	90
40	11,44	2,32	26,54	37,44	90
50	13,35	2,9	38,72	54,61	90
60	16,02	3,48	55,75	78,64	90
70	19,07	3,62	69,03	97,38	90
80	22,02	3,7	81,47	114,93	90
90	22,88	3,75	85,80	121,04	90
95	23,58	3,78	89,13	125,74	90
100	24	3,98	95,52	134,75	90

Carga vs potencia y torque en el sistema de elevación

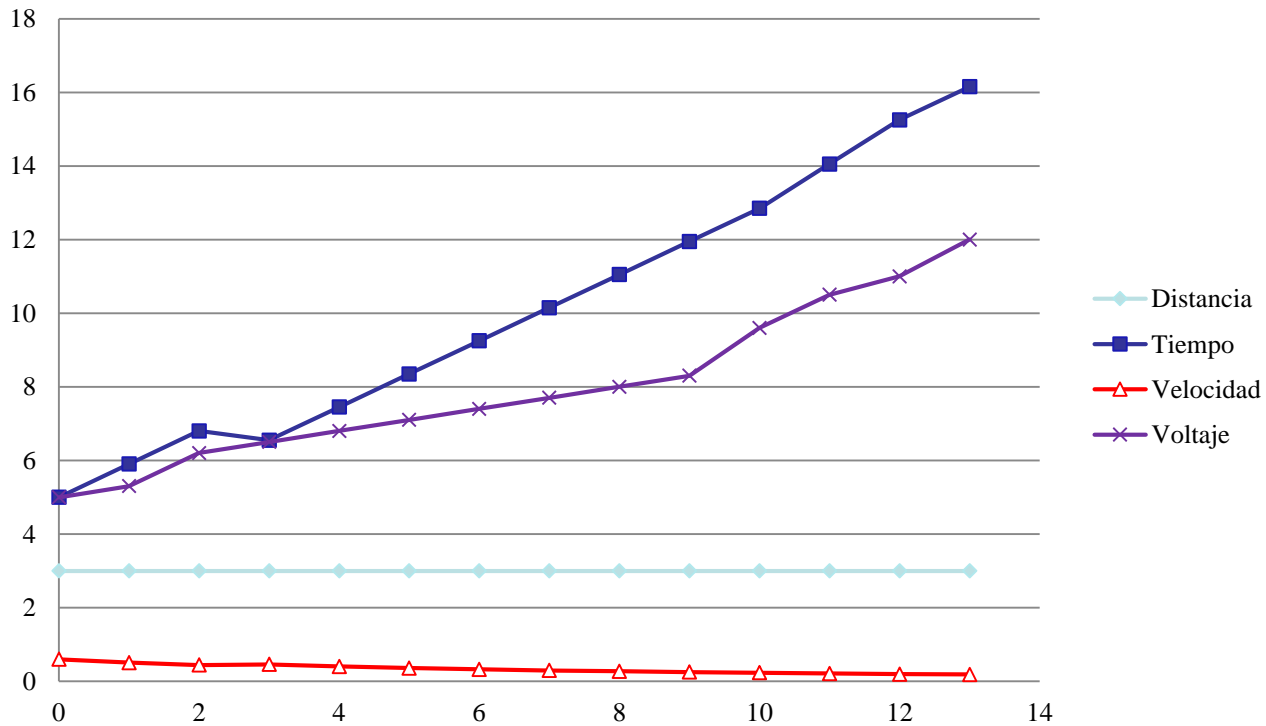


Pruebas en el sistema de desplazamiento (Etapa2)

SISTEMA DESPLAZAMIENTO				
Carga x10 [kg]	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad [m/s]	Voltaje [V]
0	3	5	0,60000	5
1	3	5,25	0,57143	5,3
2	3	6,15	0,48780	6,2
3	3	5,9	0,50847	6,5
4	3	6,8	0,44118	6,8
5	3	7,7	0,38961	7,1
6	3	8,6	0,34884	7,4
7	3	9,5	0,31579	7,7
8	3	10,4	0,28846	8
9	3	11,3	0,26549	8,3
10	3	12,2	0,24590	9,6
11	3	13,4	0,22388	10,5
12	3	14,6	0,20548	11
13	3	15,5	0,19355	11,9998

Grafica Tiempo-Voltaje-Velocidad-Carga

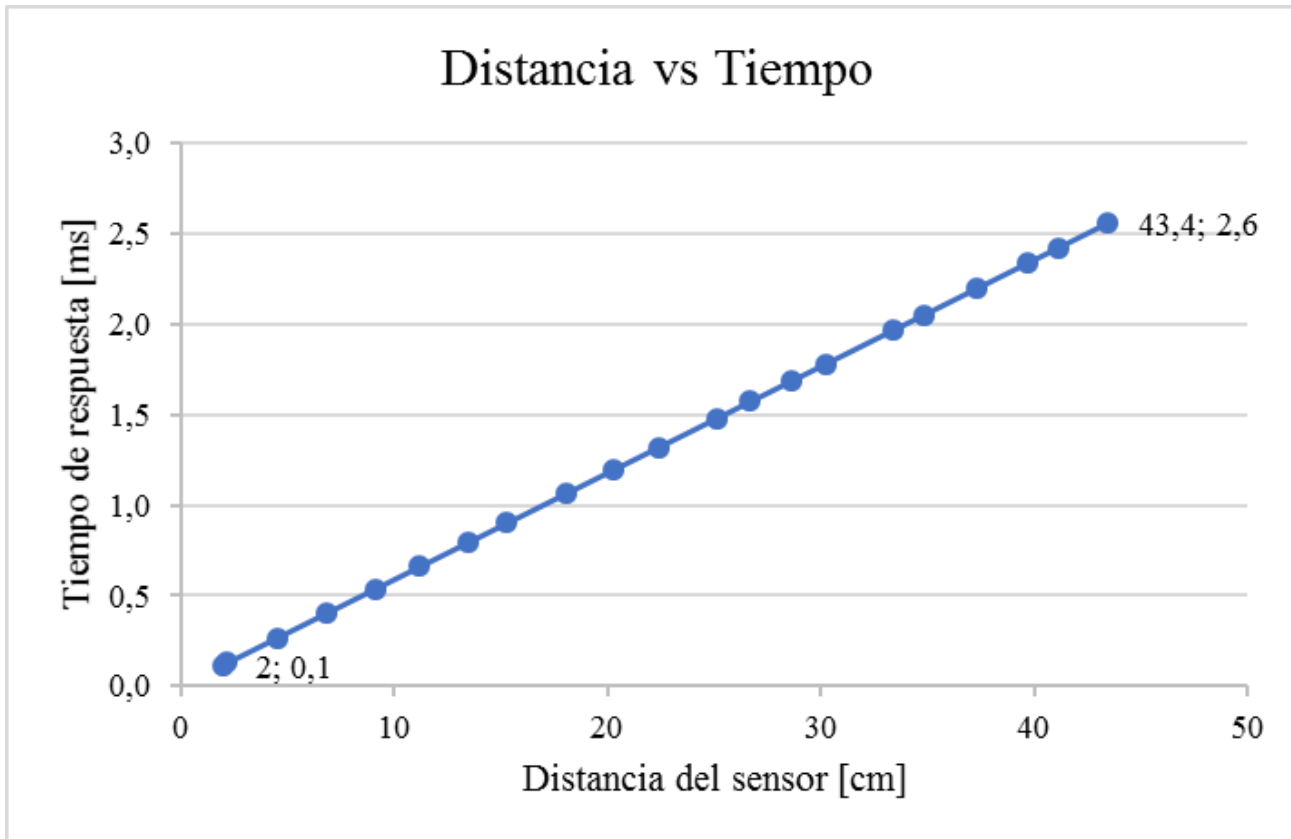
Grafica Tiempo-Voltaje-Velocidad vs Carga



Pruebas del Control Autónomo basado en la Seguridad (Sensores) Etapa 3

SENSOR FRONTAL			
Distancia real [cm]	Distancia del sensor [cm]	Tiempo de respuesta [ms]	Error [%]
1,9	2,0	0,1	5,3
2	2,2	0,1	10,0
4	4,5	0,3	12,5
6	6,8	0,4	13,3
8	9,1	0,5	13,8
10	11,2	0,7	12,0
12	13,5	0,8	12,5
14	15,3	0,9	9,3
16	18,1	1,1	13,1
18	20,3	1,2	12,8
20	22,4	1,3	12,0
22	25,1	1,5	14,1
24	26,7	1,6	11,3
26	28,6	1,7	10,0
28	30,2	1,8	7,9
30	33,4	2,0	11,3
32	34,8	2,1	8,7
34	37,3	2,2	9,7
36	39,7	2,3	10,3
38	41,1	2,4	8,2
40	43,4	2,6	8,5

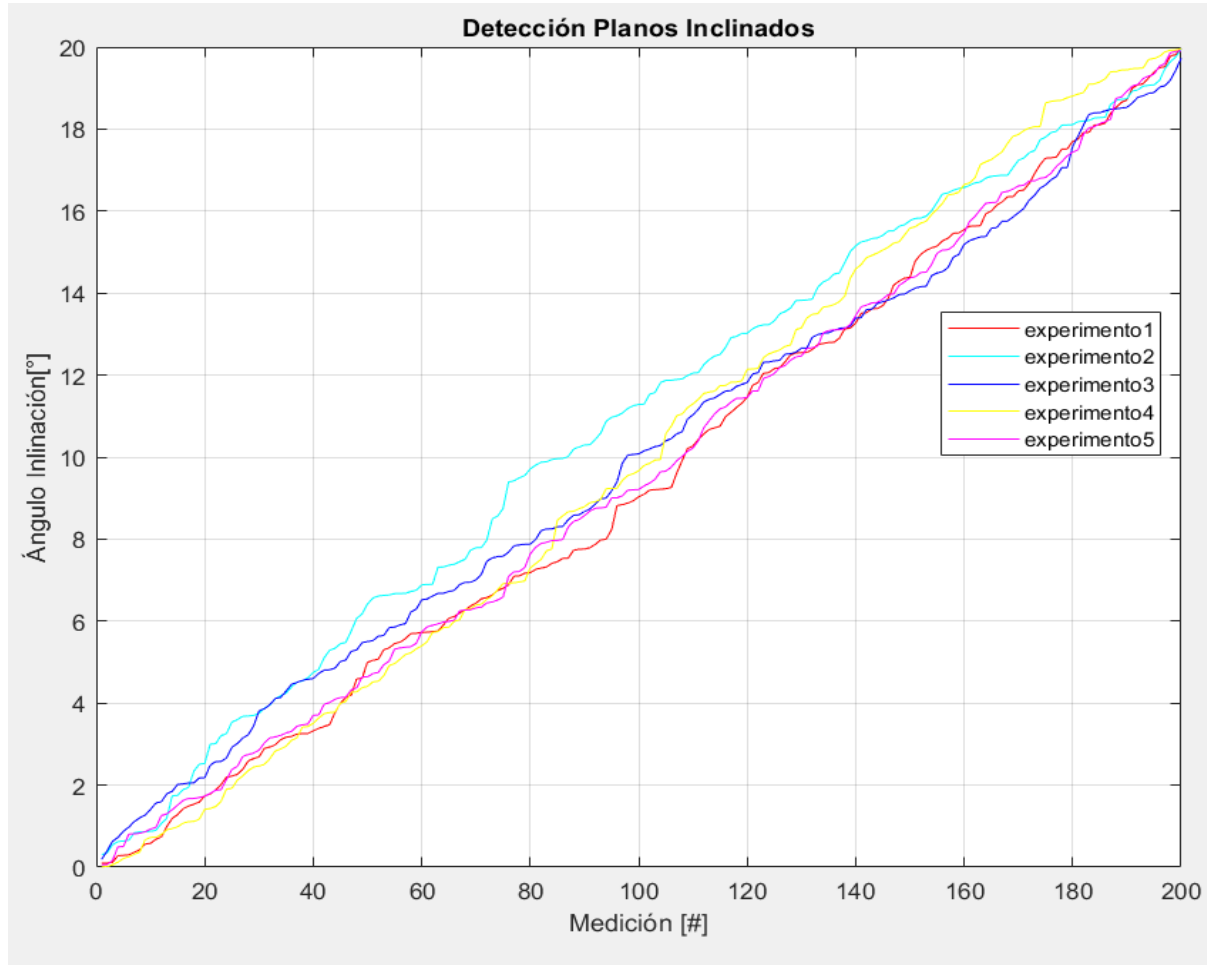
Distancia vs Tiempo sensor frontal



Resultado pruebas sensor giroscopio

SENSOR GIROSCOPIO					
#	Experiment	Experiment	Experiment	Experiment	Experiment
Medición	o1	o2	o3	o4	o5
1	0.09616927	0.31083188	0.18773354	0.00731248	0.06127148
10	0.58071019	0.87635044	1.40614482	0.72658472	0.93128078
20	1.73921298	2.5262896	2.17801828	1.41016228	1.72828867
30	2.68685398	3.74762135	3.81316868	2.46636302	2.85375839
40	3.32453568	4.74683457	4.59848076	3.50633078	3.70506659
50	4.99705516	6.41801381	5.50194745	4.40900708	4.64136759
60	5.72350463	6.8843594	6.52194683	5.39466703	5.74114155
70	6.43861785	7.79138744	7.00544069	6.39144547	6.32445122
80	7.17887239	9.71225658	7.8765005	7.29549503	7.63698013
90	7.75692609	10.2951658	8.67383264	8.78851674	8.57280273
100	9.03119304	11.2870707	10.0782155	9.66560039	9.20896407

Calibración sensor giroscopio



Validación hipótesis

Hipótesis Nula (H_0): El módulo de elevación y desplazamientos brindará seguridad en el desplazamiento de personas.

Hipótesis No Nula (H_1): El módulo de elevación y desplazamientos no brindará seguridad en el desplazamiento de personas.

Sistema de calificación validación hipótesis

Experimento	Operación	Confiabilidad
A	8	8
B	9	8
C	6	8
D	7	6
E	8	7
F	8	9
G	8	8
H	7	8
I	9	7
J	8	7

Conclusiones

- Se implementó un sistema de control manual a través de la utilización de pulsadores, indicadores y joystick que permite la movilidad de la plataforma en entornos con superficies planas y únicamente inclinaciones de máximo 10° .
- Se implementó un control inalámbrico a la estación bipedestal a través del uso de un módulo bluetooth que permite la comunicación entre el teléfono móvil y el microcontrolador. Se diseñó la HMI en App Inventor y se dio un tiempo de envío de datos de 10 ms permitiendo que el microcontrolador reciba las señales de control y ejecute acciones de manera automática y precisa.

Conclusiones

- Se realizó la detección de obstáculos a través del uso de 5 sensores ultrasonidos colocados de manera uniforme en la plataforma bipedestal para tener una mayor área de alcance, estableciendo como valor permisible los menores a 4cm, y en caso de sobrepasar este valor dependiendo de la pared que sea detectada se bloquea el control en esa dirección, pero se mantienen habilitadas las demás direcciones de movimiento.

Conclusiones

- En la detección de planos inclinados se utilizaron giroscopios estableciendo como rango normal de funcionamiento los menores a 10° , en caso de sobrepasar este valor se emite una alarma sonora y se bloquea el movimiento hacia adelante.
- Se establecieron protocolos de pruebas para verificar el funcionamiento del sistema de elevación considerando como variable de análisis el tiempo de ascenso y descenso del actuador dependiendo de la carga aplicada para verificar si el voltaje o la corriente sobrepasaba el valor nominal obteniendo errores máximos del 4.94% y 4.80% respectivamente.

Recomendaciones

- Se recomienda no sobrepasar carga de 100kg en sistema de elevación y 130kg en sistema de elevación debido que los actuadores pueden sufrir daños, y el mantenimiento del sistema será complejo.
- El sistema de evasión de obstáculos solo funcionara en el estado automático, jamás sobrepasar los 10 grados a lo que se refiere a una pendiente, ya que la maquina pierde estabilidad y pueden sufrir graves lesiones.

Recomendaciones

- En las pruebas de movimiento se pudo observar que las ruedas colocadas en la parte trasera de la maquina no permiten que se direcciona a la posición deseada, por lo que se recomienda usar llantas denominas ruedas locas.
- Implementar un variador de velocidades debido a que los usuarios al iniciar el movimiento la máquina, detectan un arranque brusco, por lo ende suelen a tener temor a que el sistema puede volcarse.



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA