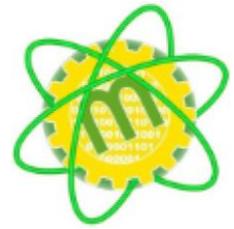




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE
UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MOVIL TRANSPORTADORA DE
VIDRIO QUE PERMITA REDUCIR EL TIEMPO DE TRANSPORTE
EN LA EMPRESA ALUVIDGLASS CIA. LTDA.**

AUTOR:

LASCANO PAZMIÑO, CHRISTIAN STALIN

DIRECTOR:

ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO



Objetivo General

Diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica móvil transportadora de vidrio que permita reducir el tiempo de transporte en la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA.



Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte correspondiente a robots de transporte inteligente, la normativa de la empresa para manejo de vidrio.

Definir el trazado guía que seguirá el robot en su implementación.

Seleccionar componentes y materiales que cumplen con los requisitos para el proyecto y el peso máximo.

Seleccionar la tarjeta para el control del movimiento, forma de mando (HMI o botones) del robot.

Diseñar la estructura del transportador a través de software CAD simulando la estructura para evitar fallas por esfuerzos.

Construir la estructura con materiales existentes en el mercado.

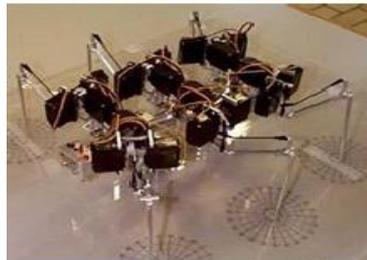
Implementar algoritmos de programación para el software.

- Validar la hipótesis por análisis de resultados y pruebas de funcionamiento.



Introducción

ROBÓTICA MÓVIL



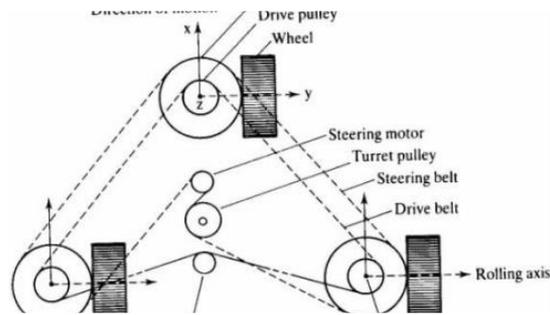
Locomoción

Patas

Ruedas



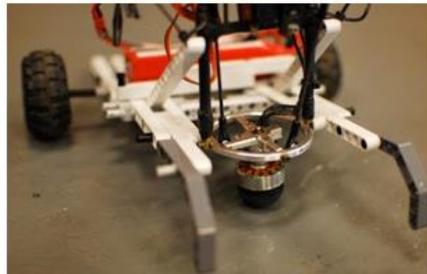
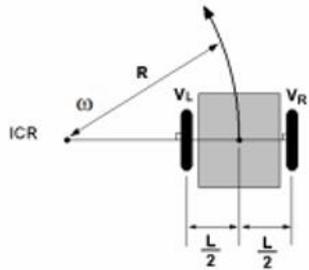
Motrices o de tracción



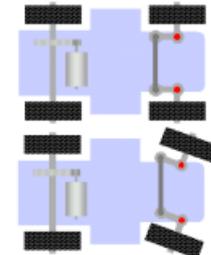
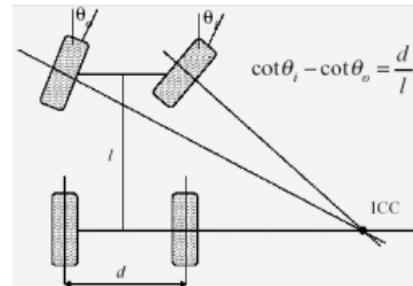
Omnidireccional



Diferencial



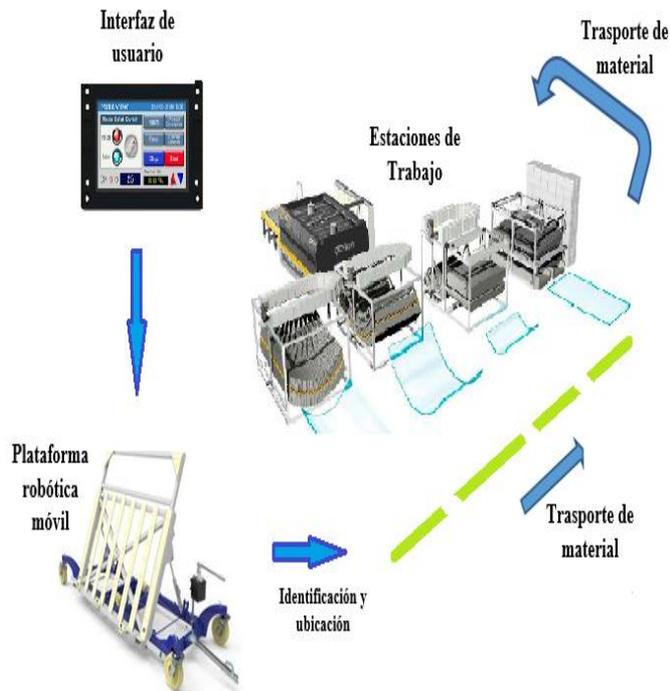
Locomoción Ackerman



Estabilidad-Presupuesto



Necesidades de Funcionamiento



N.º	Necesidades
1	Diseño en función de la carga útil
2	Diseño en función de la forma y tamaño del vidrio
3	Desplazarse en base a trayectorias definidas
4	Desplazarse a velocidad idónea para transporte de vidrio
5	Autonomía de desplazamiento
6	Autonomía energética

Diseño de Plataforma Robótica Móvil



Cálculos

$$P = 325 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1.38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 4399.785 \text{ watts } \acute{o} \text{ 5.9 hp}$$

$$\text{Potencia de dise\~{n}o} = 1.2 * 5.9 \text{ hp}$$

$$\text{Potencia de dise\~{n}o} = 7.8 \text{ hp}$$

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Hidráulico	Motor eléctrico	Motor de combustión interna
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladores de alimentos y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillo, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7



Velocidad angular

$1.38 \frac{m}{s}$ Velocidad de operador/ Requerimiento

$$w = \frac{1.38 \frac{m}{s}}{0.1 m} \quad w = 13.8 \text{ rad} \quad \text{ó} \quad 131.78 \text{ rpm}$$

$$\frac{200 \text{ rpm}}{131.78 \text{ rpm}} = 1.517 \frac{\text{rad}}{s}$$

Paso de catarina

Anexo 1.- Cadena número 80 para una sola hilera-Catarina de 12 dientes a 200 rpm, Potencia 8.54 hp.

$$N_2 = N_1 * \textit{relación}$$

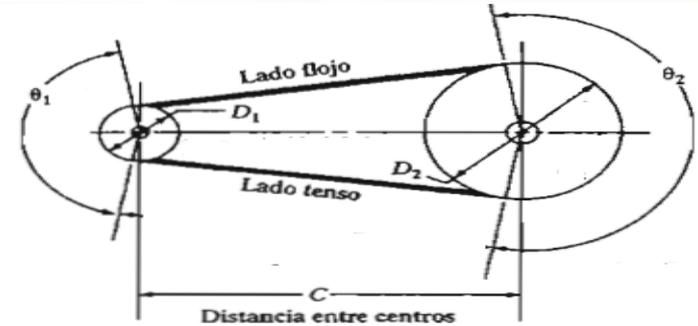
$$N_2 = 12 * 1.517$$

$$N_2 = 18.204 \sim 18$$



Velocidad deseada o de salida

$$n_2 = n_1 * \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad n_2 = 133.33 \text{ rpm}$$



Paso de la catarina

$$D_1 = \frac{p}{\text{sen} \left(\frac{180^\circ}{N_1} \right)}$$

Longitud

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C}$$

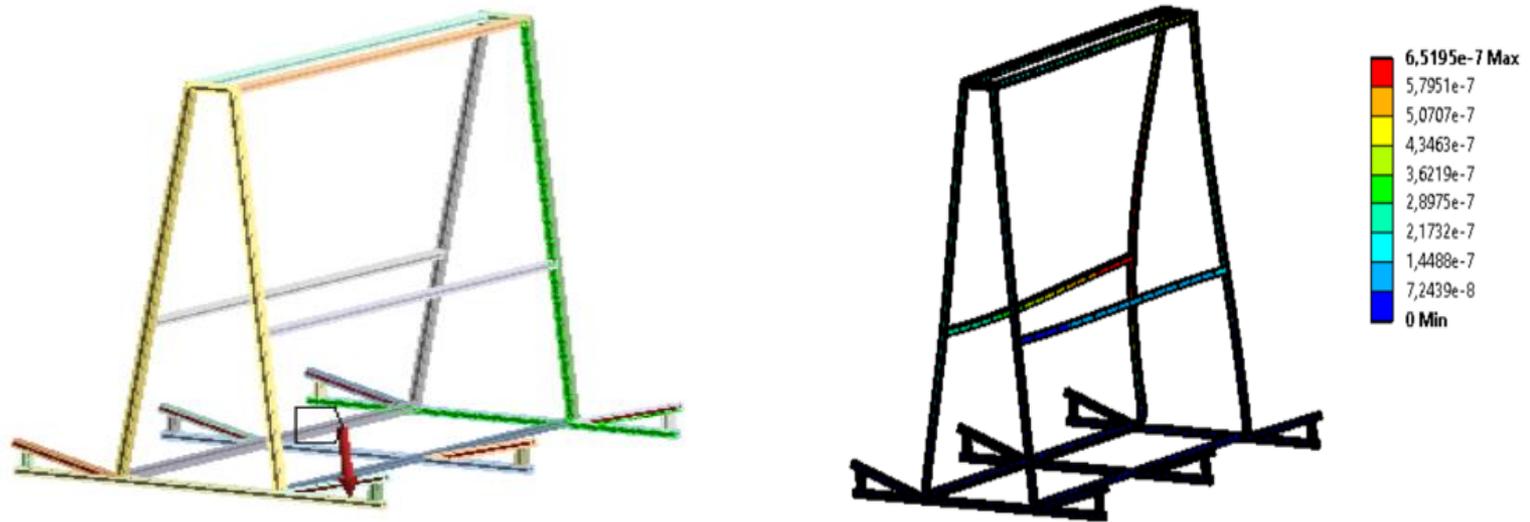
Centros

$$C = \frac{1}{8} \left(L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left(L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right)$$

Análisis Estático de Fallas

Materia acero ASTM A-36

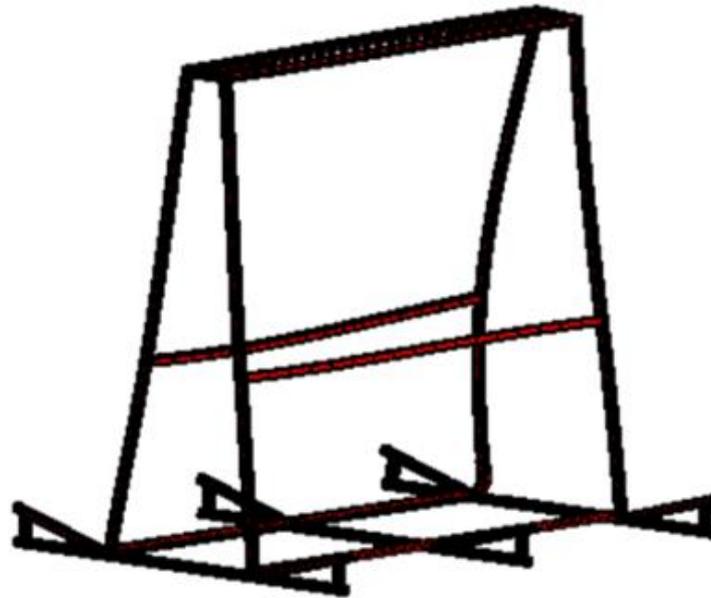
Fuerza total aplicada 6 puntos	Fuerza por punto
2450N	408,3N



Deformación máxima es de $6,51e^{-7}$



Factor de seguridad



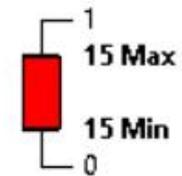
A: Static Structural

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 1

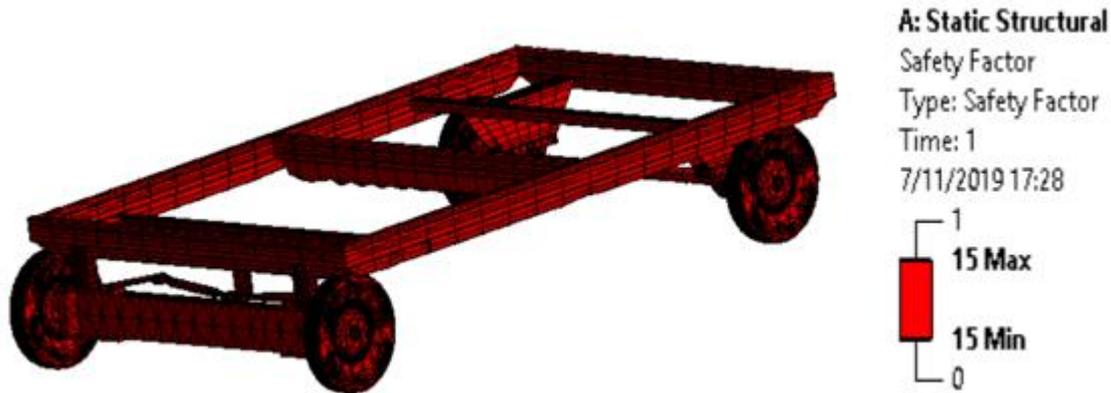
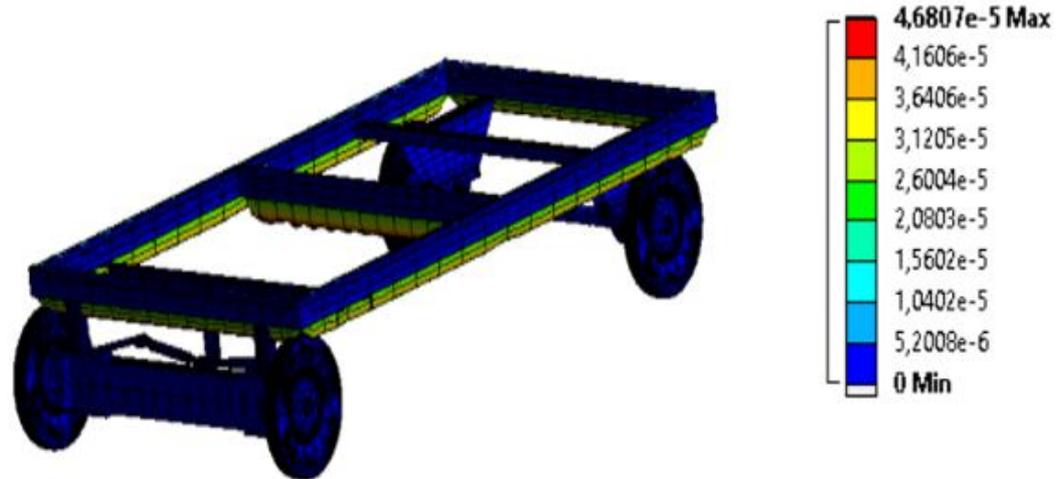
7/11/2019 17:06



Factor de seguridad mínimo o crítico es de $N=15$



Deformación total parte inferior - Factor de seguridad



Selección componentes

Motor nema 34 Hybrido

Par de retención: 13 Nm (1841 oz.in)

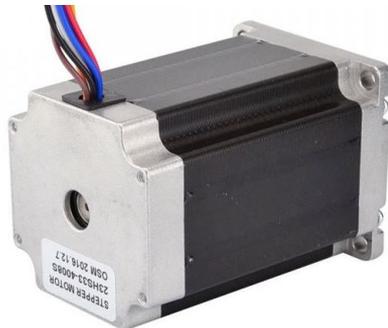
Corriente: 6 A

Diámetro del eje: 14 mm

Par de torsión: 12 Nm

Valor de sobretensión: 130 V

Dimensiones totales: 150 x 97 x 30 (mm)



Motor nema 23 Bipolar

Par de retención: 3 Nm (1841 oz.in)

Corriente: 4 A

Diámetro del eje: 6,35 mm

Par de torsión: 3 Nm

Valor de sobretensión: 2,6 V

Tamaño: 74 x 56 x 56mm)



Selección componentes

Arduino 1

Microcontrolador: ATmega328

Voltaje: 5V

Digital I/O Pines: 14 (de los cuales 6 son salida PWM)

Entradas Analógicas: 6

DC Current per I/O Pin: 40 mA

DC Current parar 3.3V Pin: 50 mA

Flash Memory: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados para el arranque

SRAM: 2 KB (ATmega328)

EEPROM: 1 KB (ATmega328)



Raspberry Pi 3 b+

- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits

- 1 GB de RAM

- BCM43438 wireless LAN y Bluetooth Low Energy (BLE)

- GPIO extendido de 40 pines

- 4 puertos USB 2

- Salida estéreo de 4 polos y puerto de vídeo compuesto

- HDMI de tamaño completo

- Puerto de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi

- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi

- Puerto Micro SD para cargar su sistema operativo y almacenar datos

- Fuente de alimentación Micro USB conmutada mejorada hasta 2.5 A



Selección de componentes

Sensor Ultrasónico

Compatible con Arduino Bluetooth
Microcontrolador: ATmega328P
Voltaje de funcionamiento: 5V
Voltaje mínimo de entrada límite: 3.3 V
Fuente de alimentación: + 5V DC
Corriente en reposo: < 2 mA
Trabajo actual: 15Ma
Ángulo Eficaz: < 15 °
Distancia: 2 cm – 2 m
Resolución: 0,3 cm
Disparo por ancho de pulso de entrada: 10uS
Dimensiones: 45mm x 20mm x 15mm

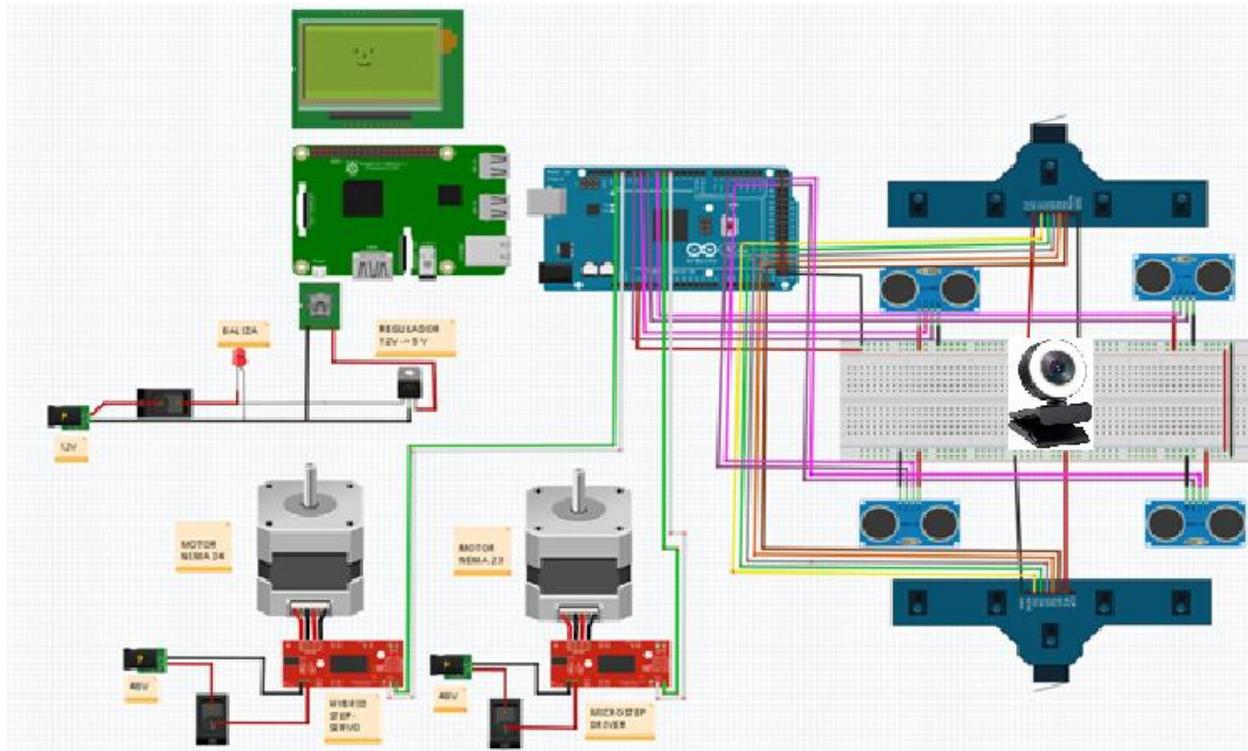


Sensor 5 canales infrarrojo fotoeléctrico

Tipo: Módulo de sensor óptico
Peso neto: aprox. 12 g
Tamaño: aprox. 127 X 56 X 11 mm / 5 X 2.2 X 0.43 in
Voltaje de entrada: 3-5.5V
Distancia de detección: 0-3cm (sensor de línea negra)
Distancia de barrera de pared: 0-6 cm (distancia de detección ajustable)
Salida: Señal de nivel (alta y baja)



Diseño Sistema electrónico y de control



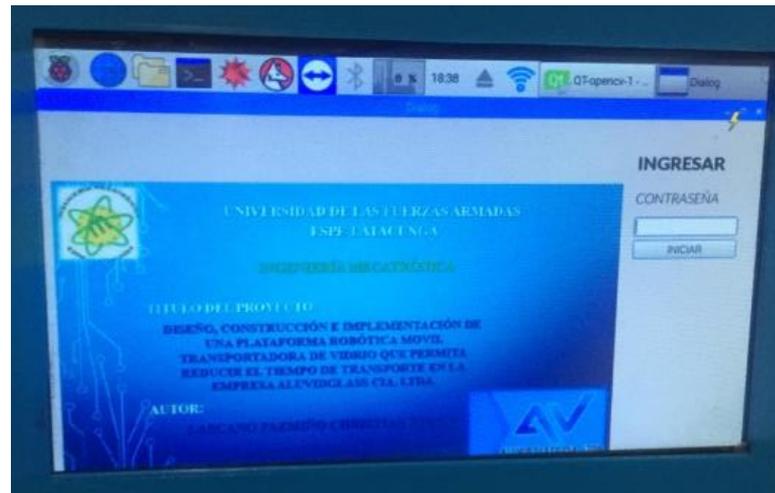
Diseño fuente de energía

Elemento	Voltaje V	Corriente mA	Potencia w
Baliza	12 V	800 mA	9.6 W
Led indicador	12 V	300 mA	3.6 W
Arduino uno	7 – 12 V	200 mA	2.4 W
Regletas de sensores infrarrojos	5 V	300 mA	1.5 W
Sensor ultrasónico hc-sr04	5 V	45 mA	0.45 W
Raspberry	5V	2500 mA	12.5 W
TOTAL	12 V		30.05 W

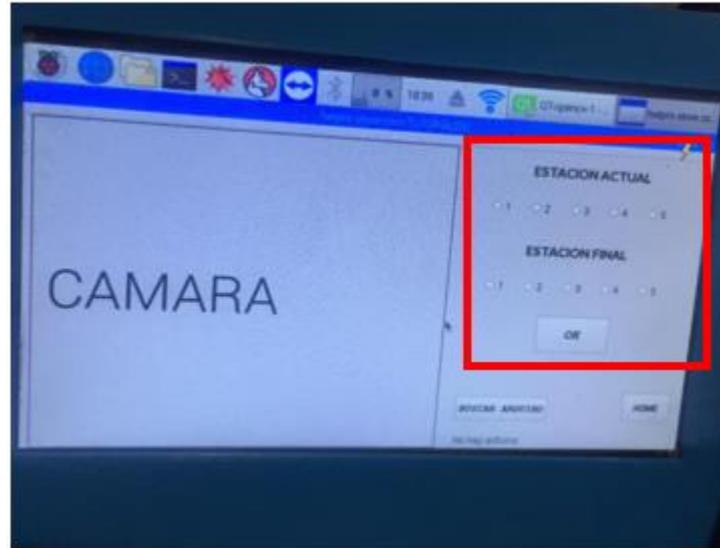


Diseño interfaz de usuario

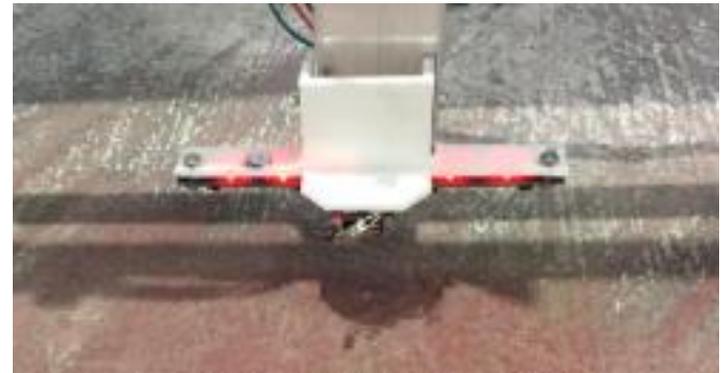
Interfaz	Características
Pantalla Principal	Información general del proyecto
	Acceso de contraseña
	Botón de ingreso al modo automático
	La contraseña de ingreso es TEST



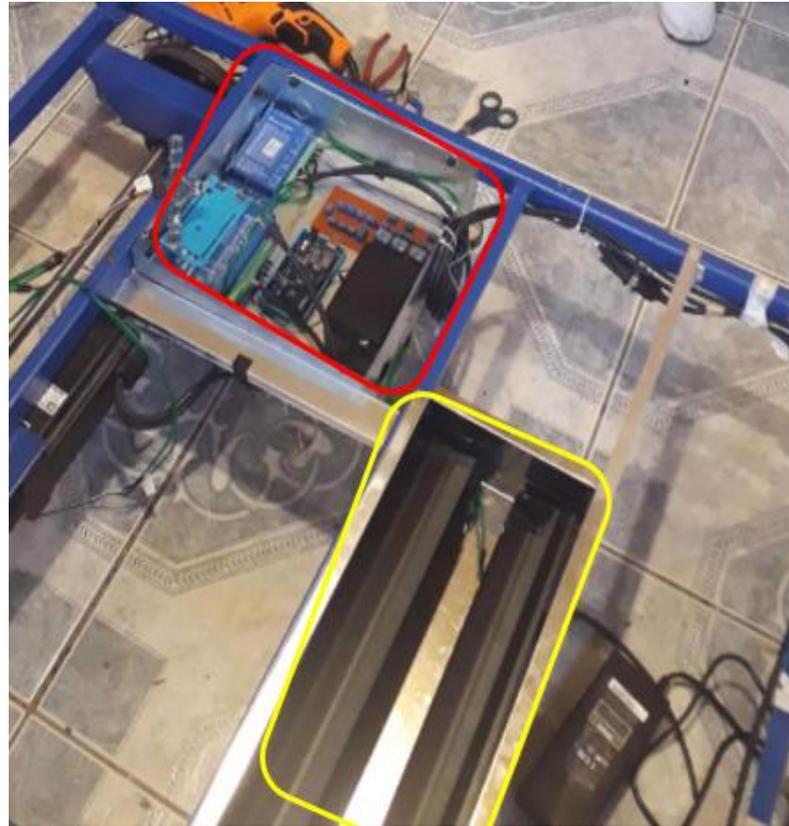
Circuito Eléctrico



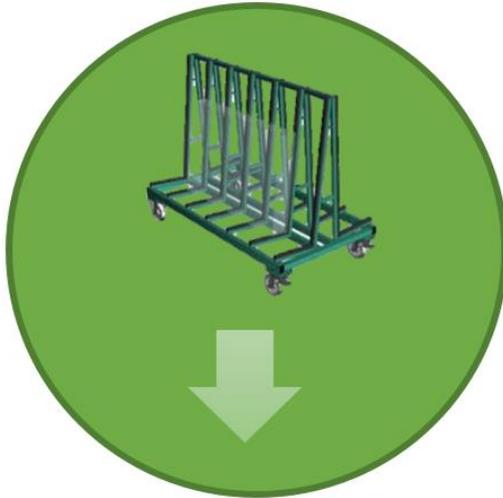
Construcción e Implementación



Construcción e Implementación



Construcción e Implementación



Construcción e Implementación



Características	Especificaciones
Dirección	Sistema Ackerman
Tracción	Parte trasera
Tipo de ruedas	Convencional
Diámetro de la barra de dirección	16mm
Material de la estructura	Acero ASTM A-36
Transmisión de potencia	Cadena
Velocidad	1.38 m/s

Voltaje	12 V
Peso máximo	325 kg
Carga a soportar	250 kg
Duración de baterías	5 h
Cargador de baterías	110 V
Detección de estación	Símbolo
Distancia de detección de objetos	5 – 100 cm



HMI: Pantalla Principal



Pruebas de Funcionamiento



Pruebas de Producción

Primera prueba - línea recta

# de prueba	IDA (tiempo)		REGRESO (tiempo)	
	Operario	Plataforma	Operario	Plataforma
Promedio	1:35,32	1:22,29	1:29,25	1:26,32

Segunda prueba – Curva 90 grados

# de Prueba	Desviación (mm)
1	63
2	57
3	59
4	64
5	64
6	51
7	43
8	37
9	28
10	45
11	49
12	51



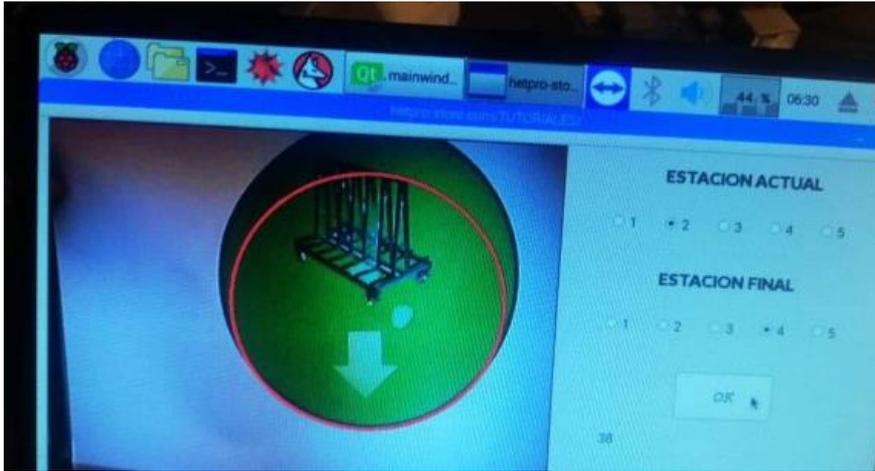
Pruebas del Módulo de Control de Calidad

Segunda prueba – línea recta - desviación

# de Prueba	Desviación (mm)
1	30
2	29
3	28
4	30
5	29
6	31
7	28
8	30
9	32
10	29
11	28
12	28
Promedio	29.33



Pruebas Reconocimiento Estaciones



# de prueba	Correcto		Falla	
	E. Actual	E. Final	E. Actual	E. Final
1	1	3		
2	2	5		
3			4	5
4	5	3		
5	1	4		
6	2	4		
7	4	2		
8	1	5		
9	4	3		
10	5	1		
11	3	5		



Validación de la Hipótesis

¿La implementación de una plataforma robótica móvil logrará reducir el tiempo de transporte en la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA.?



Validación de la Hipótesis

H0: La plataforma robótica móvil logrará reducir el tiempo de transporte en la empresa AUVIDGLASS CIA.LTDA

H1: La plataforma robótica móvil no logrará reducir el tiempo de transporte en la empresa AUVIDGLASS CIA.LTDA

Transporte	E1 - E2	E3 - E4	E5 - E3	E5 - E1	Total
Correcto	8	10	5	7	30
Negativo	2	0	5	3	10
Total	10	10	10	10	40



Validación de la Hipótesis

$$X_{calc}^2 = \sum \frac{(f_{real} - f_{teórica})^2}{f_{teórica}} \quad X_{calc}^2 = 6.94$$

Grados de libertad

$$n = (f - 1)(c - 1) \quad n = 3$$

$$X_{calc}^2 > X_{tabla}^2$$

$$6.94 > 6.25$$

Se cumple que el valor calculado es mayor al obtenido de la tabla, por lo tanto, **H1** es la hipótesis que se acepta, validando que la plataforma robótica móvil si reduce el tiempo de transporte de vidrio en la empresa ALUVIDGLASS CIA.LTDA.



Conclusiones

La velocidad de comunicación serial entre la Raspberry Pi3 y el Arduino Mega es de 115200 baudios, que es la máxima velocidad que se puede utilizar para él envío de datos, con ello se mejoró la respuesta del vehículo al momento de encontrarse en el aérea de trabajo, sin tener errores que pueden ser perjudiciales.

El diseño del entorno gráfico es amigable con los usuarios ya que es fácil de usar, además es eficiente, los usuarios no necesitan tener conocimientos técnicos previos para poder manipular el vehículo.

EL sistema de visión artificial implementado específicamente para la detección del sello en cada una de las estaciones, garantiza un sistema confiable. La cámara utilizada es de alta definición y contiene luces led en su alrededor que ayuda a controlar el entorno de luz.



Conclusiones

El uso del PID mejora el control de la dirección del vehículo, logrando seguir la línea de manera correcta, contiene 9 condiciones por medio de las cuales se consiguió tener un control más estable y por tanto puede responder en condiciones extremas.

Para la detección de la línea negra se utilizó sensores BFD-1000 debido a su versatilidad, este sensor posee un reóstato que permite tener un acondicionamiento dependiendo la luz que se encuentre en ese momento, evitando tener falsos positivos y que el vehículo falle al momento de seguir la línea negra.

Por razón de contar con dos motores paso a paso de diferentes N.m, se debe tener un punto en común de rpm, para que el vehículo se mueva de manera correcta sin tener diferencia entre el movimiento de dirección y el movimiento de avance. Si no se logra una sincronización entre los dos motores el vehículo procederá a moverse de manera equivocada.



Conclusiones

El uso del PID mejora el control de la dirección del vehículo, logrando seguir la línea de manera correcta, contiene 9 condiciones por medio de las cuales se consiguió tener un control más estable y por tanto puede responder en condiciones extremas.

Para la detección de la línea negra se utilizó sensores BFD-1000 debido a su versatilidad, este sensor posee un reóstato que permite tener un acondicionamiento dependiendo la luz que se encuentre en ese momento, evitando tener falsos positivos y que el vehículo falle al momento de seguir la línea negra.

Por razón de contar con dos motores paso a paso de diferentes N.m, se debe tener un punto en común de rpm, para que el vehículo se mueva de manera correcta sin tener diferencia entre el movimiento de dirección y el movimiento de avance. Si no se logra una sincronización entre los dos motores el vehículo procederá a moverse de manera equivocada.



Conclusiones

Al utilizar las interrupciones incorporadas en la tarjeta Arduino Mega se reduce el consumo del procesador y de energía, en caso de no usar estas interrupciones se corre el riesgo de esperar que el programa llegue a la línea de código donde se coloca la lectura del paro de emergencia y puede ser inaceptable si se va a sufrir una colisión.

Los sensores HC04 permiten detectar la presencia de objetos dentro del camino del vehículo hasta una distancia máxima de 100 cm y una mínima de 5 cm, estos sensores tienen un ángulo de apertura que ayuda a mejorar la detección de los objetos ya que barca más área de detección.

El vehículo está diseñado mediante perfiles de acero ASTM A-36, los cuales soportan cargas elevadas, esto es importante ya que se transporta un peso de 250 Kg. Se realizó un análisis estático de la estructura, dando un factor de diseño de 1, este resultado nos garantiza que la estructura no sufra daños ni deformaciones.



Conclusiones

Para la fabricación de la carcasa del HMI, se utilizó una impresora 3D lo cual facilita tener un diseño propio y adecuado para el uso en el vehículo, la impresora se configuro con parámetros que brindan mayor resistencia a entornos industriales.

Realizando una comparación con plataformas automatizadas que se encuentran de venta en el mercado se observa que es más conveniente adquirir la construida en este proyecto, pues el costo es muy alto además de se necesita implementar en un espacio bastante amplio.



Recomendaciones

- Teniendo en cuenta que el tipo de locomoción para la dirección es Ackerman es recomendable trabajar sobre un piso que en lo posible sea de rozamiento regular esto es para que se evite el deslizamiento de las llantas, previniendo así el deslizamiento de la plataforma al momento de detectar la estación a la cual se dirige.
- No existe compatibilidad entre Arduino Uno con la Tarjeta Raspberry Pi3, no se pudo lograr la comunicación por lo que necesariamente se reemplazó por un Arduino Mega Original.
- Se recomienda usar motores iguales tanto para la parte delantera como la posterior, esto porque debe existir sincronización del movimiento al momento de dirigirse en curvas.
- Se deberá acondicionar la iluminación del entorno donde se prenderá la plataforma, ya que el funcionamiento de la cámara es imprescindible para el reconocimiento correcto de las estaciones.



¡Gracias!



ESPE

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA