

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN MECATRÓNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TEATRO ROBÓTICO
HETEROGÉNEO CON CONEXIÓN A UN SERVIDOR EN LA NUBE COMO
HERRAMIENTA DE TERAPIA”**

AUTORES: CUENCA TORRES MISHHELL KATHERINE

SANDOVAL VALLEJO STEVEN PAUL

DIRECTOR: ING. TOBAR QUEVEDO JOHANNA BELÉN PhD

07-03-2023





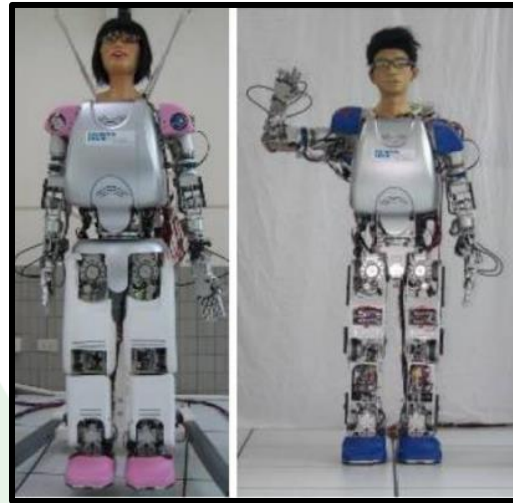
Contenido

- Introducción
- Metodología
- Diseño y Construcción
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



Antecedentes

Robots humanoides:
Jane (izquierda) y
Thomas (Derecha)



Introducción

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Robots de dos ruedas:
Pica (izquierda) y Ringo
(Derecha)





Justificación e Importancia

Introducción

Metodología

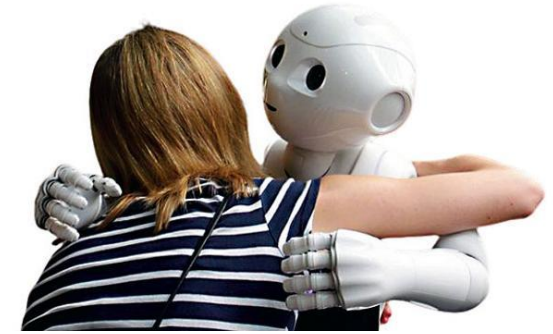
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Fomentar nuevas tecnologías en la terapia de personas con discapacidad en el país, diseñado para generar por medio de estímulos un aprendizaje continuo, necesario para mejorar sus habilidades y capacidades.



Varias investigaciones han demostrado que los pacientes con discapacidad tienen una mayor predisposición hacia las nuevas tecnologías, lo que les permite concentrar su atención.



Alcance

Introducción

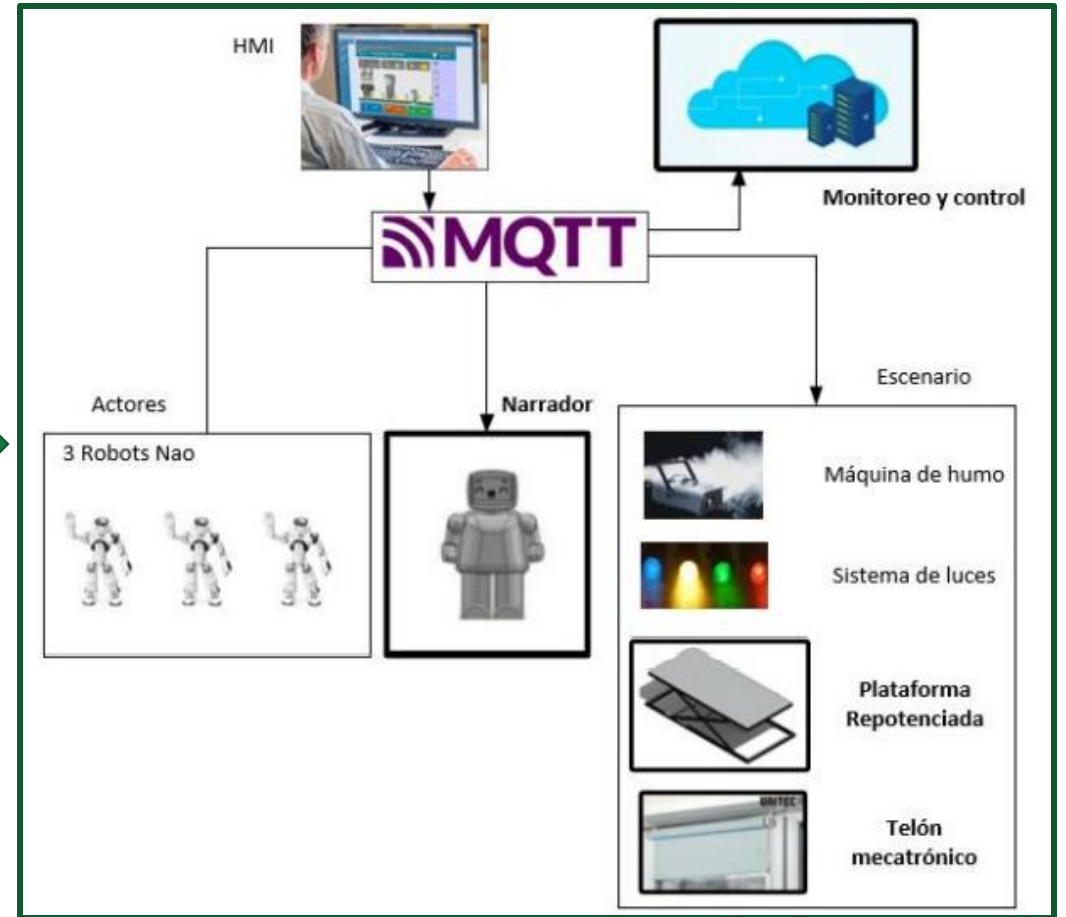
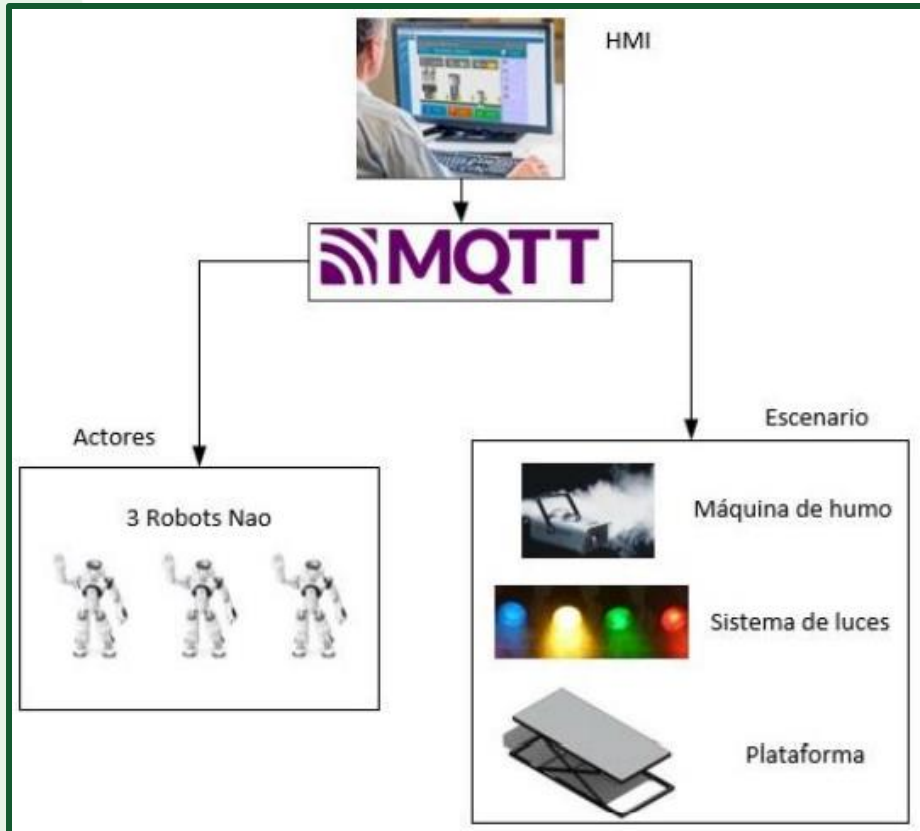
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones





[Introducción](#)

[Metodología](#)

[Diseño y construcción](#)

[Pruebas y Resultados](#)

[Conclusiones](#)

[Recomendaciones](#)

Objetivos

GENERAL

- Diseñar e implementar un teatro robótico heterogéneo con conexión a un servidor en la nube como herramienta de terapia.

ESPECÍFICOS

- Diseñar el proyecto del teatro robótico heterogéneo integrando al robot KERO como narrador.
- Desarrollar la interfaz para su monitoreo en la nube con la ayuda del protocolo MQTT.
- Diseñar la etapa de control del proyecto e integrarla dentro de la interfaz HMI actual.
- Implementar el proyecto.
- Validar los resultados.



Introducción

Metodología

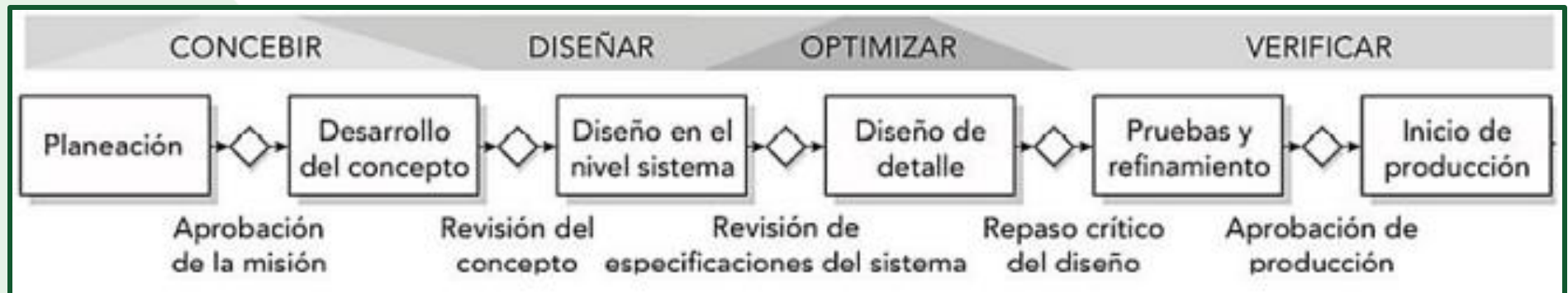
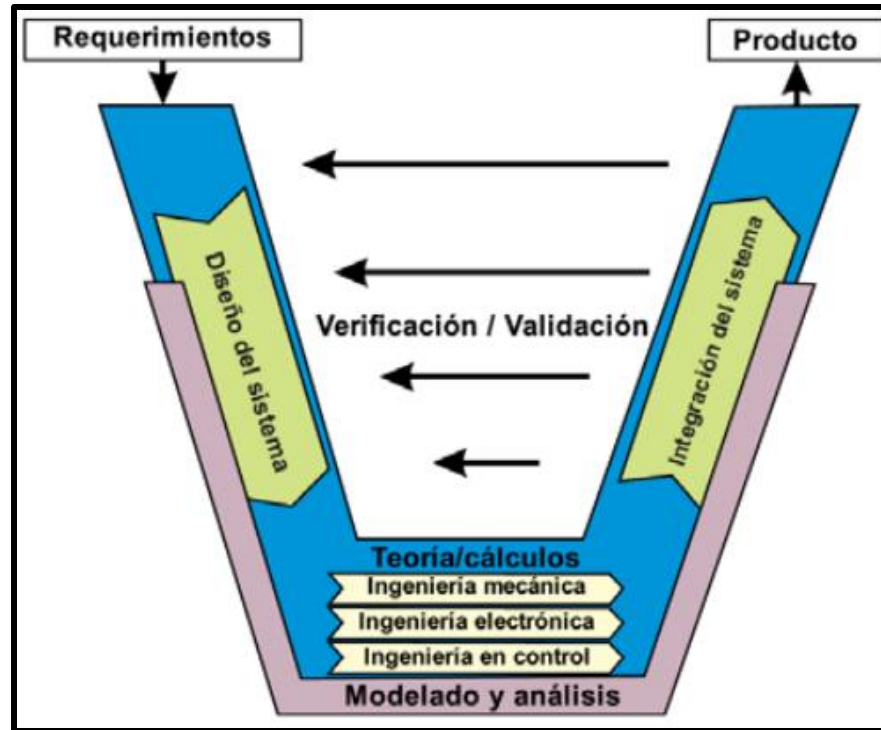
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Metodología





Diseño mecánico del Telón

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



(a)



(b)



(c)

Tipo de telón	Espacio reducido	Liviano	Fluidez	Apariencia	Total
(a)	0.75	1	0.5	0.75	3
(b)	0.5	1	0.75	1	3.25
(c)	1	1	1	1	4



Diseño mecánico del Telón

Introducción

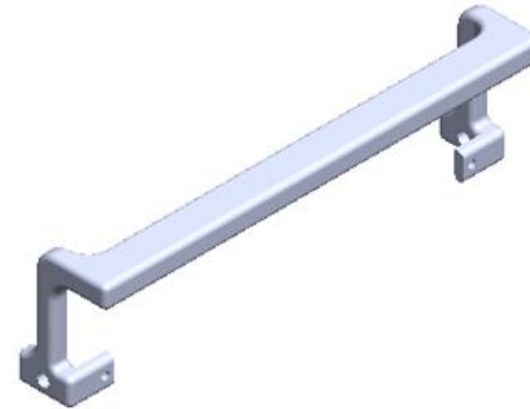
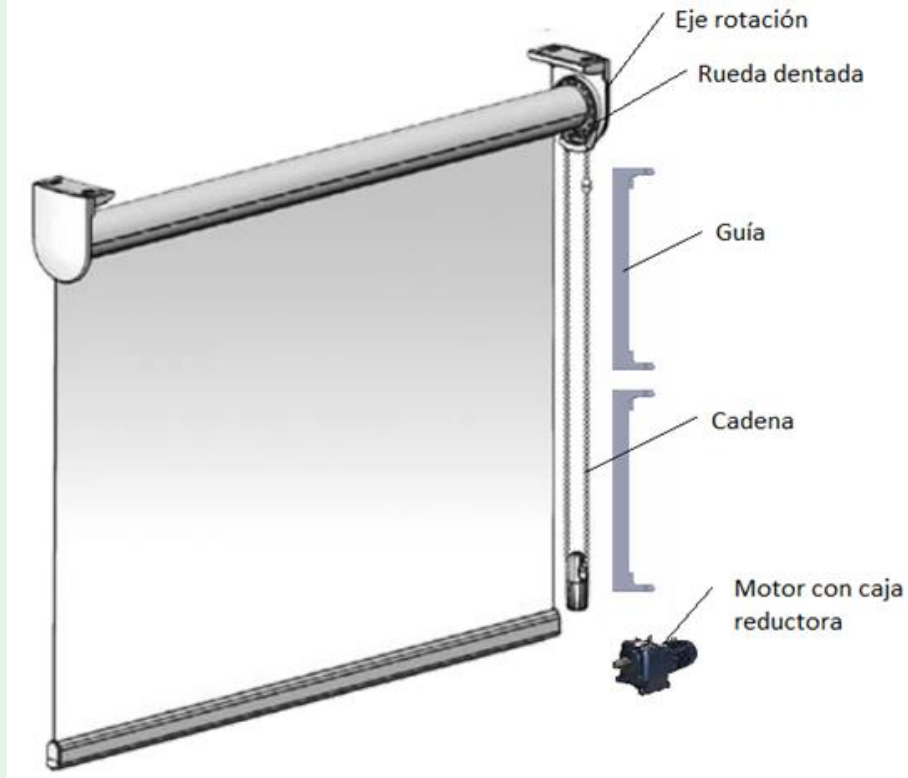
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



- Material: POM, Aluminio y PLA
- Dimensiones: 1.90 x 1.10 [m]
- Movimiento: Transmisión por Cadena
- Cadena: Cordón Nylon y POM



Diseño mecánico del Telón

Introducción

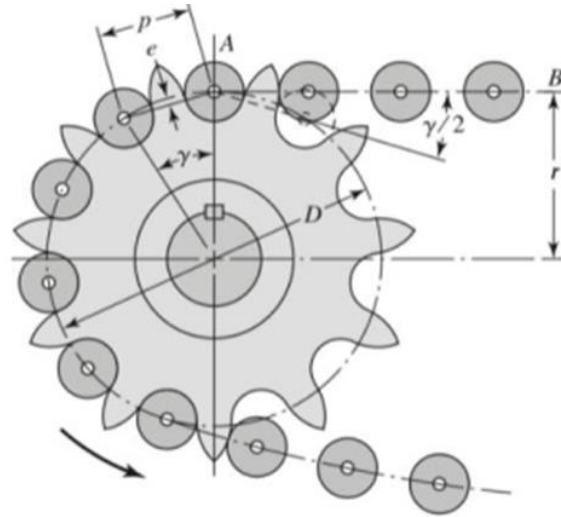
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Descripción	Valor	Unidad
Diámetro de paso (D)	44	mm
Paso de la cadena (P)	7	mm
Ángulo de paso	20	grados
Diámetro de la esfera (d)	4.5	mm
Espacio entre cuentas (e)	2.5	mm



Diseño electrónico del Telón

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Elemento	Especificaciones	Cant.	Gráfico
Motor HC785LP-012	Diámetro del eje: 5mm	1	
	Rango de voltaje de funcionamiento: 10 a 18V		
	Corriente de vacío: 2.85A		
	Velocidad de vacío: 20950RPM		
Node MCU ESP32	Temperaturas de trabajo: -10 a 60 °C	1	
	Procesador principal: Tensilica Xtensa LX6 de 32 bits.		
	Frecuencia de Clock: Programable, hasta 240MHz.		
	SAR ADC de 12 bits hasta 18 canales		
	34 x GPIO programables		
Monster moto Vnh2sp30	Tensión de alimentación: 3.8 a 5V	1	
	Voltaje máximo de salida 16VDC		
	Corriente máxima: 30 ^a		
	Frecuencia de PWM: Programable, hasta 20kHz.		
	Tensión de alimentación: 5v		



$$P = V \times I = 12V \times 20A = 240 \text{ Watts}$$

$$T_{motor} = \frac{240 \text{ Watts}}{160 \text{ rpm}} = 1.5 \text{ N} \times m$$





Diseño electrónico del Telón

Introducción

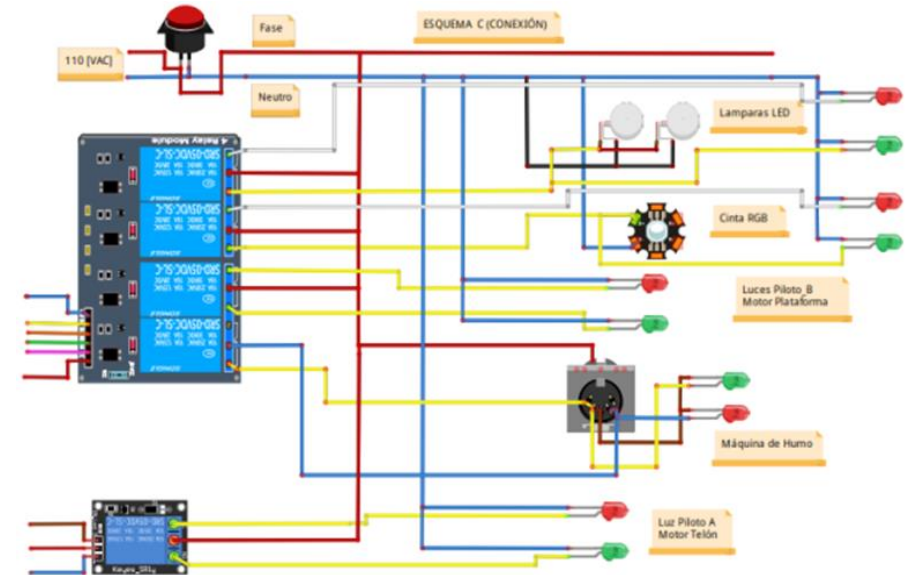
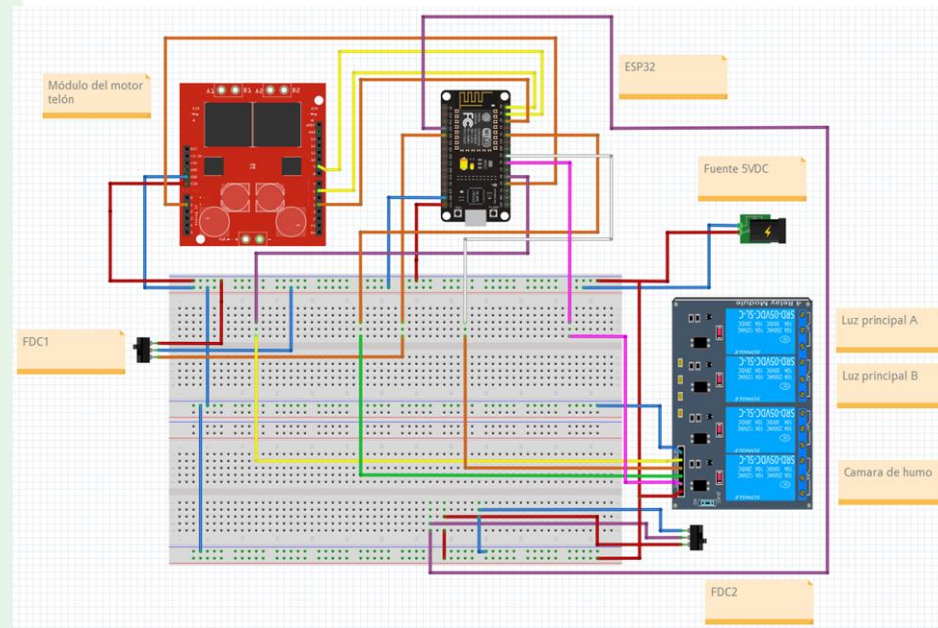
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

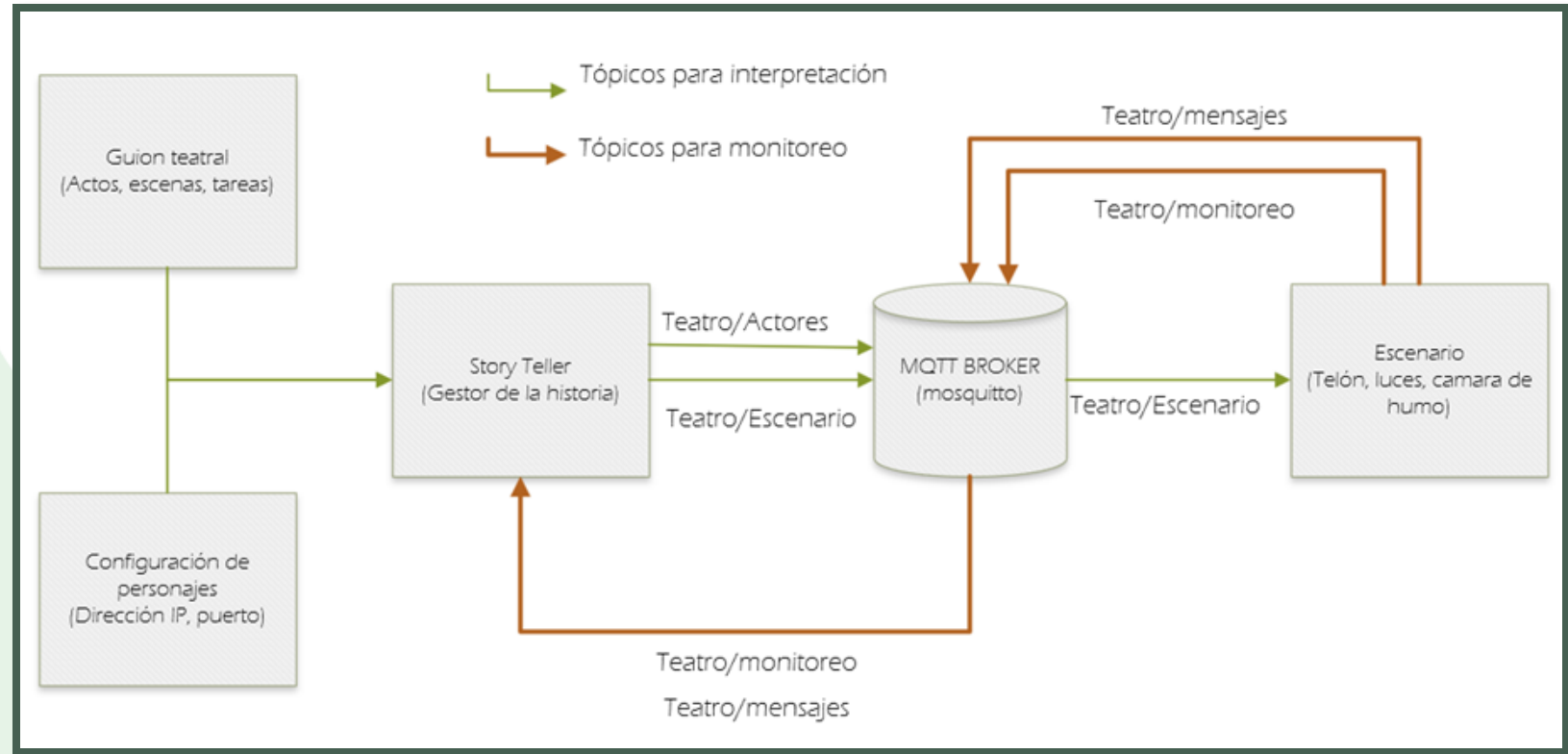
Recomendaciones





Sistema de control del Telón

Estructura MQTT del Telón



Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Construcción del Telón

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



(a)



(b)



(c)



(d)

Nota. (a) Ensamble en el teatro robótico, (b) Guías, (c) Impresión 3d, (d) Acople y rueda dentada.



Repotenciación de la Plataforma

Introducción

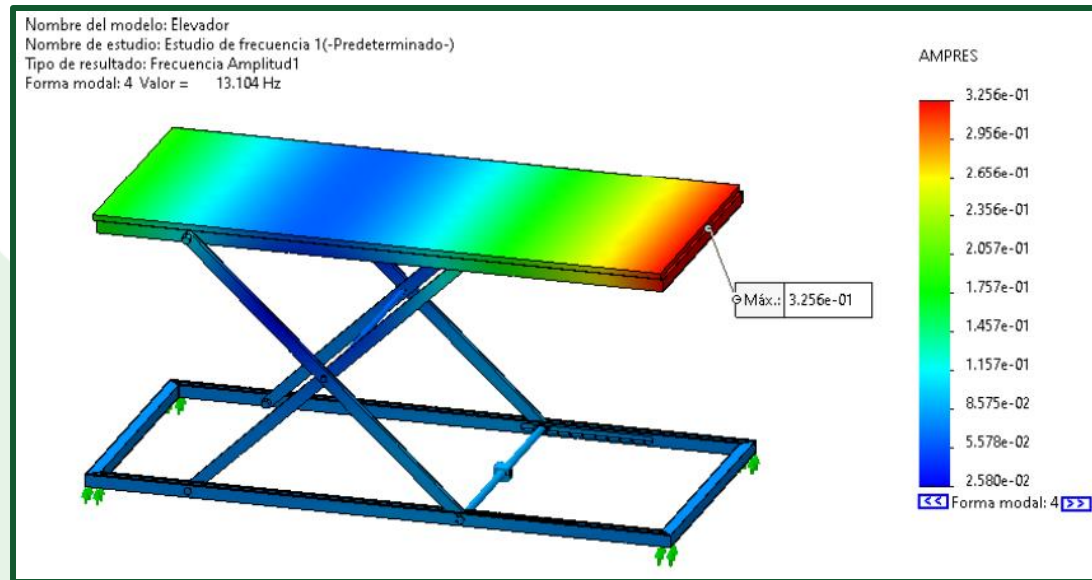
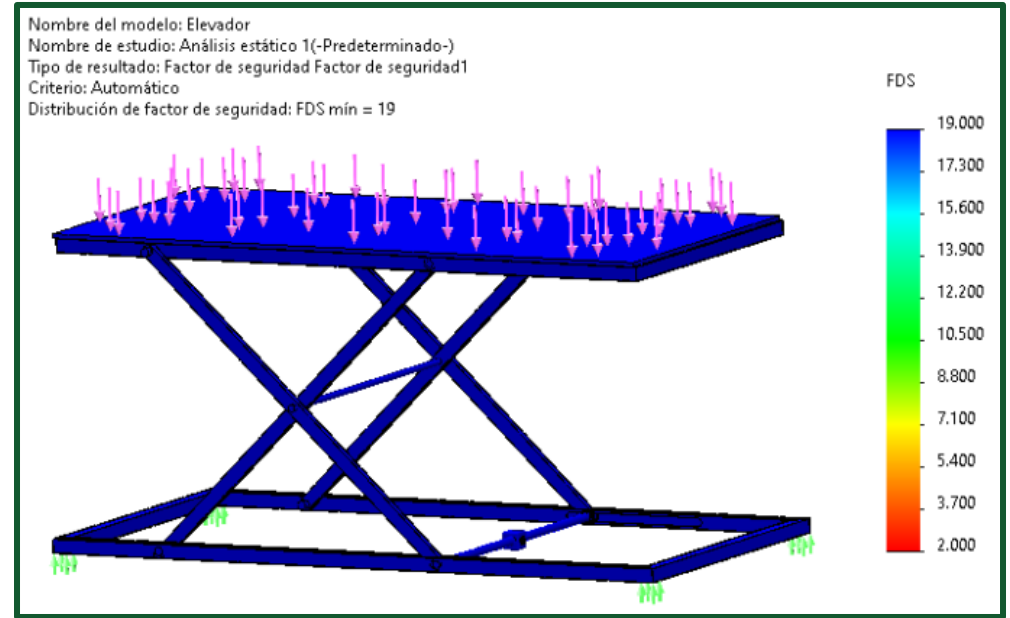
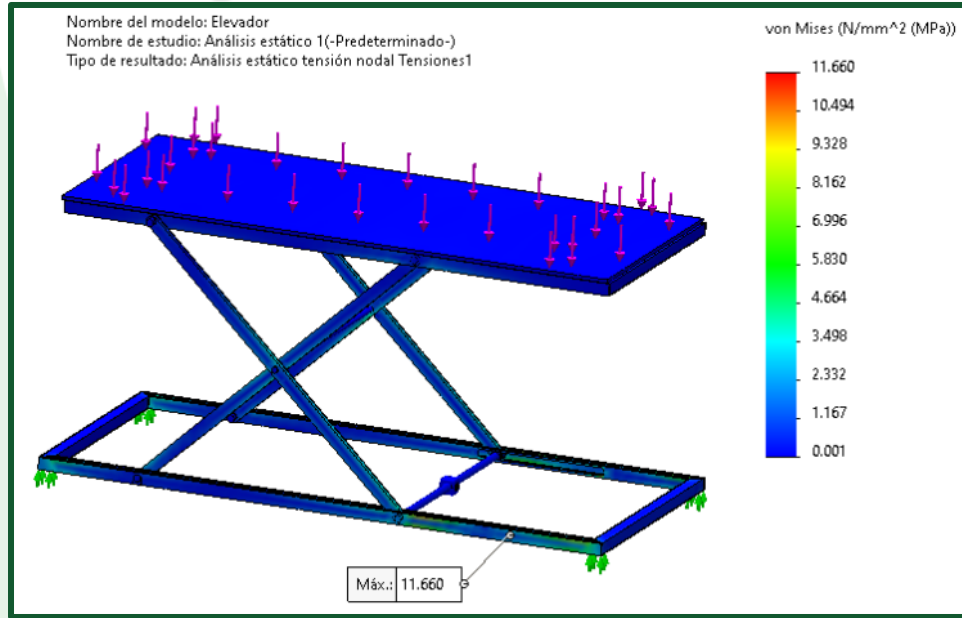
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones





Repotenciación de la Plataforma

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Selección del material para la mesa de la plataforma:

Material	Maquinabilidad	Peso	Precio	Corrosión
Acero Galvanizado	5	4	3	5
Acero de transmisión	5	4	5	4
Acero ASTM A36	5	4	4	4

Selección del material para la mesa de la plataforma:

Material	Peso	Precio
MDF	5	5
Madera de Roble	2	2
Madera de Pino	3	3

Selección del material para los ejes de rodamientos

Material	Maquinabilidad	Peso	Precio	Corrosión
Acero Galvanizado	5	4	3	5
Acero de transmisión	5	4	5	4
Bronce	4	4	2	5

Selección del material para los ejes de las uniones de la máquina

Material	Maquinabilidad	Peso	Precio	Corrosión
Acero Galvanizado	5	4	3	5
Acero de transmisión	5	4	5	4
Acero ASTM A36	5	4	5	4



Repotenciación de la Plataforma

Introducción

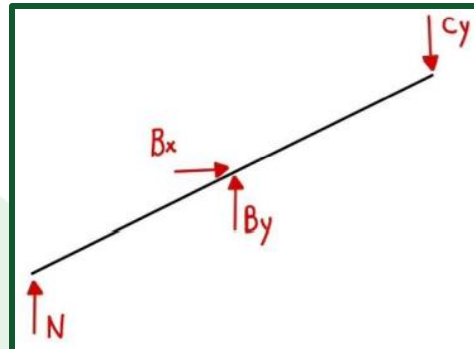
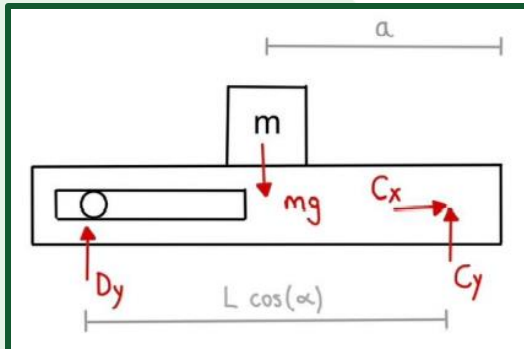
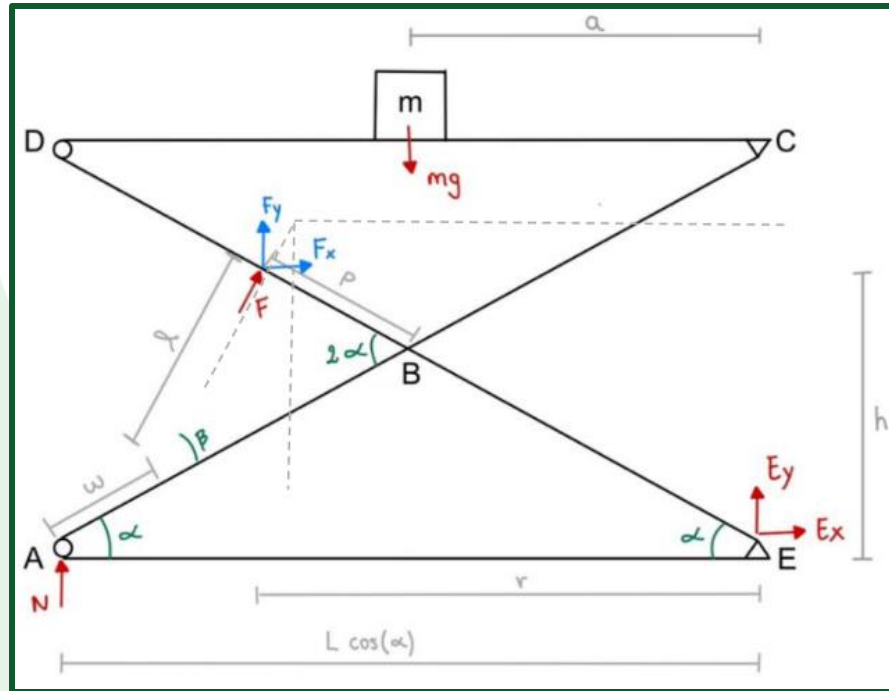
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Elementos	Masa
Robots Nao	4.8Kg x 3=14. 4Kg
Robot Kero	4Kg
Estructura de la plataforma	12Kg
Mesa de la plataforma	7Kg

$$F = \frac{mga - NL \cos(\alpha)}{r \sin(\beta) + h \cos(\beta)}$$

$$N = -mg \left(1 - \frac{a}{L \cos(\alpha)} \right)$$

$$F = \frac{mgL \cos(\alpha)}{r \sin(\beta) + h \cos(\beta)}$$



Repotenciación de la Plataforma

Comparación de los cambios realizados en la estructura mecánica de la plataforma

Parámetros	Plataforma anterior	Plataforma repotenciada
Carga máxima	50kg	50kg
Sujeción	Seguro de las ruedas	Niveladores y seguro de las ruedas
Vigas transversales	No	Si
Mesa	Madera contra placada	Plancha de MDF
Soportes para la mesa	No	Si

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Repotenciación de la Plataforma

Introducción

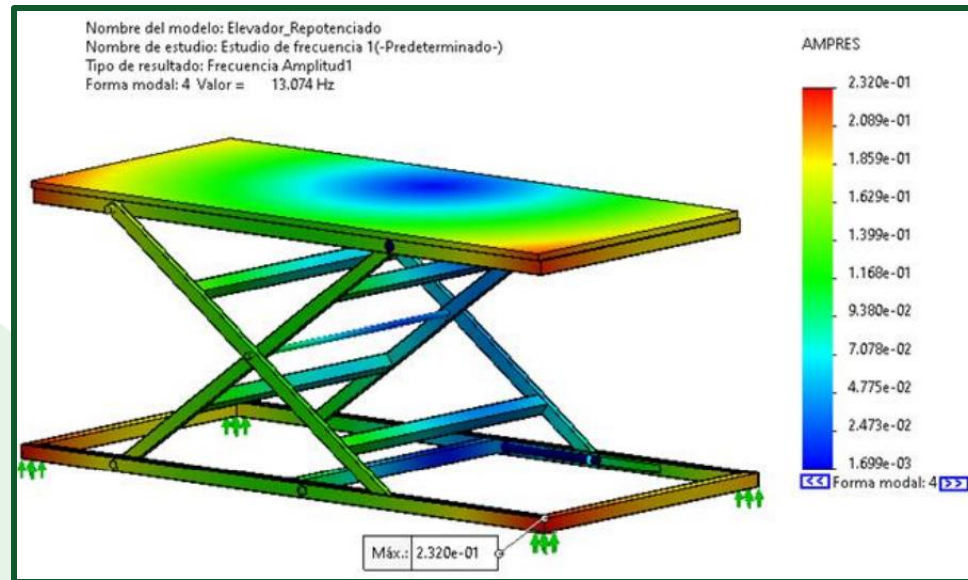
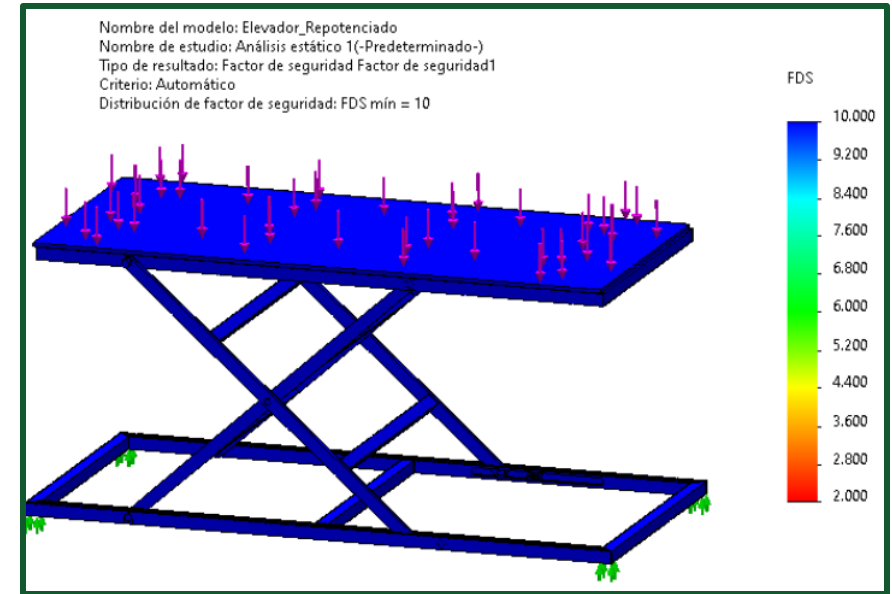
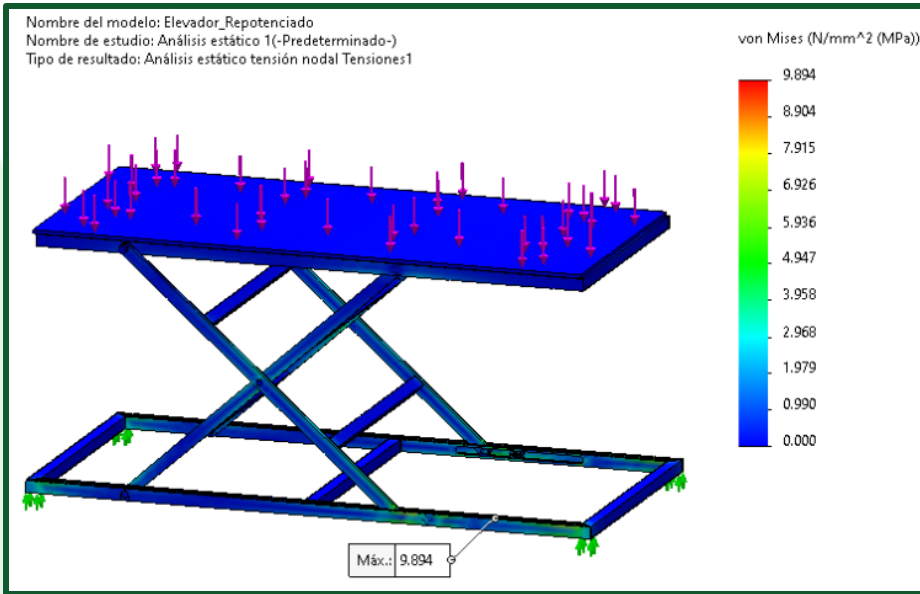
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones





Diseño electrónico de la Plataforma

Introducción

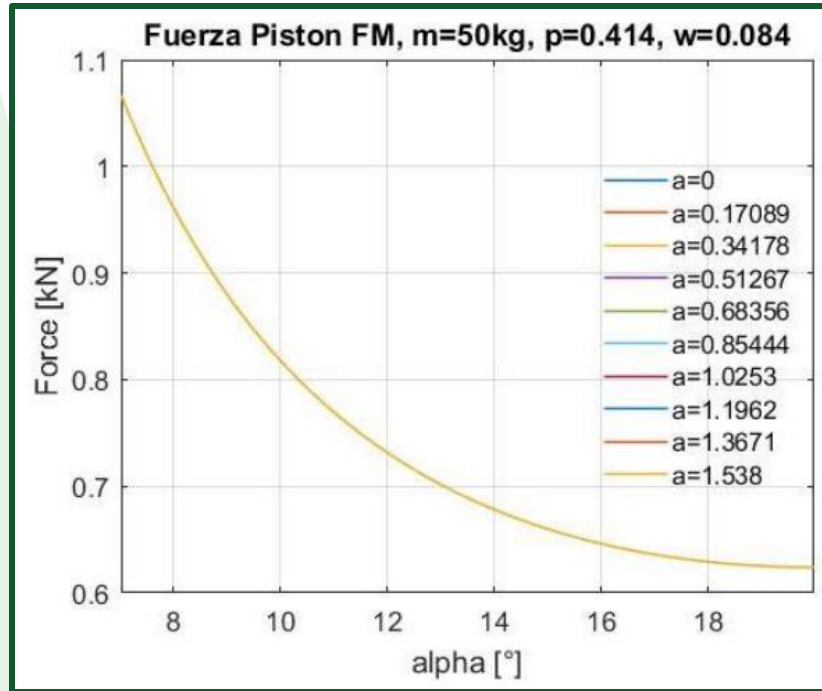
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Características del Pistón ECO-WORTHY

Alimentación de 12V

Accionamiento lineal de alta resistencia

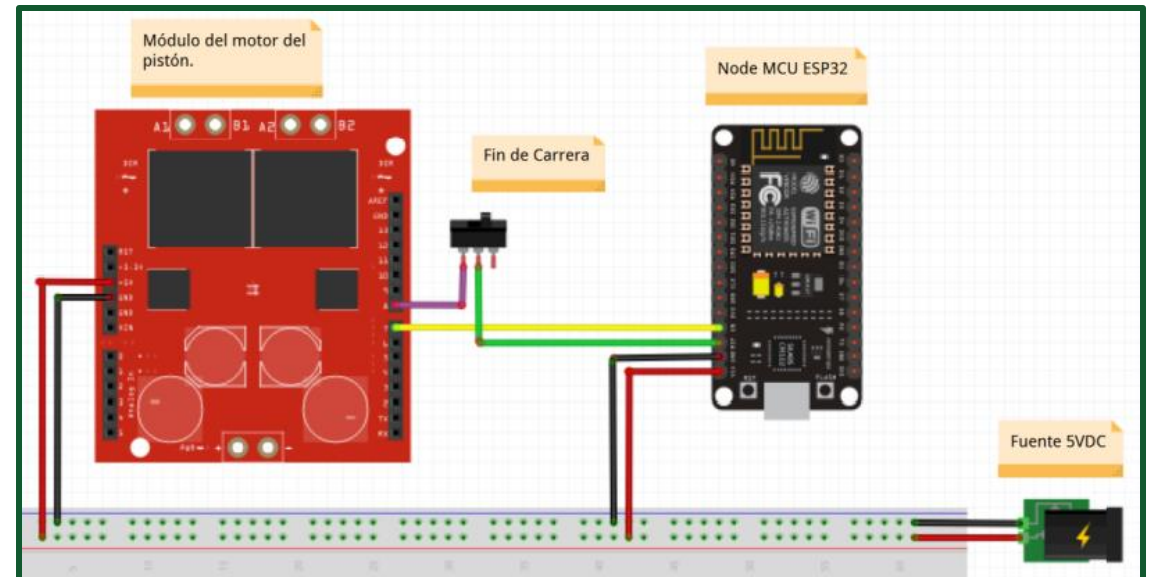
Capacidad de carga: 300lb

Tamaño: 10" (250mm)

Material: Aluminio



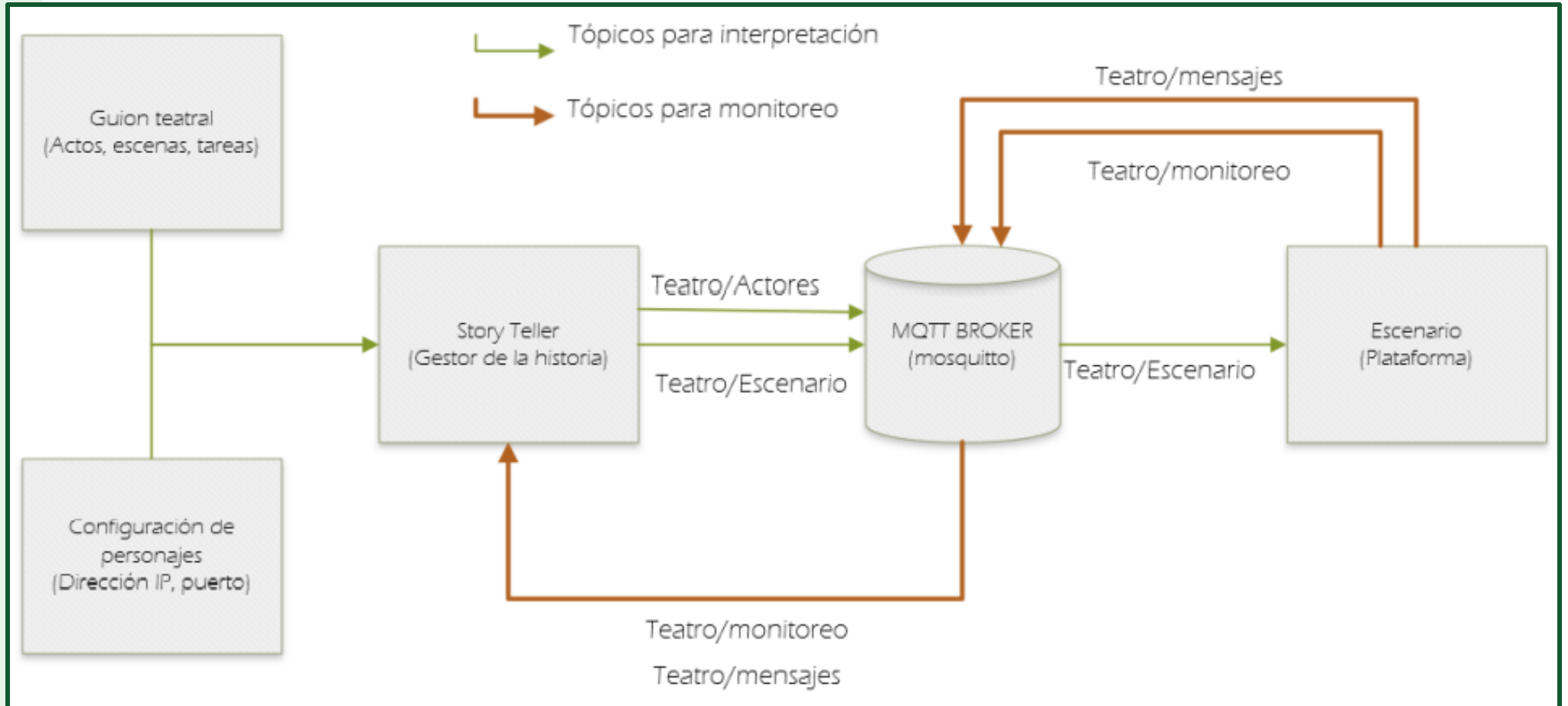
Nombre	Variable	Valor
Masa	m	50Kg
Longitud de la barra	L	1.71m
Longitud inferior de separación	p	0.414m
Longitud superior de separación	w	0.084m
Gravedad	g	9.81m/s





Control de la Plataforma

Estructura MQTT de la plataforma



Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Control de la Plataforma

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Control automático de la plataforma

Gestión de Actos

Complete la siguiente información y seleccione "Guardar Acto"

Seleccione el personaje:
Escenario

Seleccione una acción:
Plataforma

Seleccione una acción:
---Seleccione una acción---
Elevar
Bajar
Diálogo

Establezca el tiempo de duración de la z
[s]

Guardar Acto Cancelar

Control manual de la plataforma

Teatro Robótico

Inicio Historia Actuación Configuración Salir

Inicio Crear/Editar Cargar/Actualizar Escenario Ayuda

Configuración manual del Escenario.

Plataforma

Telón

Luces

Máquina de Humo



Especificaciones de la Plataforma

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Parámetro	Descripción
Carga máxima	50kg
Altura máxima	98 cm
Tiempo de subida	31s
Tiempo de bajada	24s
Materiales	Estructura: Acero de transmisión Niveladores: Acero Galvanizado Mesa: Madera
Ruido pistones	50DB



Construcción de los cambios

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Nota. (a) Desmontaje de plataforma. (b) Adquisición de los materiales. (c) Montaje de los perfiles, niveladores, platinas y ejes. (d) Ensamble de los subsistemas. (e) Montaje de los pistones. (f) Ensamble final de la plataforma.



Diseño mecánico de la Base del Robot KERO

Introducción

Metodología

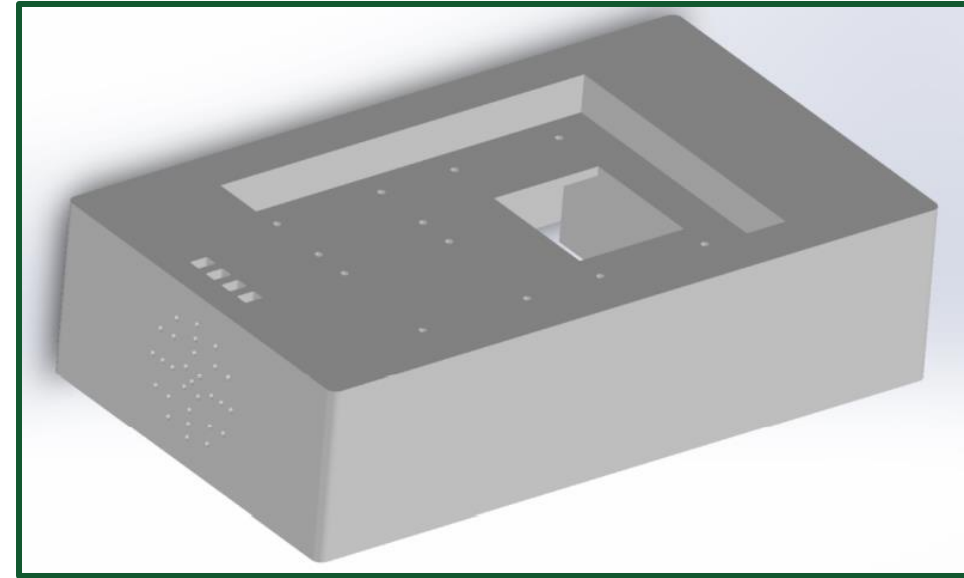
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Para diseñar la nueva base del robot se empleó el modelo la forma que tiene la base del Kit Lúdico, realizando los cambios correspondientes para incluir un parlante, las salidas para cargar las baterías lipo que alimentan al Robot KERO y los dos switches para encender/apagar los motores y la pantalla.



Especificaciones	PLA	Acrílico
Precio	3	5
Peso	5	5
Resistencia a la flexión	3	5
Elongación a la rotura	5	4



Diseño electrónico del Robot KERO

Introducción

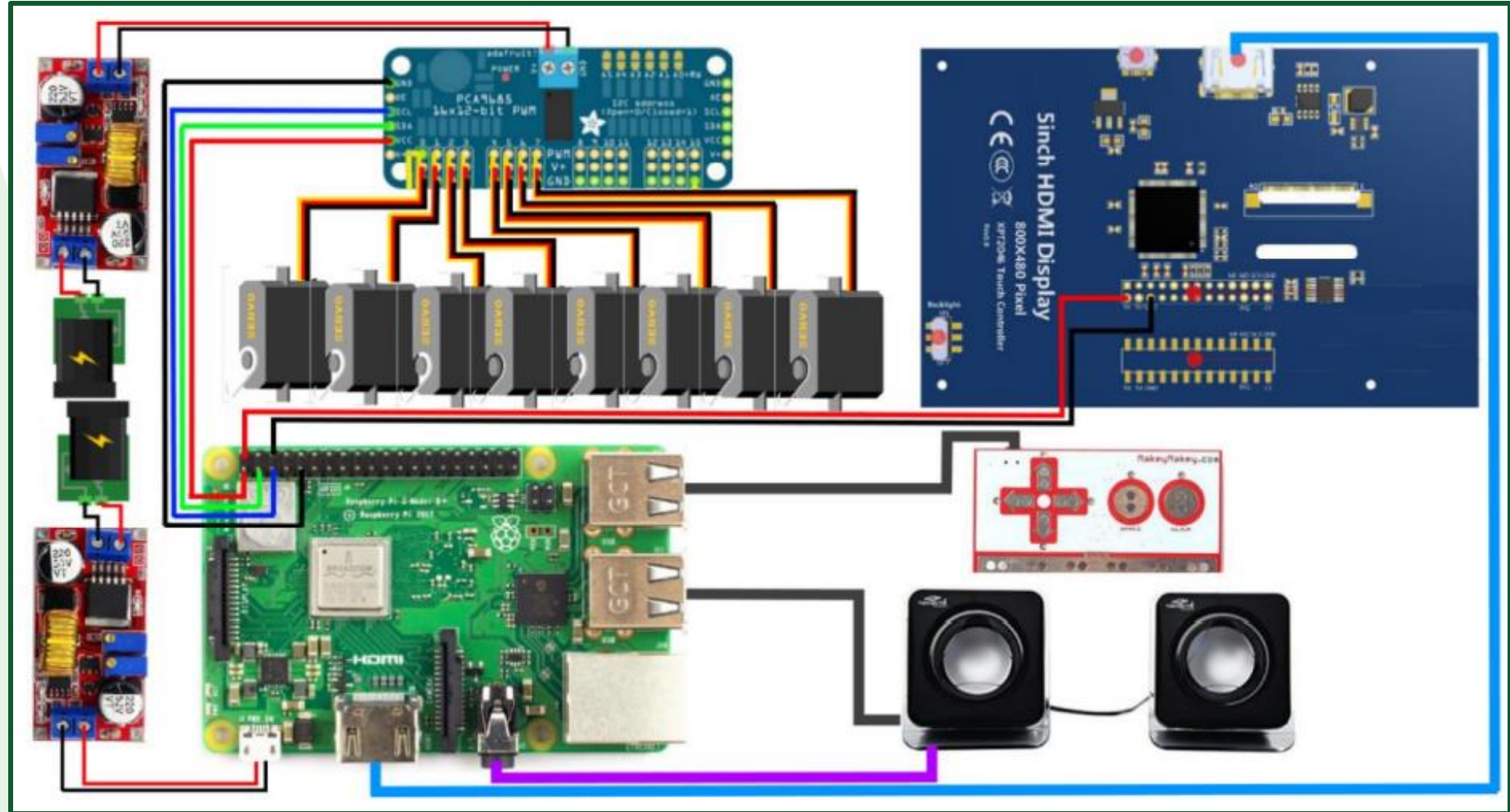
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

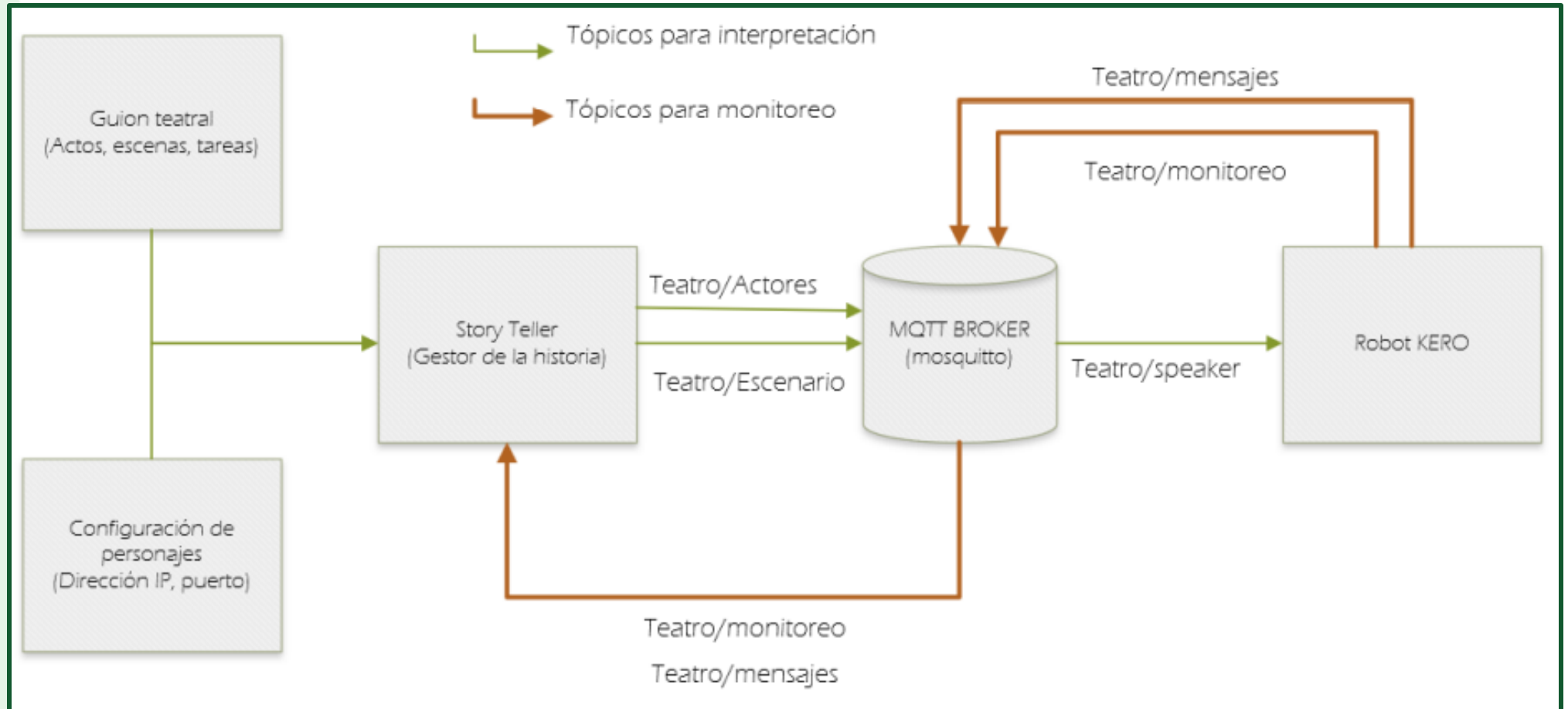
Recomendaciones





Control del Robot KERO

Estructura MQTT del robot KERO



Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones


Recomendaciones


Control del Robot KERO

Control automático


Gestión de Actos


Complete la siguiente información y seleccione "Guardar Ac

 Seleccione el personaje:

 Seleccione una acción:

Cabeza
Brazos
Narrar

 Diálogo

 Establezca el tiempo de duración de la a
 [s]

Guardar Acto Cancelar



ECUADOR

Introducción

Metodología

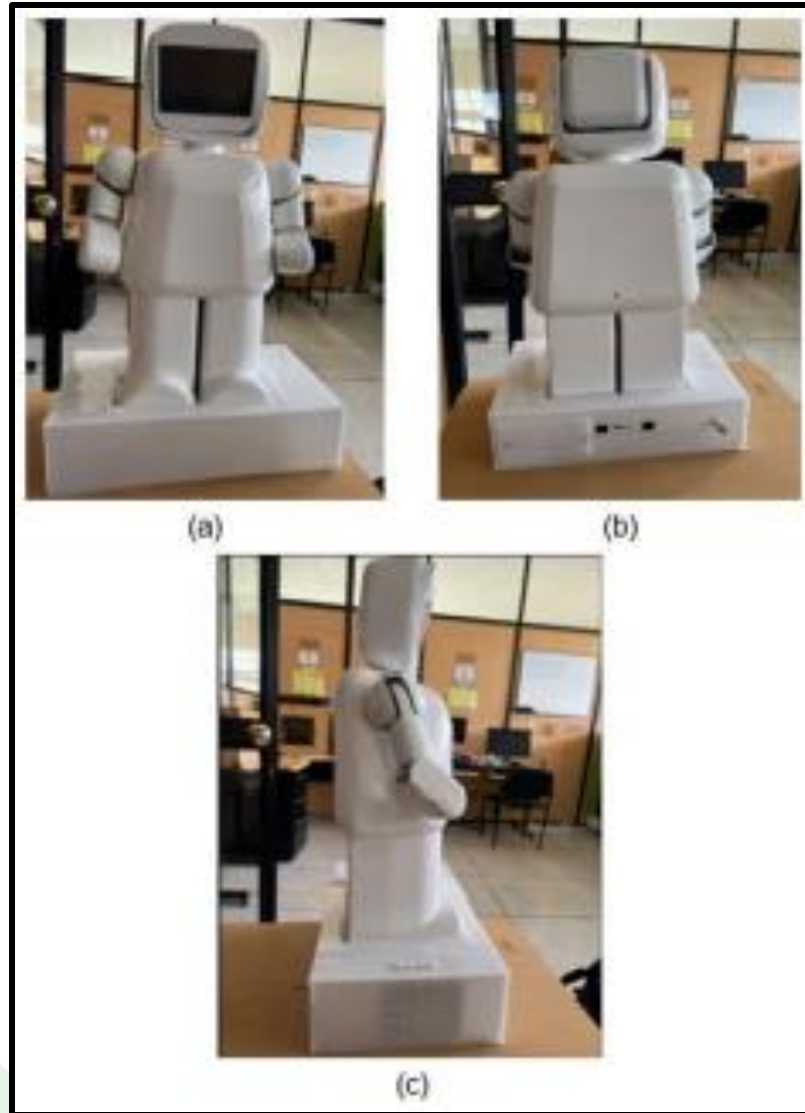
Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Construcción de la base del Robot KERO



Nota. (a) Ensamble vista frontal, (b) Ensamble vista posterior, (c) Ensamble vista lateral.



Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Servidor de la nube

teatrorobotico.social/controls.html

Teatro Robótico - Control
teatrorobotico.social

Teatro Robótico

Monitoreo

Plataforma

Subir Bajar Detener

Telón

Abrir Cerrar Detener

Luces

Principales
Encender Apagar

Secundarias
Encender Apagar

Máquina de Humo

Encender Apagar



Servidor de la nube

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

teatrorobotico.social/index.html

Teatro Robótico - Monitoreo
teatrorobotico.social

Teatro Robótico

Control

Personajes e implementos disponibles

- Actor 1 (Nao)
- Actor 2 (Nao)
- Actor 3 (Nao)
- Narrador Computadora
- Narrador Kero
- Escenario y Telón
- Plataforma

Personajes y elementos Preparados para actuar

Acto Actual

Actor actual



Pruebas de Funcionamiento

Pruebas de conexión con el narrador KERO en el tiempo de funcionamiento de las baterías.

Una hora y media es el tiempo de autonomía del robot bajo una carga completa.

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Prueba	Funcionamiento	Observaciones
1	Exitoso	Funciona correctamente.
2	Exitoso	Funciona correctamente.
3	Exitoso	Funciona correctamente.
4	Exitoso	Funciona correctamente.
5	Exitoso	Funciona correctamente.
6	Exitoso	Funciona correctamente.
7	Exitoso	Funciona correctamente.
8	Exitoso	Se demora en llegar el mensaje.
9	Exitoso	Funciona correctamente.
10	Exitoso	Se empieza a notar el desgaste de la batería.



Pruebas de Funcionamiento

Pruebas del tiempo de subida y tiempo de bajada del telón.

Prueba	Tiempo Bajada (s)	Tiempo Subida (s)
1	20.77	23.28
2	20.63	23.95
3	19.27	22.87
4	19.66	22.75
5	19.97	23.15
6	20.53	23.45
7	20.01	23.18
8	19.71	23.12
9	20.15	22.96
10	20.53	23.64

Pruebas del tiempo de subida y tiempo de bajada de la plataforma.

Prueba	Tiempo Bajada (s)	Tiempo Subida (s)
1	23.05	30.31
2	23.41	30.81
3	23.03	30.63
4	23.43	30.45
5	23.1	30.5
6	22.96	30.7
7	22.87	30.25
8	23.35	30.17
9	23.43	30.45
10	23.38	30.53

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones



Pruebas de Funcionamiento

Pruebas de los robots Nao caminando encima de la plataforma.

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Prueba	Movimiento Vertical	Movimiento Horizontal	Observaciones
1	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
2	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
3	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
4	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
5	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
6	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
7	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
8	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
9	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente
10	Exitoso	Exitoso	Funciona correctamente





Análisis estadístico de las encuestas

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Nº	Pregunta
1	¿Considera usted que el teatro robótico heterogéneo es llamativo y despierta el interés de la audiencia?
2	¿Considera usted que el teatro heterogéneo es funcional y apto para ser una herramienta de terapia?
3	¿Considera usted que es fácil entender lo que dice el narrador del teatro (robot KERO)?
4	¿Considera usted que el tiempo de funcionamiento del telón y la plataforma puede desviar la concentración de la audiencia?
5	¿Considera usted que el ruido generado por los motores es tolerable?



Análisis estadístico de las encuestas

Introducción

Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Descripción	Valor
Muy en desacuerdo	1
Algo en desacuerdo	2
Algo de acuerdo	3
Muy de acuerdo	4

N°	Muy en desacuerdo	Algo en desacuerdo	Algo de acuerdo	Muy de acuerdo
1	-	-	1	2
2	-	-	1	2
3	-	-	3	-
4	-	2	1	-
5	-	-	2	1



Análisis estadístico de las encuestas

Introducción

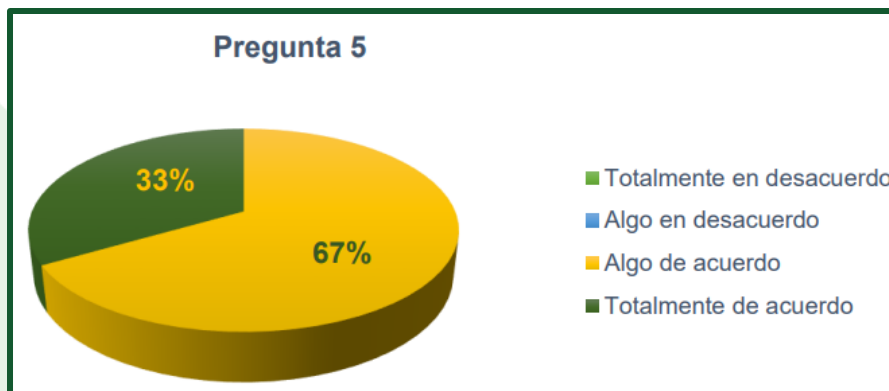
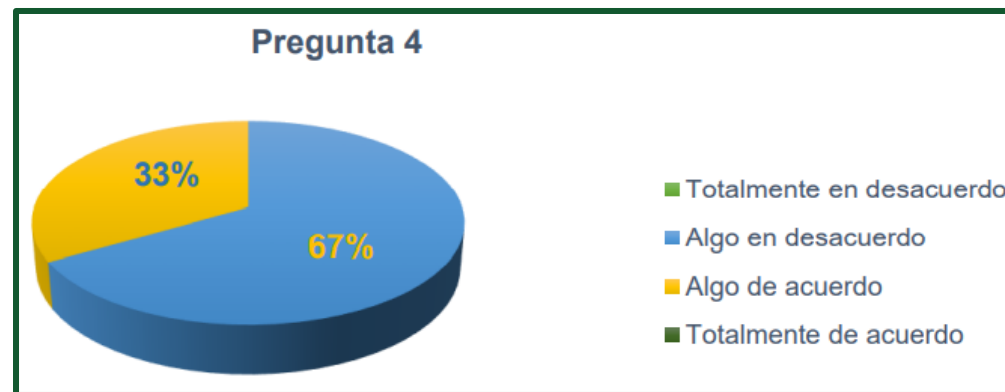
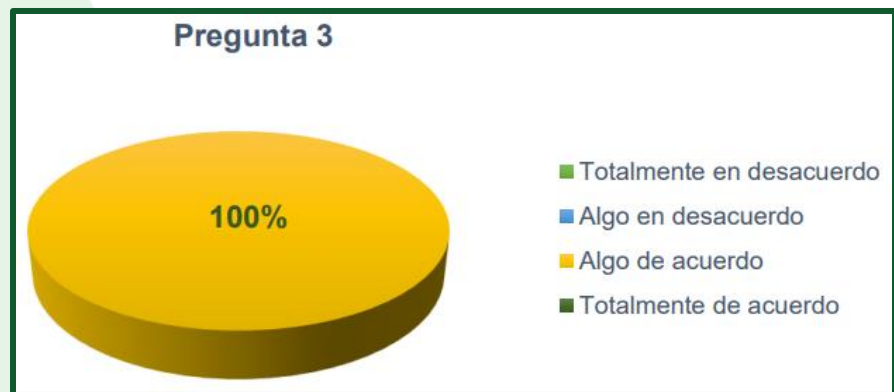
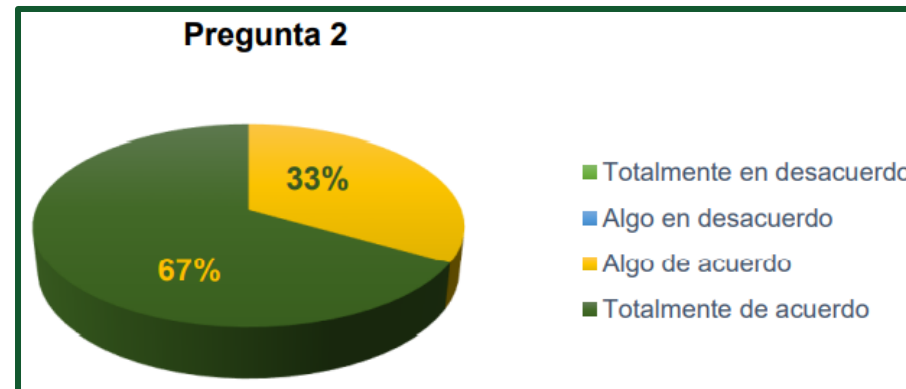
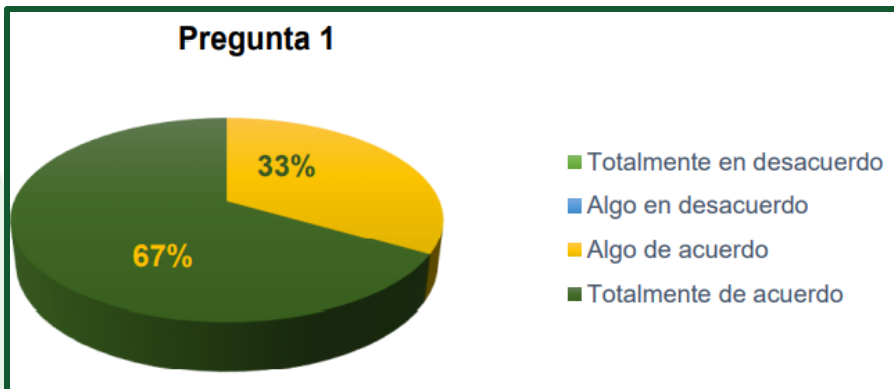
Metodología

Diseño y construcción

Pruebas y Resultados

Conclusiones

Recomendaciones





Introducción

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Conclusiones

- El mecanismo del telón es de persiana enrollable con un deslizamiento vertical, ya que el espacio asignado para el telón es muy reducido, la transmisión del movimiento está basado en la transmisión de cadenas. Para automatizarlo se incluye un motor en el eje de rotación que ayude a generar el torque necesario para lograr la apertura (sube la persiana) y cierre del telón (baja la persiana). El control manual y automático del telón se encuentran incluidos en la HMI del teatro robótico.
- Los problemas mecánicos que tenía la plataforma fueron solucionados luego de identificarlos con la ayuda de un software CAD realizando la simulación del análisis estático y el análisis de frecuencias. Se concluye así que, para solucionar las vibraciones de la máquina era necesario repotenciar la estructura de la plataforma haciendo que sea más robusta, añadir más fijación de la máquina al suelo y cambiar el sistema electrónico que generaba la fuerza para elevar la plataforma, ya que no era óptimo para la reducción de vibraciones. Se cambió por un sistema híbrido con la ayuda de los cilindros electrónicos, además se incluyeron vigas transversales, soportes y niveladores en la estructura de la plataforma.



Introducción

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Conclusiones

- Se ha creado un servidor en la nube que está diseñado para el monitoreo y control del teatro robótico. La página web contiene 2 pestañas, una para el monitoreo y otra para el control. La pestaña del monitoreo es bastante sencilla de comprender ya que se muestran 4 recuadros que abarcan: los personajes o implementos disponibles, los personajes y elementos preparados para actuar, la actuación que se está ejecutando y el actor actual que está haciendo el acto. Por otro lado, la pestaña del control muestra la misma imagen que aparece en la HMI en el control manual del escenario, en el cual se puede controlar el telón, la plataforma, las luces y la cámara de humo.
- Para poder denominar al teatro robótico heterogéneo como una herramienta de terapia se creó una breve presentación del teatro junto con una corta obra, a un grupo de psicopedagogos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE a los quienes se les realizó una encuesta obteniendo un resultado positivo en cuanto a la funcionalidad del proyecto enfocado en la robótica social. Al evaluar la integración del nuevo robot todos los evaluadores coincidieron en que se entendió lo que dice el robot, concluyendo así que el robot KERO no interfiere en el propósito del teatro robótico, sino que lo complementa favorablemente.



Introducción

Metodología

Diseño y
construcción

Pruebas y
Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Recomendaciones

- En el proceso del diseño mecánico de un mecanismo hay que tener en cuenta varios parámetros físicos del material de los elementos que lo conforman, y algunos de esos parámetros suelen llegar a ser muy complicados de calcular, ya que muchas de las veces se excluyen esos cálculos tomando valores obtenidos en libros o páginas del internet. Es por eso que se recomienda realizar simulaciones de los elementos en un software de diseño asistido por computador (CAD) previo a la construcción del mecanismo, de esa forma se adquiere el valor de las propiedades físicas del material de los elementos que conforman el mecanismo, facilitando así su diseño.
- Se recomienda realizar pruebas de funcionabilidad de los elementos por separado, empezando por el control manual seguido del control automático, para luego validar el funcionamiento en la página web. Suele ser muy tedioso, pero seguir este orden ayuda a identificar los problemas que puedan ir surgiendo y asegura un funcionamiento correcto.
- Para el diseño electrónico siempre se recomienda generar una placa PCB del circuito para evitar tener cables sueltos, que muchas de las veces se desconectan y hacen que falle el funcionamiento de los elementos que se están controlando. Y en caso de que exista algún elemento electrónico que no pueda ser incluido en la placa PCB, se optará por soldar los cables para la conexión.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN