

# Trabajo Fin de Grado

Diseño y Simulación de plataforma de Stewart:  
para uso de base de una antena

Stewart plataform design and simulation

Autor

**Sergio Gros Ainoza**

Director

Javier Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2017





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

**Diseño y Simulación de plataforma de  
Stewart: para uso de base de una antena**

**Stewart plataform design and simulation**

**424.18.19**

Autor: Sergio Gros Ainoza

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Julio 2018



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1.	RESUMEN	1
1.1.1.	<i>Palabras clave</i>	1
1.2.	ABSTRACT	2
1.3.	INTRODUCCIÓN	3
1.4.	ANTECEDENTES	4
1.4.1.	<i>Antecedente 1: Plataforma de Stewart para el estudio de controladores difusos</i>	4
1.4.2.	<i>Antecedente 2: Arduino-powered 6DOF motion platform</i>	5
1.4.3.	<i>Antecedente 3: ARDUINO CONTROLLED ROTARY STEWART PLATFORM</i>	5
1.4.4.	<i>Antecedente 4: Plataforma de Stewart para teléfono móvil</i>	6
1.4.5.	<i>Antecedente 5: Plataforma de Stewart con Arduino Leonardo</i>	7
1.4.6.	<i>Antecedente 6: Plataforma con rotulas horizontales</i>	7
1.4.7.	<i>Antecedente 7: Plataforma con cámara</i>	8
1.4.8.	<i>Antecedente 8: Plataforma con motores lineales</i>	8
1.4.9.	<i>Antecedente 9: Plataforma con articulaciones prismáticas</i>	9
1.4.10.	<i>Conclusiones de los antecedentes</i>	9
<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>10</b>
2.1.	MOTOR	10
2.1.1.	<i>Motores de excitación en serie</i>	10
2.1.2.	<i>Motor de excitación paralelo</i>	11
2.1.3.	<i>Motor de excitación compuesta</i>	11
2.1.4.	<i>Motor Brushless</i>	12
2.1.5.	<i>Motor de imanes permanentes</i>	13
2.1.5.1.	<i>Servomotor</i>	13
2.1.6.	<i>Motor paso a paso</i>	15
2.2.	CONTROLADORES DE MOTOR	16
2.2.1.	<i>Puente en H</i>	16
2.2.2.	<i>Drivers para motores paso a paso</i>	18
2.2.3.	<i>Driver para motores brushless</i>	18
2.3.	FUENTES DE ALIMENTACIÓN	19
2.3.1.	<i>Fuentes lineales</i>	19

## INDICES

2.3.1.1.	Transformador	19
2.3.1.2.	Rectificador	20
2.3.1.3.	Filtro	20
2.3.1.4.	Regulación	20
2.3.2.	<i>Fuentes conmutadas</i>	21
2.4.	ENCODER	23
2.4.1.	<i>Encoder incremental</i>	24
2.4.1.1.	Encoder de cuadratura	24
2.4.2.	<i>Encoder absoluto</i>	25
2.5.	MICROCONTROLADOR	26
2.5.1.	<i>PIC18F4550</i>	26
2.5.2.	<i>Placas microcontroladoras</i>	26
2.5.2.1.	Arduino	26
2.5.2.2.	Rasbeerr pi	28
2.6.	ACCIONAMIENTO MECÁNICO	29
2.6.1.	<i>Biela -Manivela</i>	29
2.6.2.	<i>Tornillo sin fin</i>	30
2.6.3.	<i>Rotula</i>	30
2.7.	FINAL DE CARRERA	31
2.8.	SENSORES DE INCLINACIÓN	31
2.9.	SENSORES ACELEROMÉTRICOS	32
2.9.1.	<i>Acelerómetro mecánico</i>	32
2.9.2.	<i>Acelerómetro Piezoeléctrico</i>	33
2.9.3.	<i>Acelerómetros de efecto Hall</i>	33
2.9.4.	<i>Acelerómetros de condensador</i>	33
<b>3.</b>	<b>DESARROLLO</b>	<b>35</b>
3.1.	DISEÑO GLOBAL	35
3.1.1.	<i>Diagrama de bajo nivel</i>	35
3.1.2.	<i>Diagrama de alto nivel</i>	36
3.1.3.	<i>Layout</i>	37
3.2.	DISEÑO MECÁNICO	39
3.2.1.	<i>Estudio de fuerzas</i>	39
3.2.2.	<i>Calculo de esfuerzos de la estructura</i>	40
3.3.	ESTUDIO CINEMÁTICO	43
3.4.	ELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	47
3.5.	PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR	48

4.	<b>SIMULACIÓN</b>	<b>64</b>
5.	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	foto tomada de: Natalia Ximena Gonzalez Alvarez, 2011	4
Ilustración 2:	Foto tomada de: ThomaskNR, 2014	5
Ilustración 3:	Foto tomada de: thiagothersan, 201	6
Ilustración 4:	Foto tomada de: ARIAS, 2015	7
Ilustración 5:	Foto tomada de: Gomez Pinilla, 2011	7
Ilustración 6:	Ilustración tomada de: Gudiño Lau, 2017	8
Ilustración 7:	Foto tomada de:	8
Ilustración 8:	Foto tomada de: Villaroel Graterol, 2011	9
Ilustración 9:	Foto obtenida de Motor Brushless - Rincon Bedini», 2018:	12
Ilustración 10:	Foto obtenida de : («Motor de imanes permanentes», 2017)	13
Ilustración 11:	Foto obtenida de: Arduino: servomotor giro continuo», 2015	13
Ilustración 12:	Imagen obtenida de Controlar un servo con Arduino», 2018	14
Ilustración 13:	Foto obtenida de: «Motor paso a paso», 2018)	15
Ilustración 14:	Foto obtenida de Puente H (electrónica)», 2017	16
Ilustración 15:	Foto obtenida de Módulo L298N Puente H doble para Arduino controlo motores paso a paso», 2017	17
Ilustración 16:	Potencia para step motor con entradas fotoacopladas   INVENTABLE.EU», 2010	18
Ilustración 17:	Transformador», 2018	20
Ilustración 18:	Foto obtenida de Transformador», 2018	20
Ilustración 19:	Foto sacada de Transformador», 2018	20

## INDICES

Ilustración 20:Foto obtenida de FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES», 2014 .....	21
Ilustración 21: FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES», 2014.....	21
Ilustración 22:Foto obtenida de Fuente conmutada», 2017 .....	22
Ilustración 23:Foto obtenida de Fuente de poder tipo Switching 220V AC a 12V DC 25A», 2016.....	23
Ilustración 24:Foto obtenida de Codificador rotatorio», 2018.....	23
Ilustración 25Foto obtenida de Encoder de cuadratura óptico - Geekbot Electronics», 2018 .....	24
Ilustración 26:Foto obtenida de Codificador rotatorio», 2018.....	25
Ilustración 27:Foto obtenida de PIC18F2455-I/SP CMOS Microcontrolador Microchip», 2018 .....	26
Ilustración 28:Imagen obtenida de Natalia Ximena Gonzalez Alvarez, 2011 .....	29
Ilustración 29:Foto obtenida de Husillos de bolas de los fabricantes líderes Hiwin y SBC en España. Comprar husillos de bolas en España con entrega gratis», 2018 ...	30
Ilustración 30:Imagen obtenida de Cabeza de rótula macho-hembra / hembra / de acero / autolubricante - CF OK series - Chiavette Unificate S.p.A.», 2018.....	30
Ilustración 31:Foto obtenida de Sensor final de carrera», 2018 .....	31
Ilustración 32:Foto obtenida de Acelerómetro», 2017.....	33
Ilustración 33:Diagrama de bajo nivel .....	35
Ilustración 34:Diagrama de alto nivel .....	36
Ilustración 35:Layout frente.....	37
Ilustración 36:Layout 2 .....	37
Ilustración 37: Layout plataforma movil .....	38
Ilustración 38:Fuerzas.....	39
Ilustración 39:Fuerzas.....	40
Ilustración 40:Esfuerzos parte superior .....	40
Ilustración 41:Puntos de unión .....	43
Ilustración 42:Simulación 1 .....	64





INDICES

Ilustración 43: Simulación 2.....	64
Ilustración 44: Simulación 3.....	65
Ilustración 45: Simulación 4.....	65
Ilustración 46: Simulación 5.....	65
Ilustración 47: Simulación Interfaz .....	66

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla obtenida de Fuentes conmutadas, 2017.....	22
Tabla 2: Modelos de Arduino atmega.....	27



# 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

## 1.1. RESUMEN

El mundo de la robótica está avanzando de una manera sorprendentemente rápida. El empleo de esta disciplina en el entorno industrial, debido a sus múltiples usos en tareas que un humano no podría hacer, o repetitivas, ha aumentado de manera importante. Dentro de los robots utilizados, el robot paralelo destaca principalmente por su estabilidad y precisión. En este tipo de robots, está una clase denominada Plataforma de Stewart.

Para que el robot pueda moverse de una manera deseada, primero tiene que tener un apartado mecánico que justifique el que la máquina podrá aguantar los esfuerzos requeridos y, segundo debe de ir guiado de un control electrónico, que le ordene la acciones que este debe de hacer, y también un grupo de sensores que diga si lo que este está haciendo, lo está haciendo correctamente.

El objetivo de este proyecto es generar un diseño, tanto mecánico como electrónico de una plataforma de Stewart, y posteriormente se realizará una simulación para saber el comportamiento de este robot para posicionarse en el lugar requerido.

### 1.1.1. *Palabras clave*

-Robot Paralelo

-Plataforma de Stewart

-Diseño

-Control

Simulación

## 1.2. ABSTRACT

The robotics world is growing in a surprisingly fast way. The use of this discipline in the industrial surroundings, due to its multiple uses in tasks that a human could not do, or repetitive works, It has increased significantly. Among the robots used, the parallel robot stands out mainly for its stability and precision. In this type of robots, there is a class called Stewart Platform.

In order for the robot to move in a desired way, it must first have a mechanical section that justifies the machine being able to withstand the required efforts and, secondly, it must be guided by an electronic control, which orders the actions that it must do, and also a group of sensors that tell if what it is doing is doing correctly.

The objective of this project is to generate a design, both mechanical and electronic, of a Stewart platform, and then a simulation will be performed to know the behavior of this robot to position itself in the required place.

## 1.3. INTRODUCCIÓN

Una plataforma Gough-Stewart es un tipo de robot paralelo que tiene seis actuadores prismáticos. Los dispositivos colocados en la placa superior se pueden mover en los seis grados de libertad en los que es posible mover un cuerpo libremente suspendido. Estos son los tres movimientos lineales  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (lateral, longitudinal y vertical), y las tres rotaciones  $(x,y,z)$ .

A diferencia de los robots en serie (brazo robot, robot soldador...) la cinemática inversa de los robots en paralelo es relativamente más sencilla que la cinemática directa.

Las plataformas de Stewart tienen un amplio rango de movilidad y pueden posicionarse con una elevada precisión. Su arquitectura consta de una base fija y otra móvil, conectada como mínimo por tres puntos por los actuadores.

Como actuadores se pueden utilizar los pistones hidráulicos, que dan a la plataforma muy buena precisión aparte de suministrar una elevada fuerza.

Para aplicaciones con escasa necesidad de fuerza se puede trabajar con actuadores electromecánicos como son motores (servomotores, motores paso a paso). Con este último tipo de actuadores, aparte de reducir costos, reduce la carga de la plataforma en general, pudiéndose montar hasta en otro robot.

Las plataformas Stewart tienen aplicaciones en simuladores de vuelo gracias a sus seis grados de libertad y su elevada capacidad de carga, se puede recrear con total exactitud una cabina de vuelo que tenga un movimiento igual a la que tendría un avión real.

Otro ejemplo de aplicación sería el robot "trepador", que es un robot que aprovecha la gran movilidad de la plataforma para trepar por sitios con espacios reducidos; este robot posee actuadores para que cada una de las dos bases se aseguren y pueda avanzar mediante un movimiento de tipo oruga.

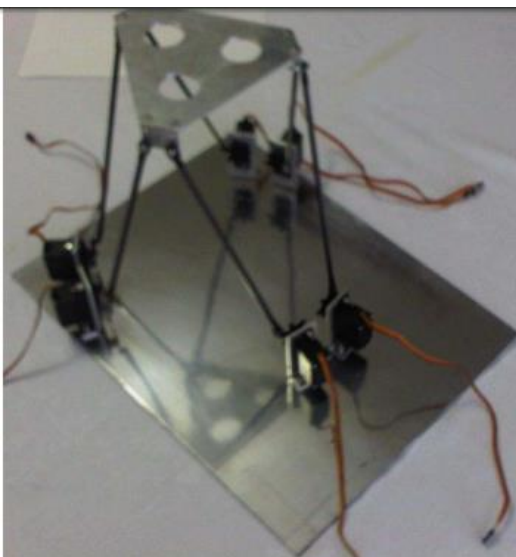
Otra utilidad puede ser la de ser la base de una placa fotovoltaica, gracias a su gran movilidad, se asegura el que la placa pueda estar siempre en la posición de mayor incidencia de rayos solares. Al igual que placas fotovoltaicas, pueden ser antenas, que necesitan una posición específica para su óptimo funcionamiento. Otra utilidad que también se le suele dar es como "muñeca" de un brazo robótico, para poder posicionar el portaherramientas con la mayor libertad posible.

## 1.4. ANTECEDENTES

Este apartado consistirá en ver las distintas soluciones hechas por otras personas.

Se tomará especial interés en las soluciones, tanto para el apartado electrónico (microcontroladores, sensores...), tanto por la solución mecánica (mecanismo actuador), y también a las electromecánicas como los motores.

### 1.4.1. Antecedente 1: Plataforma de Stewart para el estudio de controladores difusos



*Ilustración 1 foto tomada de: Natalia Ximena Gonzalez Alvarez, 2011*

Esta plataforma está conformada con la actuación mecánica de biela manivela, después los actuadores son motores serbo de Hextronik HX50101, los cuales tienen una velocidad de 16sec/60Deg y un torque máximo de 6.5kg/cm, estos funcionan en un rango de 4.8-6V.

Posee también un microcontrolador pic 18f4550, el cual es de 8 bits.

Este pic va montado en una placa con dispositivos de seguridad y puertos para los servomotores, aparte de un puerto para conectar a pc.(Natalia Ximena Gonzalez Alvarez, 2011)

### 1.4.2. Antecedente 2: Arduino-powered 6DOF motion platform

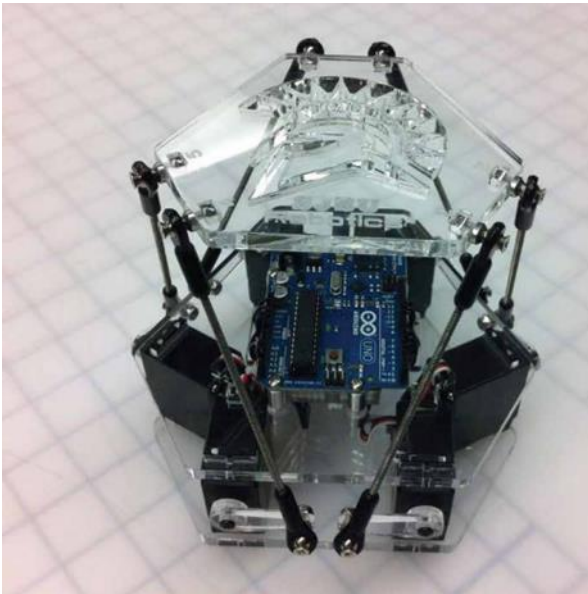


Ilustración 1: Foto Arduino 6DOF Motion Platform LoRes», 2018

Esta plataforma tiene el mismo sistema de actuación mecánica, después tiene como actuador, seis servos estándar.

Después la electrónica está gobernada por un microcontrolador Arduino uno, el cual van los servomotores y la conexión a pc.

También cabe destacar que tanto la base como la peana de la estructura están fabricadas con una impresora 3d, lo cual le permite darle una forma distinta.

(«Arduino\_6DOF\_Motion\_Platform\_LoRes», 2018)

### 1.4.3. Antecedente 3:

#### ARDUINO CONTROLLED ROTARY STEWART PLATFORM

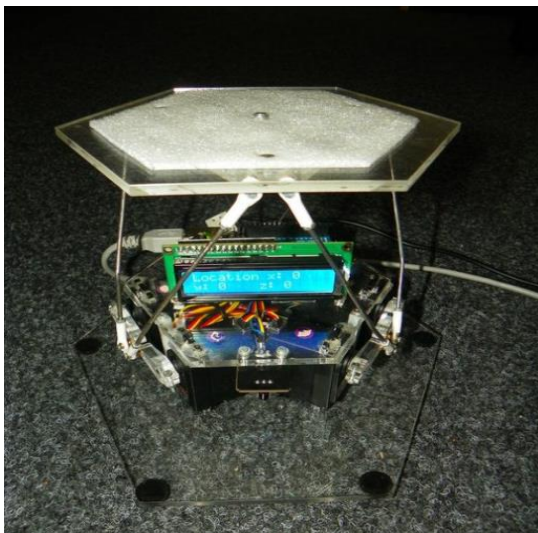


Ilustración 2: Foto tomada de: ThomaskNR, 2014

Esta plataforma está también hecha con el mecanismo de biela manivela y con servos estándares.

El control electrónico, al igual que la anterior, se efectúa mediante Arduino uno, el cual hace todas las ecuaciones y controla los servos.

Algunas especificaciones de la plataforma son:

- Tienen un peso máximo de teórico de 2kg.
- Tiene un bajo consumo (con 1kg consume

5W).

## Introducción y Antecedentes

- El movimiento mínimo es del orden de 1mm.
- El coste puede rondar entre los 50 y 150\$ , dependiendo de los materiales.

(ThomaskNR, 2014)

### 1.4.4. Antecedente 4: Plataforma de Stewart para teléfono móvil



Ilustración 3:Foto tomada de: thiagohersan, 201

El diseño de la actuación mecánica, de nuevo es de biela manivela , los motores son Dynamixel AX-12<sup>a</sup> , que son unos servomotores.

El microcontrolador esta vez es una raspberry pi, el cual gobierna un circuito de 12 v y 6<sup>a</sup> que controla los motores.(thiagohersan, 2015)



### 1.4.5. Antecedente5: Plataforma de Stewart con Arduino Leonardo

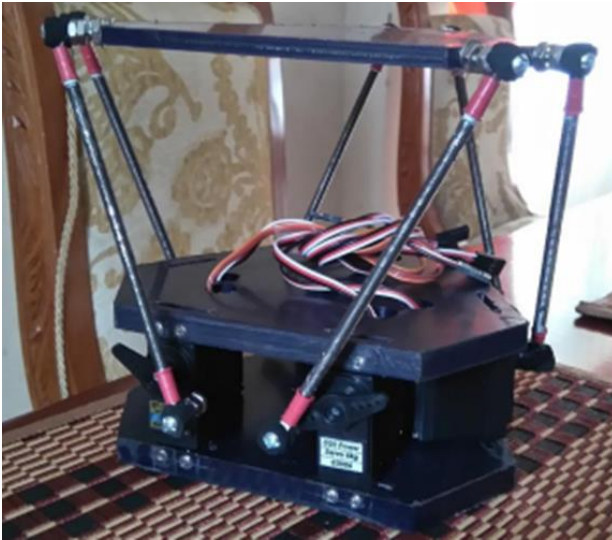


Ilustración 4:Foto tomada de: ARIAS, 2015

El este ejemplo nuevamente los motores escogidos son servomotores, exactamente el modelo SGS Power S3006.

El movimiento mecánico del motor hasta la parte superior se transmite con biela manivela.

Los servomotores están controlados por un sistema pid, y el controlador de los servomotores es un Arduino Leonardo. (ARIAS, 2015)

### 1.4.6. Antecedente 6: Plataforma con rotulas horizontales

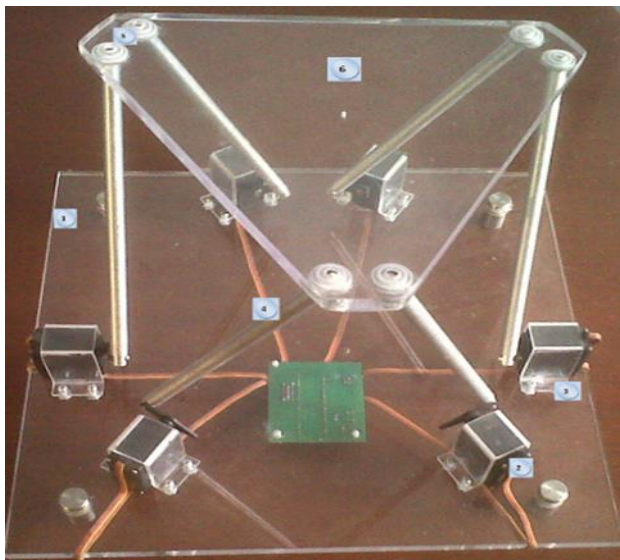
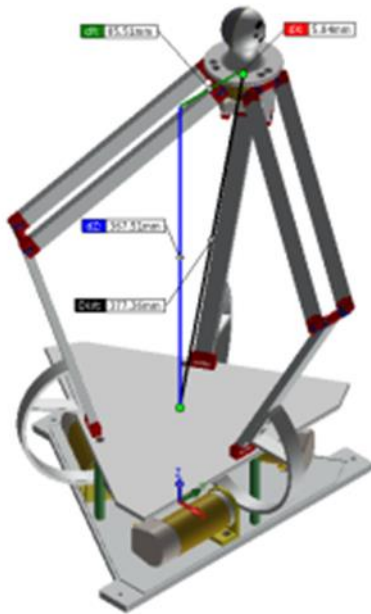


Ilustración 5:Foto tomada de: Gomez Pinilla, 2011

En este ejemplo se puede ver que el accionamiento mecánico es por biela-manivela, pero esta vez las rotulas en vez de estar en los laterales de la base móvil están en la base de esta ,los motores son servomotores futaba s3003 con un torque de 9 kg x cm.

El microprocesador es el 18f4550 de microchip, el cual da control a los seis servomotores y tiene conexión al pc.(Gomez Pinilla, 2011)

### 1.4.7. Antecedente 7: Plataforma con cámara



En este ejemplo el modelo mecánico es de engranajes, el cual es más preciso que el de biela manivela, aparte usan motores de dc con encoders para sensorizar y corroborar las vueltas más o menos exactas que da el motor.

Como sensorización, este propone utilizar una DAQ unido al PC para obtener los datos con una precisión dada por la propia tarjeta. (Gudiño Lau, 2017)

Ilustración 6: Ilustración tomada de: Gudiño Lau, 2017

### 1.4.8. Antecedente 8: Plataforma con motores



#### lineales

En este caso los actuadores mecánicos y los propios actuadores (motor) son los mismos ya que este ejemplo ha apostado por el uso de motores lineales, los cuales se llaman Fingelli de la serie L16 de 50 mm de recorrido, que tienen una velocidad máxima de 32mm/s (sin carga) y una fuerza máxima de 50N.

Como microcontrolador se utiliza un Arduino due, al cual se le construye una shield para el control de los motores lineales. (Esteban Scozzina, 2016)

Ilustración 7: Foto tomada de: Esteban Scozzina, 2016

### 1.4.9. Antecedente 9: Plataforma con articulaciones prismáticas

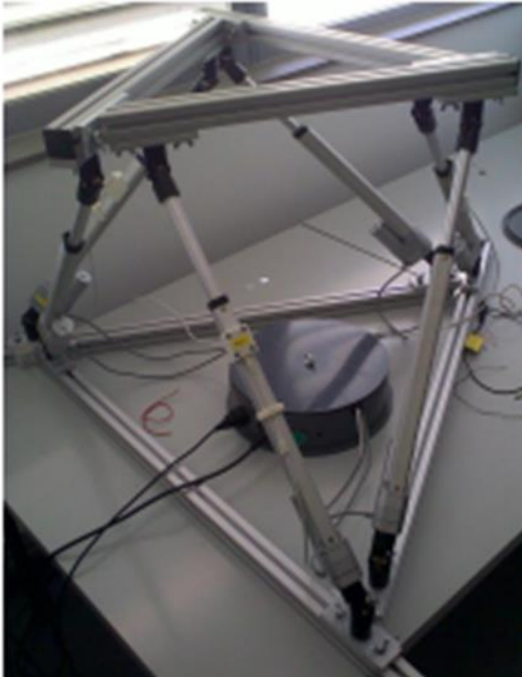


Ilustración 8:Foto tomada de:  
Villaroel Graterol, 2011

La actuación son articulaciones prismáticas comerciales con un servomotor que les permite alcanzar velocidades de 5cm/s(sin carga) y longitudes que están desde 30 a 75cm.

Como control de los servomotores se ha optado por el Controlador Phidget AdvancedServo , el cual esta especializado en servomotores usando la señal PCM.

El software de la plataforma es labview 2010, de NI. (Villaroel Graterol, 2011)

### 1.4.10. Conclusiones de los antecedentes

Para terminar los antecedentes, se va realizar un resumen sobre las estrategias antes relatadas.

Para empezar, los actuadores, pese a que el más repetido y utilizado es el de tipo biela-manivela, porque es poco precisa respecto a otros ejemplos como el del antecedente 7, que cada vuelta corresponde a ciertos grados (en vez de los 360 que es el de biela-manivela).

Después, los servomotores pese a ser muy fuerte y útiles, lo mejor sería utilizar un encoder para asegurarse del número exacto de vueltas que hace el motor.

Por último los microcontroladores son muy distintos, aunque las pacas microcontroladoras son las predominantes.

## 2. MARCO TEÓRICO

Este subapartado trata sobre el ámbito teórico de los elementos que se van a utilizar.

### 2.1. MOTOR

Empezando por el motor de corriente continua, se define como una máquina que convierte energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción de un campo magnético. en este caso se van a mirar únicamente los de corriente continua, que entre ellos se pueden diferenciar entre:

#### 2.1.1. Motores de excitación en serie

Los motores de excitación en serie, es un tipo de motor eléctrico de corriente continua en el cual el inducido y el devanado inductor o de excitación van conectados en serie. El voltaje aplicado es constante, mientras que el campo de excitación aumenta con la carga, puesto que la corriente es la misma corriente de excitación. («Motor serie», 2018) El flujo aumenta en proporción a la corriente en la armadura, como el flujo crece con la carga, la velocidad cae a medida que aumenta esa carga.

Las principales características de este motor son:

- Se embala cuando funciona en vacío, debido a que la velocidad de un motor de corriente continua aumenta al disminuir el flujo inductor y, en el motor serie, este disminuye al aumentar la velocidad, puesto que la intensidad en el inductor es la misma que en el inducido.

- La potencia es casi constante a cualquier velocidad.

- Le afectan poco las variaciones bruscas de la tensión de alimentación, ya que un aumento de esta provoca un aumento de la intensidad y, por lo tanto, del flujo y de la fuerza contra electromotriz, estabilizándose la intensidad absorbida.

### 2.1.2. *Motor de excitación paralelo*

El motor de excitación paralelo o motor Shunt es un motor eléctrico de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar. («Motor shunt», 2017)

Las bobinas principales están constituidas por muchas espiras y con hilo de poco diámetro, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es alta.

En el momento del arranque, el par motor que se desarrolla es inferior que en el motor serie.

Los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades.

### 2.1.3. *Motor de excitación compuesta*

El motor de excitación compuesta o motor compound se define como un Motor eléctrico de corriente continua cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes; uno dispuesto en serie con el bobinado inducido y otro conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados: inducido, inductor serie e inductor auxiliar. («Motor compound», 2017)

Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo shunt. Este campo serie, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre de amplio diámetro, es conectado en serie con la armadura y lleva la corriente de armadura.

El flujo del campo serie varía directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal shunt.

Esto crea una característica de velocidad que no es tan "dura" o plana como la del motor shunt, ni tan "suave" como la de un motor serie.

Los motores de corriente continua compound son algunas veces utilizados donde se requiera una respuesta estable de par constante para un rango de velocidades amplio.

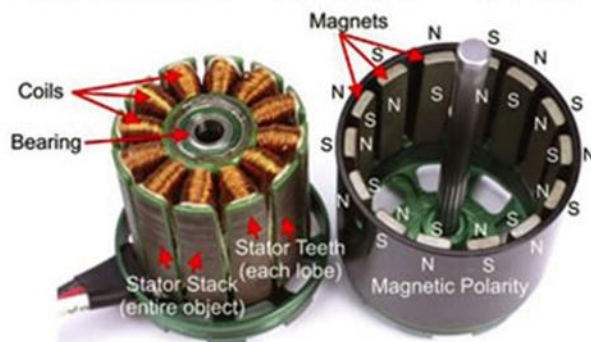
## 2.1.4. Motor Brushless

-Un motor eléctrico sin escobillas o motor Brushless es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor.

El inversor debe convertir la corriente alterna en corriente continua, y otra vez en alterna de otra frecuencia. Otras veces se puede alimentar directamente con corriente continua, eliminado el primer paso. Por este motivo, estos motores de corriente alterna se pueden usar en aplicaciones de corriente continua, con un rendimiento mucho mayor que un motor de corriente continua con escobillas. Algunas aplicaciones serían los coches y aviones con radiocontrol, que funcionan con pilas.

La constante Kv significa simplemente la cantidad de vueltas (RPM) que da el motor por cada voltio de continua aplicado al ESC (A máxima potencia).

### OUTRUNNER COMPONENTS



Es decir que, si a un motor de 1100 Kv le aplicamos 11,1v funcionará a 12210 RPM como máximo (Con el ESC se puede disminuir). Esta es su velocidad nominal y nunca subirá más velocidad a no ser que aumentemos la diferencia de potencial (Voltaje).

*Ilustración 9:Foto obtenida de Motor Brushless - Rincon Bedini», 2018:*

Algunos motores sin escobillas, que sólo funcionan con corriente continua son los que se usan en pequeños aparatos eléctricos de baja potencia, como lectores de CD-ROM, ventiladores de ordenador, casetes, etc. Su mecanismo se basa en sustituir la conmutación (cambio de polaridad) mecánica por otra electrónica sin contacto. En este caso, la espira sólo es impulsada cuando el polo es el correcto, y cuando no lo es, el sistema electrónico corta el suministro de corriente.

### 2.1.5. Motor de imanes permanentes

Los motores de imanes permanentes son motores eléctricos cuyo funcionamiento se basa en que los imanes sustituyen al estator para generar el campo magnético que excita el rotor.

Los principales grupos de motores de imanes permanentes son los de corriente continua de imanes permanentes, los de corriente alterna de imanes permanentes y los paso a paso de imanes permanentes.



Ilustración 10: Foto obtenida de : («Motor de imanes permanentes», 2017)

El motor síncrono de imanes permanentes se suele utilizar en servomotores, accionamientos eléctricos para posicionamiento, robótica, máquinas herramienta, ascensores, generadores...

En aplicaciones en que el motor es operado electrónicamente desde un inverter, no es necesario el devanado amortiguador para el arranque pues este lo realiza el control electrónico, y además el devanado amortiguador (damper) produce pérdidas de energía adicionales debido a las forma de onda no senoidales.

(«Motor de imanes permanentes», 2017)

#### 2.1.5.1. Servomotor

Un servomotor es un motor es una variación especial del motor de corriente continua al que se ha añadido un sistema de control (tarjeta electrónica), un potenciómetro y un conjunto de engranajes(normalmente reductores). («Servomotor», 2018)



Ilustración 11:Foto obtenida de: Arduino: servomotor giro continuo», 2015

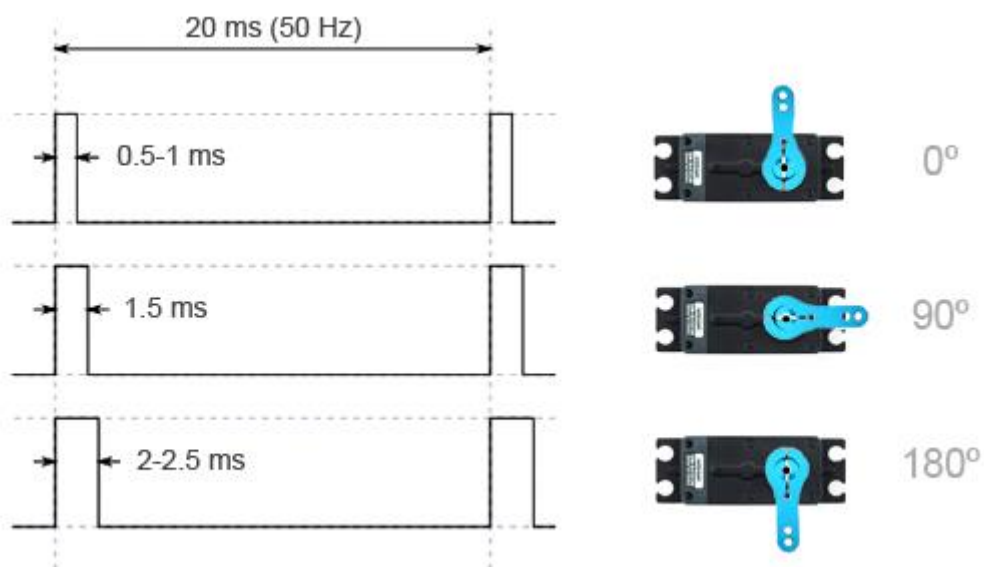
Con anterioridad los servomotores no permitían que el motor girara 360 grados, solo aproximadamente 180; sin embargo, hoy en día existen servomotores en los que puede ser controlada su posición y velocidad en los 360 grados. Los servomotores son comúnmente usados en modelismo como aviones, barcos, helicópteros y trenes para controlar de manera eficaz los sistemas motores y los de dirección.

Los servomotores hacen uso de la modulación por ancho de pulsos (PWM) para controlar la dirección o posición de los motores de corriente continua. La mayoría trabaja en la frecuencia de los 50 hercios, así las señales PWM tendrán un periodo de veinte milisegundos.

Frecuentemente simplemente se dispone de un potenciómetro unido al eje del servo, que permite al servo para conocer la posición del eje. Esta información es tratada por un controlador integrado que se encarga de ajustar actuar sobre el motor para alcanzar la posición deseada.

La comunicación de la posición deseada se realiza mediante la transmisión de un señal pulsada con periodo de 20ms. El ancho del pulso determina la posición del servo.

(«Controlar un servo con Arduino», 2018)



*Ilustración 12: Imagen obtenida de Controlar un servo con Arduino», 2018*

Aunque suelen tener frecuencias parecidas, los servos tienen distintas relaciones de ancho de pulso, dependiendo de modelo y fabricante.



### 2.1.6. Motor paso a paso

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. («Motor paso a paso», 2018)



*Ilustración 13:Foto obtenida de: «Motor paso a paso», 2018)*

Existen tres tipos de motores paso a paso, que son:

- El motor de pasos de reluctancia variable (VR):

Tiene un rotor multipolar de hierro y un estator devanado, opcionalmente laminado. Rota cuando el o los dientes más cercanos del rotor es o son atraídos a las bobinas del estator energizadas (obteniéndose, por lo tanto, la ruta de menor reluctancia).

La respuesta de este motor es muy rápida, pero la inercia permitida en la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero.

-El motor de pasos de rotor de imán permanente: Permite mantener un par diferente de cero cuando el motor no está energizado. Dependiendo de la construcción del motor, es típicamente posible obtener pasos angulares de 7.5, 11.25, 15, 18, 45 o 90°. El ángulo de rotación se determina por el número de polos en el estator.

-El motor de pasos híbrido: Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Se puede ver que esta configuración es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par, se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8°.

La velocidad de rotación viene definida por la ecuación:

$$N = 60 * \frac{f}{n}$$

Donde:

f: frecuencia del tren de impulsos

n: nº de polos que forman el motor

Con un método llamado micropasos , en la cual por medio de PWM se controla la corriente nominal de cada bobina, pudiéndose aumentar las posibles posiciones del motor. y, por lo tanto, este genera menos vibraciones.

## 2.2. CONTROLADORES DE MOTOR

Los controladores o drivers del motor pueden separarse por las distintas tecnologías .

### 2.2.1. Puente en H

Para empezar los controladores, un puente h es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso.

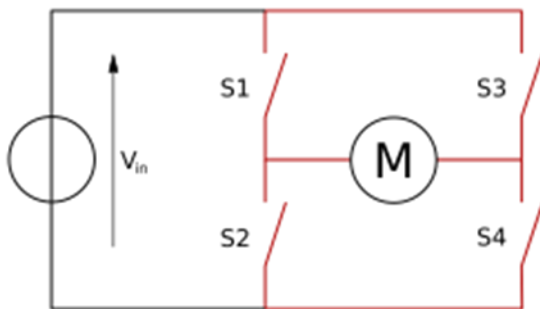


Ilustración 14:Foto obtenida de Puente H (electrónica)», 2017

motor.«Puente H (electrónica)», 2017)

Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 (ver primera figura) están cerrados (y S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del

Un ejemplo de controladores de este tipo tiene las siguientes características:



Alimentación lógica: 6 - 12V

Rango de alimentación: 4.8 ~ 46V

Corriente máxima: 2A

Nivel alto:  $2.3V = V_{in} = V_{ss}$  - Nivel bajo: -  
 $0.3V = V_{in} = 1.5V$

Temperatura de funcionamiento: -25 a +130  
°C

*Ilustración 15:Foto obtenida de Módulo L298N Puente H doble para Arduino controlo motores paso a paso», 2017*

Otro ejemplo se driver con la tecnología de puente en h

-2 Driver L293D

-4 puentes H

-Intensidad de salida por cada canal: 0,6A

-Botón de reset.

-Pines para usar los pines analógicos y digitales de Arduino.

-Tensión de alimentación: 6-20V.

### 2.2.2. Drivers para motores paso a paso

En el paso del motor paso a paso hay partes del controlador que cambian un poco su utilidad. Estos controladores nos permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que queremos que el motor avance un paso.

Hay algunos controladores , que aprovechan los micropasos(anteriormente mencionados) para un control mas preciso del motor paso a paso.

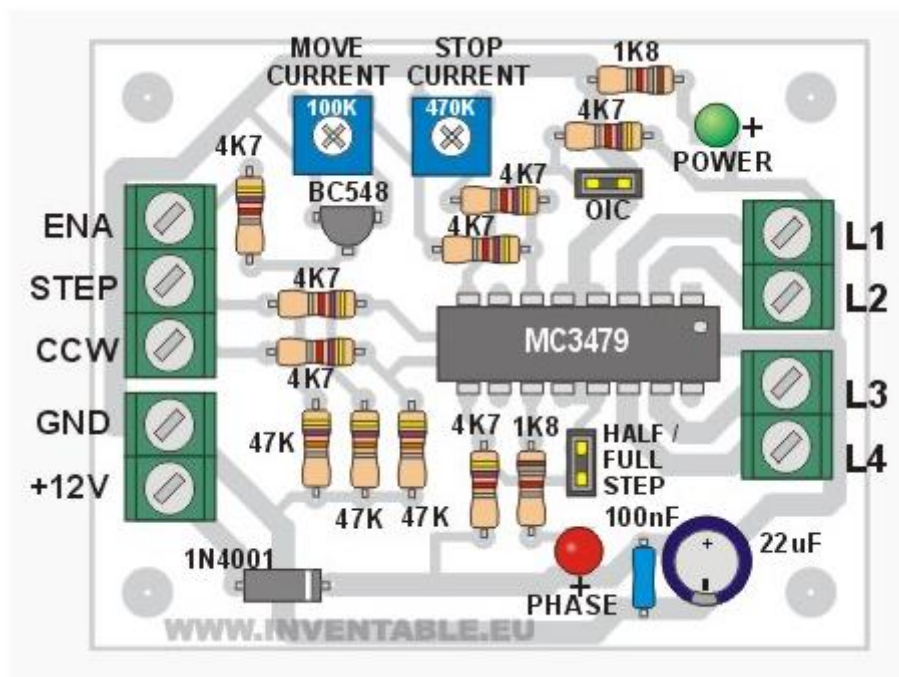


Ilustración 16: Potencia para step motor con entradas fotoacopladas | INVENTABLE.EU», 2010

Este es un ejemplo de driver de motor paso a paso, el cual es constituido por un encapsulado MC3479, y está montado en una pcb para una conexión directa del controlador y del motor.

### 2.2.3. Driver para motores brushless

Los drivers de los motores brushless , al ser trifásicos , son bastante distintos a los anteriores ,por ejemplo el MP6532 ,que es un driver para brushless , tiene seis

MOSFET para el control de sus tres fases ,también es importante las protecciones contra la sobrecorriente,y seguridad de temperatura.

En el caso del chip mencionado anteriormente, también tiene controladores de efecto hall para determinar la lógica de conmutación.

Factores comunes con los motores DC es la importancia de velocidad , dirección ...

(«Precontrolador de motor CC trifásico sin escobillas MP6532- MPS | DigiKey», 2018)

## 2.3. FUENTES DE ALIMENTACIÓN

Se tiene que tener en cuenta los elementos que necesitan energía, que son principalmente los motores, que necesitan una tensión de 6-12V y los sensores, microcontrolador ..., que suelen funcionar a unos 5V , conque se tendrá que usar un regulador para poder alimentar ambos .

Hay una gran separación entre dos tipos de fuente de alimentación:

### 2.3.1. Fuentes lineales

Las fuentes lineales siguen el esquema: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida.

#### 2.3.1.1. Transformador

Un transformador es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la misma potencia.

Los transformadores ideales la potencia en la entrada es la misma que la de salida , mientras que en el de los transformadores reales la de salida es inferior debido a unas pérdidas.

El transformador trabaja gracias al principio físico de la inducción electromagnética. En este hay dos bobinas aisladas entre si eléctricamente. A las bobinas se las llama primario o secundario dependiendo de si son la de entrada o de salida .

La ecuación utilizada para seleccionar el voltaje correcto interrelaciona los voltajes de ambos inductores con su número de espiras(n). («Transformador», 2018)

$$m = \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

### 2.3.1.2. Rectificador

Una vez se tiene el voltaje deseado , para cambiar de corriente alterna a continua se empieza por un rectificador. Esto se realiza utilizando diodos rectificadores, ya sean semiconductores de estado sólido, válvulas al vacío o válvulas gaseosas como las de vapor de mercurio , las cuales actualmente han dejado de usar.

A su vez los rectificadores pueden ser de media onda(Solo se aprovecha uno de los semiciclos) o de onda completa (se aprovechan ambos semiciclos).

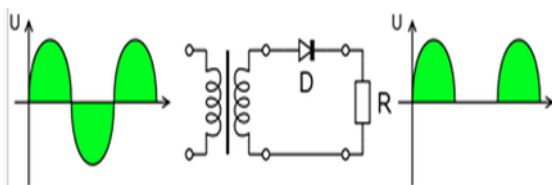


Ilustración 18:Foto obtenida de Transformador», 2018

Circuito rectificador de media onda

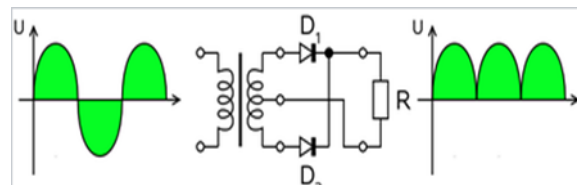


Ilustración 17: Transformador», 2018

Circuito rectificador de onda completa

### 2.3.1.3. Filtro

Una vez se puede hacer pasar por una serie de filtros (principalmente condensadores) y así se consigue una señal continua con "ruido" (también conocida como dientes de sierra).

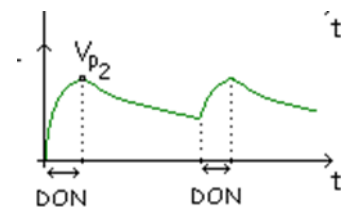


Ilustración 19:Foto sacada de Transformador», 2018

### 2.3.1.4. Regulación

Tras los filtros se puede utilizar una última etapa de regulación para que quede una corriente de dc totalmente limpia.

Si se quiere usar una fuente lineal en el caso de dc/dc , se pueden eliminar el transformador y el puente de diodos y dejar los filtros y el regulador .

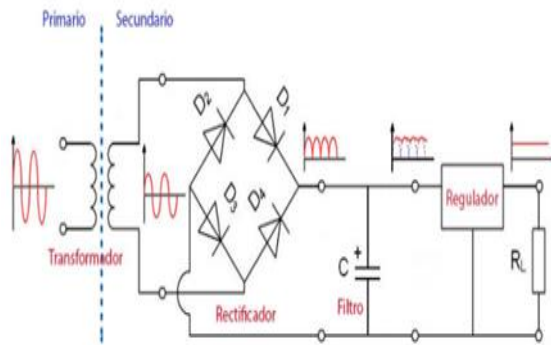


Ilustración 20:Foto obtenida de «FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES», 2014

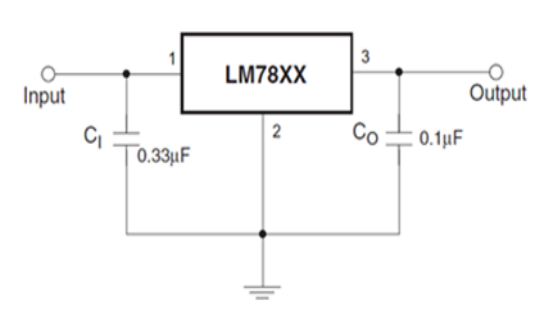


Ilustración 21: «FUENTES DE ALIMENTACION LINEALES», 2014

Fuente lineal AC/DC

Fuente lineal DC/DC

### 2.3.2. Fuentes conmutadas

Es un dispositivo electrónico que transforma energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Mientras que un regulador de tensión utiliza transistores polarizados en su región activa de amplificación, las fuentes conmutadas utilizan los mismos conmutándolos activamente a altas frecuencias (20-100 kilociclos típicamente) entre corte (abiertos) y saturación (cerrados). («Fuente conmutada», 2017)

Entre las principales ventajas de este método están menor tamaño y peso del núcleo, mayor eficiencia y por lo tanto , que es de lo más importante , un menor calentamiento.

Las desventajas comparándolas con fuentes lineales es que son más complejas , aunque la mayor desventaja es la generación de ruido eléctrico de alta frecuencia , por lo tanto puede alterar otros aparatos electrónicos , conque conviene aislarlos.

De los conmutados hay de tipo:

-ca/ca:Estos se les llama variadores de frecuencia

-ca/cc:Estos suelen tener un esquema tipo rectificador, conmutador, transformador, rectificador de salida, filtro...

-cc/ca:Estos son los llamados inversores

-cc/cc:Estos son conversores de voltaje o de corriente.

Marco Teórico

Los que nos interesan son el CA/CC y el CC/CC. Porqué las principales funciones que se necesitan son la de transformación de 230V50Hz corriente alterna a 12V corriente continua y de 12V corriente continua a 5V corriente continua.

Tabla 1: Tabla obtenida de Fuentes conmutadas, 2017

Topología	Potencia (W)	Eficiencia (típica)	Costo relativo	Tensiones (V)	Aislamiento	Almacenaje de energía	Relación de tensión	Características
Buck	0-1000	75%	1.0	5-1000*	No	Inductor Simple	V salida < V entrada	Disminuir Tensión
Boost	0-150	78%	1.0	5-600*	No	Inductor Simple	V salida > V entrada	Aumentar Tensión
Buck-boost	0-150	78%	1.0	5-600*	No	Inductor Simple	V salida mayor o menor que V entrada	Permite invertir la salida
Flyback	0-150	78%	1.0	5-600	SI	Transformador	V salida mayor o menor que V entrada	Salidas Múltiples
Half-Forward	0-250	75%	1.2	5-500	SI	Transformador + inductor		
Forward					SI	Transformador + inductor		Salidas Múltiples
Push-Pull	100-1000	72%	1.75	50-1000	SI			
Semipunte Half-bridge	0-500	72%	1.9	50-1000	SI			
Puente H completo	400-2000	69%	>2.0	50-1000	SI			
Resonante, conmutada en cruce por cero	>1000		>2.0					
Ćuk					No	Condensador + dos inductores		-
SEPIC					No	Dos inductores	V salida mayor o menor que V entrada	
Multiplicador de tensión	0.1-1	90%	0.2	500-100000	No	Condensador	V salida >> V entrada	Los multiplicadores de tensión se utilizan para generar muy altas tensiones.

Aquí un cuadro comparando las distintas tecnologías de fuentes conmutadas y sus principales características:

Y un ejemplo de fuente conmutada, en este caso es un dc/dc de tecnología Buck de 12 a 5V:

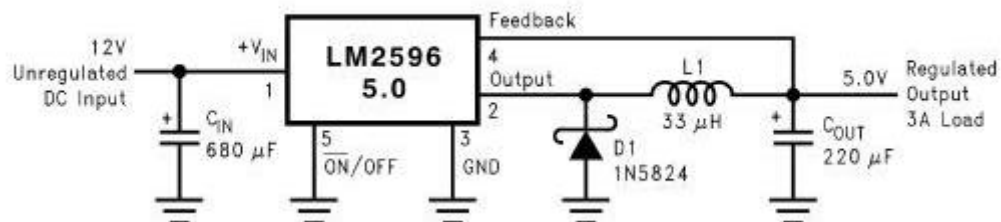


Ilustración 22: Foto obtenida de Fuente conmutada», 2017

Y un segundo ejemplo de una fuente de alimentación a 230/5hz a 12V.





Ilustración 23:Foto obtenida de Fuente de poder tipo Switching 220V AC a 12V DC 25A», 2016

## 2.4. ENCODER

El encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica sirve para indicar la posición angular de un eje, velocidad y aceleración del rotor de un motor. («Codificador rotatorio», 2018)

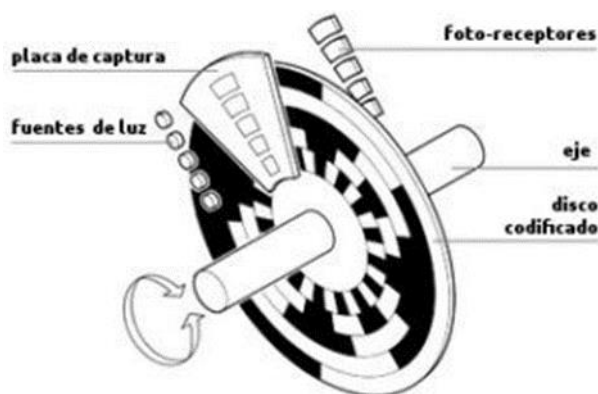


Ilustración 24:Foto obtenida de Codificador rotatorio», 2018

Un encoder se compone de un disco conectado a un eje giratorio. El disco está hecho de un material que puede ser transparente como el vidrio o plástico y se codifica con unas partes transparentes y otras opacas que bloquean el paso de la luz emitida por la fuente de luz. En la mayoría de los casos, estas áreas opacas están arregladas de forma radial.

A medida que el eje rota, el emisor infrarrojo emite luz que es recibida por el sensor óptico o foto-transistor generando los pulsos digitales a medida que la luz cruza a través del disco o es bloqueada en diferentes secciones de este. Esto produce una secuencia que puede ser usada para controlar el radio de giro, la dirección del movimiento e incluso la velocidad.

Existen distintas tecnologías para los tipos de encoders:

### 2.4.1. Encoder incremental

El encoder incremental es un encoder que determina el ángulo de posición por medio de realizar cuentas incrementales.

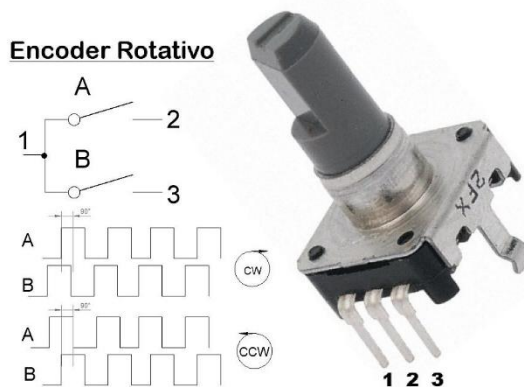
Esto quiere decir que el encoder incremental provee una posición estratégica desde donde siempre comenzará la cuenta. La posición actual del encoder es incremental cuando es comparada con la última posición registrada por el sensor.

A su vez dentro de los encoders incrementales existen distintos tipos:

#### 2.4.1.1. Encoder de cuadratura

Encoder de cuadratura corresponde a un tipo de encoder incremental que utiliza dos sensores ópticos posicionados con un desplazamiento de 1/4 de ranura el uno del

otro, generando dos señales de pulsos digitales desfasada en 90° o en cuadratura. A estas señales de salida, se les llama comúnmente A y B. Mediante ellas es posible suministrar los datos de posición, velocidad y dirección de rotación del eje. Si se incluye la señal de referencia, se le denomina I (índice).



*Ilustración 25 Foto obtenida de Encoder de cuadratura óptico - Geekbot Electronics», 2018*

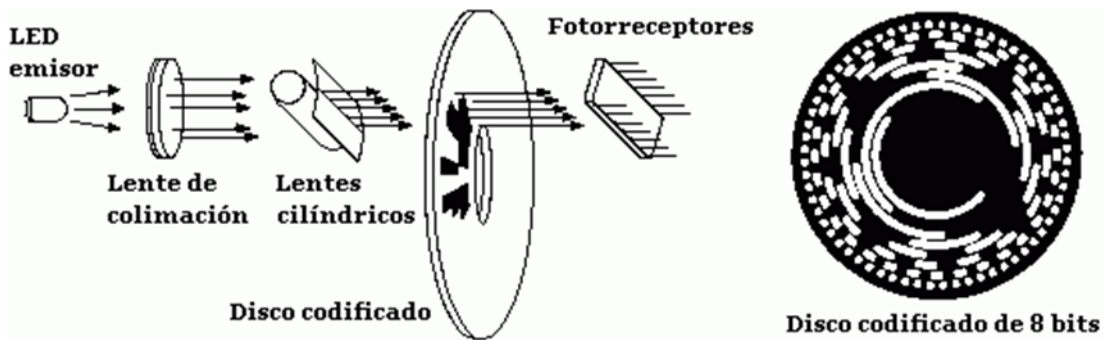
## 2.4.2. Encoder absoluto

: Se basa en la información proveída para determinar la posición absoluta en secuencia. Un encoder absoluto ofrece un código único para cada posición.

Estos encoders se dividen determinando del número de vueltas que puede leer.

-Monovuelta: Dividen una revolución mecánica en un número determinado de pasos de medición. Tras una revolución completa, los valores de medición se repiten.

-Multivuelta: No sólo registran la posición angular, sino que también cuentan las revoluciones. La emisión de las señales se efectúa ya sea a través de una interfaz SSI o de un sistema de bus tipo CAN o Profibus.



*Ilustración 26:Foto obtenida de Codificador rotatorio», 2018*

## 2.5. MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un chip programable capaz de realizar rutinas o tareas.

Se puede hacer una separación en dos grupos, que son los microcontroladores (que son tan solo el encapsulado), y las placas microcontroladoras.

### 2.5.1. PIC18F4550

Este es un ejemplo del primer grupo, ya que tan solo viene el pic, y se tiene que hacer el puerto serie y las salidas en una PCB, o en una protoboard.

Puede soportar un bus usb 2.0, 1Kbyte de ram, convertidor A/D de 10 bits, frecuencia de operación de 48Mhz, 32678 bits dedicados al programa, 2048 bits de datos, 256 bits dedicados a la EEPROM, comunicaciones serie MSSP Enhanced USART, 13 canales A/D.

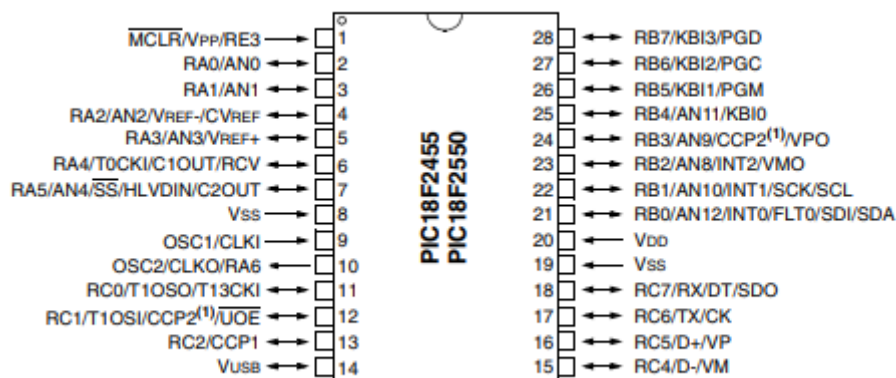


Ilustración 27: Foto obtenida de PIC18F2455-I/SP CMOS Microcontrolador Microchip», 2018

### 2.5.2. Placas microcontroladoras

Es el microcontrolador, con una placa, la cual ya de por si le aporta un uso más cómodo, y que vienen con las protecciones, puerto de acceso a pc ...

#### 2.5.2.1. Arduino

Esta es un grupo de placas microcontroladoras que son conocidas por el bajo coste y la fácil programación.

Aquí hay una tabla con los distintos productos Arduino, donde se pueden ver sus especificaciones.

Tabla 2: Modelos de Arduino atmega

Name	Processor	Operating/Input Voltage	CPU Speed	Analog In/Out	Digital IO/PWM	EEPROM [kB]	SRAM [kB]	Flash [kB]	USB	UART
<b>101</b>	Intel® Curie	3.3 V / 7-12V	32MHz	6/0	14/4	-	24	196	Regular	-
<b>Gemma</b>	ATtiny85	3.3 V / 4-16 V	8 MHz	1/0	3/2	0.5	0.5	8	Micro	0
<b>LilyPad</b>	ATmega168V ATmega328P	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8MHz	6/0	14/6	0.512	1	16	-	-
<b>LilyPad SimpleSnap</b>	ATmega328P	2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V	8 MHz	4/0	9/4	1	2	32	-	-
<b>LilyPad USB</b>	ATmega32U4	3.3 V / 3.8-5 V	8 MHz	4/0	9/4	1	2.5	32	Micro	-
<b>Mega 2560</b>	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
<b>Micro</b>	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1
<b>MKR1000</b>	SAMD21 Cortex-M0+	3.3 V / 5V	48MHz	7/1	8/4	-	32	256	Micro	1
<b>Pro</b>	ATmega168 ATmega328P	3.3 V / 3.35-12 V 5 V / 5-12 V	8 MHz 16 MHz	6/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32	-	1
<b>Pro Mini</b>	ATmega328P	3.3 V / 3.35-12 V 5 V / 5-12 V	8 MHz 16 MHz	6/0	14/6	1	2	32	-	1
<b>Uno</b>	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz	6/0	14/6	1	2	32	Regular	1
<b>Zero</b>	ATSAMD21G18	3.3 V / 7-12 V	48 MHz	6/1	14/10	-	32	256	2 Micro	2
<b>Due</b>	ATSAM3X8E	3.3 V / 7-12 V	84 MHz	12/2	54/12	-	96	512	2 Micro	4
<b>Esplora</b>	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	-	-	1	2.5	32	Micro	-
<b>Ethernet</b>	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz	6/0	14/4	1	2	32	Regular	-
<b>Leonardo</b>	ATmega32U4	5 V / 7-12 V	16 MHz	12/0	20/7	1	2.5	32	Micro	1
<b>Mega ADK</b>	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	54/15	4	8	256	Regular	4
<b>Mini</b>	ATmega328P	5 V / 7-9 V	16 MHz	8/0	14/6	1	2	32	-	-
<b>Nano</b>	ATmega168 ATmega328P	5 V / 7-9 V	16 MHz	8/0	14/6	0.512 1	1 2	16 32	Mini	1
<b>Yún</b>	ATmega32U4 AR9331 Linux	5 V	16 MHz 400MHz	12/0	20/7	1	2.5 16MB	32 64MB	Micro	1
<b>Arduino Robot</b>	ATmega32u4	5 V	16 MHz	6/0	20/6	1 KB (ATmega32u4)/ 512 Kbit (I2C)	2.5 KB (ATmega32u4)	32 KB (ATmega32u4) of which 4 KB used by bootloader	1	1
<b>MKRZero</b>	SAMD21 Cortex-M0+ 32bit low power ARM MCU	3.3 V	48 MHz	7 (ADC 8/10/12 bit)/1 (DAC 10 bit)	22/12	No	32 KB	256 KB	1	1

### 2.5.2.2. *Rasbeeri pi*

Esta es otra placa microcontroladora, que suele ser más potente que Arduino , pero a su vez mas cara.No hay que olvidar que rasbeery pi , a diferencia de Arduino necesita un so para funcionar , eso le da las venajas y los inconvenientes del pc.

Sus especificaciones son:

Procesador:

Chipset Broadcom BCM2387.

1,2 GHz de cuatro núcleos ARM Cortex-A53

GPU

Dual Core VideoCore IV ® Multimedia Co-procesador. Proporciona Open GL ES 2.0, OpenVG acelerado por hardware, y 1080p30 H.264 de alto perfil de decodificación.

Capaz de 1 Gpixel / s, 1.5Gtexel / s o 24 GFLOPs con el filtrado de texturas y la infraestructura DMA

RAM: 1GB LPDDR2.

Conectividad

Ethernet socket Ethernet 10/100 BaseT

802.11 b / g / n LAN inalámbrica y Bluetooth 4.1 (Classic Bluetooth y LE)

Salida de vídeo

HDMI rev 1.3 y 1.4

RCA compuesto (PAL y NTSC)

Salida de audio

jack de 3,5 mm de salida de audio, HDMI

USB 4 x Conector USB 2.0

Conector GPIO

40-clavijas de 2,54 mm (100 milésimas de pulgada) de expansión: 2x20 tira

Proporcionar 27 pines GPIO, así como 3,3 V, +5 V y GND líneas de suministro

Conector de la cámara de 15 pines cámara MIPI interfaz en serie (CSI-2)

Pantalla de visualización Conector de la interfaz de serie (DSI) Conector de 15 vías plana flex cable con dos carriles de datos y un carril de reloj.

Ranura de tarjeta de memoria Empuje / tire Micro SDIO.

(«Raspberry Pi 3 Modelo B+», 2018)

## 2.6. ACCIONAMIENTO MECÁNICO

El accionamiento mecánico se utiliza para transmitir la fuerza de el motor a la plataforma superior.

Hay distintos tipos pero nos vamos a centrar en dos

### 2.6.1. Biela -Manivela

Este a sido el más repetido entre los antecedentes.

Este mecanismo tiene la ventaja de tener un montaje simple , constando solo de un motor(normalmente servomotor),una biela conectada a este y por ultimo una manivela que conecta la biela con la parte móvil(por cada accionador).



*Ilustración 28:Imagen obtenida de Natalia Ximena Gonzalez Alvarez, 2011*

El punto negativo de este funcionamiento radica en su simpleza ya que en únicamente un giro del motor , ha estado en todas las posiciones (a diferencia de otras , que por ejemplo un giro hace mover ligeramente), por lo tanto el seguimiento y la monitorización de este tipo es difícil , y por lo tanto se pierde precisión.

Por lo tanto se optara por un mecanismo que tenga un mayor grado de precisión , como también se cito en las conclusiones de los antecedentes.

## 2.6.2. Tornillo sin fin

Un tornillo sin fin o husillo es uno de los sistemas de engranajes que permite transformar el movimiento de rotación generado por un motor eléctrico en un desplazamiento lineal en una dirección perpendicular al eje del motor. Es un sistema mecánico formado por elementos helicoidales engranados. Hay que decir en el sistema de husillos aparte, que dependiendo del paso del propio husillo la velocidad de ascenso del mecanismo variara (paso mayor provoca tener que dar menos vueltas para llegar que con husillos con paso menor).

La formula que calcula la fuerza resultante en el husillo es la siguiente:

Si desplegamos un plano (un triangulo rectángulo) tendría una base que se corresponde con el perímetro del husillo , que sería  $2\pi R$  y una altura que se correspondería con el paso del husillo y en la relación base/altura tendrías la relación de multiplicación de fuerza.



*Ilustración 29:Foto obtenida de Husillos de bolas de los fabricantes líderes Hiwin y SBC en España. Comprar husillos de bolas en España con entrega gratis», 2018*

## 2.6.3. Rotula

Es parte del mecanismo mecánico, pero es complementaria a las dos anteriores.

Una rótula esférica es un tipo de par cinemático con tres grados de libertad que permite un relativo movimiento dentro de cierto ángulo en todos los planos que pasan por una línea. Aunque tenga tres grados de libertad, la amplitud del movimiento en dos de ellos está limitada.



*Ilustración 30:Imagen obtenida de Cabeza de rótula macho-hembra / hembra / de acero / autolubricante - CF OK series - Chiavette Unificate S.p.A.», 2018*



## 2.7. FINAL DE CARRERA

Se encuentra el final de carrera o sensor de contacto, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido o de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. («Sensor final de carrera», 2018)



*Ilustración 31:Foto obtenida de Sensor final de carrera», 2018*

Estos sensores tienen dos tipos de funcionamiento: normalmente abierto o normalmente cerrado.

En el modo de normalmente cerrado el sensor se activa cuando el elemento a controlar tiene una tarea que hace que el eje se eleve y se conecte con el objeto móvil con el contacto. Cuando el resorte de presión se rompe, el sensor se queda desconectado.

El modo normalmente abierto es la inversa del modo anterior, cuando el objeto controlado tiene un saliente que empuje el eje hacia abajo, forzando el resorte de copa y haciendo que se cierre el circuito.

Entre las ventajas encontramos la facilidad en la instalación, la robustez del sistema, es insensible a estados transitorios, debido a la inexistencia de imanes es inmune a la electricidad estática.

Los inconvenientes de este dispositivo son la velocidad de detección y la posibilidad de rebotes en el contacto, además depende de la fuerza de actuación.

## 2.8. SENSORES DE INCLINACIÓN

Los sensores de inclinación o inclinómetros están pensados para la conversión de una magnitud física en una eléctrica. En este caso, la inclinación es la magnitud física.

El rango de un inclinómetro puede partir de unos pocos grados, para las medidas de inclinación con mucha precisión, hasta el giro completo de 360°. En cuanto a la señal de salida puede ser proporcional al ángulo o proporcional al seno del ángulo, pudiendo ser en corriente, tensión o digital. («Inclinómetro», 2017)

---

Marco Teórico

Los formatos son muy diversos, con encapsulados o carcasas de diferentes materiales, plástico, aluminio, acero inoxidable, etc. Con protecciones hasta IP68 (sumergibles).

Los inclinómetros , dada su tecnología , pueden ser:

-Inclinómetros capacitivos: Son sensores de inclinación en los que la variación de inclinación se traduce en una variación de la capacidad entre las placas del sensor, que actuando como un condensador, varía la señal de salida, según lo haga la inclinación.

-Inclinómetros de conductividad : basan su principio de funcionamiento en la conductividad. Para medir la inclinación se mide el nivel de conductividad que hay entre dos electrodos, de tal forma que al inclinarse uno de los dos electrodos tiene más conductividad que el otro y de ahí se deduce el nivel de inclinación. Posteriormente cuenta con una etapa electrónica gobernada por un microprocesador que lineariza y compensa las desviaciones de la señal, lo que lo hace muy preciso en diferentes circunstancias de trabajo.

-Inclinómetros biaxiales: son sensores de inclinación de dos ejes, pensados para la medida simultánea de los ejes X e Y. Aunque en realidad son dos inclinómetros mono axiales con dos salidas (una de cada inclinómetro).

Inclinómetros OEM : son inclinómetros económicos, por lo que están pensados para aplicaciones en grandes series. Este solo cuenta con elemento sensor, lo más básico posible, para abaratar costes en la electrónica asociada y en su encapsulado, es factible en aplicaciones para medias , para las que se realiza un diseño a medida y se desarrolla todo lo necesario en torno al puro elemento de inclinación.

## 2.9. SENSORES ACELEROMÉTRICOS

Un acelerómetro es un sensor que mide la aceleración de un cuerpo.

Hay distintos tipos de acelerómetro dependiendo su tecnología:

### 2.9.1. *Acelerómetro mecánico*

Su funcionamiento se basa en unir una masa a un dinamómetro cuyo eje está en la misma dirección que la aceleración que se desea medir.

Gracias a la segunda ley de newton , el dinamómetro permite medir el módulo de Fuerza, de modo que se puede conocer el módulo de la aceleración .

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$

Esta es la ecuación que permite calcular la aceleración.

(«Acelerómetro», 2017)

### 2.9.2. Acelerómetro Piezoeléctrico

El acelerómetro piezoeléctrico por compresión se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.



Ilustración 32:Foto obtenida de «Acelerómetro», 2017

Los elementos piezoeléctricos se encuentran comprimidos por una masa, sujeta al otro lado por un muelle y todo el conjunto dentro de una caja metálica. Cuando el conjunto es sometido a vibración, el disco piezoeléctrico se ve sometido a una fuerza variable, proporcional a la aceleración de la masa.

Una de las ventajas principales de este tipo de transductor es que se puede hacer tan pequeño que su influencia sea despreciable sobre el dispositivo vibrador.

Un acelerómetro también es usado para determinar la posición de un cuerpo, pues al conocerse su aceleración en todo momento, es posible calcular los desplazamientos que tuvo. Considerando que se conocen la posición y velocidad original del cuerpo bajo análisis, y sumando los desplazamientos

medidos se determina la posición.

### 2.9.3. Acelerómetros de efecto Hall

Estos acelerómetros utilizan una masa sísmica donde se coloca un imán y un sensor de efecto Hall que detecta cambios en el campo magnético

### 2.9.4. Acelerómetros de condensador

---

Marco Teórico

Miden el cambio de capacidad eléctrica de un condensador mediante una masa sísmica situada entre las placas del mismo, que al moverse hace cambiar la corriente que circula entre las placas del capacitor.

### 3. DESARROLLO

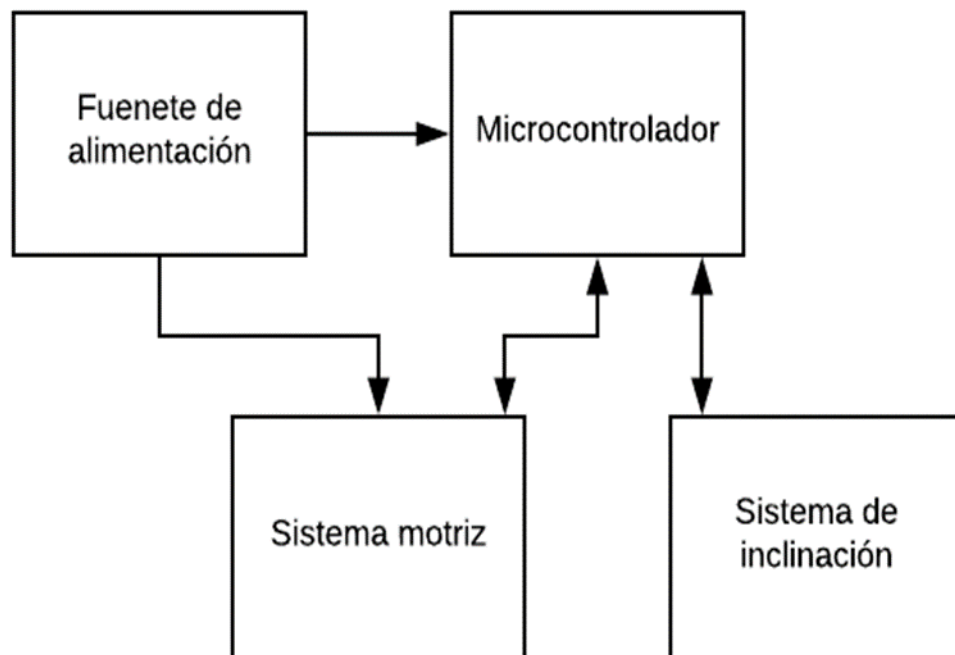
En este apartado se hará un desarrollo sobre el diseño de la plataforma , ya sea mecánico , electrónico...

#### 3.1. DISEÑO GLOBAL

En este apartado se realiza el diseño global del sistema.

##### 3.1.1. Diagrama de bajo nivel

En este diagrama, se separa la plataforma en sistemas que realizan una acción definida.



*Ilustración 33: Diagrama de bajo nivel*

En este caso se ha separado en cuatro sistema, que son la fuente de alimentación, que se encarga de obtener la corriente necearía para alimentar a los otros sistemas, el microcontrolador que se encarga de controlar y ordenar a los otros sistemas, el sistema

Desarrollo

motriz , que se encarga de mover la plataforma y por ultimo el sistema de inclinación que se encarga de obtener la inclinación de la plataforma.

### 3.1.2. Diagrama de alto nivel

Este diagrama se separa del anterior por la profundidad, llegando al grado de nombrar los componentes.

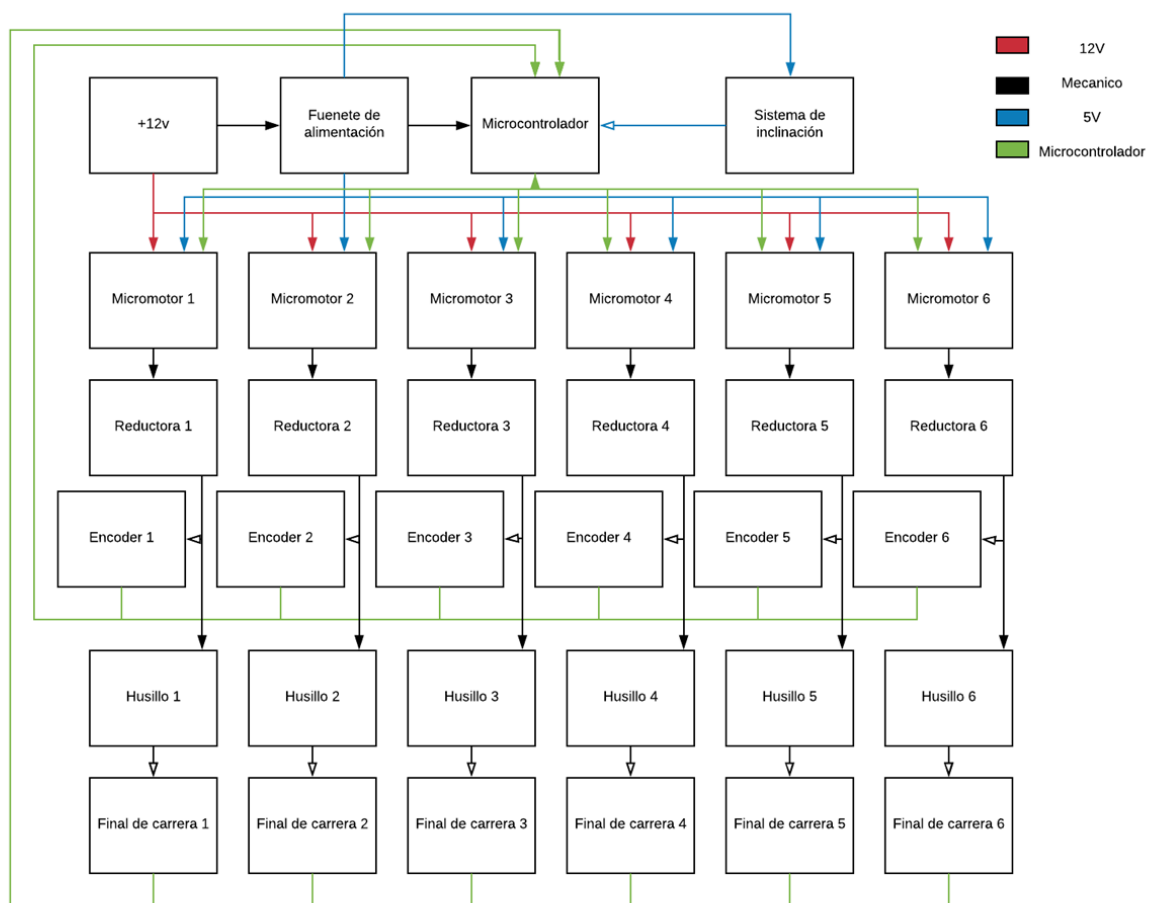
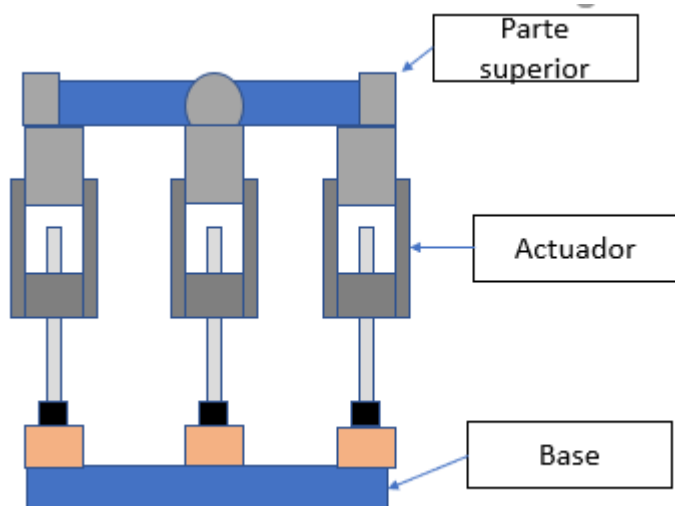


Ilustración 34: Diagrama de alto nivel

### 3.1.3. Layout

En este apartado, se verán los componentes superpuestos en una posible forma final.



Esta puede verse de frente.

Ilustración 35: Layout frente

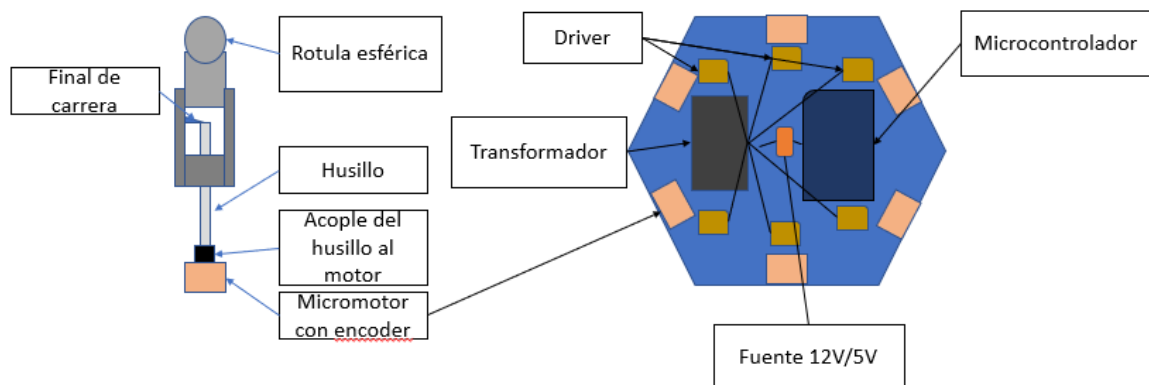
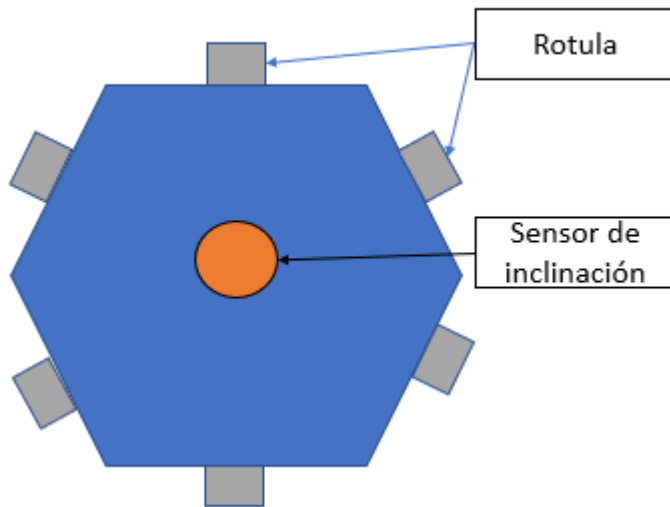


Ilustración 36: Layout 2

Estos son el actuador y la base de la plataforma

Desarrollo



*Ilustración 37: Layout plataforma móvil*

Esta se ve la parte móvil de la plataforma

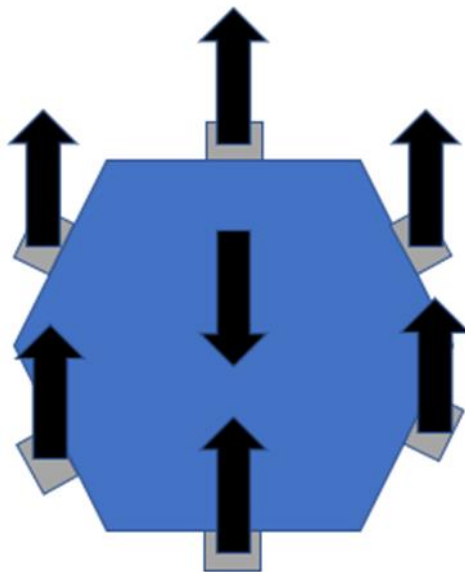


## 3.2. DISEÑO MECÁNICO

En este apartado se abordará el diseño mecánico del robot .

### 3.2.1. Estudio de fuerzas

Para empezar a dar valores a la estructura del robot , se tiene que tener en cuenta las fuerzas que este deberá de soportar .



La situación en cuanto a fuerzas se puede suponer ésta , en la parte superior , ejerciendo una fuerza hacia abajo la antena de 2Kg aprox y los actuadores haciendo fuerza hacia arriba.

Ilustración 38:Fuerzas

$$\sum Fy = 0 \Rightarrow 2Kg \times \frac{9.81m}{s^2} = 6 \times Fact$$

$$Fact=3.27N$$

$$Mz = 0 \Rightarrow Fact * R + 2 * Fact * \frac{\sin\pi}{6} * R = Fact * R + 2 * Fact * \frac{\sin\pi}{6} * R$$

Desarrollo

Después, en el actuador no cambiará la fuerza hasta llegar hasta el husillo donde la fuerza ejercida por este deberá de ser como mínimo igual para que se mantenga estable.

En el husillo ocurrirá un multiplicador de fuerza que sigue la ecuación:

$$M = 2 \times \pi \times \frac{R_{\text{husillo}}}{\text{paso}}$$

Entonces la fuerza del motor deberá de ser igual a :

$$F_{\text{motor}} = \frac{F_{\text{act}}}{M}$$

### 3.2.2. Calculo de esfuerzos de la estructura

Empezando por la pare móvil , ese se va a simplificar siendo una viga bidimensional con dos apoyos; Esta estructura bidimensional es más peligrosa que la auténtica(ya que la autentica el peso se reparte en seis puntos), conque si las dimensiones dadas a esta aguantan , la auténtica estructura aguantará.

Como el movimiento en los laterales es de 2GDL , se utilizaran apoyos simples en vez de empotramientos.

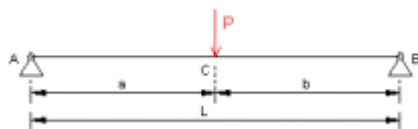
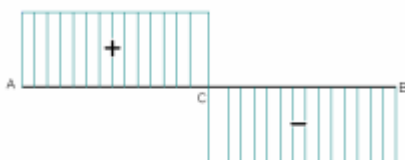


Ilustración 39:Fuerzas

Al dividirse únicamente en dos puntos, las Fuerzas Reactivas Ra y Rb, en vez de ser P/6 , Pasan a ser P/2 , conque ambas son 9.8N.

Una vez dicho esto, el cortante , desde el punto A hasta C es 9.8Ny desde C hasta B es de -9.8N.

#### Diagrama de esfuerzos cortantes



#### Diagrama de momento flector

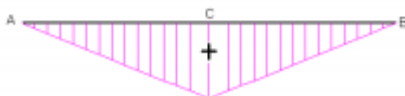


Ilustración 40:Esfuerzos parte superior

Mientras que los momentos serán de A hasta C, seguirá la ecuación  $M=1*x$  y desde C hasta B seguirán la ecuación  $M=1*(L-x)$  siendo x el desplazamiento y L la longitud de la barra. El momento máximo está en el punto C, que valdrá en este caso es de  $5kp*cm$ .

$$W = b * \frac{h^2}{6} = 1 * \frac{2^2}{6} = .033cm^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{5}{0.33} = 15.15kg/cm^2$$

La tensión cortante es igual a  $\tau = \frac{V}{A} = \frac{1Kg}{2cm^2} = \frac{0.5kg}{cm^2}$

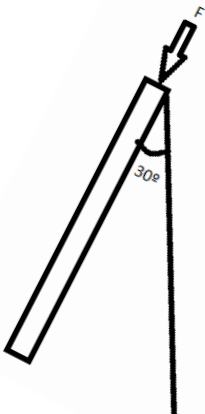
$$\sigma_{vm} = \sqrt{15.15^2 + 3 * 0.5^2} = \frac{15.174kg}{cm^2}$$

Siendo  $\sigma_{Al} \frac{1200kg}{cm^2}$ , el coeficiente de seguridad será  $N = \frac{1200}{15.17} = 79.03$

Siendo un coeficiente de seguridad tan alto, se puede asegurar que la parte superior aguantará.

Una vez seguros que la parte superior de la estructura podrá aguantar el peso, vamos a mirar los brazos, donde hay dos puntos que parecen tener mayor riesgo que los demás, uno es la barra de unión entre la rótula y el husillo y el segundo es el propio husillo. He escogido el primero por su poca área y el segundo porque tiene un área relativamente pequeño y mayor fuerza que el primero.

En ambos casos hay un esfuerzo axial, y por la leve inclinación de los brazos, un momento flector.



El primero tiene un área de  $1mm \times 3.46mm = 0.0346cm^2$  y tiene que soportar un esfuerzo axial de  $0.16kg$

$$\sigma = \frac{0.16}{0.0346} = 4.8169kg/cm^2$$

El momento flector, se va a hacer en el punto inferior de la pieza, ya que es el más momento. En ese caso sería la fuerza axial multiplicado por el seno del ángulo, que es 30.

$$0.16 * \sin(30) = 0.08kg$$

Por último, para el momento se necesita la distancia, que es la longitud desde el principio del brazo (desde la parte superior de la estructura) hasta el punto deseado multiplicado por el coseno del ángulo.

$$L = (45 + 36) * \cos(30) = 70.14mm = 7.014cm$$

Entonces el momento flector es de  $0.008kg * 7.014cm = 0.56kg * cm$

$$W = b * \frac{h^2}{6} = 0.1 * \frac{0.3^2}{6} = 0.0015cm^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{0.56}{0.0015} = 373.33kg/cm^2$$

Para conseguir la tensión total del punto, se tiene que sumar la tensión axial con el flector.

$$4.8169 + 373.33 = 378.14kg/cm^2$$

---

Desarrollo

Por ultimo se compara con la tensión del aluminio , que es 1200kg/cm<sup>2</sup> , y se obtiene el coeficiente de seguridad

$$N = \frac{1200}{378.14} = 3.173$$

El segundo es un cilindro de M3 conque tiene un ara de  $A = \pi * R^2 = 0.07 \text{cm}^2$

Y el esfuerzo que tiene que mantener es de 0.33kg

$$\sigma = \frac{0.33}{0.07} = 4.71 \text{kg/cm}^2$$

Para obtener la fuerza eficaz del momento flector , se tiene que multiplicar por el seno del angulo(30°)

$$0.33 \text{kg} * \sin(30) = 0.165$$

Y después la longitud desde la segunda plataforma , hasta el punto mas bajo del husillo multiplicado por el coseno de 30.

$$L(4.5 + 3.6 + 4.5) * \cos(30) = 10.91$$

El momento flector será igual a  $0.165 * 10.91 = 1.8 \text{kg} * \text{cm}^2$

$$W = \pi * \frac{r^3}{4} = \pi * \frac{0.15^3}{4} = 0.00265 \text{cm}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{1.8}{0.00265} = 679.24 \text{kg/cm}^2$$

$$N = \frac{1200}{679.24} = 1.76$$

Ambos puntos tienen un coeficiente de seguridad, mayor de uno ,conque no deberían suponer un problema.

### 3.3. ESTUDIO CINEMÁTICO

En este subapartado nos vamos a centrar en la cinemática, en la posición de los actuadores cuando la plataforma móvil esté en una posición determinada.

Empecemos con la posición de los nexos entre la plataforma superior y los actuadores.

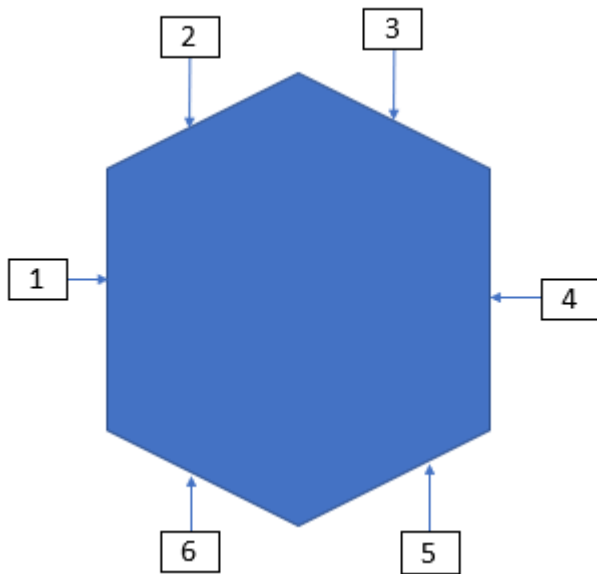


Ilustración 41: Puntos de unión

Como se ve en la imagen, hay seis puntos, siendo el centro de la plataforma el punto (0,0,0) que si se corresponden a coordenadas del eje x son:

$$X1 = Px - 50$$

$$X2 = Px - 50 * \cos 60$$

$$X3 = Px + 50 * \cos 60$$

$$X4 = Px + 50$$

$$X5 = Px + 50 * \cos 60$$

$$X6 = Px - 50 * \cos 60$$

Sin embargo, si se rota en torno a sus ejes, las coordenadas pueden cambiar.

Si se les añade pitch (rotación en torno al eje y), las coordenadas x se le tiene que multiplicar por el coseno del ángulo de este, quedando los puntos:

$$X1 = Px - 50 * \cos \lambda$$

$$X2 = Px - 50 * \cos 60 * \cos \lambda$$

$$X3 = Px + 50 * \cos 60 * \cos \lambda$$

$$X4 = Px + 50 * \cos \lambda$$

$$X5 = Px + 50 * \cos 60 * \cos \lambda$$

$$X6 = Px - 50 * \cos 60 * \cos \lambda$$

Al rol (rotación en torno al eje x) no hay efecto en las x.

## Desarrollo

Al yaw (rotación en torno al eje z) las coordenadas se ven afectadas con multiplicación por el coseno del ángulo. Las x quedan:

$$X1 = Px - 50 \cdot \cos \lambda \cdot \cos \mu$$

$$X2 = Px - 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda$$

$$X3 = Px + 50 \cdot \cos(60 - \mu) \cdot \cos \lambda$$

$$X4 = Px + 50 \cdot \cos \lambda \cdot \cos \mu$$

$$X5 = Px + 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda$$

$$X6 = Px - 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda$$

Una vez ya tenemos el eje x, procederemos a tener el eje y

$$Y1 = Py$$

$$Y2 = Py + 50 \cdot \sin 60$$

$$Y3 = Py + 50 \cdot \sin 60$$

$$Y4 = Py$$

$$Y5 = Py - 50 \cdot \sin 60$$

$$Y6 = Py - 50 \cdot \sin 60$$

Este eje no tiene cambios con el uso de pitch

Si que tiene cambios con el uso de roll, la y quedan:

$$Y1 = Py + 0 \cdot \cos \eta$$

$$Y2 = Py + 50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta$$

$$Y3 = Py + 50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta$$

$$Y4 = Py + 0 \cdot \cos \eta$$

$$Y5 = Py - 50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta$$

$$Y6 = Py - 50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta$$

Para terminar con las coordenadas de y se les añadirá el yaw

$$Y1 = Py + 50 \cdot \sin \mu \cdot \cos \eta$$

$$Y2 = Py + 50 \cdot (\sin 60 + \mu) \cdot \cos \eta$$

$$Y3 = Py + 50 \cdot \sin(60 - \mu) \cdot \cos \eta$$

$$Y4 = P_y + 50 \cdot \sin \mu \cdot \cos \eta$$

$$Y5 = P_y - 50 \cdot \sin(60 + \mu) \cdot \cos \eta$$

$$Y6 = P_y - 50 \cdot \sin(60 - \mu) \cdot \cos \eta$$

Por ultimo ,las coordenadas del eje z en un principio son todas 0 , pero al añadirle pitch y roll, quedan:

$$Z1 = P_z - 50 \cdot \sin \lambda$$

$$Z2 = P_z - 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + 50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta$$

$$Z3 = P_z + 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + 50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta$$

$$Z4 = P_z + 50 \cdot \sin \lambda$$

$$Z5 = P_z + 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda - 50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta$$

$$Z6 = P_z - 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda - 50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta$$

El yaw no afecta a las coordenadas del eje z.

Una vez tenemos todas las coordenadas de los es ejes , tenemos que restarle las coordenadas del punto de la plataforma baja para obtener el vector que las une, quedando:

$$X1 = P_x - 50 \cdot \cos \lambda \cdot \cos \mu + 125$$

$$X2 = P_x - 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda + 125 \cdot \cos 60$$

$$X3 = P_x + 50 \cdot \cos(60 - \mu) \cdot \cos \lambda - 125 \cdot \cos 60$$

$$X4 = P_x + 50 \cdot \cos \lambda \cdot \cos \mu - 125$$

$$X5 = P_x + 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda - 125 \cdot \cos 60$$

$$X6 = P_x - 50 \cdot \cos(60 - \mu) \cdot \cos \lambda + 125 \cdot \cos 60$$

$$Y1 = P_y + 50 \cdot \sin \mu \cdot \cos \eta$$

$$Y2 = P_y + 50 \cdot (\sin 60 + \mu) \cdot \cos \eta - 125 \cdot \sin 60$$

$$Y3 = P_y + 50 \cdot \sin(60 - \mu) \cdot \cos \eta - 125 \cdot \sin 60$$

$$Y4 = P_y + 50 \cdot \sin \mu \cdot \cos \eta$$

$$Y5 = P_y - 50 \cdot \sin(60 + \mu) \cdot \cos \eta + 125 \cdot \sin 60$$

$$Y6 = P_y - 50 \cdot \sin(60 - \mu) \cdot \cos \eta + 125 \cdot \sin 60$$

$$Z1 = P_z - 50 \cdot \sin \lambda + 130$$

$$Z2 = P_z - 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + 50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta + 130$$

Desarrollo

$$Z3 = Pz + 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + 50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta + 130$$

$$Z4 = Pz + 50 \cdot \sin \lambda + 130$$

$$Z5 = Pz + 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + -50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta + 130$$

$$Z6 = Pz - 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + -50 \cdot \sin 60 \cdot \sin \eta + 130$$

Ahora se debe de obtener el modulo de cada vector

$$M1 = \sqrt{(Px - 50 \cdot \cos \lambda \cdot \cos \mu + 125)^2 + (Py - 50 \cdot \sin \mu \cdot \cos \eta)^2 + (Pz - 50 \cdot \sin \lambda + 130)^2}$$

$$M2 =$$

$$\sqrt{(Px - 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda + 125 \cdot \cos 60)^2 + (Py + 50 \cdot (\sin 60 + \mu) \cdot \cos \eta - 125 \cdot \sin 60)^2 + (Pz - 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + 50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta + 130)^2}$$

$$M3 =$$

$$\sqrt{(Px + 50 \cdot \cos(60 - \mu) \cdot \cos \lambda - 125 \cdot \cos 60)^2 + (Py + 50 \cdot \sin(60 + \mu) \cdot \cos \eta - 125 \cdot \sin 60)^2 + (Pz + 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + 50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta + 130)^2}$$

$$M4 = \sqrt{(Px + 50 \cdot \cos \lambda \cdot \cos \mu - 125)^2 + (Py + 50 \cdot \sin \mu \cdot \cos \eta)^2 + (Pz + 50 \cdot \sin \lambda + 130)^2}$$

$$M5 =$$

$$\sqrt{(Px + 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda - 125 \cdot \cos 60)^2 + (Py - 50 \cdot \sin(60 - \mu) \cdot \cos \eta + 125 \cdot \sin 60)^2 + (Pz + 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + -50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta + 130)^2}$$

$$M6 =$$

$$\sqrt{(Px - 50 \cdot \cos(60 + \mu) \cdot \cos \lambda + 125 \cdot \cos 60)^2 + (Py - 50 \cdot \sin(60 - \mu) \cdot \cos \eta + 125 \cdot \sin 60)^2 + (Pz - 50 \cdot \cos 60 \cdot \sin \lambda + -50 \cdot \sin 60 \cdot \cos \eta + 130)^2}$$

Ahora que se tiene los módulos , solo se tiene que restar la pare que siempre se mantiene fija de la articulación para saber la longitud que se debe de alargar.

$$L1 = M1 - 134.5$$

$$L2 = M2 - 134.5$$

$$L3 = M3 - 134.5$$

$$L4 = M4 - 134.5$$

$$L5 = M5 - 134.5$$

$$L6 = M6 - 134.5$$

Finalmente , para saber las vueltas que el motor debe de dar , se divide la longitud entre el paso del husillo

$$Q1 = \frac{M1 - 134.5}{0.5}$$

$$Q2 = \frac{M2 - 134.5}{0.5}$$

$$Q3 = \frac{M3 - 134.5}{0.5}$$

$$Q4 = \frac{M4 - 134.5}{0.5}$$



$$Q5 = \frac{M5 - 134.5}{0.5}$$

$$Q6 = \frac{M6 - 134.5}{0.5}$$

Las Q serán el número de vueltas en número entero y si se multiplican por 360 (2π si se calcula en radianes) los decimales para obtener los grados con los que se queda el motor.

### 3.4. ELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Para la elección se empezará por el motor, que se ha escogido en este caso un N20 DC Gear motor M3 \* 55mm largo Motor de rosca 55mm eje 12 V.

Las capacidades de este motor son, un buen par (Entre 0.6y16kg\*cm), capaz de mover la plataforma, el consumo de intensidad en el torque de stall no es muy elevado (1A) y, finalmente, el motor gira a 12V DC, este voltaje es bastante común, haciéndolo compatible con una alta gama de elementos.

Finalmente, este motor va unido a un husillo de M3.

El microcontrolador será un Arduino Mega, teniendo pines suficientes para la alimentación de los motores y de los sensores.

Los encoders de los motores son ratón encoder 11mm rueda decodificador, los cuales son unos encoders rotativos, que indican las vueltas que ha dado el motor por dos canales digitales, los cuales tienen un desfase de 90°.

Los finales de carrera son los interruptor 3 pernos Micro interruptor con mango pequeño, los cuales te dan la opción entre NO y NC, pueden llegar a soportar hasta 1A y 125V.

Para los controladores de los motores se han elegido un puente en H, dada su fácil uso y su eficacia positiva. El controlador escogido es el BD6221F-E2, Controlador de Puente H, Alimentación de 6V a 15V, 1 Salida de 1A, encapsulado de SOP-8.

Se ha decidido que para aumentar la seguridad de el robot, el control y la potencia deben de ir separados, cosa en general en este robot fácil de hacer, excepto en el

## Desarrollo

puente en H , donde la señal que entra es de control y se tiene que alimentar con potencia , por ello se ha decidido utilizar optoacopladores para que la señal digital no llegue a tocarse con la potencia. El optoacoplador escogido es el ILD223T , el cual es de salida Darlington , tiene dos canales , por lo tanto cada puente en H tendrá un optoacoplador con las dos señales digitales, el ncapsulado es de tipo SOIC de 8 pines.

Las fuentes de alineación serán dos fuentes que se alimentan a 230V 50Hz AC y , en el caso de la de control , sacara un output de 5Vdc con un amperio de intensidad , y en el caso de la de potencia tendrá que ser una fuente de 12V DC con 6A de intensidad.

Para la fuente de control se ha escogido una fuente comercial dado lo común que es el voltaje y la poca potencia que requiere, esta fuente es la RAC05-05SK. - POWER SUPPLY, AC-DC, 5V, 1ª , la cual tiene 5w para alimentar lodos los elementos de control , y aparta esta en unas dimensiones en las que se puede poner en la pcb con mucha facilidad.

Para la fuente de potencia , se ha decidido hacerla , porque , pese a que el voltaje sea común , la potencia necesaria de la fuente es muy alta(72W) y , pese a que hay algunas fuentes comerciales que tienen potencia suficiente , se ha preferido por hacerla.

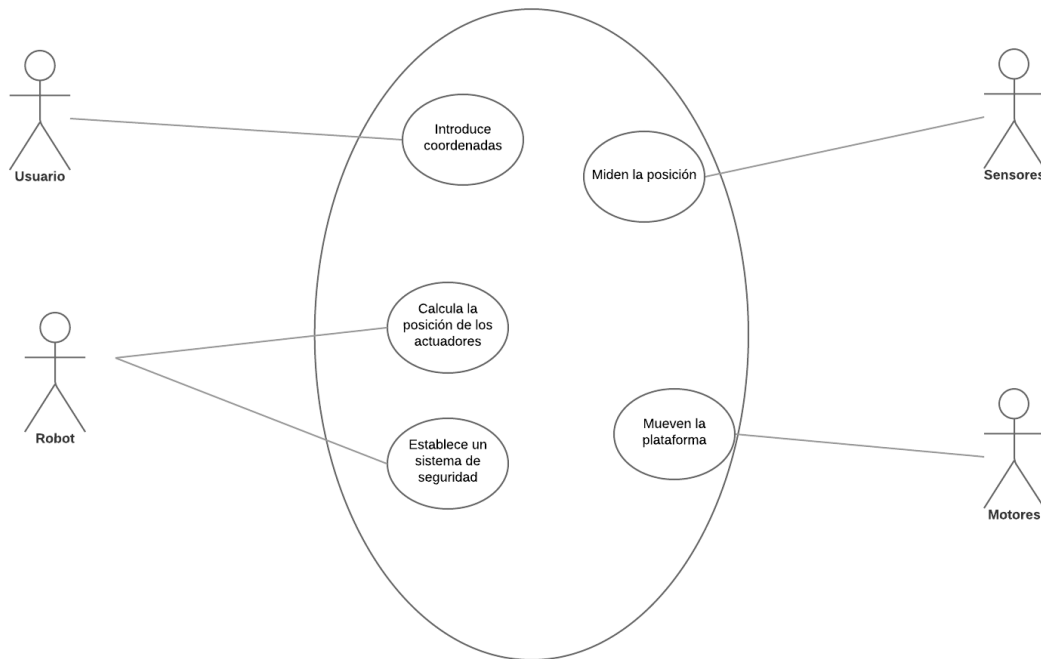
El diseño de la fuente de potencia , esta basado en el integrado UCC28730 ,el cual es un controlador Flyback de Texas instruments .También tiene en el lado del secundario un encapsulado UCC24650 , que es un control del secundario que mide el voltaje de del secundario periódicamente .Este integrado tiene un consumo ínfimo(<5mw) y es una buena elección para una fuente de alta potencia.

### 3.5. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

En este apartado se va a crear una programación para el microcontrolador que controle la plataforma.

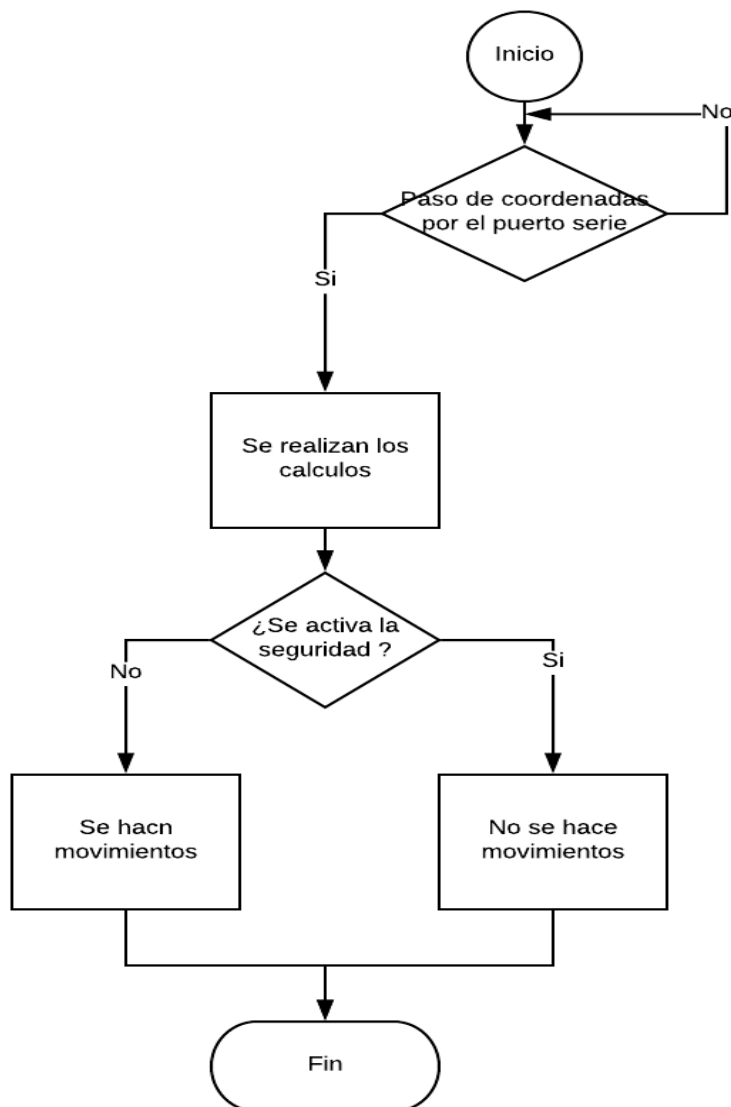
Para la creación del programa se han hecho vario diagramas, tanto de casos de uso como de actividad para planificar el programa.

Los diagramas son:



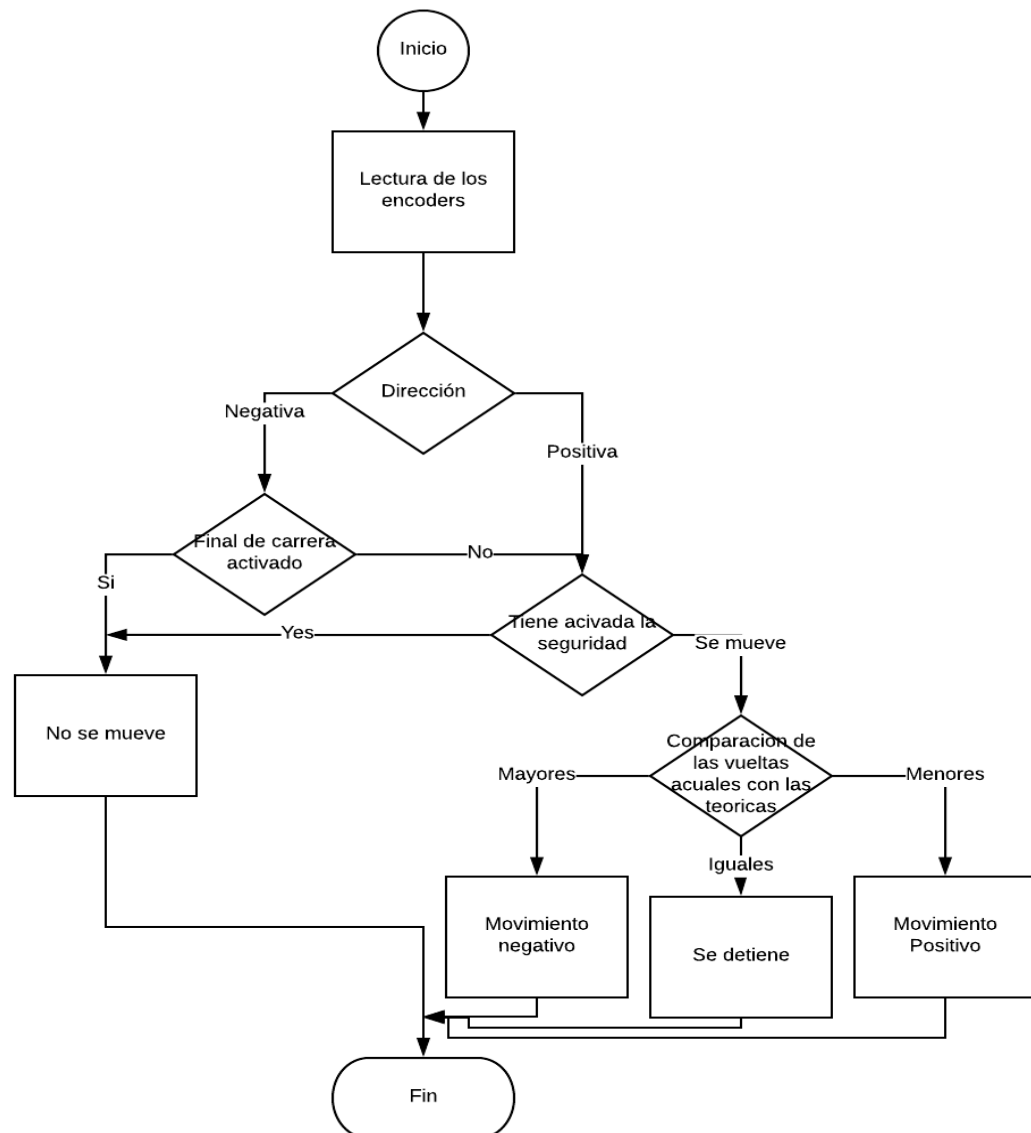
Este es el diagrama de caso de uso , en el cual se la función que tiene el usuario, que es introducir las coordenadas para que el sistema se dirija a ellas, después están los sensores cuya misión es la de medir la posición en la que estén los actuadores , y finalmente están los motores , cuya misión es mover la plataforma , para finalizar el robot calcula la posición de los actuadores , y también establece seguridad para evitar el deterioro del mismo.

Desarrollo



Este primer diagrama de actividad se encarga principalmente de leer las coordenadas provenientes del puerto serie y de realizar los cálculos de cinemática inversa para conocer la posición que deberían estar los actuadores.

Por ultimo tiene un sistema de seguridad para saber si los actuadores pueden moverse esa longitud, en caso de que pueda ser peligroso para la estructura , no se realizará el movimiento.



Este segundo diagrama de actividad se centra en la información que llega de los sensores y la decisión del movimiento , ya que si se mueve en dirección negativa depende de la seguridad digital y de los finales de carrera , mientras que si es positiva tan solo depende de la seguridad digital , si pasa la seguridad , se evalúa la posición actual , comparándola con la posición deseada , y dependiendo del resultado de esta comparación se activa movimiento positivo , negativo o si se a llegado al punto deseado , se apaga el motor.

---

Desarrollo

El código que se obtiene de estos UMLs , como es para un Arduino MEGA , está escrito en lenguaje C , en ambiente Arduino.

El código es el siguiente:

**String cmd;**

**int Px ,Py ,Pz;**

**float pitch , roll , yaw ;**

En ese primer punto se definen las variables globales , que son la variable que estará conectada al puerto serie , y las posiciones del punto central de la plataforma.

**void setup() {**

**Serial.begin(9600);**

**pinMode(23,INPUT);**

**pinMode(24,INPUT);**

**pinMode(25,INPUT);**

**pinMode(26,INPUT);**

**pinMode(27,INPUT);**

**pinMode(28,INPUT);**

**pinMode(29,INPUT);**

**pinMode(30,INPUT);**

**pinMode(31,INPUT);**

**pinMode(32,INPUT);**

**pinMode(33,INPUT);**

**pinMode(22,INPUT);**

**pinMode(48,INPUT);**

**pinMode(49,INPUT);**

**pinMode(50,INPUT);**

**pinMode(51,INPUT);**

**pinMode(52,INPUT);**

```
pinMode(53,INPUT);  
pinMode(2,OUTPUT);  
pinMode(3,OUTPUT);  
pinMode(4,OUTPUT);  
pinMode(5,OUTPUT);  
pinMode(6,OUTPUT);  
pinMode(7,OUTPUT);  
pinMode(8,OUTPUT);  
pinMode(9,OUTPUT);  
pinMode(10,OUTPUT);  
pinMode(11,OUTPUT);  
pinMode(12,OUTPUT);  
pinMode(13,OUTPUT);  
}
```

En esta segunda parte se definen las entradas y salidas del Arduino , que irán conectadas a los sensores o a los actuadores , aparte de ajustar la frecuencia del puerto serie.

```
void loop() {  
  if(Serial.available())  
  {  
    cmd=Serial.readString();  
    //move 12,15,02,10,20,05  
    if(cmd.substring(0,4)=="move")  
    {  
      float pitchg , rollg , yawg;  
      Px=cmd.substring(5,7).toInt();  
      Py=cmd.substring(8,10).toInt();  
      Pz=cmd.substring(11,13).toInt();  
    }  
  }  
}
```

Desarrollo

```
pitchg=cmd.substring(14,16).toFloat();  
rollg=cmd.substring(17,19).toFloat();  
yawg=cmd.substring(20,22).toFloat();  
pitch=pitchg*0.0174533;  
roll=rollg*0.0174533;  
yaw=yawg*0.0174533;  
}  
}
```

Esta es la lectura del puerto serie , como se ha dicho antes se introduce en la variable cmd , y después se introducen en las variables de posición , también , como se introducen los angulos en grados , y en Arduino la reigonomenttria funciona en radianes , se hace un cambio de escala de grados a radianes.

```
float x[6] , y[6] ,z[6] ,lon[6] ,vueltas[6] ;  
int vueltasenc[6] ,chanel1[6] ,chanel2[6], chanel1old[6]  
,chanel2old[6];  
bool fincar[6],correct[6];  
x[0]=Px-(50*cos(pitch)*cos(yaw))+125;  
x[1]=Px-  
(50*cos(pitch)*cos(yaw+(60*3.14159/180)))+125*cos(60*3.14159/180);  
x[2]=Px+(50*cos(pitch)*cos(-yaw+(60*3.14159/180)))-  
125*cos(60*3.14159/180);  
x[3]=Px+(50*cos(pitch)*cos(yaw))-125;  
x[4]=Px+(50*cos(pitch)*cos(yaw+(60*3.14159/180)))-  
125*cos(60*3.14159/180);  
x[5]=Px-(50*cos(pitch)*cos(-  
yaw+(60*3.14159/180)))+125*cos(60*3.14159/180);  
y[0]=Py+50*sin(yaw)*cos(roll);  
y[1]=Py+50*sin(yaw+(60*3.14159/180))*cos(roll)-  
125*sin(60*3.14159/180);
```



```

y[2]=Py+50*sin(-yaw+(60*3.14159/180))*cos(roll)-
125*sin(60*3.14159/180);

y[3]=Py+50*sin(yaw)*cos(roll);

y[4]=Py-
50*sin(yaw+(60*3.14159/180))*cos(roll)+125*sin(60*3.14159/180);

y[5]=Py-50*sin(-
yaw+(60*3.14159/180))*cos(roll)+125*sin(60*3.14159/180);

z[0]=Pz-50*sin(pitch)+130;

z[1]=Pz-
50*sin(pitch)*cos(3.14159/3)+50*sin(3.14159/3)*sin(roll)+130;

z[2]=Pz+50*sin(pitch)*cos(3.14159/3)+50*sin(3.14159/3)*sin(roll)+130;

z[3]=Pz+50*sin(pitch)+130;

z[4]=Pz+50*sin(pitch)*cos(3.14159/3)-
50*sin(3.14159/3)*sin(roll)+130;

z[5]=Pz-50*sin(pitch)*cos(3.14159/3)-
50*sin(3.14159/3)*sin(roll)+130;

```

En esta sección , se crean los valores de los vectores que conectan las dos plaasformas

```

for(int a=0;a<6;a++)
{
float xs=pow(x[a],2);
float ys=pow(y[a],2);
float zs=pow(z[a],2);
lon[a]=(pow((xs+ys+zs),1/2)-134.5);

```

Aqui se obtiene el modulo de los vectores obtenidos anteriormente y después se obtiene l longitud que el actuador debe desenroscarse

```

if(lon[a]>=10&lon[a]<=45)
{
correct[a]=HIGH;

```

---

Desarrollo

```
    }  
  
    else  
  
    {  
  
        correct[a]=LOW;  
  
    }  
  
    vueltas[a]=lon[a]/0.5;  
  
}
```

Aquí se obtiene el valor de las vueltas que debería dar el motor para que el actuador consiga la longitud deseada, y también un sistema de seguridad digital , que básicamente sirve para descartar si la longitud no esta entre las longitudes máxima y mínima que podrían causar daños a la estructura.

```
    chanel1[0]=digitalRead(33);  
    chanel2[0]=digitalRead(31);  
    chanel1[1]=digitalRead(29);  
    chanel2[1]=digitalRead(27);  
    chanel1[2]=digitalRead(28);  
    chanel2[2]=digitalRead(26);  
    chanel1[3]=digitalRead(24);  
    chanel2[3]=digitalRead(22);  
    chanel1[4]=digitalRead(48);  
    chanel2[4]=digitalRead(49);  
    chanel1[5]=digitalRead(50);  
    chanel2[5]=digitalRead(51);  
    for(int b=0;b<6;b++)  
    {  
        if(chanel1[b]==LOW&chanel2[b]==LOW&chanel1old[b]==HIGH&chanel2old[b]==HIGH)  
        {  
            vueltasenc[b]++;  
        }  
    }  
}
```

```

}

if(chanel1[b]==HIGH&chanel2[b]==HIGH&chanel1old[b]==LOW&chan
el2old[b]==LOW)
{
    vueltasenc[b]--;

}

chanel1old[b]=chanel1[b];
chanel2old[b]=chanel2[b];

```

Este apartado es la lectura de los encoders , y se realiza una comparación entre la posición actual y la anterior para saber la dirección de giro , finalmente tiene un acumulador de vueltas que aumenta si da una vuelta en sentido positivo , y disminuye si da una vuela en sentido negativo.Finalmente , una vez se a hecho la comparación , se actualizan los valores antiguos.

```

if(digitalRead(25)==HIGH)
{
    fincar[0]=HIGH;
}
else
{
    fincar[0]=LOW;
}
if(digitalRead(23)==HIGH)
{
    fincar[1]=HIGH;
}
else
{

```

---

Desarrollo

```
fincar[1]=LOW;  
}  
if(digitalRead(32)==HIGH)  
{  
    fincar[2]=HIGH;  
}  
else  
{  
    fincar[2]=LOW;  
}  
if(digitalRead(30)==HIGH)  
{  
    fincar[3]=HIGH;  
}  
else  
{  
    fincar[3]=LOW;  
}  
if(digitalRead(52)==HIGH)  
{  
    fincar[4]=HIGH;  
}  
else  
{  
    fincar[4]=LOW;  
}  
if(digitalRead(53)==HIGH)  
{
```

```
fincar[5]=HIGH;  
}  
else  
{  
    fincar[5]=LOW;  
}
```

Este es el sistema de seguridad de los finales de carrera , que consiste en que si se activan , se activa un bit que se activará mas adelante , pero si no esta activado , permanece apagado el bit,

```
if(vueltasenc[b]<vueltas[b])  
{  
    if(b==0&fincar[0]==LOW&correct[0]==HIGH)  
    {  
        digitalWrite(2,HIGH);  
        digitalWrite(3,LOW);  
    }  
    if(b==1&fincar[1]==LOW&correct[1]==HIGH)  
    {  
        digitalWrite(4,HIGH);  
        digitalWrite(5,LOW);  
    }  
    if(b==2&fincar[2]==LOW&correct[2]==HIGH)  
    {  
        digitalWrite(6,HIGH);  
        digitalWrite(7,LOW);  
    }  
    if(b==3&fincar[3]==LOW&correct[3]==HIGH)  
    {
```

---

Desarrollo

```
digitalWrite(8,HIGH);
digitalWrite(9,LOW);
}
if(b==4&fincar[4]==LOW&correct[4]==HIGH)
{
digitalWrite(10,HIGH);
digitalWrite(11,LOW);
}
if(b==5&fincar[5]==LOW&correct[5]==HIGH)
{
digitalWrite(12,HIGH);
digitalWrite(13,LOW);
}
}
if(vueltasenc[b]>vueltas[b])
{
if(b==0&correct[0]==HIGH)
{
digitalWrite(3,HIGH);
digitalWrite(2,LOW);
}
if(b==1&correct[1]==HIGH)
{
digitalWrite(5,HIGH);
digitalWrite(4,LOW);
}
if(b==2&correct[2]==HIGH)
{
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
digitalWrite(6,LOW);
}
if(b==3&correct[3]==HIGH)
{
digitalWrite(9,HIGH);
digitalWrite(8,LOW);
}
if(b==4&correct[4]==HIGH)
{
digitalWrite(11,HIGH);
digitalWrite(10,LOW);
}
if(b==5&correct[5]==HIGH)
{
digitalWrite(13,HIGH);
digitalWrite(12,LOW);
}
}
if(vueltasenc[b]==vueltas[b])
{
if(b==0)
{
digitalWrite(2,LOW);
digitalWrite(3,LOW);
}
if(b==1)
{
```

---

Desarrollo

```
    digitalWrite(4,LOW);  
    digitalWrite(5,LOW);  
}  
if(b==2)  
{  
    digitalWrite(6,LOW);  
    digitalWrite(7,LOW);  
}  
if(b==3)  
{  
    digitalWrite(8,LOW);  
    digitalWrite(9,LOW);  
}  
if(b==4)  
{  
    digitalWrite(10,LOW);  
    digitalWrite(11,LOW);  
}  
if(b==5)  
{  
    digitalWrite(12,LOW);  
    digitalWrite(13,LOW);  
}  
  
}  
  
}
```



Este apartado final es la comparación de las vueltas teoricas con las vueltas que el encoder ha acumulado , en estas comparaciones , se han tenido en cuenta todos los sistemas de seguridad que anteriormente se han citado , como en digital , que afecta todos , o el final de carrera que solo afecta a los que dan vueltas negativas , si la comparación sal en igualdad , se apaga el motor.

## 4. SIMULACIÓN

En este apartado se explicará sobre como se ha hecho la simulación de la plataforma y los resultados que ha dado.

Para empezar, la simulación se ha hecho aplicando la cinemática inversa que habíamos obtenido en el apartado de diseño, y se ha pasado al software LabVIEW , el cual es un programa de programación grafica en el cual se puede programar , y a la vez se puede crear una interfaz para el uso posterior.

Se han implementado el programa de cuentas para que se pueda cambiar con cambios de las coordenadas del puno central o de la inclinación.

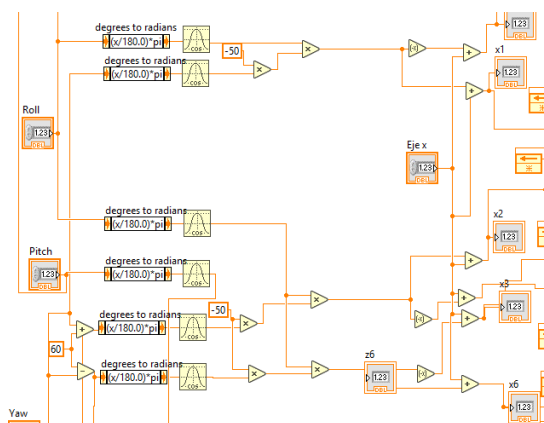


Ilustración 42: Simulación 1

Este es un ejemplo de los cálculos para obtener todos los puntos en las coordenadas x, como se ve la entrada de datos está en milímetros y en grados, y básicamente se están realizando los cálculos de la cinemática.

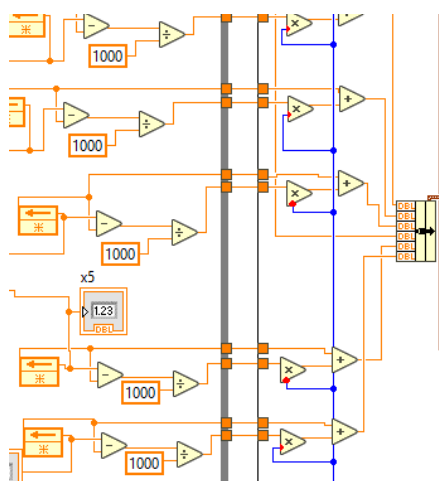


Ilustración 43: Simulación 2

Después de obtener los puntos, se resta el número anterior con este y se le hace pasar por un filtro exponencial para dar una ilusión de movimiento para aportar mayor realismo a la simulación

Después estos datos pasan a un clúster, donde pasarán posteriormente a la gráfica y las operaciones necesarias para obtener la posición del actuador.

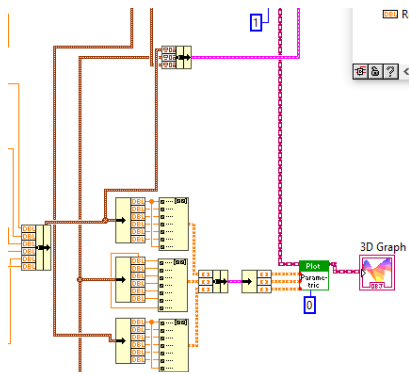


Ilustración 44: Simulación 3

Estos clústeres, en su desembocadura pasan a ser matrices, y finalmente pasan a una gráfica 3d, donde se obtiene el dibujo.

Para obtener la longitud que necesita alargarse los actuadores, se realiza un vector desde el punto de la plataforma móvil hasta el de la plataforma fija y obtener el módulo, para que finalmente se le reste la parte fija del actuador, que siempre esta con esa longitud.

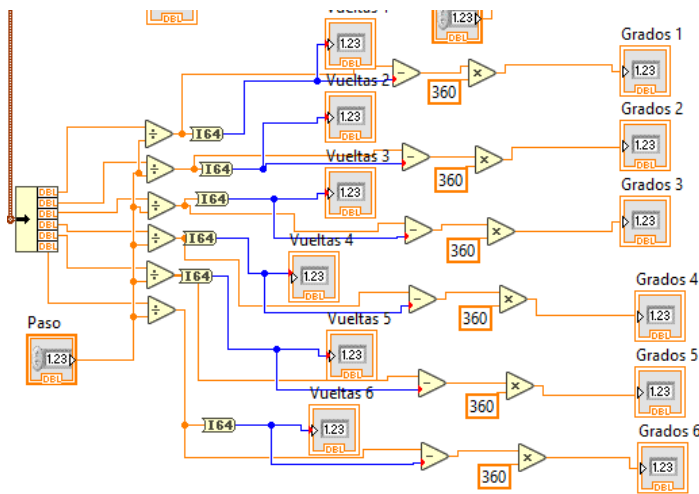


Ilustración 45: Simulación 4

Finalmente, para obtener las vueltas que debe de dar el motor, se debe de dividir la distancia del actuador entre el paso del husillo, y después para obtener la posición exacta, se multiplica los decimales por 360 (en el caso de grados) y se obtiene la posición exacta del actuador.

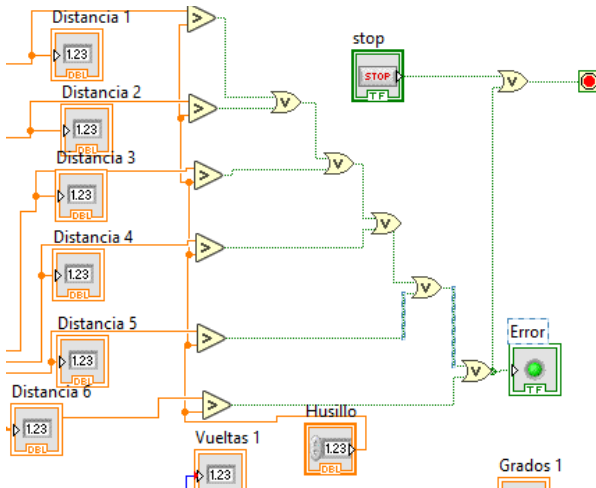


Ilustración 46: Simulación 5

En paralelo a esta ultima parte , hay un sistema de seguridad que detiene la simulación en caso de que la longitud obtenida sea mayor que la del husillo.

También está para detener la simulación un botón de stop de la interfaz.

Para terminar la explicación de el simulador, he de explicar la interfaz, que, como se ve , es bastante simple, los inputs son de color blanco , mientras que los outputs son de color verde.

Simulación

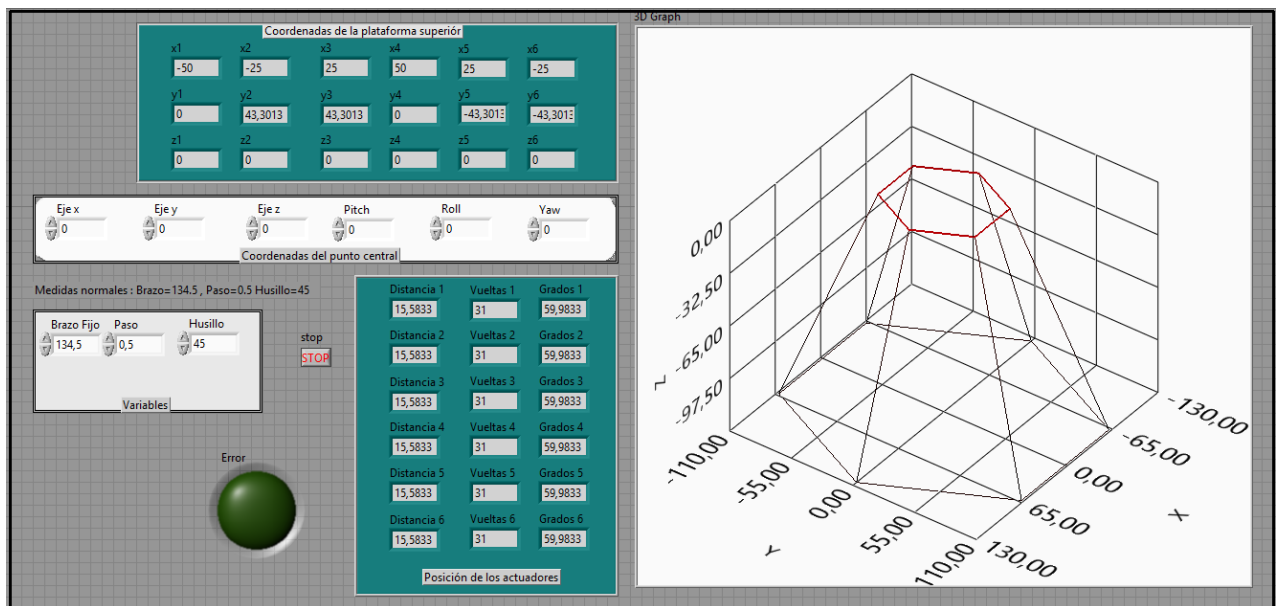


Ilustración 47: Simulación Interfaz

En la interfaz, comenzando por arriba se ve la posición tridimensional de los puntos de unión entre la plataforma superior y el actuador, después debajo de esta donde le ponemos las coordenadas donde queremos llevar el punto central de la plataforma y la inclinación que este debe de tener, debajo de este a la izquierda hay varias variables necesarias como el paso del husillo, la longitud de este...

Bajo las coordenadas del punto central ala derecha, están los resultados finales, la longitud que debe desplazarse el husillo en milímetros y la posición en la que deben colocarse los actuadores, tanto las vueltas como los grados.

Entre los dos últimos está el botón de stop de la simulación y el led que marca si se ha cometido un error en las coordenadas.

Finalmente, a la derecha de la interfaz, hay una grafica que representa la plataforma en la posición que se haya querido poner.

## 5. CONCLUSIONES

Con este proyecto, se ha necesitado parte de los conceptos aprendidos anteriormente en el grado. La organización de este ha supuesto demostrar destrezas que son necesarias para un ingeniero en su trabajo. También se ha demostrado una habilidad de gestión y de poder llevar varios proyectos en paralelo.

Este proyecto consistió principalmente en el diseño de una plataforma de Stewart, tanto en el ámbito electrónico, como en el mecánico, también, como se preveía difícil la creación de un prototipo, principalmente por motivos de tiempo, se optó por crear una simulación de esta.

Se tuvieron algunos problemas, como por ejemplo encontrar una fuente de alimentación de AC a 12V de DC, por lo menos de 72W que se pueda incluir fácilmente en una pcb, al cual se respondió con el diseño de la propia fuente.

Por su utilidad, se decidió centrarse únicamente en la cinemática inversa, y se crearon una serie de algoritmos que te decían la posición del motor en función de la posición de la parte central de la plataforma móvil. También se hizo un estudio de fuerzas y de esfuerzos de la estructura, pero con un modelo más simple y más desfavorable.

Por último el programa, es en ciertos aspectos bastante simple, pero al cumplir su funcionalidad perfectamente, es más confiable un programa simple a uno complejo, no solo recoge los datos enviados por el usuario por el puerto serie y los aplica en los actuadores, sino que también tiene en cuenta ciertos conceptos de seguridad, tanto de los sensores, como del propio programa.

En futuros proyectos, basándome en la experiencia de este se recomienda:

-Realización de un análisis dinámico: Aunque el análisis cinemático pueda resultar suficiente en algunos aspectos, es mejor completarlo teniendo en cuenta las fuerzas, velocidades...

-Las limitaciones de los micromotores: Estos motores son muy útiles, y añadiéndoles el husillo consiguen una fuerza muy alta, pero para cargas mucho mayores a la que he planteado no servirán.

-La implementación de un inclinómetro: En un principio lo planteé, pero no llegué a implementarlo, esta tecnología sería útil para realizar calibraciones, y también para una respuesta más precisa

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Acelerómetro. (2017, septiembre 1). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aceler%C3%B3metro&oldid=101556938>

Arduino\_6DOF\_Motion\_Platform\_LoRes. (2018, febrero 8).

ARIAS, D. A. (2015). CONTROL DE UNA PLATAFORMA STEWART, 95.

Codificador rotatorio. (2018, febrero 21). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Codificador\\_rotatorio&oldid=105727872](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Codificador_rotatorio&oldid=105727872)

Controlar un servo con Arduino. (2018). Recuperado 6 de mayo de 2018, a partir de <https://www.luisllamas.es/controlar-un-servo-con-arduino/>

Esteban Scozzina, F. (2016, julio). Generacion Dinamicas de Secuencias para Robots Paralelos.pdf. Recuperado 24 de abril de 2018, a partir de <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/2916/Generacion%20Dinamicas%20de%20Secuencias%20para%20Robots%20Paralelos.pdf?sequence=1>

Fuente conmutada. (2017, diciembre 26). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fuente\\_conmutada&oldid=104465111](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Fuente_conmutada&oldid=104465111)

Gomez Pinilla, J. A. (2011). GomezPinillaJohnAndres2011.pdf.

Gudiño Lau, J. (2017, octubre 1). 2764-205-11201-1-10-20171201.pdf.

Inclinómetro. (2017, junio 12). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de

<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Inclin%C3%B3metro&oldid=99802666>

Motor compound. (2017, septiembre 27). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor\\_compound&oldid=102184270](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor_compound&oldid=102184270)

Motor de imanes permanentes. (2017, junio 21). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor\\_de\\_imanes\\_permanentes&oldid=99977685](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor_de_imanes_permanentes&oldid=99977685)

Motor paso a paso. (2018, febrero 5). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor\\_paso\\_a\\_paso&oldid=105389685](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor_paso_a_paso&oldid=105389685)

Motor serie. (2018, marzo 17). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor\\_serie&oldid=106291316](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor_serie&oldid=106291316)

Motor shunt. (2017, junio 1). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir de [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor\\_shunt&oldid=99551888](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor_shunt&oldid=99551888)

Natalia Ximena Gonzalez Alvarez. (2011). UPS-CT002354.pdf. Recuperado 23 de marzo de 2018, a partir de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1921/14/UPS-CT002354.pdf>

Precontrolador de motor CC trifásico sin escobillas MP6532- MPS | DigiKey. (2018). Recuperado 6 de mayo de 2018, a partir de <https://www.digikey.com.mx/es/product-highlight/m/mps/mp6532-5v-to-60v-three-phase-brushless-dc-motor-pre-driver>

---

Bibliografía

Puente H (electrónica). (2017, noviembre 10). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.

Recuperado a partir de  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Puente\\_H\\_\(electr%C3%B3nica\)&oldid=103297468](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Puente_H_(electr%C3%B3nica)&oldid=103297468)

Raspberry Pi 3 Modelo B+. (2018). Recuperado 24 de abril de 2018, a partir de

<https://www.pccomponentes.com/raspberry-pi-3-modelo-b-plus>

Sensor final de carrera. (2018, febrero 6). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.

Recuperado a partir de  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensor\\_final\\_de\\_carrera&oldid=105421146](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sensor_final_de_carrera&oldid=105421146)

Servomotor. (2018, marzo 25). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a partir

de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Servomotor&oldid=106495440>

thiagohersan. (2015, enero 20). Stewart Platform. Recuperado 24 de abril de 2018, a

partir de <http://www.instructables.com/id/Stewart-Platform/>

ThomaskNR. (2014, junio 5). Arduino Controlled Rotary Stewart Platform. Recuperado

24 de abril de 2018, a partir de <http://www.instructables.com/id/Arduino-controlled-Rotary-Stewart-Platform/>

Transformador. (2018, marzo 22). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado a

partir de  
<https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Transformador&oldid=106414123>

Villaroel Graterol, J. J. (2011).

Proyecto\_Final\_de\_Carrera\_Jesus\_Javier\_Villarroel\_Graterol.pdf.





## Relación de documentos

(X) Memoria .....	70	páginas
(X) Planos .....	8	páginas

La Almunia, a 27 de 06 de 2018

Firmado: Sergio Gros Ainoza





**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

Nº TFG:  
**424.18.19**

Director:

Fdo:  
Javier Esteban  
Escaño

Título TFG:

**Diseño y Simulación de plataforma de Stewart  
para uso de base de una antena**

Autor:

Sergio Gros Ainoza

Julio 2018



**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

Nº TFG:  
**424.18.19**

Director:

Fdo:  
Javier Esteban  
Escaño

Título TFG:

**Diseño y Simulación de plataforma de Stewart  
para uso de base de una antena**

Autor:

Sergio Gros Ainoza

Julio 2018



**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

Diseño y Simulación de plataforma de  
Stewart: para uso de base de una antena

Stewart plataform design and simulation

424.18.19

Autor: Sergio Gros Ainoza  
Director: Javier Esteban Escaño  
Fecha: Julio 2018



**Escuela Universitaria  
Politécnica - La Almunia**  
Centro adscrito  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**PLANOS**

Diseño y Simulación de plataforma de  
Stewart: para uso de base de una antena

Stewart plataform design and simulation

424.18.19

Autor: Sergio Gros Ainoza

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Julio 2018



