

# Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

## Control de un robot de 3GDL mediante visual servoing

Autor: Richard M. Haes-Ellis

Tutor: Ignacio Alvarado Aldea

**Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

# **Control de un robot de 3GDL mediante visual servoing**

Autor:

Richard M. Haes-Ellis

Tutor:

Ignacio Alvarado Aldea

Profesor Titular

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Carrera: Control de un robot de 3GDL mediante visual servoing

Autor: Richard M. Haes-Ellis  
Tutor: Ignacio Alvarado Aldea

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:



# Agradecimientos

---

El diseño de una hoja de estilo en  $\text{\LaTeX}$  para un texto no es en absoluto trivial. Por un lado hay que conocer bien los usos, costumbres y reglas que se emplean a la hora de establecer márgenes, tipos de letras, tamaños de las mismas, títulos, estilos de tablas, y un sinfín de otros aspectos. Por otro, la programación en  $\text{\LaTeX}$  de esta hoja de estilo es muy tediosa, incluida la selección de los mejores paquetes para ello. La hoja de estilo adoptada por nuestra Escuela y utilizada en este texto es una versión de la que el profesor Payán realizó para un libro que desde hace tiempo viene escribiendo para su asignatura. Además, el prof. Payán ha participado de forma decisiva en la adaptación de dicha plantilla a los tres tipos de documentos que se han tenido en cuenta: libro, tesis y proyectos final de carrera, grado o máster. Y también en la redacción de este texto, que sirve de manual para la utilización de estos estilos. Por todo ello, y por hacerlo de forma totalmente desinteresada, la Escuela le está enormemente agradecida.

A esta hoja de estilos se le incluyó unos nuevos diseños de portada. El diseño gráfico de las portadas para proyectos fin de grado, carrera y máster, está basado en el que el prof. Fernando García García, de la Facultad de Bellas Artes de nuestra Universidad, hiciera para los libros, o tesis, de la sección de publicación de nuestra Escuela. Nuestra Escuela le agradece que pusiera su arte y su trabajo, de forma gratuita, a nuestra disposición.

*Juan José Murillo Fuentes*  
*Subdirección de Comunicaciones y Recursos Comunes*

*Sevilla, 2013*





## Resumen

---

**E**n nuestra Escuela se producen un número considerable de documentos, tantos docentes como investigadores. Nuestros alumnos también contribuyen a esta producción a través de sus trabajos de fin de grado, máster y tesis. El objetivo de este material es facilitar la edición de todos estos documentos y a la vez fomentar nuestra imagen corporativa, facilitando la visibilidad y el reconocimiento de nuestro Centro.



# Abstract

---

In our school there are a considerable number of documents, many teachers and researchers. Our students also contribute to this production through its work in order of degree, master's theses. The aim of this material is easier to edit these documents at the same time promote our corporate image, providing visibility and recognition of our Center.

*... -translation by google-*



# Índice Abreviado

---

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Índice Abreviado</i>	VII
<i>Notación</i>	XIII
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Guía de uso de este TFG	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Alcance y límites del proyecto	2
1.4 Introducción al visual servoing (VS)	2
<b>2 Esquema general y análisis del sistema</b>	<b>3</b>
2.1 Esquema general	3
2.2 Mecanismo pan-tilt	3
2.3 Cámara	4
2.4 PC	4
<b>3 Mecánica</b>	<b>5</b>
3.1 Diseño CAD	6
3.2 Motores	6
3.3 Sistemas de transmisión	6
3.4 Diseño de mecanismos de 2 grados de libertad	6
3.5 Diseño de ejes	6
3.6 rail	6
3.7 Manufactura de piezas	6
3.8 Impresión 3D	6
3.9 Ensamblaje	6
<b>4 Electrónica</b>	<b>7</b>
4.1 Motor	7
4.2 Pantalla táctil	9
4.3 Fuente de alimentación	9
4.4 Sensores	9
4.5 Microcontrolador	9
<b>5 Comunicación micro-pc</b>	<b>11</b>
5.1 Interfaces de Comunicación	11
5.2 Comunicación serial	11
5.3 Protocolo a nivel de aplicación	11

5.4	Experimentos	11
<b>6</b>	<b>Programacion embedida</b>	<b>13</b>
6.1	Microcontrolador	13
6.2	Funcionamiento de un motor sincrono	13
6.3	Estrategia de control para motores paso a paso	13
6.4	Interrupciones	13
6.5	Experimentos	13
<b>7</b>	<b>Percepción</b>	<b>15</b>
7.1	Cámara	15
7.2	Técnicas de tracking en Percepcion	15
7.3	Eleccion de algoritmos	15
7.4	OpenCV	15
7.5	Experimentos	15
<b>8</b>	<b>Capítulo - Control mediante PID</b>	<b>17</b>
8.1	Teoria de PID	17
8.2	Implementacion de un PID enCodigo	17
8.3	Python	17
8.4	Expermimentos	17
<b>Apéndice A</b>	<b>Sobre <math>\text{\LaTeX}</math></b>	<b>19</b>
A.1	Ventajas de $\text{\LaTeX}$	19
A.2	Inconvenientes	19
<b>Apéndice B</b>	<b>Sobre Microsoft Word®</b>	<b>21</b>
B.1	Ventajas del Word®	21
B.2	Inconvenientes de Word®	21
	<i>Índice de Figuras</i>	23
	<i>Índice de Tablas</i>	25
	<i>Índice de Códigos</i>	27
	<i>Bibliografía</i>	29
	<i>Índice alfabético</i>	29
	<i>Glosario</i>	31

# Índice

---

<i>Resumen</i>	III
<i>Abstract</i>	V
<i>Índice Abreviado</i>	VII
<i>Notación</i>	XIII
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Guía de uso de este TFG	1
1.1.1 A quién esta dirigido	1
1.1.2 Estructura de este documento	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Alcance y limites del proyecto	2
1.4 Introducion al visual servoing (VS)	2
1.4.1 Estado del arte del VS	2
1.4.2 Problema del VS	2
1.4.3 Aplicaciones del VS	2
<b>2 Esquema general y análisis del sistema</b>	<b>3</b>
2.1 Esquema general	3
2.2 Mecanismo pan-tilt	3
2.2.1 Cinematica	3
2.3 Cámara	4
2.4 PC	4
<b>3 Mecánica</b>	<b>5</b>
3.1 Diseño CAD	6
3.1.1 simulacion de cinematica	6
3.2 Motores	6
3.2.1 sincronos	6
3.2.2 asincronos	6
3.3 Sistemas de transmision	6
3.3.1 Engranajes	6
3.3.2 Levas	6
3.3.3 Poleas	6
3.3.4 Poleas dentadas	6
3.4 Diseño de mecanismos de 2 grados de libertad	6
3.4.1 Tipos de articulaciones	6
3.4.2 pan-tilt	6
3.5 Diseño de ejes	6
3.5.1 rodamientos	6
3.6 rail	6

3.7	Manufactura de piezas	6
3.7.1	Manufactura sustractiva	6
3.7.2	Manufactura aditiva	6
3.8	Impresion 3D	6
3.8.1	Principio de funcionamiento	6
3.8.2	Código G	6
3.8.3	Preparacion de piezas (Slicer)	6
3.9	Ensamblaje	6
<b>4</b>	<b>Electrónica</b>	<b>7</b>
4.1	Motor	7
4.1.1	Funcionamiento	8
4.1.2	Driver	9
4.2	Pantalla tactil	9
4.2.1	Tipos	9
4.2.2	Nextion	9
4.3	Fuente de alimentacion	9
4.3.1	Regulable	9
4.3.2	Bateria	9
4.4	Sensores	9
4.4.1	Encoders magneticos	9
4.4.2	Sensores fin de carrera	9
4.5	Microcontrolador	9
4.5.1	Requisitos	9
4.5.2	SAM3XE	9
4.5.3	Especificaciones	9
<b>5</b>	<b>Comunicación micro-pc</b>	<b>11</b>
5.1	Interfaces de Comunicación	11
5.2	Comunicacion serial	11
5.2.1	Funcionamiento	11
5.3	Protocolo a nivel de aplicacion	11
5.3.1	Comunicación maquina-maquina	11
5.3.2	Protocolo binario mediante maquina de estados	11
5.4	Experimentos	11
<b>6</b>	<b>Programacion embedida</b>	<b>13</b>
6.1	Microcontrolador	13
6.1.1	Especificaciones	13
6.2	Funcionamiento de un motor sincrónico	13
6.3	Estrategia de control para motores paso a paso	13
6.4	Interrupciones	13
6.5	Experimentos	13
<b>7</b>	<b>Percepción</b>	<b>15</b>
7.1	Cámara	15
7.2	Técnicas de tracking en Percepcion	15
7.3	Eleccion de algoritmos	15
7.4	OpenCV	15
7.5	Experimentos	15
<b>8</b>	<b>Capítulo - Control mediante PID</b>	<b>17</b>
8.1	Teoria de PID	17
8.2	Implementacion de un PID en Código	17
8.3	Python	17



---

8.4	Experimentos	17
<b>Apéndice A</b>	<b>Sobre <math>\text{\LaTeX}</math></b>	<b>19</b>
A.1	Ventajas de $\text{\LaTeX}$	19
A.2	Inconvenientes	19
<b>Apéndice B</b>	<b>Sobre Microsoft Word®</b>	<b>21</b>
B.1	Ventajas del Word®	21
B.2	Inconvenientes de Word®	21
	<i>Índice de Figuras</i>	23
	<i>Índice de Tablas</i>	25
	<i>Índice de Códigos</i>	27
	<i>Bibliografía</i>	29
	<i>Índice alfabético</i>	29
	<i>Glosario</i>	31



# Notación

$\mathbb{R}$	Cuerpo de los números reales
$\mathbb{C}$	Cuerpo de los números complejos
$\ \mathbf{v}\ $	Norma del vector $\mathbf{v}$
$\langle \mathbf{v}, \mathbf{w} \rangle$	Producto escalar de los vectores $\mathbf{v}$ y $\mathbf{w}$
$ \mathbf{A} $	Determinante de la matriz cuadrada $\mathbf{A}$
$\det(\mathbf{A})$	Determinante de la matriz (cuadrada) $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^\top$	Transpuesto de $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^{-1}$	Inversa de la matriz $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^\dagger$	Matriz pseudoinversa de la matriz $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^H$	Transpuesto y conjugado de $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^*$	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
■	Como queríamos demostrar
□	Fin de la solución
e.o.c.	En cualquier otro caso
$e$	número $e$
$e^{jx}$	Exponencial compleja
$e^{j2\pi x}$	Exponencial compleja con $2\pi$
$e^{-jx}$	Exponencial compleja negativa
$e^{-j2\pi x}$	Exponencial compleja negativa con $2\pi$
$\text{Re}$	Parte real
$\text{Im}$	Parte imaginaria
$\text{sen}$	Función seno
$\text{tg}$	Función tangente
$\text{arctg}$	Función arco tangente
$\sin^y x$	Función seno de $x$ elevado a $y$
$\cos^y x$	Función coseno de $x$ elevado a $y$
$\text{Sa}$	Función sampling
$\text{sgn}$	Función signo
$\text{rect}$	Función rectángulo
$\text{Sinc}$	Función sinc
$\frac{\partial y}{\partial x}$	Derivada parcial de $y$ respecto a $x$
$x^\circ$	Notación de grado, $x$ grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso $A$
$E[X]$	Valor esperado de la variable aleatoria $X$
$\sigma_X^2$	Varianza de la variable aleatoria $X$
$\sim f_X(x)$	Distribuido siguiendo la función densidad de probabilidad $f_X(x)$
$\mathcal{N}(m_X, \sigma_X^2)$	Distribución gaussiana para la variable aleatoria $X$ , de media $m_X$ y varianza $\sigma_X^2$

$\mathbf{I}_n$	Matriz identidad de dimensión $n$
$\text{diag}(\mathbf{x})$	Matriz diagonal a partir del vector $\mathbf{x}$
$\text{diag}(\mathbf{A})$	Vector diagonal de la matriz $\mathbf{A}$
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
$\stackrel{\text{def}}{=}$	Igual por definición
$\ \mathbf{x}\ $	Norma-2 del vector $\mathbf{x}$
$ \mathbf{A} $	Cardinal, número de elementos del conjunto $\mathbf{A}$
$\mathbf{x}_i, i = 1, 2, \dots, n$	Elementos $i$ , de 1 a $n$ , del vector $\mathbf{x}$
$dx$	Diferencial de $x$
$\leq$	Menor o igual
$\geq$	Mayor o igual
$\backslash$	Backslash
$\Leftrightarrow$	Si y sólo si
$x = a + 3 \underset{a=1}{=} 4$	Igual con explicación
$\frac{a}{b}$	Fracción con estilo pequeño, $a/b$
$\Delta$	Incremento
$b \cdot 10^a$	Formato científico
$\overset{x}{\rightarrow}$	Tiende, con $x$
$\mathbf{O}$	Orden
$\text{TM}$	Trade Mark
$\mathbb{E}[x]$	Esperanza matemática de $x$
$\mathbf{C}_x$	Matriz de covarianza de $\mathbf{x}$
$\mathbf{R}_x$	Matriz de correlación de $\mathbf{x}$
$\sigma_x^2$	Varianza de $x$

CLAUDE SHANNON, 1948

El sistema se compone de un mecanismo motorizado de 2 grados libertad al que se le conoce como *pan-tilt* montado encima de un rail motorizado que permite el desplazamiento lateral. En este capítulo se le presentara las diversas técnicas de control de robots mediante visión que se usan en la robótica, el estado actual del mismo y las posibles aplicaciones que podrían tener.

### 1.1.1 A quién esta dirigido

### 1.1.2 Estructura de este documento

## 1.2 Objetivos

1

Se busca que el sistema se comporte de forma rápida y que sea capaz de hacer un seguimiento preciso de diferentes objetos.

### 1.3 Alcance y limites del proyecto

[illegible]

## 1.4 Introduccion al visual servoing (VS)

Visual servoing o VS, es una técnica que usa información visual mediante un sensor de visión para controlar un robot.

### 1.4.1 Estado del arte del VS

La instrucción que sigue a la declaración de la clase es `\usepackage{LibroETSI}`. Con ella cargamos y definimos las principales características tipográficas y de muy diversa índole que hemos propuesto para el diseño de los documentos de la Escuela. A lo largo del presente documento se irán revelando diversos aspectos del mismo, pero se empieza aquí con una pequeña introducción. En el Capítulo correspondiente se describen ordenadamente todas sus características.

Debemos observar antes que nada que es un fichero con la extensión `sty` y siempre debe estar antes del comando `\begin{document}`. En él se cargarán un conjunto de paquetes que hemos considerado necesarios y se definirán un conjunto de comandos que facilitan la escritura del texto. Una buena práctica para escribir un libro o cualquier documento que posea una extensión considerable es agrupar en un fichero como el presentado el conjunto de elementos que necesitamos para su escritura: paquetes y comandos.

### 1.4.2 Problema del VS

Como ya hemos dicho, el primer paquete importante (existen otros anteriores, pero de carácter mucho más técnico que otra cosa) es el paquete **babel**, que se carga en nuestro fichero mediante la instrucción

```
\usepackage [english, spanish, es-nosectiondot, es-noindentfirst,
es-nolists, activeacute]{babel}.
```

Su papel fundamental es declarar que el texto estará escrito en español, que podemos utilizar sin restricción los acentos (no sería posible en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X si no lo declarásemos como idioma preferente) y que adoptaremos los usos convencionales de mayúsculas, acentos en expresiones matemáticas, etc recomendados por la RAE. A todo esto contribuye también la sentencia `\spanishdecimal{ . }`. Ya se ha comentado que intercambiando las palabras `english` por `spanish` obtenemos los nombres de capítulo, sección y otros en inglés.

### 1.4.3 Aplicaciones del VS

Aunque L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X no es sólo un sistema de edición para textos científicos, su aplicación para ellos es prácticamente universal. En el estilo de libro que hemos propuesto, la utilización de las fuentes en los textos matemáticos y el posible uso de diversos símbolos y herramientas propias para los textos científicos está recogido en diversos paquetes, entre los que cabe destacar `\usepackage[cmex10]{amsmath}`, `\usepackage{amssymb}` y `\usepackage{mathptmx}`.

## 2 Esquema general y análisis del sistema

---

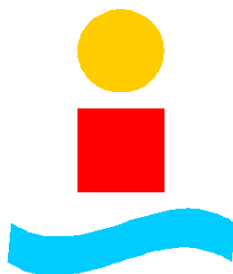
*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

En este capítulo trataremos de describir los diferentes componentes del sistema completo, para ello hemos creado un esquema general del objetivo y hemos subdividido el sistema en varias partes para analizar de forma independiente.

### 2.1 Esquema general

En la Figura 2.1 se muestra un esquema general del sistema a analizar:



**Figura 2.1** Logo de la ETSI.

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En  $\LaTeX$  existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

### 2.2 Mecanismo pan-tilt

#### 2.2.1 Cinematica

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En  $\LaTeX$  existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

## 2.3 Cámara

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En  $\text{\LaTeX}$  existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

## 2.4 PC

Si nos detenemos en los comandos que hemos utilizado, con `width` se controla el ancho, y se escala así el tamaño de la imagen. En  $\text{\LaTeX}$  existen diversas opciones para situar la figura en la página: con `t` o `b` se le indica que las incluya arriba o abajo (top/bottom) y con `!` se le pide que la deje dónde está, tras el texto anterior.

Si no desea que se numere una ecuación puede poner asterisco, tanto en el entorno `equation` como `align`.



## 3 Mecánica

---

*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

**E**<sup>l formato de capítulo</sup> abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

### **3.1    Diseño CAD**

#### **3.1.1    simulacion de cinematica**

### **3.2    Motores**

#### **3.2.1    sincronos**

#### **3.2.2    asincronos**

### **3.3    Sistemas de transmision**

#### **3.3.1    Engranajes**

#### **3.3.2    Levas**

#### **3.3.3    Poleas**

#### **3.3.4    Poleas dentadas**

### **3.4    Diseño de mecanismos de 2 grados de libertad**

#### **3.4.1    Tipos de articulaciones**

#### **3.4.2    pan-tilt**

### **3.5    Diseño de ejes**

#### **3.5.1    rodamientos**

### **3.6    rail**

### **3.7    Manufactura de piezas**

#### **3.7.1    Manufactura sustractiva**

#### **3.7.2    Manufactura aditiva**

### **3.8    Impresion 3D**

#### **3.8.1    Principio de funcionamiento**

#### **3.8.2    Código G**

#### **3.8.3    Preparacion de piezas (Slicer)**

### **3.9    Ensamblaje**

## 4 Electrónica

---

*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

### [FOTON DE COMPONENTES ELECTRONICOS]

En esta sección analizaremos los diferentes componentes electrónicos y seleccionaremos aquellos que resultan más adecuados para este proyecto. Empezaremos detallando la parte electro-mecánica para accionar los ejes, esta la haremos mediante motores, veremos como se interactúa con el sistema mediante una pantalla táctil, veremos que red de sensores usaremos para detectar el estado del sistema, seleccionaremos los drivers para alimentar y controlar de forma adecuada los motores, escogeremos un microcontrolador que será el que controle y monotorize el sistema electrónico completo y por último veremos como alimentar el sistema.

### 4.1 Motor

Para el accionamiento de los ejes del mecanismo "pan-tilt" y el rail usaremos un motor de corriente continua. En concreto usaremos unos motores llamados motores "paso a paso", también conocido como motor de pasos. Estos dispositivos son motores sin escobillas que tienen dividido el giro completo del rotor en un número determinado de pasos, de ahí el nombre.

Hay tres tipos de motores paso a paso:

- **El motor de pasos de reluctancia variable (VR):** Este motor está compuesto por un estator devanado que suele estar laminado y un rotor no magnético multipolar formado por dientes de hierro.

Cuando el estator se alimenta se induce un campo magnético en el rotor y genera par en la dirección que minimiza la reluctancia magnética, por tanto atrae al polo más cercano del rotor y gira. La respuesta de este motor es muy rápida, pero la inercia permitida en la carga es pequeña. Cuando el estator no se alimenta, el par estático es cero.

- **El motor de pasos de rotor de imán permanente:** Este tipo de motores están compuestos de un rotor que está axialmente magnetizado, es decir, tiene polos que alternan entre norte y sur paralelamente al eje. Su estator está compuesto por dos bobinados contenidos en unos entrehierros con dientes que interactúan con el rotor.

Este tipo de motores son capaces de aplicar un par estático al rotor, pero operan a bajas velocidades.

- **El motor de pasos híbrido:** La combinación de ambos motores de antes dan lugar a los motores de pasos híbrido. Están compuestos de un rotor con dos partes magnetizadas y de polos opuestos con dientes que están desfasados entre sí. El estator está compuesto por bobinados y también están formados por unos dientes. Los dientes del rotor ayudan a alinear el flujo magnético a través de los dientes donde avanzan a las posiciones más favorables. Esto permite mejorar el par estático, dinámico y el par de "detent" que es el par del motor sin alimentar.

Además del par, es capaz de obtener mejor resolución por paso en comparación con los otros dos, llegando a tener una precisión de hasta 1600 pasos por revolución con técnicas de conmutación llamado *"micro-stepping"*.

Para nuestro caso usaremos el motor de pasos híbrido por las ventajas de precisión y par que tiene frente a los otros. En concreto usaremos los *"NEMA 17"*, el nombre *"NEMA"* viene del estándar NEMA ICS 16-2001 especificada por la asociación NEMA, y 17 viene del tamaño del frontal del motor siendo de 1.7" x 1.7".

#### 4.1.1 Funcionamiento

Este motor cuenta con 4 cables, 2 para cada fase tal y como se ve en la figura Figura 4.2

Para girar el rotor tenemos que alimentar cada fase en una secuencia dada, en la figura vemos una secuencia *"full-step"*, esto quiere decir que alimentamos una fase por cada paso intermedio. Esto provoca que el rotor se alinee con las fases de paso a paso rotando 90 grados entre ellos.

Además podemos alimentar primero un bobinado, luego el otro manteniendo el primero para obtener un nuevo paso intermedio. Esto se ve ilustrado en la figura BLABLA. Con esto hemos conseguido duplicar el número de pasos por revolución del motor y esta técnica es lo que llamamos *"half-step"*. ¿Pero qué pasa si queremos más resolución?

Para obtener más precisión usamos una técnica llamada *"micro-stepping"*, esto no es más que una extensión de lo anterior. Miremos la ilustración de la figura Figura 4.2, podemos ver que la alimentación de los bobinados crea un vector resultante que orienta el rotor. Pues bien si controlamos la cantidad de corriente con la que alimentamos los bobinados, sea por PWM podremos variar estos vectores como queramos. Por tanto si

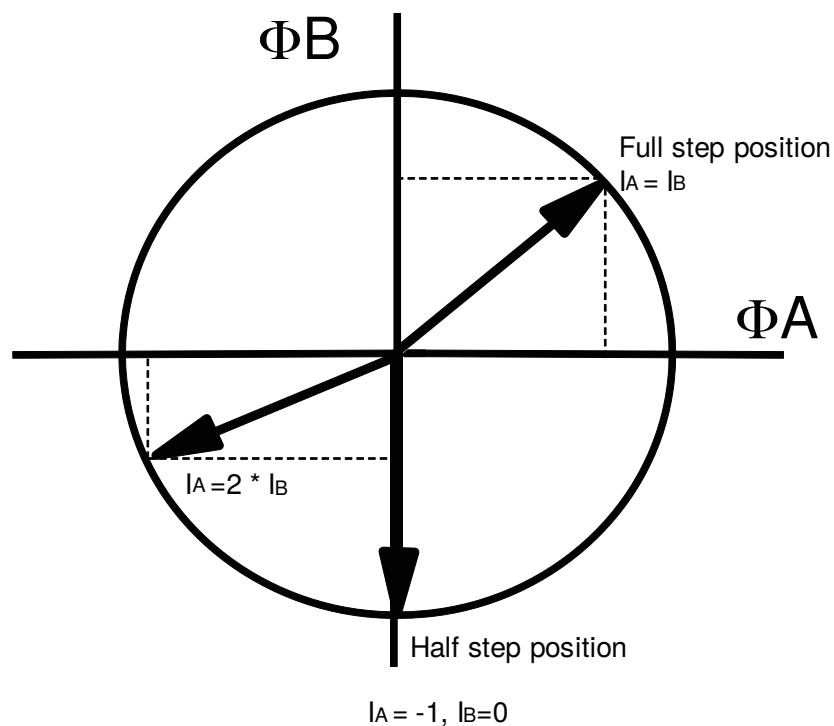
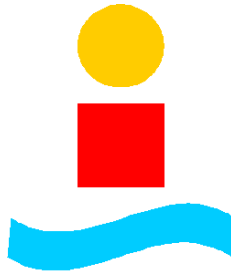


Figura 4.1 Ilustración microstepping.



**Figura 4.2** Logo de la ETSI.

#### 4.1.2 Driver

### 4.2 Pantalla tactil

#### 4.2.1 Tipos

#### 4.2.2 Nextion

### 4.3 Fuente de alimentacion

#### 4.3.1 Regulable

#### 4.3.2 Bateria

### 4.4 Sensores

#### 4.4.1 Encoders magneticos

#### 4.4.2 Sensores fin de carrera

### 4.5 Microcontrolador

#### 4.5.1 Requisitos

#### 4.5.2 SAM3XE

#### 4.5.3 Especificaciones

<https://www.elprocus.com/stepper-motor-types-advantages-applications/>

<https://www.nema.org/Standards/SecureDocuments/ICS16.pdf>

Instrument Engineers' Handbook, Vol. 2: Process Control and Optimization, 4th Edition. Ed. Liptak, Bela G, N.p.: CRC Press. Print



# 5 Comunicación micro-pc

---

*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

**E**<sup>l</sup> formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

## 5.1 Interfaces de Comunicación

## 5.2 Comunicación serial

### 5.2.1 Funcionamiento

## 5.3 Protocolo a nivel de aplicación

### 5.3.1 Comunicación máquina-máquina

### 5.3.2 Protocolo binario mediante máquina de estados

## 5.4 Experimentos





## 6 Programacion embebida

---

*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

**E**<sup>l</sup> formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

### 6.1 Microcontrolador

Para la elección del microcontrolador se ha tenido en cuenta los requisitos del systema, para ello se ha hecho un listado de las partes que tendrá que manejar:

- Control de 3 motores de tipo paso a paso hibrido (se comentara el funcioneinto mas adelante)
- Comunicación por serial a travez de USB
- Comunicación por serial para controlar la pantalla Nextion
- Entradas para la deteccion del fin de carrera de cada eje

#### 6.1.1 Especificaciones

### 6.2 Funcionamiento de un motor sincrónico

### 6.3 Estrategia de control para motores paso a paso

### 6.4 Interrupciones

### 6.5 Experimentos



# 7 Percepción

---

*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

**E**<sup>l</sup> formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

## 7.1 Cámara

## 7.2 Técnicas de tracking en Percepcion

## 7.3 Eleccion de algoritmos

## 7.4 OpenCV

## 7.5 Experimentos



## 8 Capítulo - Control mediante PID

---

*Una de las virtudes del ingeniero es la eficiencia.*

GUANG TSE

**E**<sup>l</sup> formato de capítulo abarca diversos factores. Un capítulo puede incluir, además de texto, los siguientes elementos:

### 8.1 Teoria de PID

### 8.2 Implementacion de un PID enCodigo

### 8.3 Python

### 8.4 Expermimentos



# Apéndice A

## Sobre $\text{\LaTeX}$

---

Este es un ejemplo de apéndices, el texto es únicamente relleno, para que el lector pueda observar cómo se utiliza

### A.1 Ventajas de $\text{\LaTeX}$

El gusto por el  $\text{\LaTeX}$  depende de la forma de trabajar de cada uno. La principal virtud es la facilidad de formatear cualquier texto y la robustez. Incluir títulos, referencias es inmediato. Las ecuaciones quedan estupendamente, como puede verse en (A.1)

$$x_1 = x_2. \tag{A.1}$$

### A.2 Inconvenientes

El principal inconveniente de  $\text{\LaTeX}$  radica en la necesidad de aprender un conjunto de comandos para generar los elementos que queremos. Cuando se está acostumbrado a un entorno “como lo escribo se obtiene”, a veces resulta difícil dar el salto a “ver” que es lo que se va a obtener con un determinado comando.

Por otro lado, en general será muy complicado cambiar el formato para desviarnos de la idea original de sus creadores. No es imposible, pero sí muy difícil. Por ejemplo, con la sentencia siguiente:

---

**Código A.1** Escritura de una ecuación.

```
\begin{equation}\LABEQ{Ap2}
x_{1}=x_{2}
\end{equation}
```

obtenemos:

$$x_1 = x_2 \tag{A.2}$$

Esto será siempre así. Aunque, tal vez, esto podría ser una ventaja y no un inconveniente.

Para una discusión similar sobre el Word<sup>®</sup>, ver Apéndice B.





# Apéndice B

## Sobre Microsoft Word®

---

### B.1 Ventajas del Word®

La ventaja mayor del Word® es que permite configurar el formato muy fácilmente. Para las ecuaciones,

$$x_1 = x_2, \tag{B.1}$$

tradicionalmente ha proporcionado pésima presentación. Sin embargo, el software adicional Mathtype® solventó este problema, incluyendo una apariencia muy profesional y cuidada. Incluso permitía utilizar un estilo similar al  $\text{\LaTeX}$ . Además, aunque el Word® incluye sus propios atajos para escribir ecuaciones, Mathtype® admite también escritura  $\text{\LaTeX}$ . En las últimas versiones de Word®, sin embargo, el formato de ecuaciones está muy cuidado, con un aspecto similar al de  $\text{\LaTeX}$ .

### B.2 Inconvenientes de Word®

Trabajar con títulos, referencias cruzadas e índices es un engorro, por no decir nada sobre la creación de una tabla de contenidos. Resulta muy frecuente que alguna referencia quede pérdida o huérfana y aparezca un mensaje en negrita indicando que no se encuentra.

Los estilos permiten trabajar bien definiendo la apariencia, pero también puede desembocar en un descontrolado incremento de los mismos. Además, es muy probable que Word® se quede colgado, sobre todo al trabajar con copiar y pegar de otros textos y cuando se utilizan ficheros de gran extensión, como es el caso de un libro.



# Índice de Figuras

---

2.1	Logo de la ETSI	3
4.1	Ilustracion microstepping	8
4.2	Logo de la ETSI	9



## Índice de Tablas

---



# Índice de Códigos

---

A.1 Escritura de una ecuación

19





# Índice alfabético

---

detent[hyperpage](#), 7

formato

de capítulo, 5, 11, 13, 15, 17

full-step[hyperpage](#), 8

half-step[hyperpage](#), 8

micro-stepping[hyperpage](#), 8

NEMA 17[hyperpage](#), 8

NEMA[hyperpage](#), 8

pan-tilt, 1

pan-tilt[hyperpage](#), 7

paso a paso[hyperpage](#), 7

Visual Servoing[hyperpage](#), 1



