# Introducción

Para comenzar, se realiza el **modelado teórico de una sola articulación**, así como su sistema de actuación.

Una articulación se compone de: motor DC con escobillas, caja reductora (conectada en el motor DC), mecanismo de paralelogramo articulado, conectadas tal y como se ve en la Figura 1.

Imagen que contiene Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente

Figura : esquema mecánico de una articulación.

# Simplificación del sistema

## Simplificación del doble paralelogramo

Siguiendo con la equivalencia mostrada en Alessandro Battezzato 2014 en la Figura 2, cinemáticamente se puede modelar el mecanismo de paralelogramo articulado como una simple articulación de rotación (una bisagra)

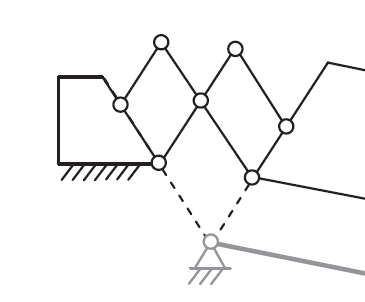


Figura : simplificación del mecanismo de doble paralelogramo a una articulación de rotación.

Desde un punto de vista cinemático esta equivalencia no se cumple, sin embargo, dado que el estudio de este mecanismo escapa a los alcances de este tfg, y tanto la masa como las velocidades y aceleraciones a las que va a estar sometido son bajas, se ha aplicado esta simplificación en el modelo dinámico realzado.

Por otro lado, estas características no afectarían al control de fuerza, ya que este se hace con el motor en bloqueo, por lo que esta simplificación ni siquiera afectaría a la parte de mayor interés.

## Sistema resultante: péndulo

Con esta simplificación queda el motor DC conectado a la reductora, y la salida de esta conectada la articulación de rotación. Desde esta articulación hay una cierta distancia hasta el centro de masas de la pieza que reposa sobre el dedo. Observando el conjunto, vemos que no se trata de otra cosa que de un péndulo movido por un motor DC con reductora., como se muestra en la Figura 3.

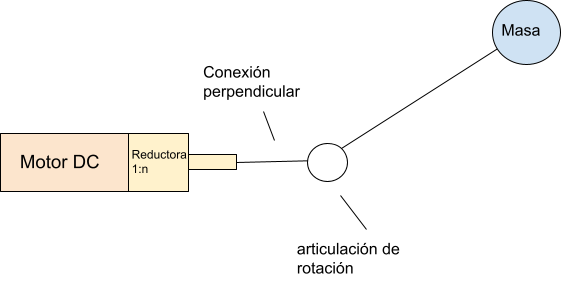


Figura : esquema mecánico simplificado.

Siendo el esquema del modelo simplificado de la Figura 3 aquel mostrado en la Figura 4.

Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Figura : esquema del modelo simplificado.

# Ecuaciones

## Variables

### Motor DC

v(t): tensión de alimentación

R: resistencia del bobinado

L: inductancia del bobinado

Tm(t): par eléctrico

Kt: constante de par

vfem(t): tensión provocada por fuerza contra electromotriz

Kv: constante de velocidad

Tm,out(t): par a la salida

bm: coeficiente de rozamiento viscoso del eje (incluyendo reductora)

Jm: inercia del eje (incluyendo reductora)

Ѳ’m(t): velocidad angular

Ѳ’’m(t): aceleración angular

### Caja reductora

Tr(t): par

n: relación de transmisión

Ѳ’r(t): velocidad angular

### Péndulo

Ѳp(t): ángulo

Ѳ’p(t): velocidad angular

Ѳ’’p(t): aceleración angular

Tp(t): par a la salida

bp: coeficiente de rozamiento viscoso

Jp: inercia

L: longitud del brazo. Distancia entre eje de rotación equivalente y centro de masas

M: masa de la pieza conectada

g: aceleración de la gravedad

Fy: fuerza creada por el par Tp y el brazo L

F: fuerza vertical. Incluye la componente vertical de Fy y el peso.

## Modelado en el tiempo

Las ecuaciones del motor DC serían:

Las ecuaciones de la caja reductora serían:

Las ecuaciones del péndulo serían:

### Modificaciones por eje en bloqueo

**En el control de fuerza**, la pieza estará colocada sobre la mano y se limitará a ejercer presión. Esto implica que la posición no cambiará (al menos, de manera significativa), por lo que se considera **el eje de salida del motor en bloqueo**, es decir, tanto su velocidad como aceleración son cero. Esto impone las siguientes condiciones:

De estas condiciones, y con las ecuaciones (1) – (11) se obtiene:

De la ecuación (1) se obtiene

De la ecuación (3) se obtiene

De la ecuación (4) se obtiene

De la ecuación (6) se obtiene

De la ecuación (7) se obtiene

De la ecuación (8) se obtiene

Sustituyendo (10) en (11) se obtiene

**Las ecuaciones resultantes para el sistema en bloqueo son las siguientes:**

### Diferencia entre fuerzas en el centro de gravedad y dirección deseada de aplicación

Debemos tener en cuenta que **la dirección en la que se desea ejercer fuerza** **es aquella perpendicular a la superficie que estará en contacto con el dedo**, es decir, la superficie de interés “S”, tal y como se muestra en la Figura 5.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura 5: diferencia entre el punto en el que se desea aplicar la fuerza y la fuerza modelada.

A priori se puede intuir que la fuerza F dependerá de la fuerza perpendicular al brazo, Fy, y de la fuerza peso (Mg).

Para caracterizar claramente el valor de F, se van a estudiar por separado los efectos de las fuerzas Fy y Mg sobre esta.

Para más simplicidad se trabajará sobre el esquema mostrad en la Figura 5, retirando las barras pertenecientes al mecanismo de doble paralelogramo, tal como se muestra en la Figura 6.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura

### Efecto de la fuerza perpendicular ejercida por el brazo

Modelando el mecanismo de paralelogramo articulado como un péndulo, las posiciones relativas entre la línea de actuación de la fuerza Fy (es decir, la dirección perpendicular a L, referida a partir de ahora como ⊥L) y la superficie de interés S, son constantes. Por tanto, las posiciones entre ⊥L y la dirección en la en la que se desea ejercer la fuerza (la dirección perpendicular a S, ⊥S) también son constantes.

Gracias a esto, independientemente de la posición del mecanismo, es decir,, la aportación de Fy a F siempre será la proyección de Fy sobre ⊥S, tal y como se aprecia en la Figura 7. Esta proyección se logra multiplicando Fy por el coseno del ángulo de **offset α, definido como el ángulo entre ⊥L y ⊥S**.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura : definición del ángulo α.

La aportación a la fuerza F de Fy, , será entonces la mostrada en la ecuación (19)

### Efecto de la fuerza peso

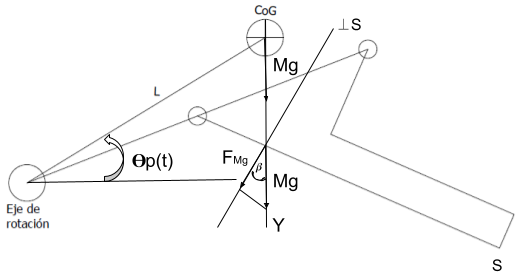
Para facilitar la claridad en el estudio de la aportación de la fuerza peso a la fuerza F, , se hará sobre el esquema de la Figura 6, rotado un cierto ángulo, como se aprecia en la Figura 8.

Diagrama

Descripción generada automáticamente

Figura

En este caso, la aportación a F debida al peso sí varía con el ángulo . Esta aportación será la proyección del peso sobre ⊥S, tal y como se aprecia en la Figura 9. Esta proyección se logra multiplicando Mg por el coseno del **ángulo de desfase β, definido como el ángulo entre ⊥S y la vertical**.



Figura

Por tanto, la aportación a F de la fuerza peso, , vendrá dada por la relación mostrada en la ecuación (20)

El ángulo β se obtiene de la siguiente manera:

…

## Modelado en Laplace

### Punto de trabajo

Una vez disponemos de las ecuaciones que describen el comportamiento del sistema en el dominio del tiempo, es decir, las ecuaciones (12)-(18), se procede a linealizar en torno a un punto de trabajo deseado.

Dado que el recorrido del dedo son aproximadamente 90º, tomaremos el punto intermedio como punto de trabajo de la articulación del exoesqueleto, es decir, **Ѳp(0) =45º**

[Por hacer]

### Linealización

### Diferenciación

### Modelo en el dominio de Laplace

### Diagrama de bloques

### FdT