

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA**  
DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

# **ROBOT CILÍNDRICO**

## **SEGUNDO AVANCE DE PROYECTO ANUAL Y DE MATERIA**

**INGENIERÍA DE CONTROL**

**Razo Cerda Rosa María**

**Medina Rodríguez Francisco Javier**

**Martínez Noyola Moisés Emanuel**

**Alvarado Galicia Felipe**

**Pasillas González Iván Alejandro**

**Gutiérrez Muñoz José de Jesús**

## **Objetivo.**

Construir un robot de tipo cilíndrico, el cual hará una simulación de soldadura de micro alambre, mediante un led que indique la acción de soldadura, contando con 3 grados de libertad y con dimensiones totales de 50 cm de largo x 30 cm de alto.

## **Justificación.**

La exigencia de la construcción de un robot para el último ciclo de formación en la ingeniería Mecatrónica nos ha orillado a elegir este proyecto. Con la experiencia en el área de soldadura y herrería de dos integrantes del equipo hemos decidido construir este robot no para fines industriales, sino para uso del taller y como apoyo para el trabajador. La máquina hará simulación de soldadura de microlalambre usando un led como indicador de que la máquina función haciendo los movimientos correspondientes con su respectiva programación.

## **Marco teórico**

¿Qué es un robot industrial?

Primero, y de acuerdo con la Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Association), un robot industrial es “un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas. O, en otras palabras, una máquina o mecanismo articulado entre sí, el cual tiene 3 distintivos esenciales:

- Es internacional
- Puede ser controlado por un operador humano o dispositivo lógico
- Es reprogramable

Y todo sin hacer modificaciones físicas al robot pues está diseñado, justamente, para realizar tareas variadas y cíclicas que pueden adaptarse.

¿Cómo se conforma un robot industrial?

Además de estas características que definen a los robots industriales, usted también podrá observar que los robots industriales se componen de una estructura parecida, la cual tiene 4 componentes esenciales:

- Tienen un brazo mecánico con capacidad de manipulación, el cual puede ser controlado.
- Se componen de elementos estructurales rígidos, llamados eslabones o enlaces.
- Estos son conectados por articulaciones, las cuales pueden ser lineales o rotatorias.
- Terminan en “manipuladores” los cuales pueden ser pinzas o herramientas.

### **Robot Cilíndrico**

El robot tiene al menos una junta giratoria en la base y al menos una junta prismática para conectar los enlaces. La junta rotativa utiliza un movimiento de rotación a lo largo del eje de la junta, mientras que la junta prismática se mueve en un movimiento lineal. Los robots cilíndricos operan dentro de un sobre de trabajo de forma cilíndrica. Usado en operaciones de traslado de materiales, ensamblaje, manipulación de máquinas y herramientas, soldadura por punto y manipulación en máquinas de función a presión.

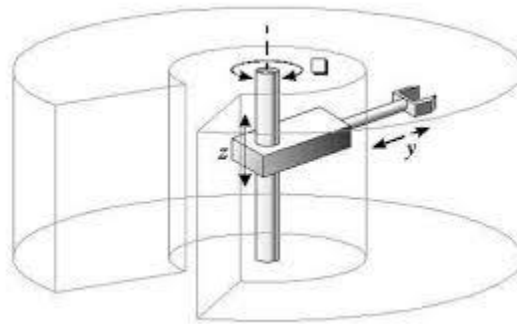


Figura 1. Imagen típica de un robot cilíndrico.

### **Aplicación en la materia.**

La aplicación de una visión artificial en este modelo del robot, sea que analizara entre los planos X y Y para saber dónde debería que soldar y sabes si una parte ya está soldada. Por ejemplo, como detectar puntos de la lámina y soldar donde están. Como opción, usando un sensor de visión la maquina podrá ajustarse a las condiciones que necesite para soldar de manera más efectiva y revisando posibles errores en el cordón para corregirlos o notificar al usuario más cercano de que se necesita atención en el área.

## Propuesta de diseño

A continuación, se muestran imágenes de las vistas generales del robot en Inventor Professional® de Autodesk®

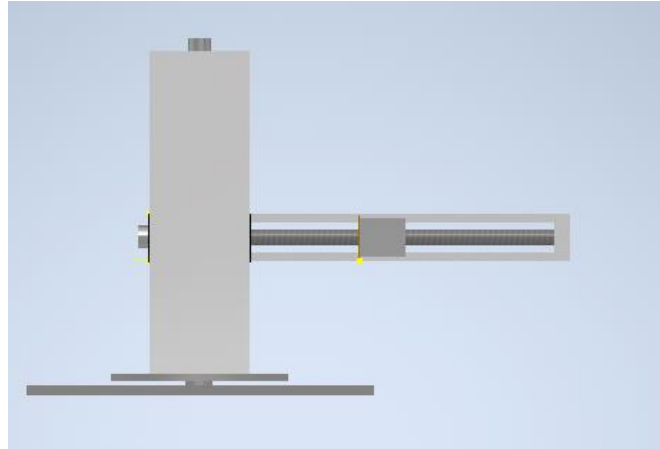


Figura 2. Vista lateral derecha

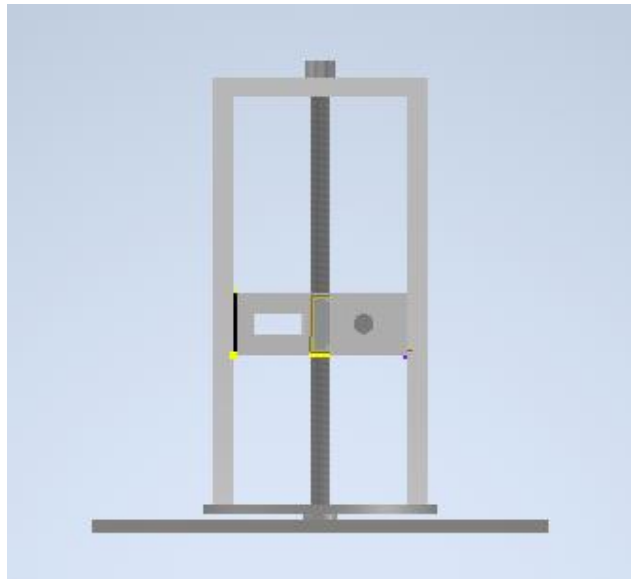


Figura 3. Vista Frontal

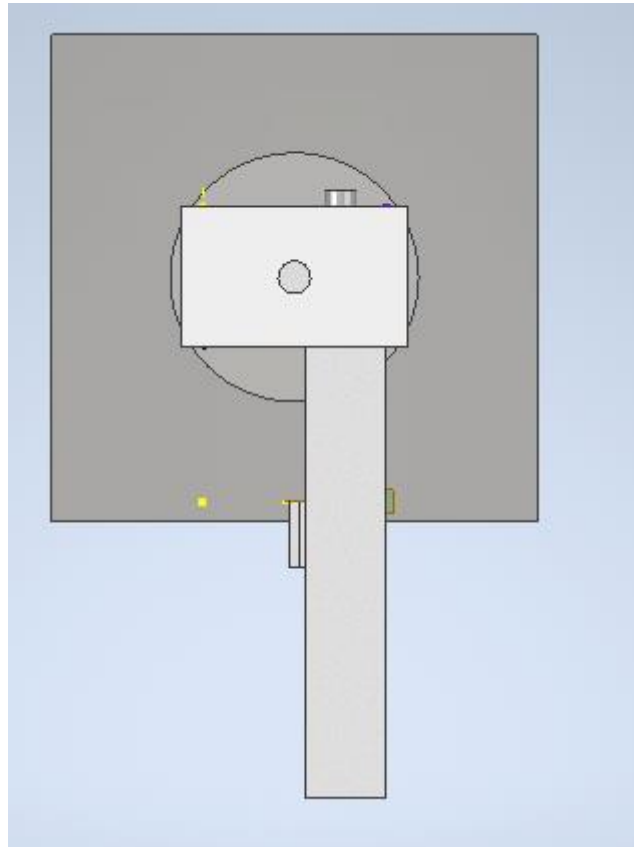


Figura 4. Vista Superior

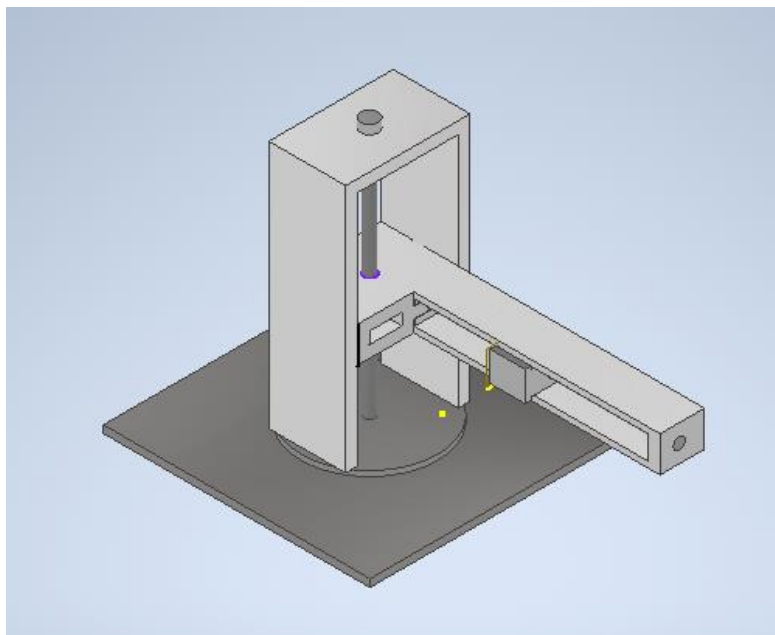


Figura 5. Vista angular

## Selección del material

Debido al uso para el que estará destinado el robot se llegó a la conclusión de utilizar aluminio para la estructura principal.

Beneficios del aluminio.

El aluminio es ligero, con una densidad de un tercio de la del acero: 2,700 kg/m<sup>3</sup>.

El aluminio presenta una resistencia a la tracción de entre 70 a 700 MPa dependiendo de la aleación y del proceso de elaboración. Los perles extruidos de aluminio con una aleación y un diseño apropiados pueden llegar a ser tan resistentes como el acero estructural.

El módulo de elasticidad (módulo de Young) del aluminio es un tercio que el del acero ( $E=70.000$  MPa). Esto significa que el momento de inercia debe ser tres veces mayor en una extrusión de aluminio para lograr la misma deflexión que un perfil de acero.

El aluminio posee una facilidad de conformado óptima, una característica que se aprovecha al máximo en la extrusión. El aluminio también se puede soldar, curvar, estirar, punzonar y fresar.

Reciclaje: El aluminio es un material con muy buenas propiedades de reciclado. Sólo el 5 por ciento de la energía requerida para producir el metal primario inicialmente es requerida para volverlo a fundir, manteniéndose las propiedades del metal durante el proceso.

## Modelado del sistema

Una parte esencial para el control del brazo robótico es la determinación de los eslabones y las funciones de transferencia que controlan cada subsistema.

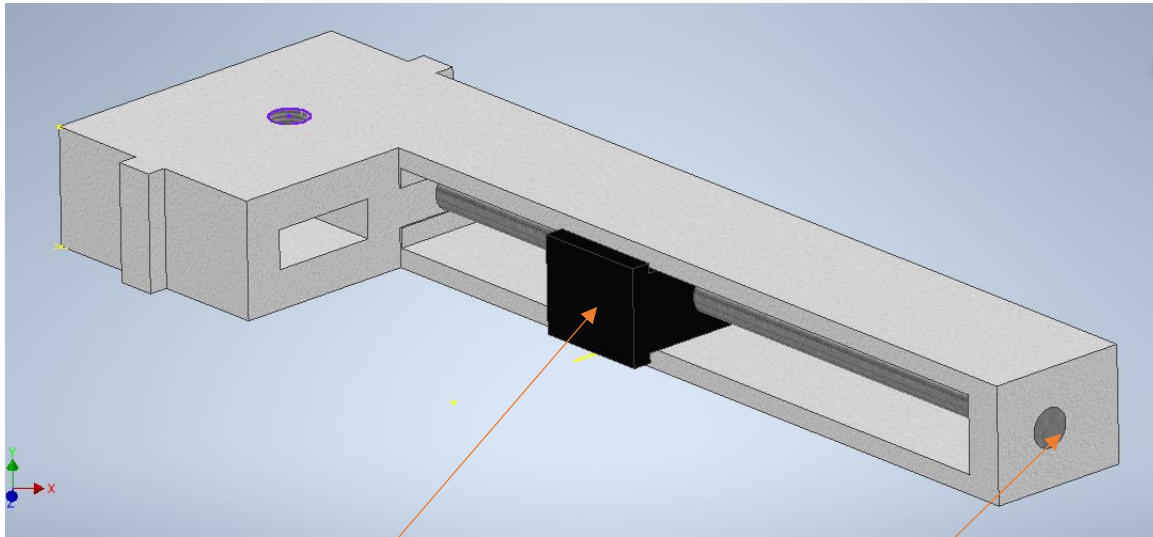
En este tipo de robot, los eslabones que lo conforman se expresan en la siguiente tabla:

Articulación	$\theta$	$d$	$a$	$\alpha$
1	$q_1$	$l_1$	0	0
2	$90^\circ$	$d_2$	0	$90^\circ$
3	0	$d_3$	0	0

Tabla de movimientos del robot en el plano 3D

Siendo:  $\theta$  las rotaciones en el eje Z,  $d$  las distancias en el eje Z,  $a$  las distancias hacia el eje X y  $\alpha$  los valores de rotación en el eje X

Para este caso, se seleccionó el subsistema 3, el mismo que incluye el soporte para la herramienta, en nuestro caso, la antorcha de soldar. Este eslabón tiene las siguientes partes:



Soporte de herramienta

Husillo de movimiento

Figura 6. Elementos del subsistema 3

## Controlador PID

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además, el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso (Améstegui Moreno, 2018).

$$v(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ec. (1)}$$

## Método de sintonización de Ziegler-Nichols

Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $t_i$  y del tiempo derivativo  $t_d$ , basándose en las características de

respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta. La respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, tal como se muestra en la Figura 7.

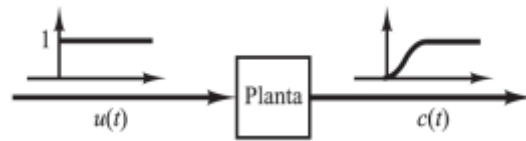


Figura 7. Respuesta a un escalón unitario de una planta Fuente: *Ogata, 2010*

Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la Figura 8.

Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $T$ .

El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea  $c(t) = K$  (*Ogata, 2010*).

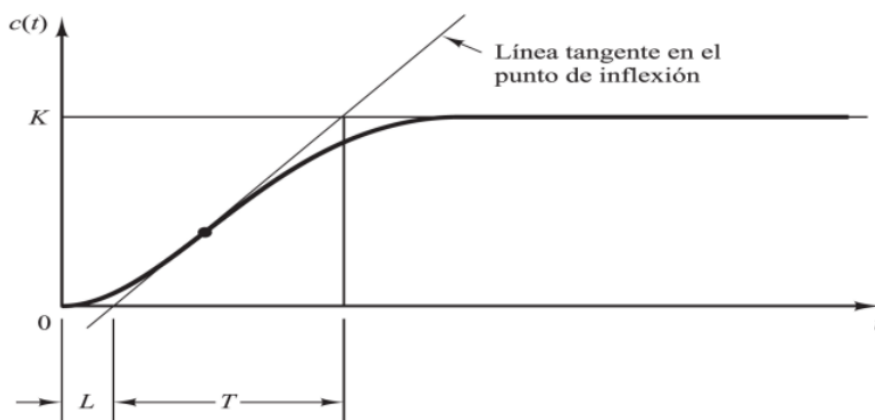


Figura 8. Curva de respuesta en forma de S Fuente: *Ogata, 2010*



### Respuesta del subsistema 3

El eslabón identificado como E3 en la figura 9 tiene un movimiento sobre el eje y

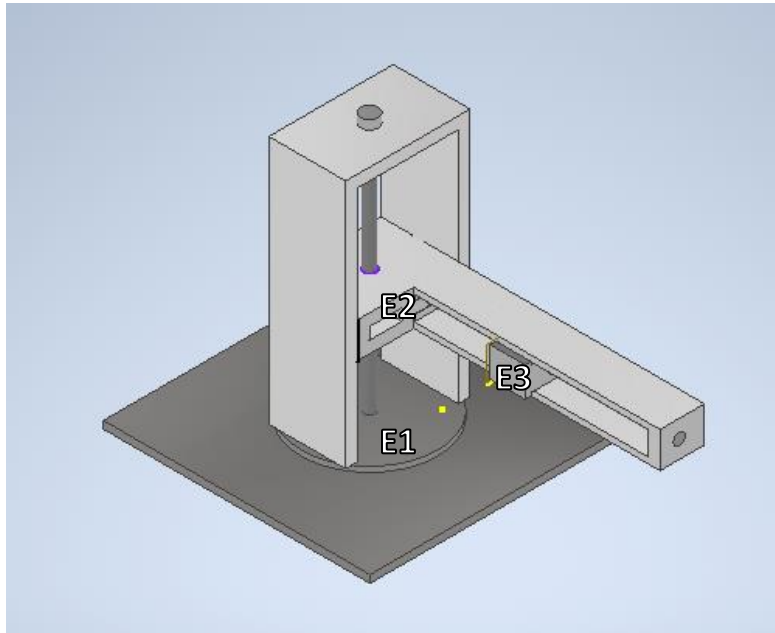


Figura 9. Identificación de los eslabones

Para determinar la cinemática directa se realiza el análisis correspondiente considerando el movimiento trasnacional y rotacional que presenta la configuración de robot, esto en función de su plano original.

Para realizar la sintonización del controlador PID, se parte de la adquisición de datos de entrada y salida de cada una de las articulaciones.

Para esto se requiere el procesamiento de los datos mencionados por medio del software especializado MATLAB para estimar el modelo o función de transferencia del eslabón y calcular a través del método de sintonización de Ziegler-Nichols los valores óptimos de las ganancias correspondientes al controlador.

Para la presente articulación se logró estimar un modelo o función de transferencia de segundo orden correspondiente a partir de los datos de respuesta obtenidos ante una entrada escalón, el cual se muestra en la Ecuación 2.

$$G(s) = \frac{285.7}{s^2 + 34.02s + 326.9} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Aplicando el método de sintonización de Ziegler-Nichols se calculan los valores de las ganancias del controlador PID correspondiente a la articulación E3 (ver Tabla 2).

Ganancia	Valor
$K_p$	12.42
$K_i$	388.06
$K_d$	0.0994

Tabla 2. Valor de las ganancias del controlador

### Aplicación del control

En seguida se muestran los resultados obtenidos de aplicar el controlador PID a la planta o modelo estimado, es decir a la configuración del Robot cilíndrico. A partir de los procedimientos realizados para estimar el modelo y el valor de las ganancias, los resultados obtenidos de la respuesta para las articulaciones correspondientes. La respuesta en la articulación E3 a partir del modelo estimado (ecuación 2) pertenece al desplazamiento, el cual se puede ver en la Figura 10 donde la señal de respuesta da seguimiento al valor de referencia establecido.

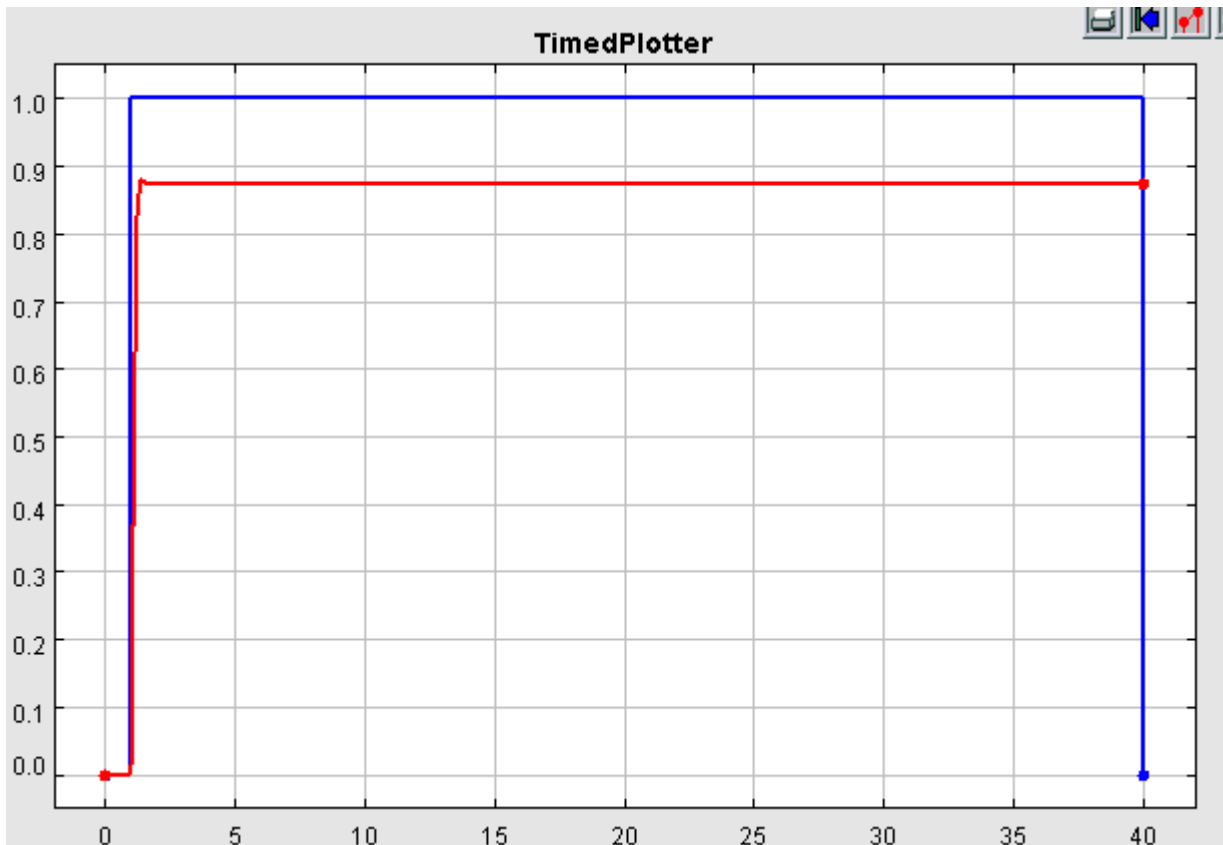


Figura 10. Respuesta de salida del eslabón E3.

Los valores que arroja el graficador son ideales, puesto que aún no se han considerado muchas otras variables como la fricción que pueda generarse en las paredes del eslabón o el peso extra de la herramienta. Se espera que dentro de los siguientes días se corrija el cálculo anterior teniendo en cuenta lo mencionado.