
CAPITULO XI Estudios Finales y Resultados

11.1 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

La evolución del proyecto se realizó después de construido y ensamblado cada una de la partes que componen este robot. Se obtuvieron resultados favorables en todas las pruebas realizadas, ahora se mostraran los resultados finales del desplazamiento del robot a lo largo del tubo. En las pruebas físicas del robot en acción se logró conseguir movimiento no solo en dirección horizontal, el robot fue capaz de desplazarse en dirección vertical de forma ascendente y descendente, así como en pendientes de 45° con respecto a la horizontal. Con esto logramos el primer objetivo de este segundo proyecto que como recordamos fue, poder adquirir movimiento ascendente del robot, sin importar cual fuera el ángulo de inclinación que tuviera el tubo.

Para poder tener un estudio más determinado de estos óptimos resultados, se realizó un estudio de cuál fue la velocidad obtenida en cada una de las posiciones, y deliberar si el robot es factible aun con la fuerza de gravedad en contra de su avance.

Aquí los resultados:

Inclinación °	Velocidad (mm/s)
0	40.9
30	40
45	38.76
60	36.8
90	33.09

Fig. 120. Tabla con resultados de velocidad a diferentes inclinaciones.

En base a estos datos se realizó el gráfico para observar el comportamiento de la velocidad conforme va aumentando la inclinación, hasta formar un ángulo completamente perpendicular a la horizontal, donde la fuerza de gravedad ejerce su máxima valor de fuerza.

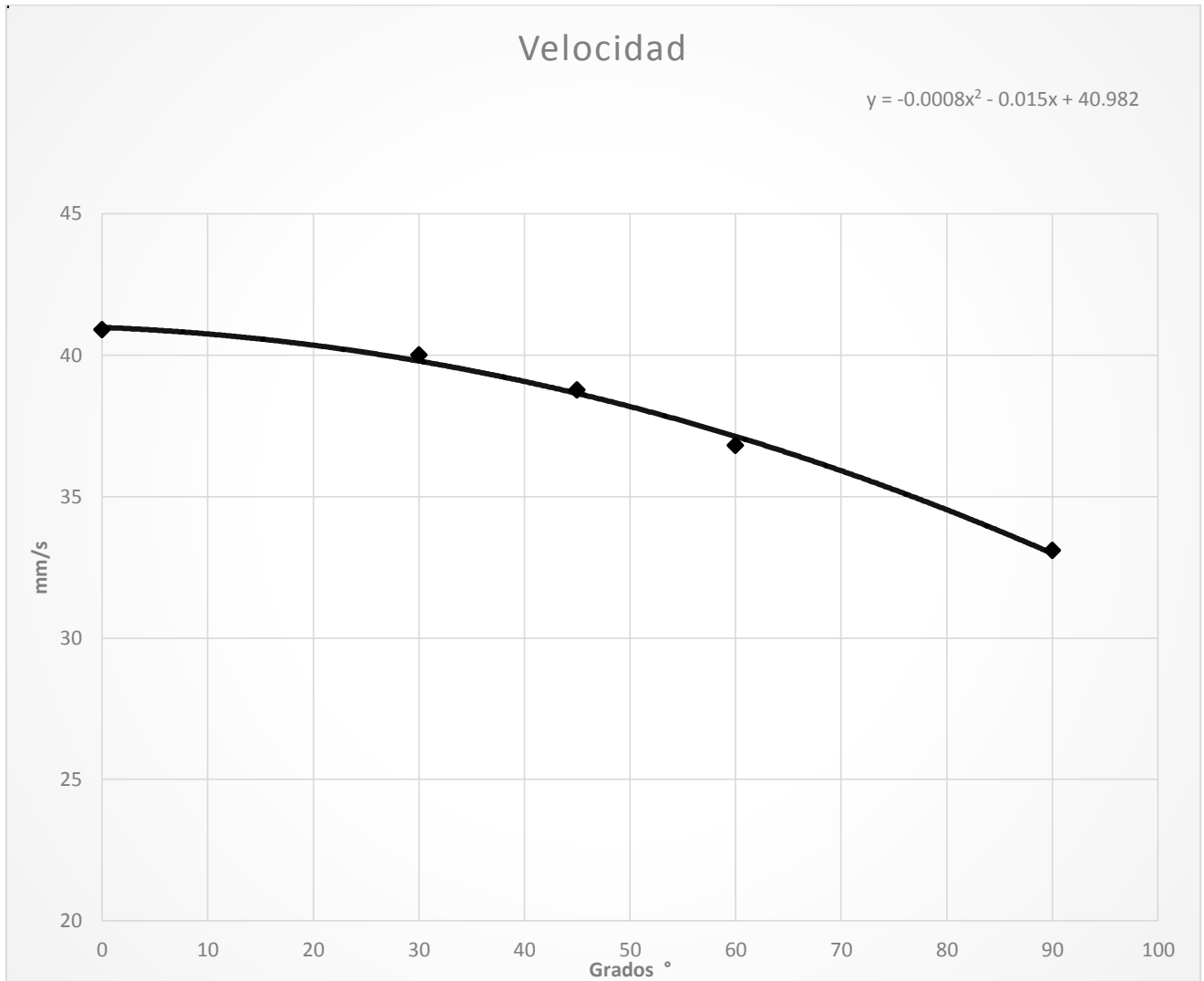


Fig. 121. Gráfico de velocidad final

Podemos observar que la razón de cambio de velocidad cuando el ángulo de inclinación se va acercando a su máximo (90°), es muy pequeño, por lo cual nos dice que el robot no tiene pérdidas considerables de velocidad aun cuando este se encuentra totalmente sobre la vertical. Con estos resultados pasamos el siguiente objetivo que

es el cálculo del radio de curvatura permisible para este robot, en cual cabe mencionar que el método para calcularlo fue exclusivamente matemático, ya que no se contó con el material necesario para poder ser experimentado.

11.2 CALCULO DEL RADIO DE CURVATURA

Una de las mejoras que se estableció como objetivo al principio de este proyecto fue poder realizar movimiento sobre tubos con un cierto radio de curvatura. Sin embargo estos cálculos no se podían realizar sin tener el prototipo real, ya que se necesitaban las medidas reales del robot para poder realizar estos cálculos.

Una ventaja que tenemos en el robot, es el pequeño movimiento que se tiene en el sistema de unión entre el pistón y sistema de tres brazos.

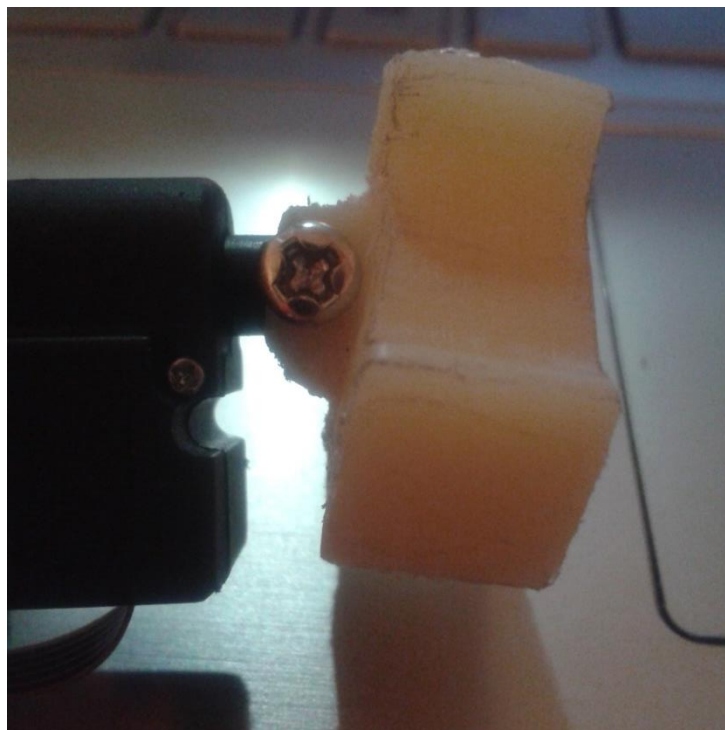


Fig. 122. Sistema de unión

Este sistema proporciona un ligero movimiento que da más libertad al movimiento en curvas.

Bien, ahora para realizar estos cálculos necesitamos saber la forma matemática en la que se realizan. Para esto se tomó la fórmula de radio de un arco la cual nos dice que:

$$R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

(3.1)

Donde:

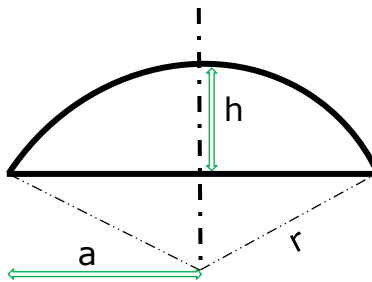


Fig. 123. Esquema de las variables de un radio de curvatura

Ahora debemos definir las dimensiones de nuestro robot dentro de un tubo para tomar los valores y sacar el radio de curvatura correspondiente.

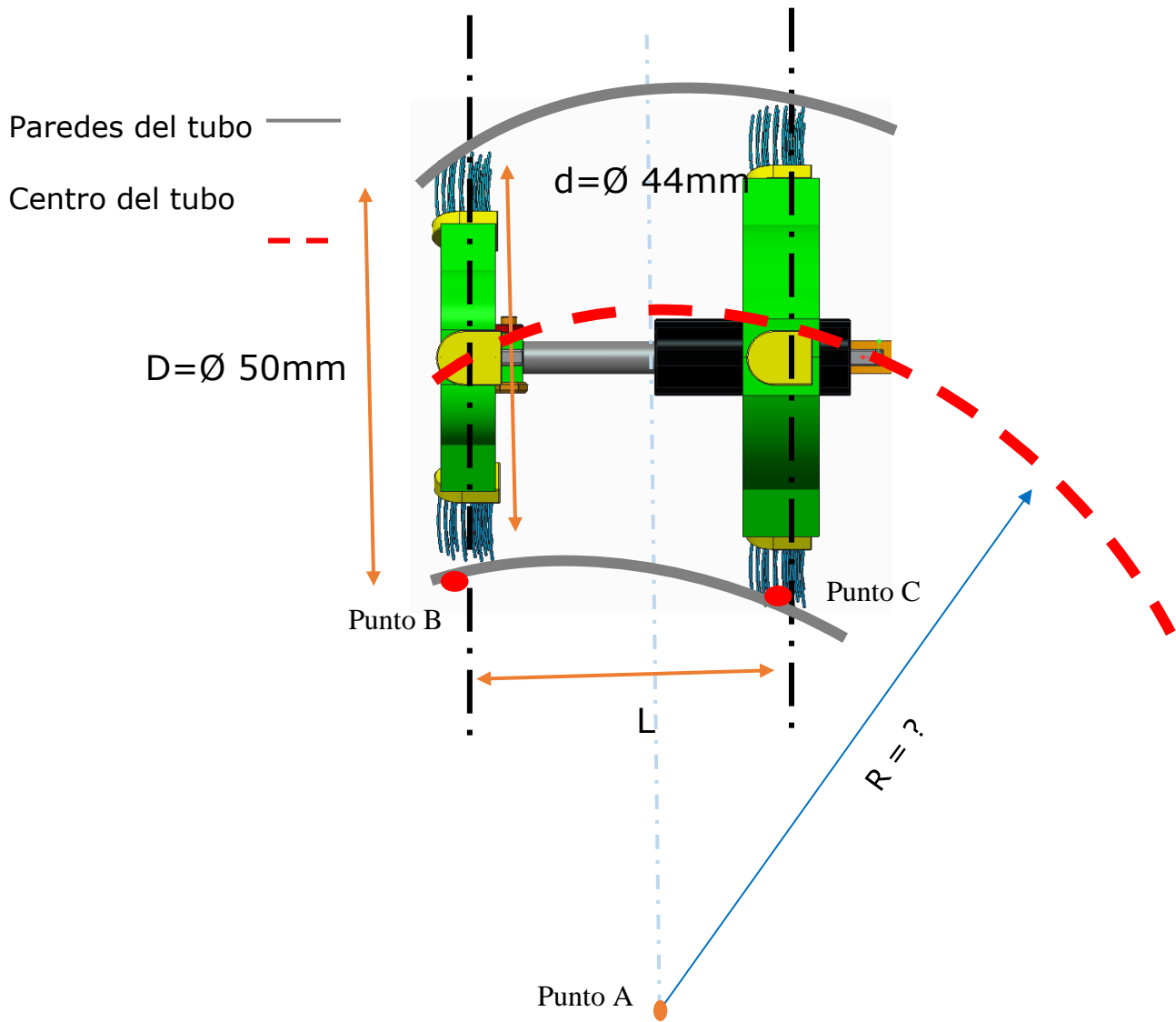


Fig. 124. Bosquejo de la curvatura del tubo el actuador

Donde:

L = distancia entre la parte media del actuador fijo y el actuador móvil

D = diámetro interno del tubo

d = diámetro que forma el sistema del robot con un ligero doble de las cerdas

R = el radio de curvatura que estoy buscando

Además de esto recurrimos al método gráfico para poder obtener los valores de h . esto se realizó de la siguiente manera.

- Se dibuja el cuadro formado por las medidas de L y d . Comenzaremos con el valor de L_1 .

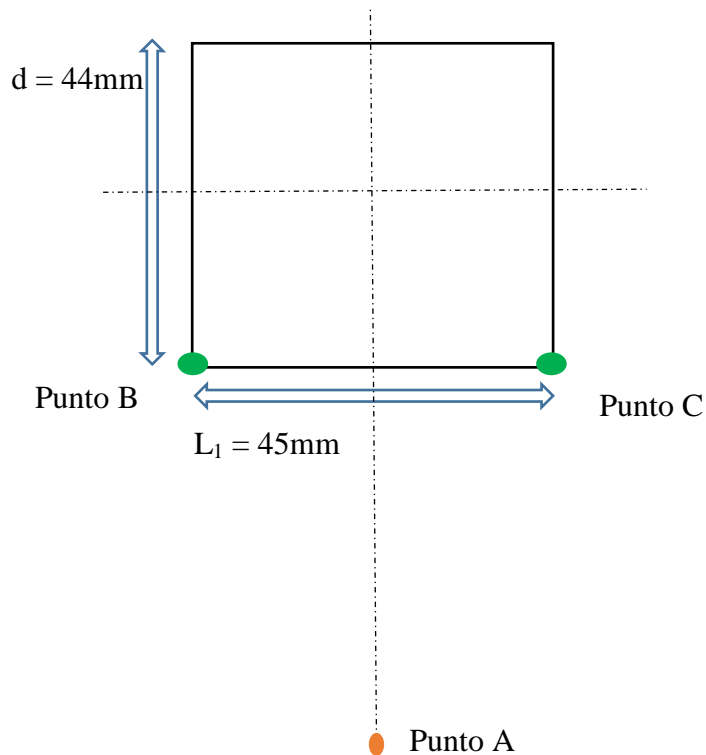


Fig. 125. Método gráfico con valor de L_1

- Una vez realizado este gráfico se toma un compás y la punta de apoyo se coloca sobre un determinado punto A, de la forma que el otro extremo del compás pueda unir con un arco el punto b con el punto c.

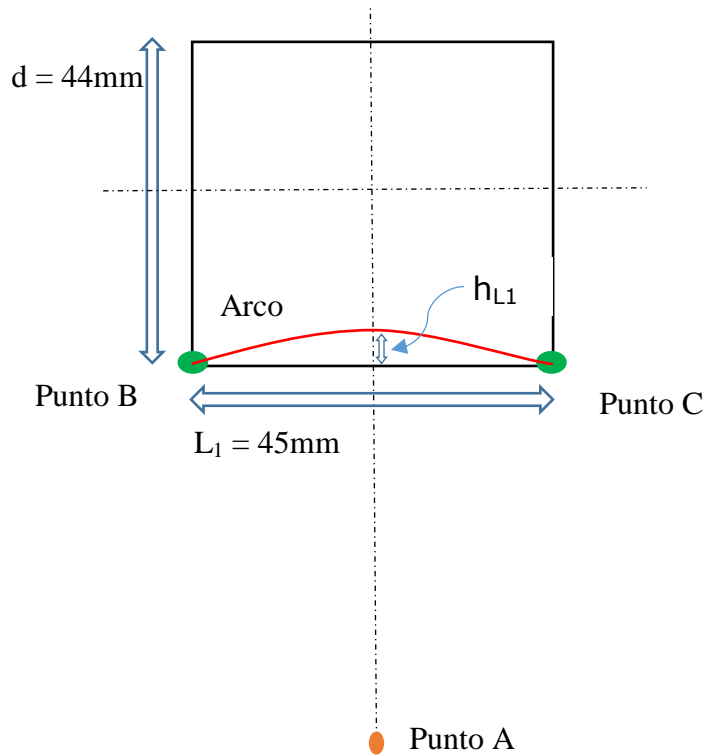


Fig. 126. Método gráfico para obtención de h_{L1}

Donde:

$L_1 = 45\text{ mm}$ (cuando el pistón solo se expande 10mm).

Y el resultado para h , al medirlo por el método gráfico nos dio:

$$h_{L1} = 2.5\text{ mm}$$

Como podemos notar gracias a este método obtenemos nuestra h en función de L_1 . Y el cálculo de la curvatura para este valor es el siguiente:

Sabemos que:

$$R = \frac{a^2 + h^2}{2h}$$

Donde:

h = altura entre la horizontal y el arco formado por los vértices de L .

Sabemos que:

$$L = 2a$$

$$L_1 = 45 \text{ mm}$$

Despejamos "a" y la ecuación nos queda:

$$a = \frac{L}{2}$$

Sustituyendo valores:

$$a = \frac{45 \text{ mm}}{2}$$

Resolviendo:

$$a = 22.5 \text{ mm}$$

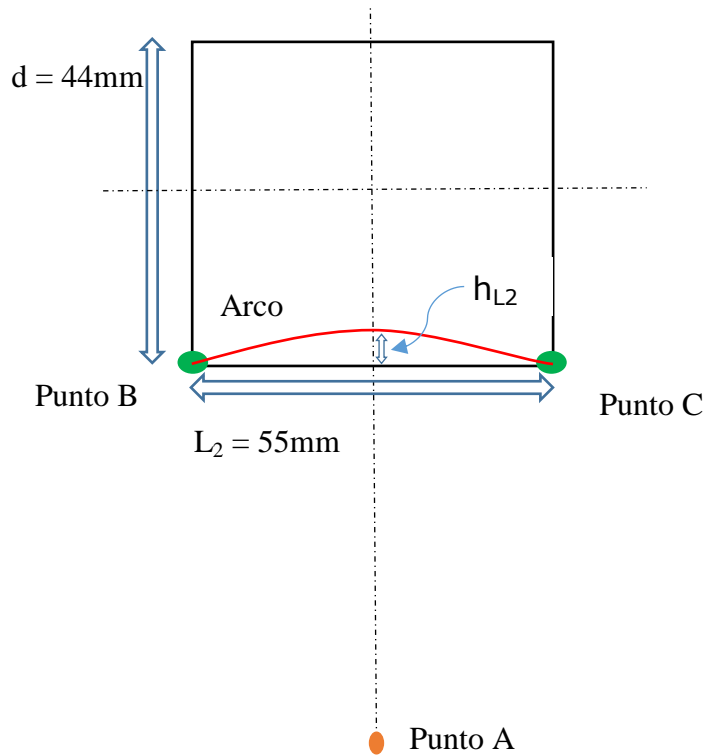
Tomando la fórmula 3.1, sustituimos valores para determinar R :

$$R = \frac{(22.5 \text{ mm})^2 + (2.5 \text{ mm})^2}{2(2.5 \text{ mm})}$$

Resolviendo:

$$R_{h_{L1}} = 102.5 \text{ mm}$$

Ahora calcularemos el radio de curvatura cuando el pistón está extendido 20 mm. Realizamos el mismo método gráfico para determinar h_{L2} .

Fig. 127. Método gráfico para obtención de h_{L2}

Donde:

$L_2 = 55\text{ mm}$ (cuando el pistón solo se expande 20mm).

Y el resultado para h , al medirlo por el método gráfico nos dio:

$$h_{L1} = 3.5\text{ mm}$$

Sabemos que:

$$L = 2a$$

$L_2 = 55\text{ mm}$

Despejamos "a" y la ecuación nos queda:

$$a = \frac{L}{2}$$

Sustituyendo valores:

$$a = \frac{55\text{mm}}{2}$$

Resolviendo:

$$a = 27.5\text{ mm}$$

Tomando la fórmula 3.1, sustituimos valores para determinar R:

$$R = \frac{(27.5\text{mm})^2 + (3.5\text{mm})^2}{2(3.5\text{mm})}$$

Resolviendo:

$$R_{h_{L1}} = 109.8 \text{ mm}$$

Por lo tanto concluimos que:

Nuestro radio de curvatura para este prototipo esta entre los valores:

$$\underline{R = 102\text{mm hasta } 110\text{mm}}$$

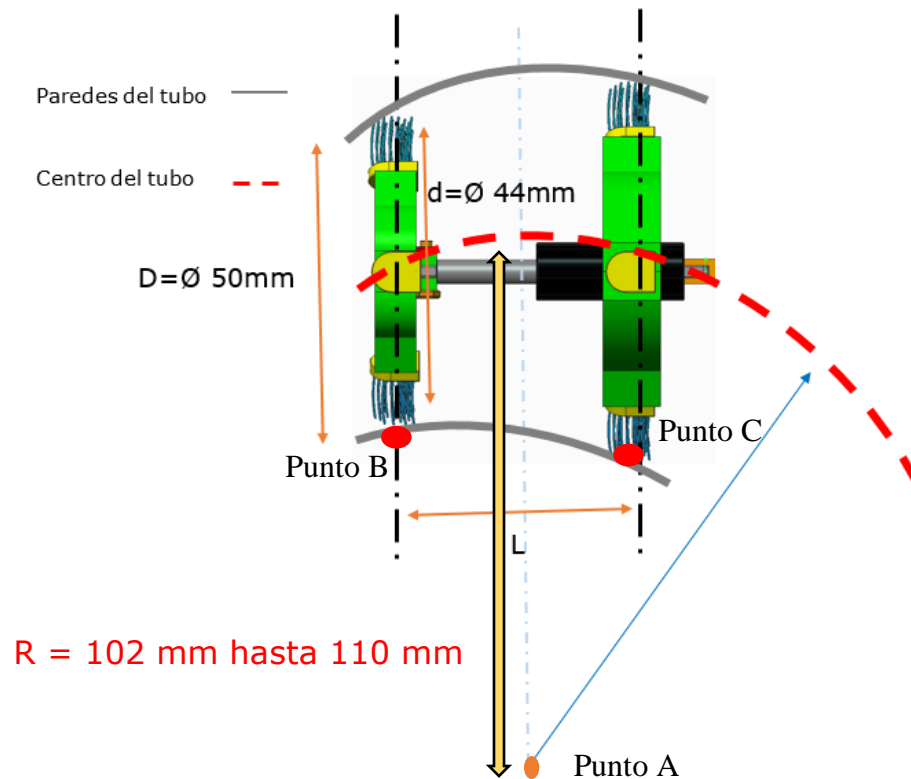


Fig. 128. Bosquejo de radio de curvatura permisible

Con estos resultados cumplimos con nuestro segundo objetivo de conseguir que nuestro robot pueda moverse por tubos con cierto

margen de radio de curvatura, y no estar limitado a tubos completamente rectos.

11.3 CALCULO DE RUGOSIDADES

En este capítulo mostraremos los estudios de las rugosidades de diferentes materiales, esto con el fin de saber el comportamiento teórico de nuestro robot si se colocara en alguna de estas superficies. Para realizar este experimento se requirió de un *rugosímetro*, el cual nos proporcionara el valor de rugosidad de cada material. Este dispositivo se muestra a continuación.



Fig. 129. Rugosímetro

Ahora mostraremos el material y sus parámetros.

Plástico:

Material	Plástico(polietileno)
Rugosidad	Valor [μm]
Rz	5.387
RSm	727.7
Ra	0.181
Rq	0.416

Fig. 130. Tabla de valores del plástico



Fig. 131. Tubo de plástico

Acero:

Material	Acero
Rugosidad	Valor [μm]
Rz	36.288
RSm	554.8
Ra	4.845
Rq	6.897

Fig. 132. Tabla de valores del Acero



Fig. 133. Tubo de Acero

Nylamid:

Material	Nylamid
Rugosidad	Valor [μm]
Rz	16.649
RSm	513.7
Ra	2.572
Rq	3.241

Fig. 134. Tabla de valores de Nylamid



Fig. 135. Tubo de Nylamid

Aluminio:

Material	Aluminio
Rugosidad	Valor [μm]
Rz	7.409
RSm	211.6
Ra	0.962
Rq	1.208

Fig. 136. Tabla de valores de aluminio

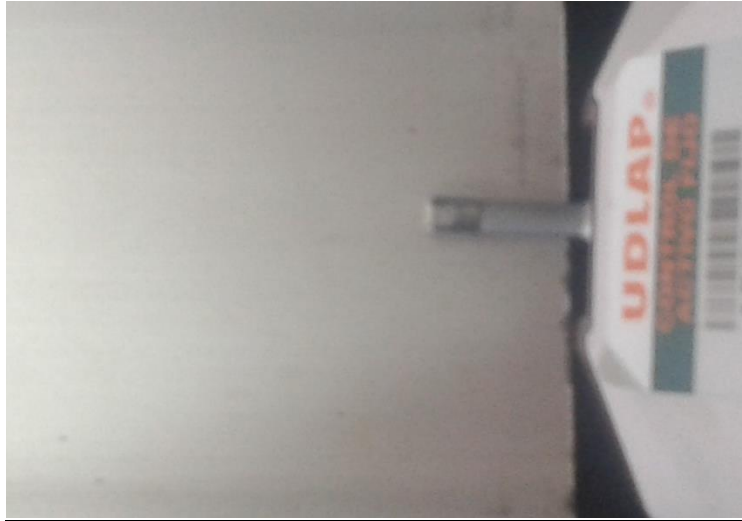


Fig. 137. Medición de aluminio

Concreto:

Material	Concreto
Rugosidad	Valor [μm]
Rz	51.97
RSm	723.1
Ra	8.593
Rq	10.865

Fig. 138. Tabla de valores de concreto



Fig. 139. Segmento de concreto seleccionado

Acrílico:

Material	Acrílico
Rugosidad	Varlor [μm]
Rz	15.615
RSm	696
Ra	3.217
Rq	3.844

Fig. 140. Tabla de valores de Acrílico



Fig. 141. Segmento de Acrílico seleccionado

Madera:

Material	Madera
Rugosidad	Valor [μm]
Rz	60.194
RSm	325.3
Ra	9.372
Rq	11.89

Fig. 142. Tabla de valores de madera.



Fig. 143. Medición de madera.

Gracias a este experimento podemos observar en la siguiente grafica que el material que escogimos para este proyecto es el de menor rugosidad, lo que nos dice que si el robot se pudo desplazar en este medio, podrá hacerlo sin dificultad en cualquiera de los otros materiales. Esto gracias a la fuerza ejercida por su actuador.

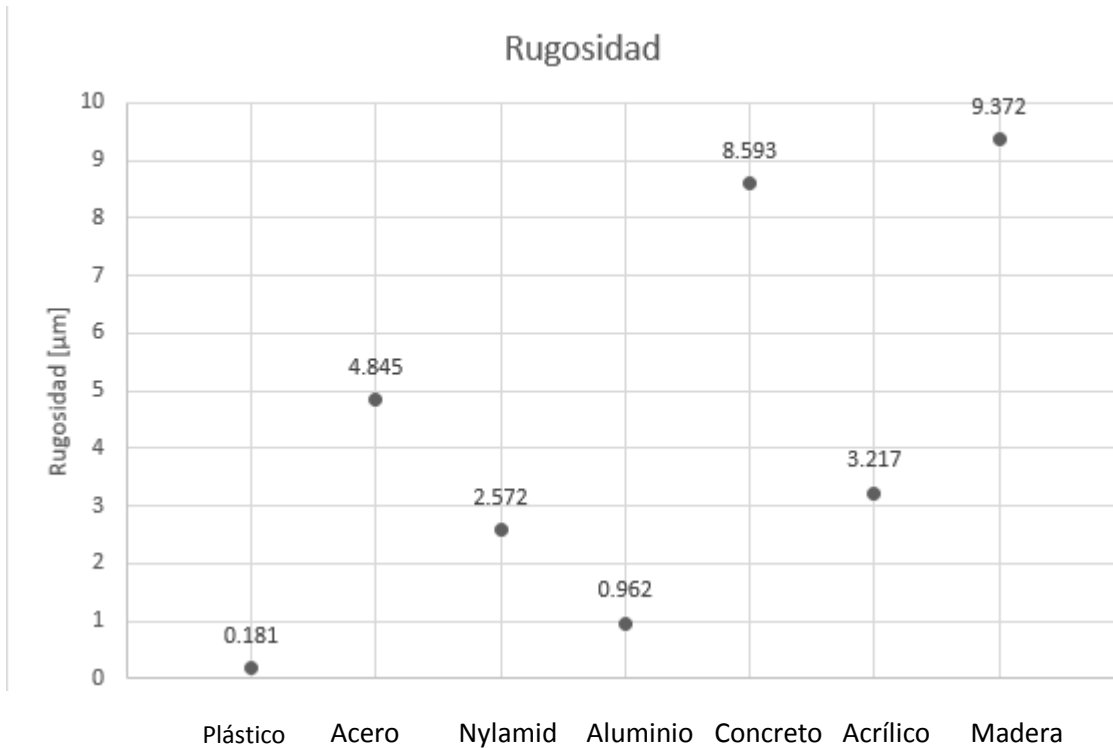


Fig. 144. Tabla de rugosidades