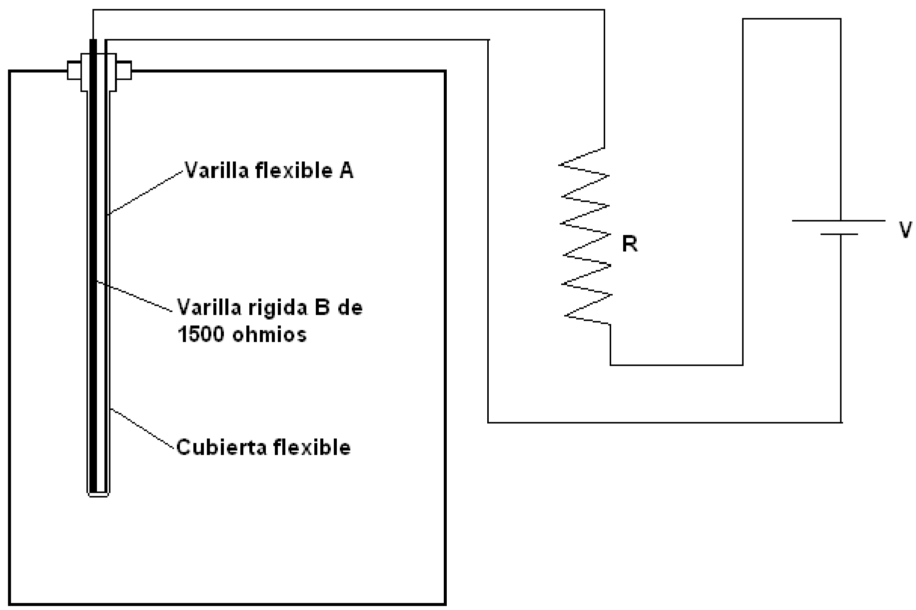
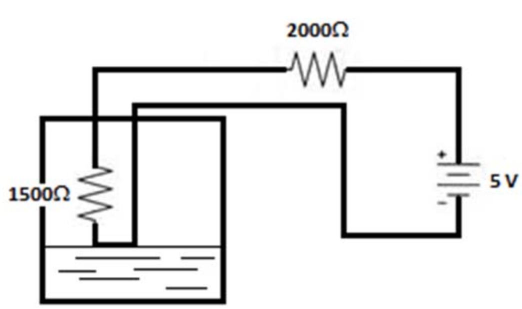
1) *Con el sensor potenciométrico indicado en la figura siguiente se mide el nivel en función de una variación de la resistencia.*



El sensor está compuesto de una varilla conductora flexible A unida a una cubierta flexible y una varilla rígida resistiva B. Determine:

a) *¿Cómo funciona este sensor y cuál es el cursor?*
b) *Si la varilla rígida tiene una resistencia de 1500Ω, R es una resistencia de 2KΩ y V es 5 V. Cuál es el rango de variación de la corriente si el tanque tiene una altura de 150 mm, el final del sensor se encuentra a 15 mm del fondo, de la parte superior del tanque las varillas sobresalen 10 mm, el sensor detecta hasta 5 mm bajo la superficie del líquido y el tanque lleno corresponde al 95% de su altura. Suponga que la variación de la resistencia es lineal a lo largo de la varilla B.*
c) *¿Cuál es el error en la medición del nivel?*
d) *Dibuje la característica corriente vs. Nivel.*



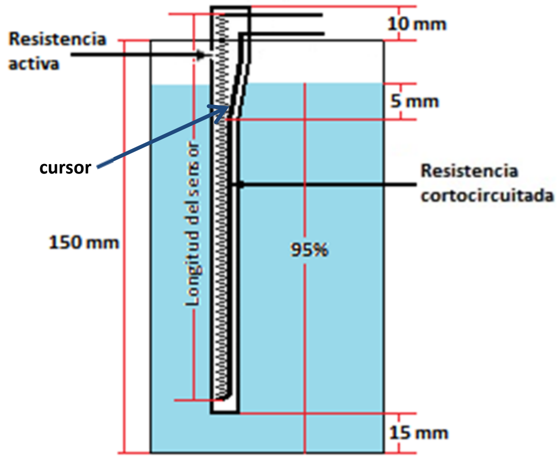
a) Al hundirse en el líquido el sensor se aplasta y el punto donde se unen la varilla flexible (conductora) con la rígida (resistencia) hace las veces de cursor de este potenciómetro.

b) Longitud del sensor = 150 mm – 15mm+10mm = 145mm
Sensibilidad del potenciómetro = 1500/145mm = 10.34Ω/mm

Se puede considerar tanque vacío cuando no hay líquido o cuando el nivel del líquido es de 15mm, en cuyo caso el circuito eléctrico está formado por la varilla rígida, la resistencia de 2 kΩ y la fuente.

Para l_{min} = 0 o 15 mm: (l es nivel)
i_{min} = 5V / (1500Ω + 2000Ω)
i_{min} = 1.428x10^{-3} A o 1.428 mA

l_{max} = 0.95*150mm = 142.5 mm
Resistencia cortocircuitada = 142.5mm – 15mm – 5mm = 122.5mm

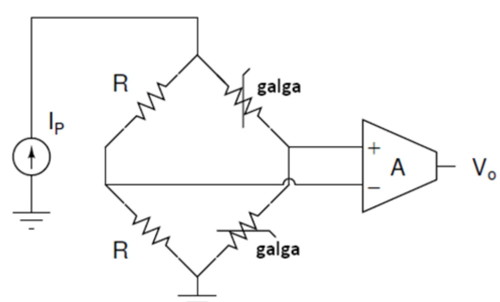


Resistencia activa = 145mm – 122.5mm = 22.5mm
Valor de la resistencia activa = 22.5mm x 10.34Ω/mm = 232.65Ω

Para l_{max} = 142.5 mm:
i_{max} = 5V / (232.65Ω + 2000Ω)
i_{max} = 2.239x10^{-3} A o 2.239 mA

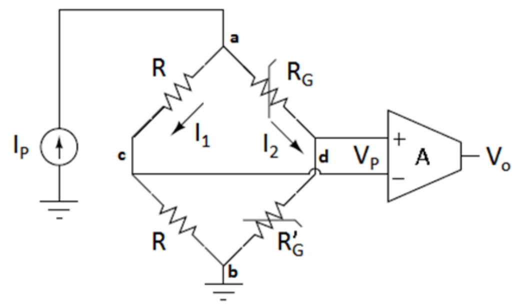
c) Nivel real máximo = 142.5mm
Nivel medido máximo = 142.5mm – 5mm = 137.5mm
%error = (5mm) x 100%/142.5mm = 3.51%

2) *(**Tomado del primer examen de Instrumentación, carrera de Electrónica Industrial, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid**) El circuito es un amplificador para galgas. Las dos galgas tienen R_0 =120 Ω y factor de galga G = 10, y están conectadas, como indicado en el dibujo, trabajando la de arriba a compresión y la de abajo a tracción. El rango de medida es de ε = [−100 x 10^{-6}, +100 x10^{-6}] y la potencia máxima disipable en la galga es de 120 mW.*



a. Calcular la expresión de la tensión de salida;
b. Encontrar A, R e I_P de forma que:
   i. el rango de salida sea de [−5 V, +5 V];
   ii. A sea lo más pequeño posible.

c. *Considerando que el valor de R_0 indicado anteriormente es el valor nominal a temperatura T_0 = 25°C. La galga es también sensible a la temperatura, así que para las dos galgas podemos escribir $R_0 = R_{00}.(1+\alpha(T-T_0))$, donde T indica la diferencia entre la temperatura de la galga y la temperatura de referencia, $\alpha = 1\ x10^{-3}\ K^{-1}$ y $R_{00} = 120\Omega$ (por supuesto). Calcular el error máximo relativo al fondo escala en un rango de temperatura entre 25 y 100 °C.*



a) $V_o = A \times V_P$ (amplificador operacional)
De la ecuación de galga:
$\Delta R/R_o = G\xi_L \rightarrow \Delta R = R_o\ G\xi_L \rightarrow R_G = R_o + \Delta R \rightarrow R_o + R_o\ G\xi_L$

Entonces:

$R_G = R_o\ (1 + G\xi_L)$ (galga a tracción)
$R'_G = R_o\ (1 - G\xi_L)$ (galga a compresión)

Vab es igual a la corriente I_P por la resistencia equivalente entre los puntos a y b, y eso es:

Rab = (R + R) paralelo con ($R_o\ (1 + G\xi_L) + R_o\ (1 - G\xi_L)$) = 2R paralelo con $2R_o = 2RR_o/(R+R_o)$

Vab = I_P x $2RR_o/(R+R_o)$

V_P = Vad – Vac

Vad por divisor de voltaje nos da:

Vad = Vab x R_G / ($R_G + R'_G$) = Vab x $R_o\ (1 + G\xi_L)$ /($R_o\ (1 + G\xi_L) + R_o\ (1 - G\xi_L)$) = Vab x $(1 + G\xi_L)/2$
Vac = Vab x R / (R + R) = Vab x R / 2R = Vab/2

Entonces:

V_P = Vab x $(1 + G\xi_L)/2$ - Vab/2 = Vab x $(1 + G\xi_L - 1)/2$ = Vab x $G\xi_L$ / 2

Entonces

$V_o = A \times V_P$ = A x Vab x $G\xi_L$ / 2 = =A x I_P x $2RR_o/(R+R_o)$ x $G\xi_L$ / 2 eliminando 2 con 2 queda finalmente:

$V_o = AI_PG\xi_LRR_o/(R+R_o)$

b) Para que A sea mínimo debemos hacer IP lo más grande posible, entonces:

$\Delta R = R_o G\xi_L = 120\ \Omega \times 10 \times 100 \times 10^{-6} = 0.12\ \Omega$
La resistencia de galga mínima es 120 Ω – 0.12 Ω = 119.88 Ω (en la galga a compresión)
Para la resistencia de galga mínima debe disiparse en la galga la potencia máxima ($P=Ri^2$) entonces:
$I_2\ max = \sqrt{(120 \times 10^{-3}\ W/119.88\ \Omega)} = \sqrt{(1.001 \times 10^{-3})} = 0.03163\ A = 31.64\ mA$

Hacemos **R = Ro = 120 Ω**, entonces $I_1 = I_2$ e $I_P = 2I_2 = 2 \times 31.64\ mA = 63.27\ mA$

Por lo tanto **I_P = 63.27 mA**.

Para la máxima deformación queremos que la salida sea 5 V, entonces $V_{omax} = 5$

Entonces de la expresión obtenida en a) tenemos que:

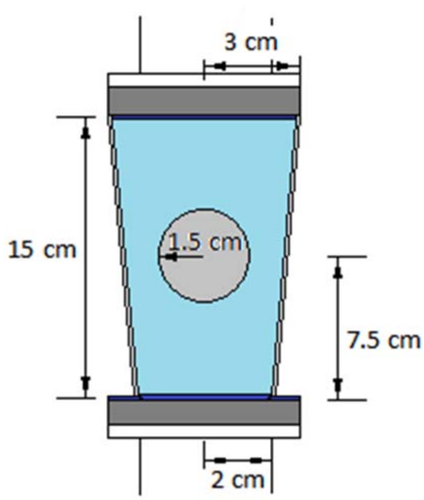
$V_o = AI_PG\xi_LRR_o/(R+R_o)$
$5V = Ax0.06327x10x100x10^{-6}x120/2$
$5 = Ax3.7962x10^{-3}$

$A = 5/3.7962x10^{-3} = 1317.10$

Entonces

A = 1317

3) *Un rotámetro está formado por un tubo en forma de cono truncado cuyos radios son de 3cm y 2cm. El flotador del rotámetro es una esfera de aluminio de densidad 2700 kg/m^3 y radio 1.5 cm. El rotámetro se lo utiliza para medir el caudal volumétrico de un líquido de densidad 1200 kg/m^3. Calcule la sensibilidad del caudalímetro cuando el centro geométrico del flotador coincide con el punto medio de la altura del dispositivo sensor, si se conoce que su altura es de 15 cm. Considere que el coeficiente de descarga del rotámetro es de 0.9.*



El caudal volumétrico de un rotámetro está dado por la expresión:

$$Q_v = C_d(A_1 - A)\sqrt{\frac{2gV}{A}(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1)}$$

$\rho_2/\ \rho_1 - 1 = \rho_{flot}/\ \rho_{fluid} - 1 = 2700 / 1200 -1 = 1.25$

El volumen de una esfera es $4/3\pi r^3$ por lo tanto para el flotador su volumen es:

$V = 4\pi(1.5)^3/3\ cm^3 = 14.137\ cm^3$

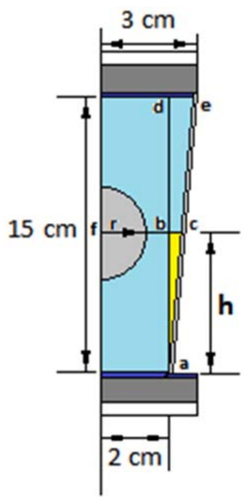
El área transversal del flotador es el área de la circunferencia que pasa por el centro de la esfera por lo tanto es:

$A = \pi(1.5)^2\ cm^2 = 7.06\ cm^2$.

Y con la gravedad de 980 cm/s^2, el valor del radical es:
$\sqrt{(2 \times 980 \times 14.137 \times 1.25/7.06)}\ cm^2/s^2 = 70.04\ cm/s$

Por lo que la expresión del caudal es:

$Q = 0.9(A1 – A) \times 70.04\ cm^3/s = 63.03(A1 – A)\ [cm^3/s]$



En términos de la altura del centro del flotador, h y considerando los triángulos Δabc y Δade tenemos que:

ab/ad = bc / de

h/15 = bc/(3 – 2)

bc = h/15

Por lo tanto:

$A1 – A = \pi(fc)^2 – \pi(r)^2 = \pi[(fb + bc)^2 – r^2] = \pi[(2 + h/15)^2 – 1.5^2]$

$A1 – A = \pi[(2 + h/15)^2 – 2.25]$

Entonces el caudal medido en el rotámetro está dado por:

$Q = 63.03(A1 – A) = 63.03\ \pi[(2 + h/15)^2 – 2.25]\ [cm^3/s] = 198.01\ [(2 + h/15)^2 – 2.25]\ [cm^3/s]$

$Q = 198.01\ [(2 + h/15)^2 – 2.25]$ (i)

Para h = 7.5 cm el caudal es:

$Q = 198.01\ [(2 + 7.5/15)^2 – 2.25]\ [cm^3/s]$

$Q = 792.04\ cm^3/s$.

Ahora si la salida del sensor es h y la entrada es Q, la sensibilidad S está dada por la dO/dI, esto es dh/dQ, por lo tanto tengo que expresar la ecuación (i) como h(Q), entonces me queda:

$(2 + h/15)^2 – 2.25 = Q/198.01$

$(2 + h/15)^2 = Q/198.01 + 2.25$

$2 + h/15 = (Q/198.01 + 2.25)^{1/2}$

$h/15 = (Q/198.01 + 2.25)^{1/2} - 2$

$h(Q) = 15(Q/198.01 + 2.25)^{1/2} -30$

Entonces:

$dh(Q)/dQ = 15\ d(Q/198.01 + 2.25)^{1/2} / dQ = 7.5(Q/198.01 + 2.25)^{-1/2}/198.01$

Sensibilidad = 0.0378/(Q/198.01 + 2.25)^{½}

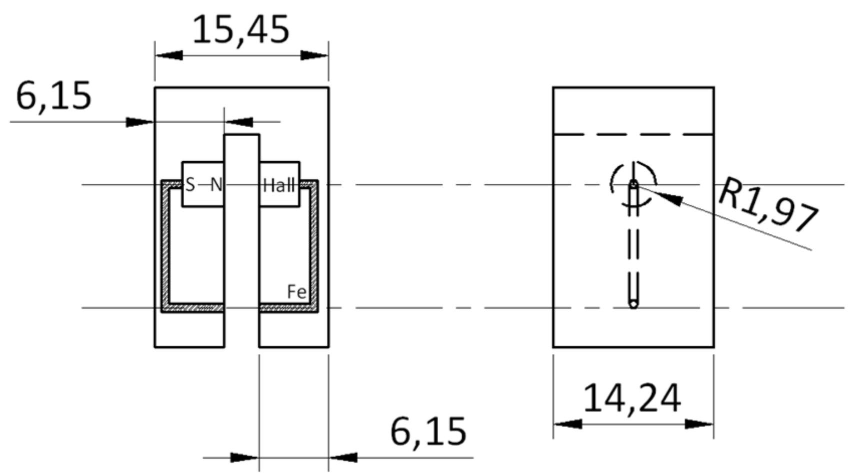
Y para un caudal de 792.04 cm^3/s que se produce para h = 7.5 cm la sensibilidad es:

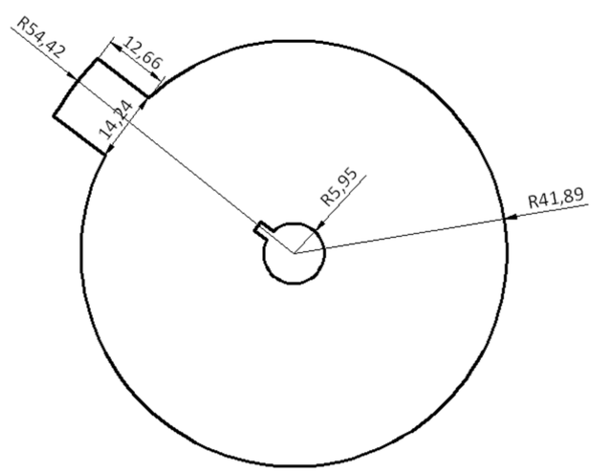
Sensibilidad = 0.0378/(792.04/198.01 + 2.25)^{½}

Sensibilidad = 0.0378 / √6.25 [$cm/cm^3/s$]

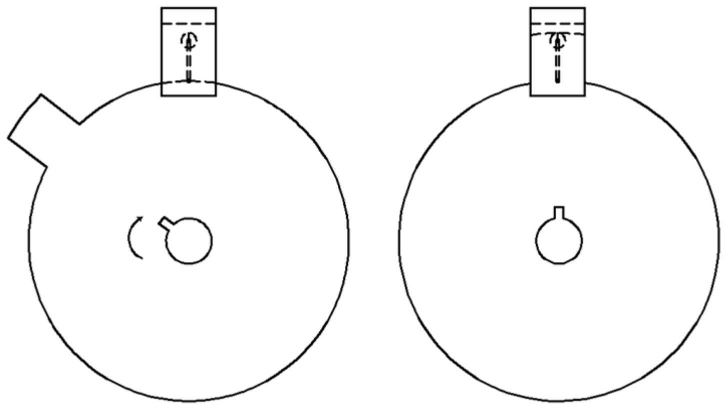
Sensibilidad = 0.01511 $cm/cm^3/s$

4) *Mediante el tacómetro de efecto Hall y la rueda con un diente, indicado en la figura con valores en cms., medimos la velocidad de un eje.*

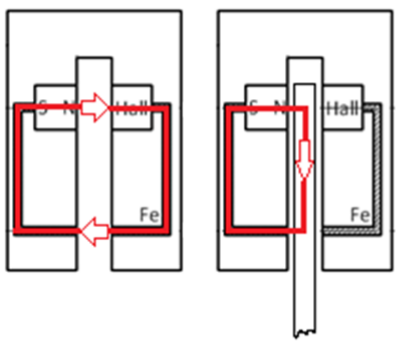


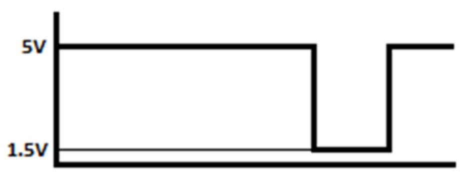


De acuerdo al esquema siguiente:



Si el margen de velocidad del eje va entre 20 y 500 rpm, determine cuál es el rango de variación de frecuencia de la señal del sensor y dibuje la onda que entrega el sensor para una velocidad de 125 rpm. Suponga un voltaje Hall de 5 V, cuando el disco no cambia el sentido del campo y 1.5 V cuando el diente se interpone entre el imán y el sensor. Las unidades en los gráficos están en cm.



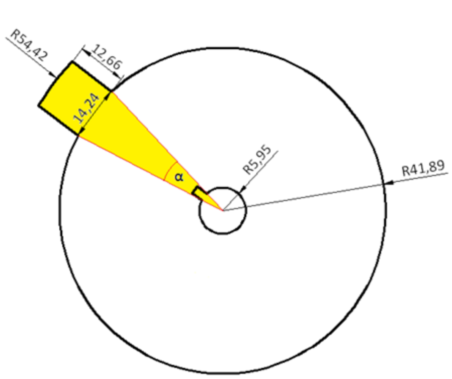


a) Cuando el sensor de efecto Hall recibe el campo magnético del imán (en rojo) se produce un voltaje de 5V. Al pasar por el sensor la pestaña del disco de hierro, el campo magnético es desviado por la misma por lo tanto el dispositivo Hall no lo recibe (excepto en cantidades muy pequeñas de flujo que atraviesa) por lo tanto el voltaje es de 1.5V.

La forma de onda que se presenta es la del dibujo adjunto.

La velocidad del disco es ω rad/seg y el tiempo que le lleva dar una vuelta completa de 2π es 2π/ω, por lo que la frecuencia que es 1/t es 1/(2π/ω) o sea f = ω/2π.

Por lo tanto:



ω_{min} = 20 rpm x 1m/60s x 2π rad/1 rev = 0.67π rad/seg

ω_{max} = 500 rpm x 1m/60s x 2π rad/1 rev = 16.67π rad/seg

y las frecuencias son:

f_{min} = 0.67π/2π Hz = **0.33 Hz**.

f_{max} = 16.67π/2π Hz = **8.33** Hz.

b) La velocidad de 125 rpm corresponde a 125 x 2π / 60 = 4.17π rad/seg y la frecuencia de la onda es de

4.17π/2π = 2.083 Hz que corresponde a un periodo de 1/2.083 s = 0.48 s. El tiempo que el sensor arroja 1.5V es el tiempo que se demora la pestaña en pasar frente al imán y corresponde a un ángulo α cuya cuerda es de 14.24 cm para un radio de 41.89 cm.

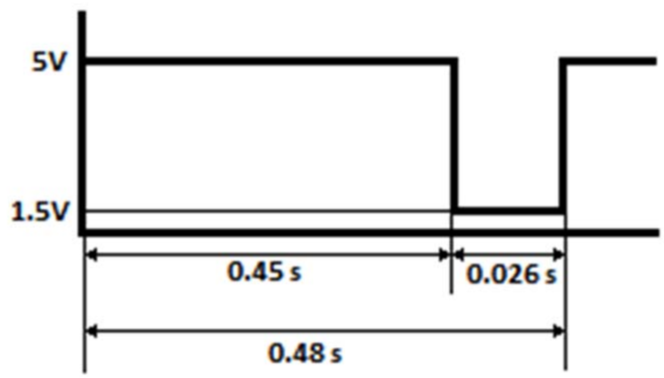
Aplicando la ley de los cosenos en el triángulo amarillo tenemos que:

$14.24^2 = 41.89^2 + 41.89^2 – 2(41.89)(41.89)\cos(\alpha)$

$\cos(\alpha) = (2 \times 41.89^2 - 14.24^2) / 2 \times 41.89^2 = 0.9422$

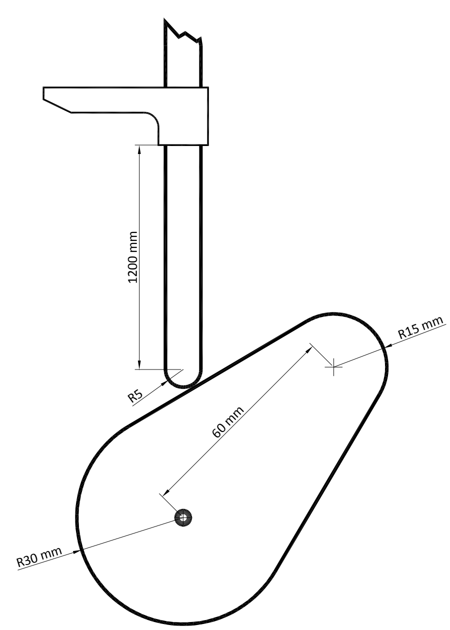
$\alpha = \cos^{-1}(0.9422) = 19.57° = 0.341$ rad

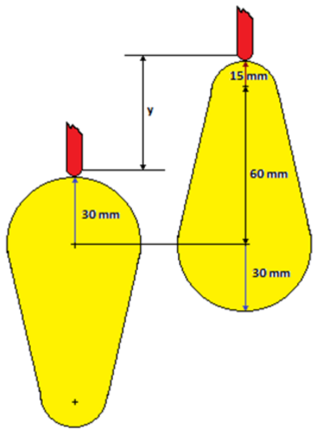
Entonces el tiempo de 1.5V es 0.341 rad/4.17π rad/seg = 0.026 s y por lo tanto el tiempo de 5V es 0.48 – 0.026 = 0.454 s.



5) *Mediante un sensor potenciométrico se desea determinar la velocidad de giro de un eje, para lo cual se hace uso de una leva y un seguidor como se observa en la figura. Si la sensibilidad del potenciómetro que se dispone es de 60 Ω/mm, Determine:*

   a. *Cuál debe ser el mínimo alcance del potenciómetro para esta aplicación.*
   b. *Si queremos una salida de corriente que pueda variar entre 4 y 20 mA, ¿cuál será el circuito a utilizar? ¿Cuáles son las formas de onda para una velocidad de 1200 rpm?*
   c. *Rediseñe los elementos mecánicos para que a la velocidad del punto anterior se obtengan el doble de frecuencia por vuelta. ¿Cuál será ahora el potenciómetro mínimo? Recalcule el circuito para obtener nuevamente una salida de corriente entre 4 y 20 mA y dibuje la onda.*





a) el desplazamiento total del seguidor será de:

y = (60 + 15 – 30) mm = 45 mm

Por lo tanto el potenciómetro que se requiere tiene que tener un alcance de:

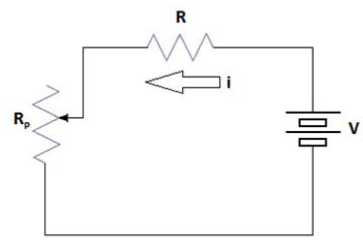
R_P = 45 mm x 60 Ω/mm = 2700 Ω

b) Para una salida de 4 a 20 mA, suponemos que el potenciómetro varía entre 0 y 2700 Ω, por lo tanto requerimos de una resistencia auxiliar R y una fuente de voltaje V, entonces tenemos:

4 mA = V / (R + R_P) → 4 mA = V / (R + 2700 Ω) (i)

Y

20 mA = V/R (ii)



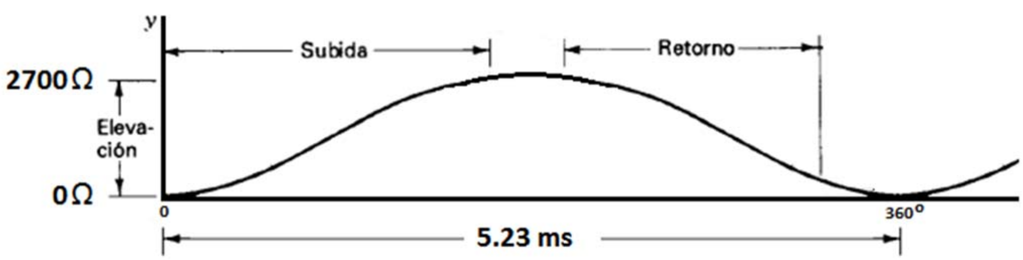
Dividimos (ii) / (i) y tenemos:

(R + 2700) / R = 20/4 = 5

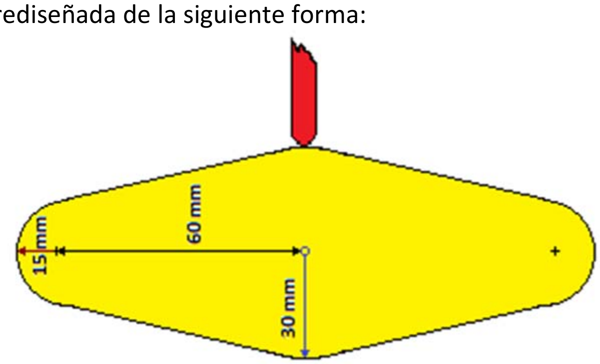
R + 2700 = 5R

R = 2700/4 = **675 Ω** y V = 675 Ω x 20/1000 A = **13.5 V**

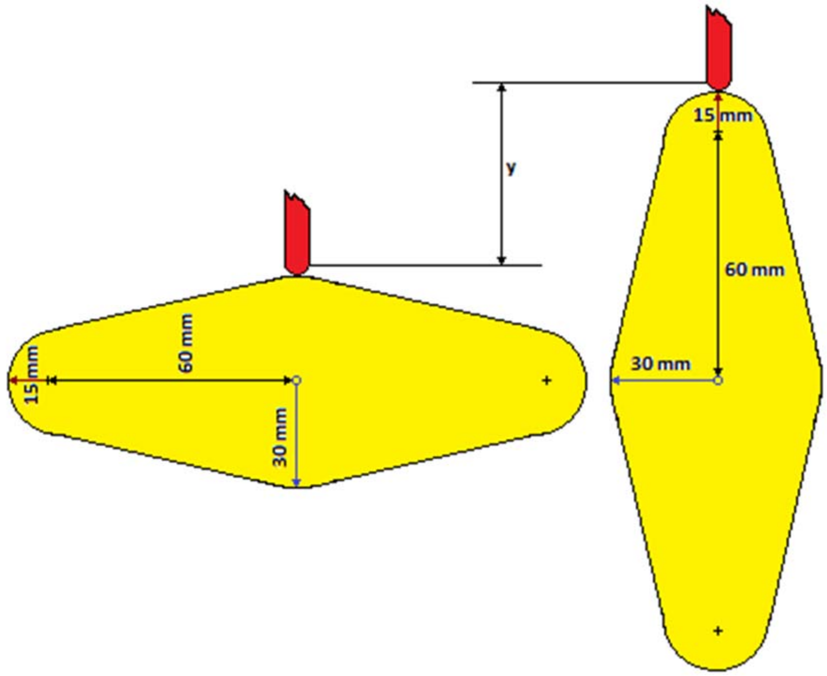
La frecuencia a 1200 rpm es 1200/2π = 190.98 Hz, por lo tanto el periodo de la onda cuyo grafico está a continuación es 5.23 ms:



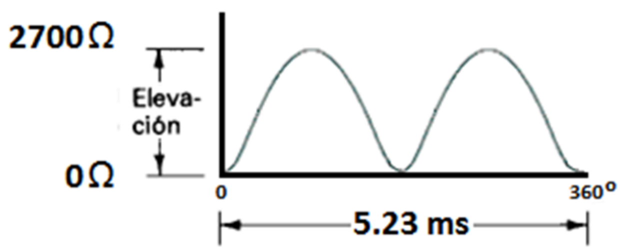
c) La leva podría ser rediseñada de la siguiente forma:



Y los cálculos serán similares a los realizados para a), b) pues el desplazamiento mínimo del seguidor sigue siendo 45 mm:



Lo único que varía con respecto a c) es la forma de onda que ahora presenta dos máximos en 5.23 ms:



Por lo tanto la frecuencia es 2 /5.23ms = 381.97 Hz