

Análisis de frecuencia a través de la regulación de velocidad en motor de corriente directa por medio de lazo abierto en un sistema de control PID

Frequency analysis through speed regulation in direct current motor by means of open loop in a PID control system

Washington Xavier Garcia-Quilachamin¹, Antonio Rodolfo Anchundia-Pincay²,

Recibido 8 de diciembre de 2021, revisión aceptada 7 de abril de 2022

RESUMEN:

En la actualidad las industrias realizan un extenso uso de los sistemas de controles automatizados, por lo que en los procesos industriales existen problemas de control no lineal debido a la naturaleza de estos, donde existen varios métodos de control para los distintos tipos de problemas que se presentan en la industria, el diseño y la implantación de estos sigue siendo complicado. El objetivo de esta investigación es determinar el funcionamiento de un motor de corriente continua y su regulación en la frecuencia con respecto a la velocidad en un sistema a través del programa Rstudio. De manera metodológica se detalla los procesos que mediante el sistema de regulación de velocidad en lo que respecta el control del potenciómetro mediante el sistema PID, el cual permite describir el funcionamiento por medio de los resultados promovidos en el motor, donde la velocidad aumenta o disminuye de acuerdo al voltaje aplicado en el motor de corriente continua y obteniendo resultados que mediante el comportamiento de dicho concepto son mostrados de manera gráfica, también se describe el código utilizado en el programa y los datos propuestos para cada una de sus iteraciones y resultados obtenidos e identificados en esta investigación.

Palabras claves: Motor Dc, PID, automatización, frecuencia, potenciómetro.

ABSTRACT:

¹ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manabí, Manta, Ecuador, washington.garcia@uleam.edu.ec

² Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manabí, Manta, Ecuador, e1314535459@live.uleam.edu.ec

At present, industries make extensive use of automated control systems, so that in industrial processes there are nonlinear control problems due to their nature, where there are several control methods for the different types of problems that arise. present in the industry, the design and implementation of these remains complicated. The objective of this research is to determine the operation of a DC motor and its regulation in frequency with respect to speed in a system through the Rstudio program. In a methodological way, the processes that are detailed through the speed regulation system regarding the control of the potentiometer through the PID system, which allows describing the operation through the results promoted in the motor, where the speed increases or decreases. According to the voltage applied to the DC motor and obtaining results that are shown graphically through the behavior of said concept, the code used in the program and the data proposed for each of its iterations and results obtained are also described. identified in this research.

Keywords: Dc motor, PID, automation, frequency, potentiometer.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las industrias realizan un extenso uso de los sistemas de controles automatizados, por lo tanto, el autor [1] explica que en la vida cotidiana como en las industrias encontramos sistemas que controlan y regulan las diferentes magnitudes que intervienen en los procesos como la temperatura, la presión, el flujo, entre otros. Según el autor [2], con la creciente automatización moderna determina que existe una necesidad de control de las máquinas

Una parte importante en la producción de sistemas de control es la configuración de los parámetros del controlador para lograr la respuesta deseada. De esta manera el autor [3] dice que este proceso se emplea de la mano del desarrollo de la informática y la electrónica, el crecimiento de los controles automáticos ha subido con el paso del tiempo. También los autores [4] y [5] explican que debido a esto se han receptado nuevas técnicas para sus procesos que los vuelven más eficientes y con mayores grados de confiabilidad. Por esta causa el autor [6] manifiesta que la ingeniería de sistemas de control forma parte del plan de estudios de numerosas escuelas de ingeniería, así como en facultades de ciencias.

En los procesos industriales existen problemas de control no lineal debido a la naturaleza de estos, dicho por el autor [5], el autor [7] da a conocer que el diseño de los controladores es bastante estudiado y aunque existen varios métodos de control para los distintos tipos de problemas que se presentan en la industria el diseño y la implantación de estos sigue siendo bastante complicado. El autor [8] manifiesta que la característica de este sistema se basa en proporcionalidad lineal de la salida con respecto al error, el cual se genera a partir de la diferencia entre una retroalimentación unitaria en lazo cerrado de la salida y la entrada oscilatoria.

Los autores [9] y [10] explican que el problema se corregirá mediante el error que se recibe de la diferencia de la señal de entrada y corregir la señal de salida, donde el autor [9] dice que el error corregido entra a una etapa de amplificación antes de entrar a la planta. Y el autor [10] opina que si se desea que la respuesta transitoria del modelo implementado en el programa sea exacta se deben establecer números enteros, para eso se realizara en el programa Rstudio y en el prototipo diseñado mediante el Arduino integrado sean de mayor ayuda para establecer parámetros de equilibrio por medio de las ecuaciones con el método de Laplace.

Así también, el autor [11] manifiesta que el motor eléctrico se constituye en parte eléctrica y mecánica, y circuito de mando que estará constituido por resistencias, transistores y potenciómetros, una fuente de voltaje V y una constante $K1$ sería la fuerza del motor ($K=K1=K2$), donde $K1$ sería la constante del par del motor, siendo la parte mecánica del pequeño motor el rotor, el cual nos presenta el momento de inercia J , y un par de torque T , un coeficiente de fricción B , una posición θ y una velocidad angular $b\theta = \omega$, considerando que estas fórmulas solo se implementara en la capacidad del motor mediante la ecuación mas no en el programa Rstudio.

2. METODOLOGÍA

Se establecen los parámetros que favorecen el uso del motor Dc, su funcionamiento mediante controladores analógicas y sistemas dinámicos en Rstudio, también se realizara la simulación en Rstudio, mediante la función de transferencia encontrada, que rige el sistema para el control de posición angular de un motor Dc, y finalmente se desarrollará

el diseño de un prototipo a menor escala para comprobar el funcionamiento del controlador PID dentro del motor Dc mediante Rstudio.

También se debe tener en cuenta los elementos que van a intervenir en el sistema, principalmente el motor, el cual debemos tener en cuenta que este tiene un eje acoplado a un potenciómetro lineal donde funcionaría como un sensor angular, en este caso el potenciómetro sería como la planta en cual permite regular la ganancia del sistema, como se muestra en la Figura 1 de motor Dc acoplado

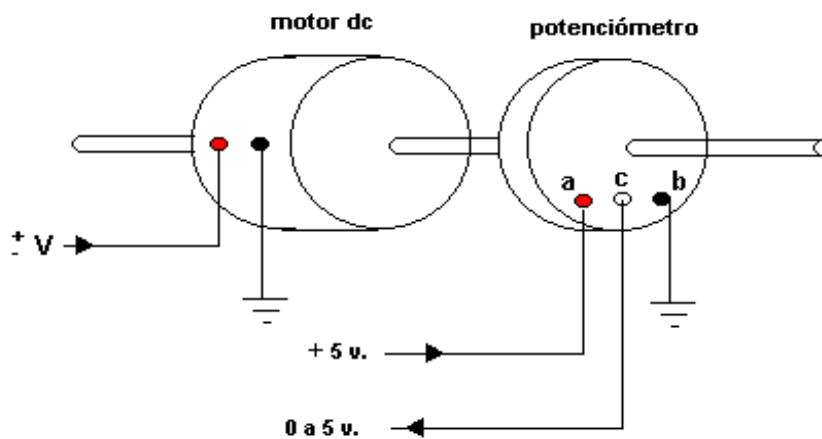


Figura 1. Sistema de motor Dc y potenciómetro, determinando su proceso de conexión mediante el motor Dc acoplado al potenciómetro.

Para iniciar esta investigación se diseñó un sistema controlador, el cual se lo describe en la Figura 1 donde en primer lugar, se debe tener en cuenta las diferentes señales que intervienen en mencionado proceso, considerando el proceso de la Figura 2 en la cual se determina la señal de salida, así también el autor [12] da a conocer que la variable controlada está determinada por un sistema de bloques, por lo que en este caso sería la señal que se desea controlar, teniendo en cuenta una señal de error mediante el proceso de entrada y la salida como también la señal controlada, lo que permite el disminuir o eliminar el error que se lo describe a través de las gráficas de Rstudio, en las cuales se especifica donde se empleara de manera continua con el potenciómetro para tener una señal retroalimentada.

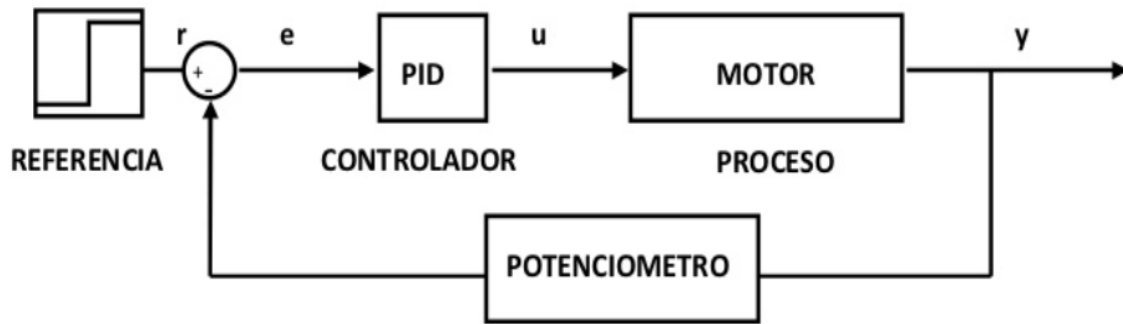


Figura 2: Diagrama de bloques del sistema y la señal retroalimentada, detallando las funciones de entradas y salidas mediante el motor Dc.

2.1. Modelo matemático del sistema motor Dc

Para el modelamiento de las ecuaciones se toma en cuenta los sistemas dinámicos para la implementación de estas ecuaciones con relación al motor DC, considerando a los autores [13] y [14]. Así también, para la relación de entrada y salida del sistema de función de transferencia, se considera en el dominio de la frecuencia. Según el autor [15] manifiesta que, de esta manera, se obtiene las ecuaciones de cada una de estas variables de acuerdo con la Figura 1 en el dominio del tiempo, y se transforman por Laplace al dominio de la frecuencia, considerando que a través de esta relación se obtiene la entrada y salida como se muestra en la Figura 3, en la cual se describe que el voltaje inducido es proporcional a la velocidad angular, considerando la opinión del autor [16].

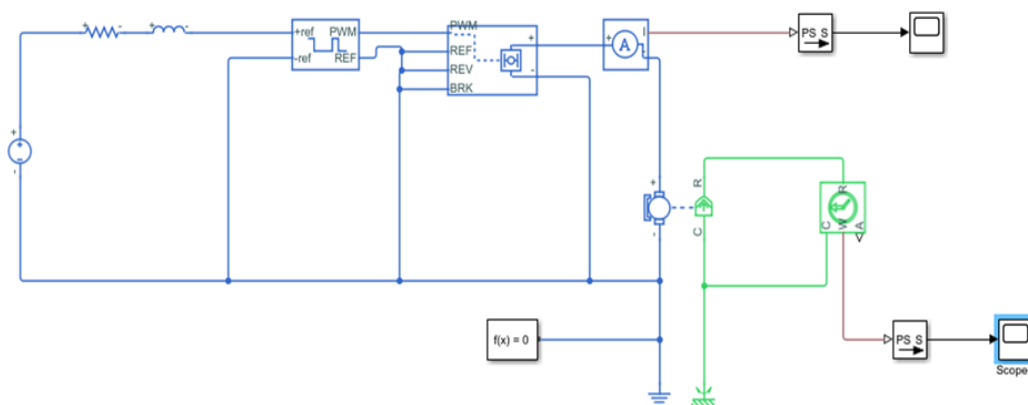


Figura 3: Esquema referencial de modelado en voltaje inducido donde es directamente proporcional a la velocidad angular simulado en simulink matlab.

Cuando el inducido está girando, el voltaje proporcional al producto del flujo y la velocidad será angular. Considerando al autor [17], el cual manifiesta que para un flujo constante, el voltaje inducido e_b es directamente proporcional a la velocidad angular $d\theta/dt$ o bien como se describe en la ecuación (1).

$$e_b = K_3 \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

Donde: K_3 es la constante de la fuerza contraelectromotriz del motor y θ es el desplazamiento angular del eje del motor. Considerando al autor [18], el cual establece que, al tener la función entre el desplazamiento angular del eje el motor θ y el voltaje de error e_v . Cabe acatar que L_a la tomaremos despreciable.

La velocidad de un servomotor cd controlado por inducido está controlada por la tensión del inducido e_v . (La tensión del inducido $e_a=K_1e_v$ es la salida del amplificador). Según los autores [8] y [19] manifiestan que, la ecuación diferencial para el circuito del inducido es:

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_b = e_a \quad (2)$$

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + K_3 \frac{d\theta}{dt} = k_1 e_v \quad (2.1)$$

$$J_o \frac{d^2\theta}{dt^2} + b_o \frac{d\theta}{dt} = K_2 i_a \quad (2.2)$$

Donde: J_o es la inercia de la combinación del motor, carga y tren de engranaje referido al eje del motor y b_o es el coeficiente de fricción viscosa de la combinación del motor, el autor [9] manifiesta que, la carga y tren de engranaje referido al eje del motor. Se supone que la razón de engranaje del tren de engranaje es tal que el eje de salida gira n veces en cada revolución del eje del motor. Así como los autores [20] y [5] lo determina mediante las siguientes ecuaciones.

$$C(s) = n(s) \quad (3)$$

$$\frac{C(s)}{E_v(s)} = \frac{K_1 K_2}{s(L_a s + R_a)(J_o s + b_o) + K_2 K_3 s} \quad (3.1)$$

$$\frac{C(s)}{E_v(s)} = \frac{K_1 K_2}{(R_a)(J_o s + b_o) + K_2 K_{3s}} \quad (3.2)$$

Se requiere F.T, a lo que el autor [21] manifiesta se relacione la velocidad angular $\omega(t)$ de salida del motor respecto al voltaje de entrada $ea(t)$, entonces, si se considera que $\omega(t) = d\theta(t) / dt$, en el dominio de Laplace $C(s) = s(s)$, por lo que la F.T. al despreciar La . Esta ecuación puede reescribirse a una forma más simple e intuitiva, si se realizan algunas simplificaciones como: $B = (b + K_2 K_{3s} / Ra)$, $Km = K / RaB$, y $Tm = J/B$. Teniendo en cuenta la opinión de los autores [22] y [23].

$$G(s) = \frac{C(s)}{E_v(s)} = \frac{K_m}{T_m s + 1} \quad (4)$$

La ecuación (4) es característica de sistemas de primer orden, donde Km representa la ganancia del sistema y Tm la constante de tiempo. Considerando a los autores [6] y [2]

2.2 Aplicación de Rstudio- Análisis de variables

Para realizar el análisis y desarrollo de esta investigación, se utilizó como apertura los modelos matemáticos mediante las ecuaciones 1 y 2:

$$hA_1(i) = \frac{(k_1^2 * a_1(i)^2)}{(k_2^2 * a_{2o}^2 * 2g)} \quad (1)$$

$$hA_2(i) = \frac{(k_1^2 * a_1^2)}{(k_2^2 * a_2(i)^2 * 2g)} \quad (2)$$

Donde: las variables usadas en el método anterior representan los siguientes parámetros: $K1$ = Constante de entrada velocidad: m^2 , $K2$ = Constante de salida velocidad: m^2 , $A1o$ =Apertura de equilibrio de velocidad 1:0.6, $A2o$ = Apertura de equilibrio de velocidad 2:0.5, $a1(i)$ = Variación de velocidad $a1$, $a2(i)$ = Variación de velocidad $a2$.

2.3 Datos de pruebas del motor Dc

Las pruebas se las realizo manteniendo un control mediante el potenciómetro, donde experimentalmente a través del análisis de los datos obtenidos del potenciómetro, el cual sirve como sensor en el circuito que fue alimentado por 12V, el potenciómetro lineal tiene

un giro aproximado de 270 grados. En la Tabla 1 se muestra del recorrido de potenciómetro mediante la fuente de velocidad según el autor [3].

Tabla 1. Datos referenciales obtenidos mediante el potenciómetro para el sistema del recorrido en RPM en el motor Dc.

Recorrido del potenciómetro (RPM)	Tiempo (s)	Velocidad en [rad/s]	Voltaje
$3\pi/2$	1.19	3.96	12

3. RESULTADOS

3.1 Resultado del motor Dc controlado por un sistema PID de entrada, considerando dos ecuaciones como perturbación constante.

El punto de sensibilidad LHS puede ser visualizado mediante la Figura 4 establecida por el código desarrollado en el programa Rstudio, el cual permite determinar la velocidad conformada por un motor Dc, y observar el comportamiento de la velocidad en el motor que será la velocidad inducida, a través de la cual se especifica el valor inicial, mientras que en la ecuación (1) se describe como obtener el valor de la apertura de equilibrio mediante la velocidad como se muestra con relación al potenciómetro.

$$hA_1(i) = \frac{(k_1^2 * a_1(i)^2)}{(k_2^2 * a_{2o}^2 * 2g)} \quad (1)$$

Código desarrollado en Rstudio:

```
library(plotly)
data <- Totales
fig1 <- plot_ly(data = Totales, x = ~velocidad, y = ~RPM,
  marker = list(size = 10,
    color = 'rgba(255, 182, 193, .9)',
    line = list(color = 'rgba(152, 0, 0, .8)',
      width = 2)))
fig1 <- fig1 %>% layout(title = 'PUNTOS DE SENCIBILIDAD LHS',
  yaxis = list(zeroline = FALSE),
  xaxis = list(zeroline = FALSE))
fig1
```

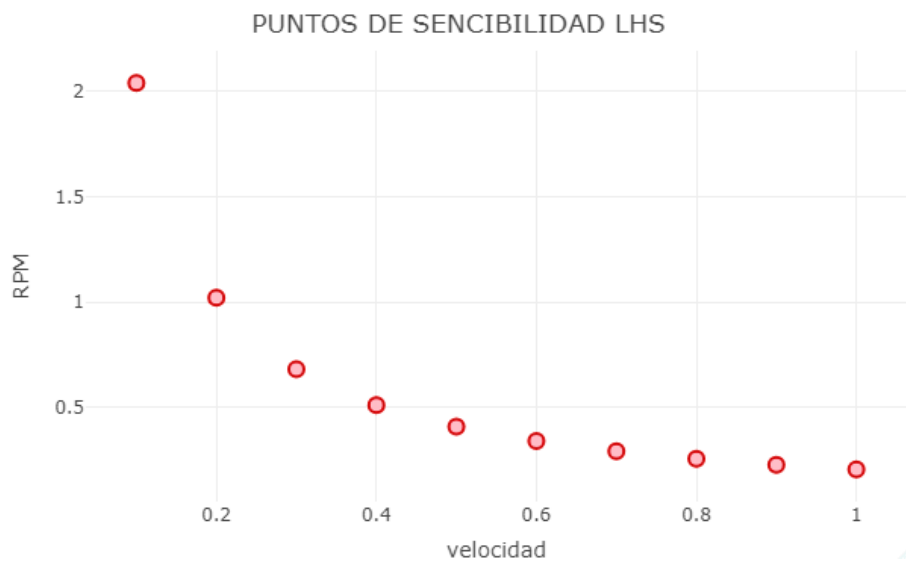



Figura 1. Puntos de sensibilidad LHS, mediante el programa Rstudio destacando los RPM de forma real mediante los datos propuestos en Excel.

3.2 Frecuencia de velocidad del motor Dc, considerando a1 como perturbación

En la Figura 5 se describe el proceso estadístico, el cual consiste en identificar el sistema del motor Dc conformado por un PID. Este segundo modelo lo representamos con la ecuación (2), donde se identifica mediante la apertura de equilibrio en A2 desarrollado en Rstudio, este proceso permite obtener como resultado el comportamiento de la velocidad en A2, teniendo en cuenta el control principal, donde se regula el voltaje de manera manual usada como perturbación constante y que se lo muestra en la Figura 5, mostrando la sensibilidad de los puntos LHS por medio de los RPM de forma real mediante los datos propuestos en Excel.

$$hA_2(i) = \frac{(k_1^2 * a_1^2)}{(k_2^2 * a_2(i)^2 * 2g)} \quad ecu (2)$$

Código desarrollado en Rstudio:

```
library(plotly)
data <- Totales
fig2 <- plot_ly(data = Totales, x = ~VELOCIDAD, y = ~RPM2,
               marker = list(size = 10,
                             color = 'rgba(255, 182, 193, .9)',
                             line = list(color = 'rgba(152, 0, 0, .8)',
                                         width = 2)))
fig2 <- fig2 %>% layout(title = 'PUNTOS DE SENSIBILIDAD 2 LHS',
```

```
yaxis = list(zeroline = FALSE),
xaxis = list(zeroline = FALSE))
```

fig2

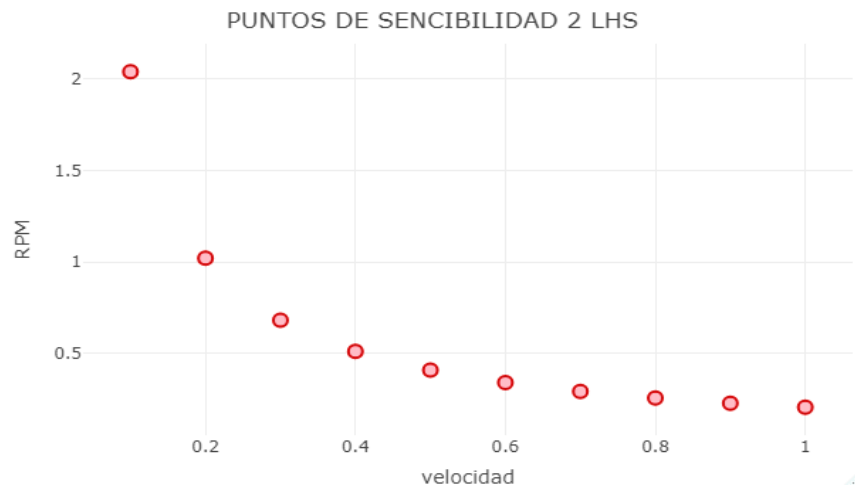


Figura 2. Puntos de sensibilidad 2, LHS mediante las RPM

3.3 Velocidad total

En los puntos de sensibilidad en la Figura 6, se establece la velocidad total donde se puede percibir que a los 10 segundos se eleva la velocidad a 0.85 metros, al abrir 0.02 % la velocidad 1 de entrada y a los 150 segundos como baja a 0.75 metros al abrir 0.03 % la velocidad 2 de salida, como se identifica la distorsión en la Figura 6, mediante la sensibilidad LHS, teniendo en cuenta el aumento y disminución en la entrada y salida, considerando que la velocidad total recorrida mediante la sensibilidad de punto LHS, promueve sistemas idénticos y puntos de sección estable.

Código desarrollado en Rstudio:

```
library(plotly)
data <- Totales
fig3 <- plot_ly(data = Totales, x = ~x, y = ~Yvelocidadtotal,
  marker = list(size = 10,
    color = 'rgba(255, 182, 193, .9)',
    line = list(color = 'rgba(152, 0, 0, .8)',
      width = 2)))
fig3 <- fig3 %>% layout(title = 'PUNTOS DE SENCIBILIDAD 3 LHS',
  yaxis = list(zeroline = FALSE),
  xaxis = list(zeroline = FALSE))
```

fig3

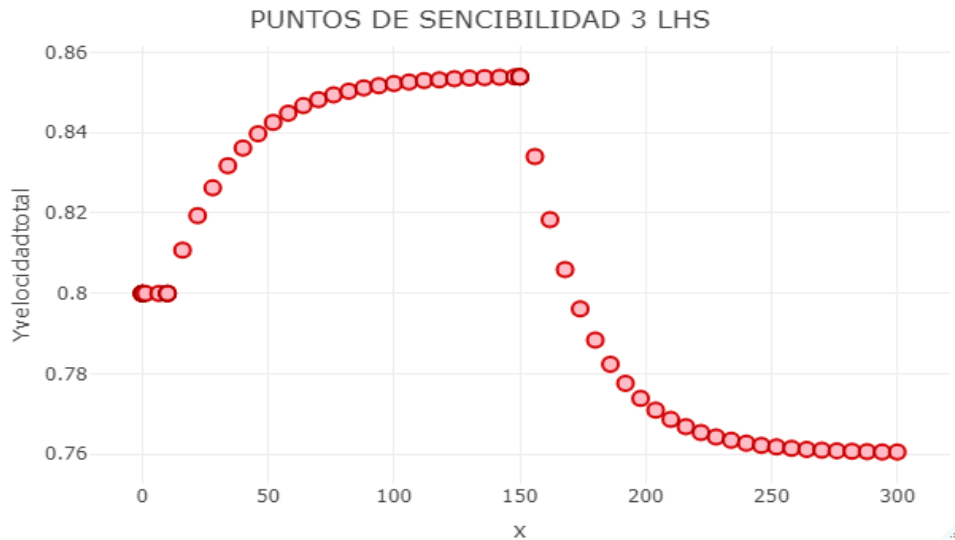


Figura 3. velocidad total recorrida mediante la sensibilidad de punto LHS.

3.4 Variación velocidad 1

En la Figura 7, se observa que la velocidad lineal del motor en primera instancia se mantiene estable, hasta que a los 10 segundos establece un 0.02 de su valor inicial a 0.60, es decir que esta salta a 0.62, donde se determina cada una de sus variables respecto a su valor como se muestra en el código mediante la forma constante de los puntos en líneas de sensibilidad en la LHS y de comprobación de datos. Por lo que el punto de sensibilidad 4 se lo determina de manera constante mediante los valores remplazados en la velocidad en el programa y en tiempo real.

Código desarrollado en Rstudio:

```
library(plotly)
data <- Totales
fig4 <- plot_ly(data = Totales, x = ~x, y = ~yvelocidad1,
  marker = list(size = 10,
    color = 'rgba(255, 182, 193, .9)',
    line = list(color = 'rgba(152, 0, 0, .8)',
      width = 2)))
fig4 <- fig4 %>% layout(title = 'PUNTOS DE SENCIBILIDAD 4 LHS',
  yaxis = list(zeroline = FALSE),
  xaxis = list(zeroline = FALSE))
fig4
```

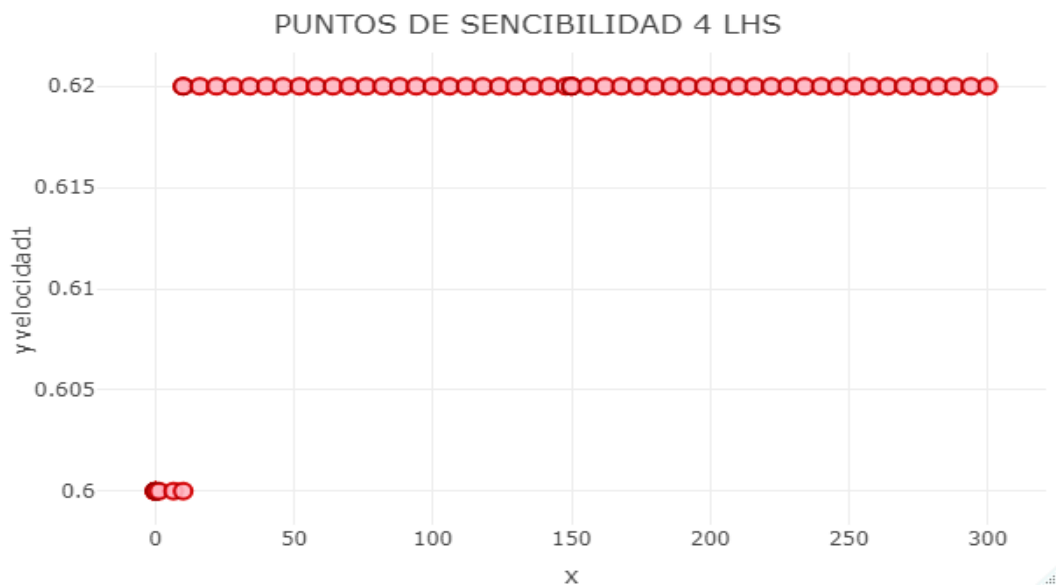


Figura 4. Punto de sensibilidad 4 con determinación constante.

3.5 Variación en velocidad 2 (plotly)

En la Figura 8, se describe que la linealidad de la velocidad 2 de salida se mantiene constante, considerando que en 150 segundos el operador mueve la perilla del potenciómetro a 0.03 de su valor inicial 0.50, y esta se dispara a 0.53, como se establece en el código descrito, teniendo en cuenta los dos procesos constantes que se describieron. Por lo que se obtuvo como resultado el punto de sensibilidad constante LHS mediante dos procesos diferentes con los datos establecidos en Excel y encontrados mediante el potenciómetro en el prototipo.

Código en Rstudio:

```
library(plotly)
data <- Totales
fig5 <- plot_ly(data = Totales, x = ~x, y = ~yvelocidad2,
               marker = list(size = 10,
                             color = 'rgba(255, 182, 193, .9)',
                             line = list(color = 'rgba(152, 0, 0, .8)',
                                         width = 2)))
fig5 <- fig5 %>% layout(title = 'PUNTOS DE SENCIBILIDAD 5 LHS',
                      yaxis = list(zeroline = FALSE),
                      xaxis = list(zeroline = FALSE))
fig5
```

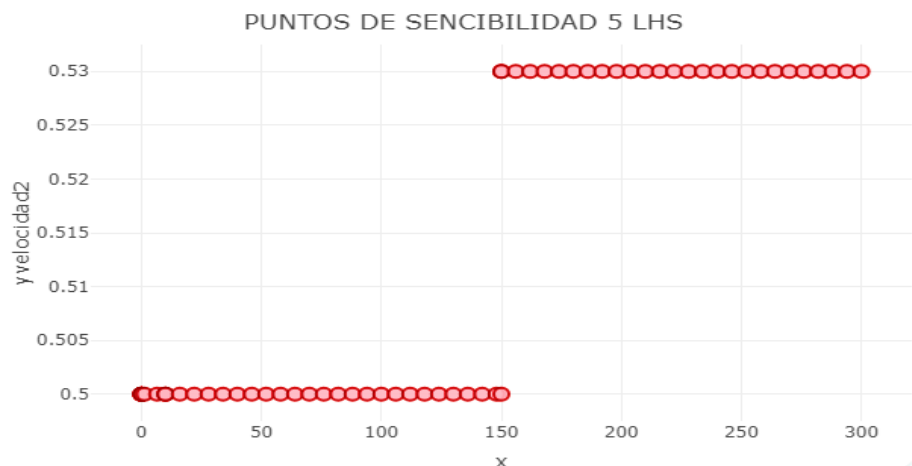


Figura 5. Punto de sensibilidad constante LHS mediante dos procesos diferentes.

3.6 Resultado para velocidad 1, 2 y velocidad total

En la Figura 9, se observa el valor máximo con relación a la velocidad 1 en 1a RPM del motor de entrada, donde es similar al valor máximo que toma la velocidad 2 de salida y el valor máximo que toma el motor con respecto a las variaciones involucradas para este caso; cuyas variaciones se tienen en cuenta mediante los valores cambiando en el modelo para poder ver su comportamiento de forma específica. Por lo que, se obtuvo como resultado la representación del motor Dc mediante el sistema histórico de los valores remplazados en las velocidades establecidas en el proceso de PID.

Código desarrollado en Rstudio:

```
library(plotly)
x <- c('VELOCIDAD 1', 'VELOCIDAD 2', 'VELOCIDAD TOTAL')
y <- c(0.62, 0.53, 0.85)
text <- c('27% market share', '24% market share', '19% market share')
data <- data.frame(x, y, text)
fig6 <- plot_ly(data, x = ~x, y = ~y, type = 'bar',
               text = y, textposition = 'auto',
               marker = list(color = 'rgb(158,202,225)',
                           line = list(color = 'rgb(8,48,107)', width = 1.5)))
fig6 <- fig6 %>% layout(title = "MOTOR DC MEDIANTE PID programación ap.
Ing",
                      xaxis = list(title = ""),
                      yaxis = list(title = ""))
fig6
```

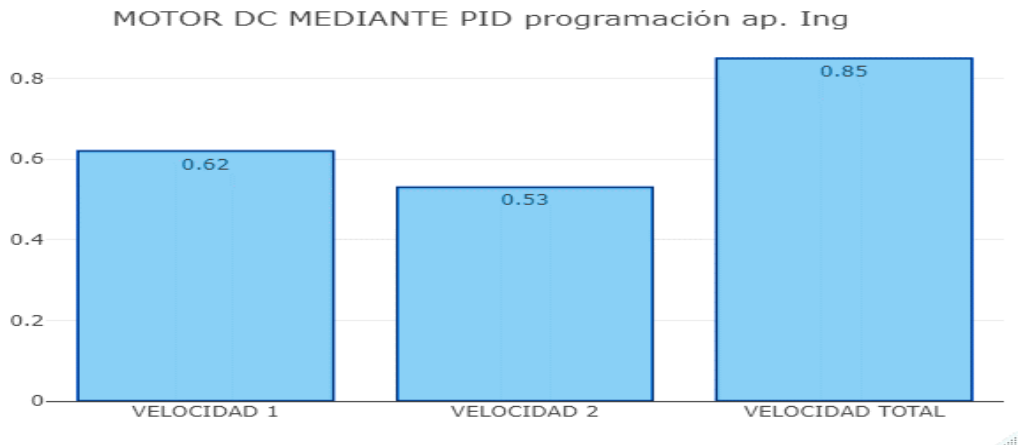


Figura 6. representación de motor Dc mediante el sistema histórico.

3.7 Resultado en Diagrama de cajas totales

En la Figura 10, se muestra los diagramas de cajas totales, en la cual se observa los tiempos de cada una de las variables determinados como x, así también, los valores de perturbación se mantienen constante para 1 y 2, considerando que las variaciones de estas en RPM y velocidad1 incluye un punto específico en distancia al momento de manipular el potenciómetro mediante el motor Dc.

Código en Rstudio:

```

plot(x = Totales$velocidad, y = Totales$RPM)
plot(x = Totales$velocidad, y = Totales$RPM, main = "en la carga",
      xlab = "velocidad", ylab = "1 constante",
      col = c("orange3", "yellow3", "green3", "grey"))
boxplot(x = Totales$a1per)
boxplot(Totales)
  
```

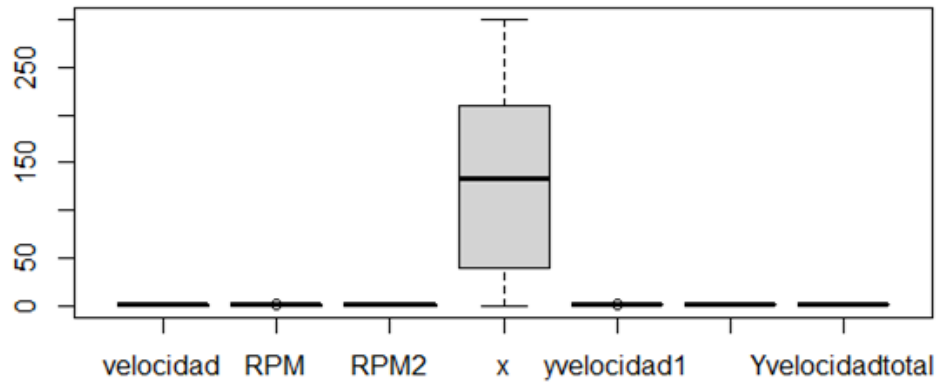


Figura 7. Diagramas de cajas totales mediante el tiempo de simulación mediante las RPM en el motor y el potenciómetro obteniendo perturbaciones en la 1.

3.8 a1: como perturbación constante

En la Figura 11, se muestra el diagrama de caja, en la cual se observa el valor promedio constante que tomó la velocidad 2, con un resultado de 0.6, teniendo en cuenta que después de 150 segundos, tomó una variación de 0.02; siendo este resultado notable por la raya obscura en la parte inferior del diagrama de caja mostrado, considerando que este proceso se mantiene constante debido a la velocidad en RPM que destaca en relación con las perturbaciones.

Código desarrollado en Rstudio:

```
plot(x = Totales$Caudal, y = Totales$yvelocidad2)
plot(x = Totales$Caudal, y = Totales$yvelocidad2, main = "en la carga",
      xlab = "caudal", ylab = "a1 como perturbación",
      col = c("orange3", "yellow3", "green3", "grey"))
boxplot(x = Totales$yvelocidad2)
```

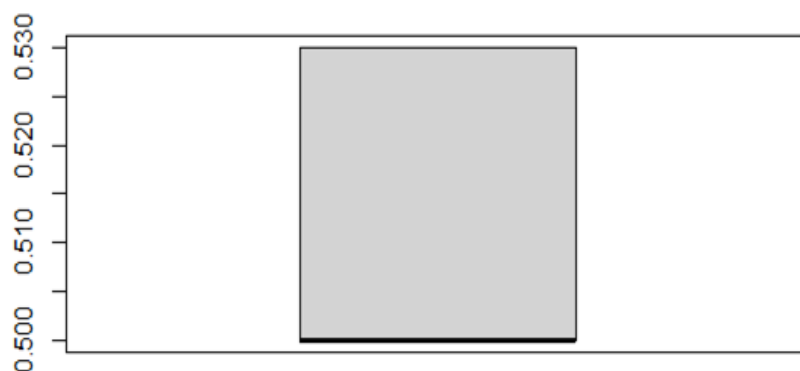


Figura 8. Perturbaciones constante notables en a1.

3.9 a2: como perturbación constante

En la Figura 12 se muestra el diagrama de caja, en la cual se describe el valor promedio constante que tomó la velocidad 1 donde fue 0.5, que después de 10 segundos, se obtuvo una variación de 0.03 identificándolo como uso manual del motor al, en el potenciómetro mediante la carga. Por lo que las perturbaciones constantes en a2, a través del proceso de cajas manual para el uso constante mediante el punto de la parte superior al sistema disperso de la raya inferior del diagrama de cajas.

Código en Rstudio:

```
plot(x = Totales$x, y = Totales$RPM1)
plot(x = Totales$x, y = Totales$RPM1, main = "en la carga",
     xlab = "caudal", ylab = "1 como perturbación",
     col = c("orange3", "yellow3", "green3", "grey"))
boxplot(x = Totales$a1per)
```

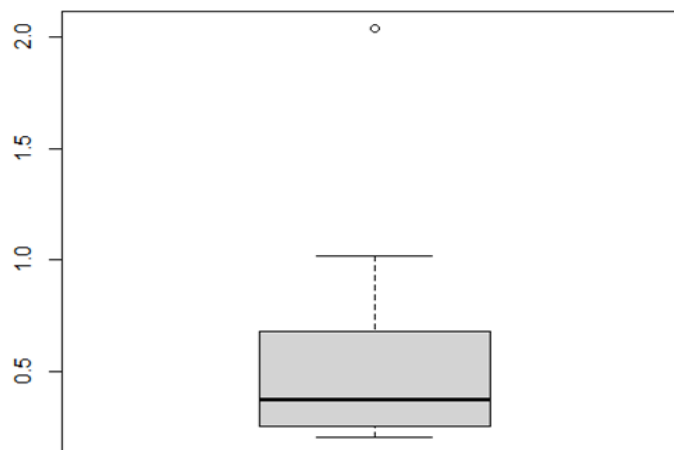


Figura 9. Perturbaciones constantes en a2.

3.10 Nivel de velocidad

El diagrama de cajas describe el valor de rotación del motor Dc, en la Figura 13, considerando que se encuentra en 0.8 s, como valor central, el cual a simple vista el diagrama de cajas lo marca con una raya obscura. Así también se describe el valor mínimo de rotación con 0,75 s al variar 0.03 la velocidad 2 de salida y el valor máximo de la rotación de 0,85 al variar 0.02 la velocidad a1 de entrada, describiendo en 0.8 s al aplicar el código.

Código en Rstudio:

```

plot(x = Totales$x, y = Totales$Yvelocidadtotal)
plot(x = Totales$x, y = Totales$Yvelocidad total, main = "en la carga",
      xlab = "x", ylab = "a1 como perturbación",
      col = c("orange3", "yellow3", "green3", "grey"))
boxplot(x = Totales$Yvelocidadtotal)
  
```

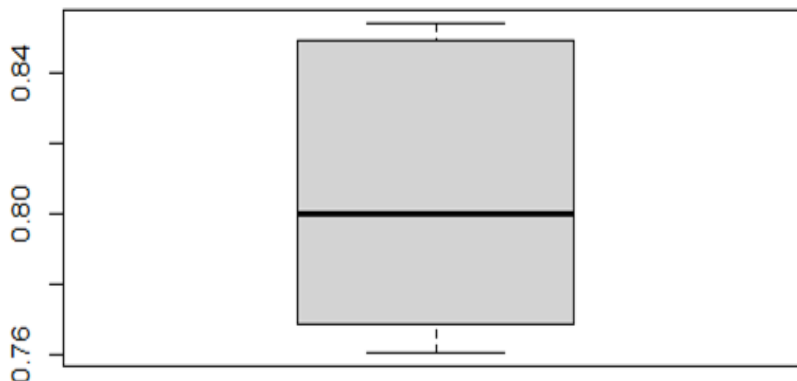


Figura 10. Nivel de velocidad mediante el valor central simple del motor Dc.

4. CONCLUSIONES

La velocidad del motor no es superada en ningún momento, lo cual garantiza que no se quemara el potenciómetro en ningún proceso.

Es posible aumentar la fiabilidad del modelo con relación al aumento de la cantidad de términos utilizados en la serie, pero por tratarse en este caso de un sistema más bien robusto, resulta suficiente utilizar el primer término de la serie de Taylor. Luego es posible interiorizar la idea de que la correlación entre el modelo y la realidad estará en directa proporción a la cantidad de términos utilizados.

Finalmente, se demuestra los resultados obtenidos de esta investigación a través de los diferentes diagramas de manera estadística.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. S. Alex falcon. V, «introduccion a las maquinas electricas procesos de motores,» uves en chile, santiago de chile, 2002.
- [2] J. Roldán viloria, motores de corriente continua motorizacion de maquinas y vehiculos características calculos y funciones., madrid españa: carmen lara cormona ediciones nobel, 2014.

- [3] W. C. P. 2. Astmc1167 international, «www.astm.org,» 2003. [en línea]. Available: <https://www.astm.org › standards & publications>.
- [4] ASTM C67, «www.metrotec.es,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.metrotec.es/normas/astm/astm-c67/>.
- [5] A. I. Barrenetxea, «protección de sistemas de potencia,» universidad del país vasco, nicaragua, 1997.
- [6] M. C. Cherta, máquinas de corriente continua, españa-madrid: editorial esppaña, 2006.
- [7] M. C. Cherta, máquinas síncronas y motores c.a. de colector, iv ed., barcelona (españa): reverté, eta s.a., 2002, pp. 13-24.
- [8] F. Uhbia, «motor de corriente continúa; tipos y partes,» *tercesa s.l. Sertec transmisiones*, pp. 1-7, 2019.
- [9] Endesa, «funcionamiento de transformador eléctrico monofásico,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-corrientes-alternas-con-un-transformador-electrico>.
- [10] A. Gac, «técnico electricista 11 - motores eléctricos: curso visual y práctico,» *users*, p. 7, 2009.
- [11] G. E. Harper, motores de inducción / motores de inducción, méxico: limusa.s.a., 2005.
- [12] P. Palmore, reparación de pequeños electrodomésticos, vol. 1, e-book, ed., new york : reverté s.a., 1986, p. 36.
- [13] Seas, «Blog-seas,» 14 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/que-es-un-condensador-electrolitico-y-que-ventajas-tiene/>.
- [14] Sigma. [En línea]. Available: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/lm741/>.
- [15] Quezada Andrés & Salinas Gustavo,. Control analógico de posición de un motor dc. Escuela de Ingeniería Mecánica /Facultad de Mecánica /Español, 2019.
- [16] J. Jorba, «por qué cilindros de 15x30cm,» *informes de la construcción*, pp. 56-57, s.f.
- [17] K. Ogata, Ingeniería de control moderna de *control pid*, madrid, pearson educación, s.a., 2010, pp. 1-909.
- [18] Chauce, Corriente en cortocircuito. Pracos S.S.A., Lima, 2007.

- [19] m. VOGES, «Three-Phase Industrial Electric Motors IEC-Standard Motores Eléctricos Trifásicos Uso Industrial IEC-Estándar,» 24 JULIO 2016. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/9678667-Three-phase-industrial-electric-motors-iec-standard-motores-electricos-trifasicos-uso-industrial-iec-estandar.html>.
- [20] S. i. d. t. S. STTASA, «motores electricos,» 23 Enero 2020. [En línea]. Available: http://www.catalogo.sitasa.com/familias/motores_reductores/02_1.pdf.
- [21] J. C. M. Castillo, Máquinas rotativas de corriente alterna (Electrotecnia), Madrid (España).: Editex S.A., 2005.
- [22] X. Zamora, «Ingeniería industrial electrónica,» de *Dirección General de Institutos Tecnológicos, 1980*, primera ed., Universidad de Texas, Mexico. Dirección General de Institutos Tecnológicos Regionales, 8 May 2008, p. 309 páginas.
- [23] c. d. s. cybernetica, «Riesgos asociados a las redes Wi-Fi públicas: cuáles son y cómo prevenirlos,» *En el marco del Día de la Internet Segura, te contamos cuáles son algunos de los riesgos vinculados al uso de redes Wi-Fí públicas y cómo estar protegido a la hora de conectarte a una*, p. 2, 05 febrero 2019.