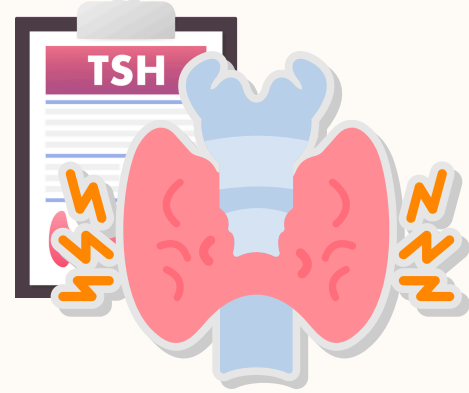


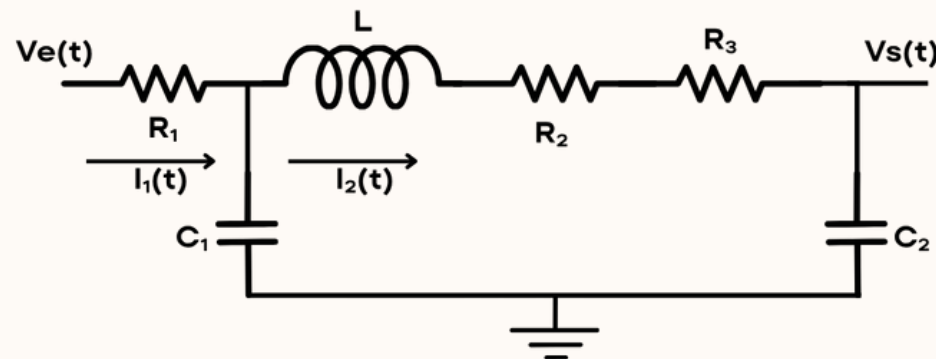
SISTEMA ENDOCRINO: HIPOTIROIDISMO



DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y ENFERMEDAD

El eje hipotálamo-hipófiso-tiroideo se modela como un sistema dinámico retroalimentado, en el que cada etapa fisiológica se representa mediante componentes eléctricos análogos. El hipotálamo libera TRH, modelada por R_1 y C_1 ; la hipófisis responde con TSH, representada por un inductor L ; y la tiroides produce T3/T4, modelada mediante R_2 , R_3 y C_2 . En condiciones normales, este sistema mantiene el equilibrio hormonal. En el hipotiroidismo subclínico, la hipófisis libera niveles elevados de TSH, pero la tiroides no responde adecuadamente, lo que mantiene los niveles de T3/T4 dentro de rangos bajos o normales, pero insuficientes. Esta condición se representa en el modelo con un aumento en R_3 , que refleja mayor resistencia a la estimulación, y en C_2 , que representa una mayor inercia o lentitud en la acumulación y liberación hormonal. Así, el modelo permite observar la disfunción sin ruptura total del eje.

CIRCUITO



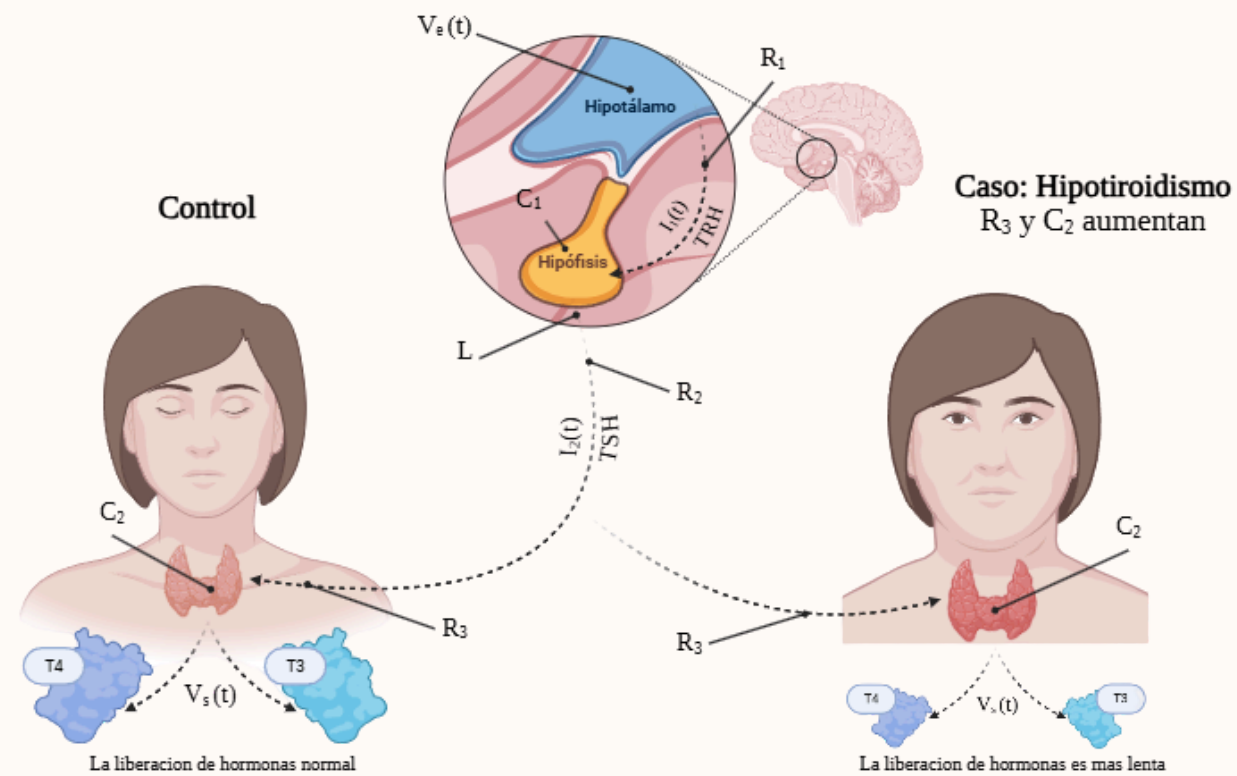
La entrada es una señal senoidal definida como:

$$V_e(t) = \sin\left(\frac{\pi}{2} \times t\right)$$

Esta señal representa un estímulo hormonal cíclico o pulsátil, que simula una señal fisiológica repetitiva con una frecuencia de 250 mHz.

Componente	Control	Caso	Etapa fisiológica	Representación
R_1	33K Ω	33K Ω	Hipotálamo	Retardo en liberación de TRH
R_2	33K Ω	33K Ω	Transporte hormonal	Retardo entre hipófisis y tiroides
R_3	10K Ω	33K Ω	Tiroides	Resistencia a la respuesta hormonal
L	10mH	10mH	Hipófisis	Inercia en liberación de TSH
C_1	10 μ F	10 μ F	Hipotálamo	Acumulación de TRH
C_2	1 μ F	10 μ F	Tiroides	Capacidad de liberación hormonal

DIAGRAMA FISIOLÓGICO



ECUACIONES INTEGRO-DIFERENCIALES

$$V_s = \frac{1}{C_2} \int [i_2(t)] dt$$

$$i_1(t) = \frac{V_e(t) - \frac{1}{C_1} \int [i_1(t) - i_2(t)] dt}{R_1}$$

$$i_2(s) = \frac{\frac{1}{C_1} \int [i_1(t) - i_2(t)] dt - L_1 \frac{di_2(t)}{dt} - \frac{1}{C_2} \int [i_2(t)] dt}{(R_2 + R_3)}$$

Función de transferencia

$$\frac{V_s(s)}{V_e(s)} = \frac{1}{s^3(C_1 C_2 L_1 R_1) + s^2(C_1 C_2 R_1 R_3 + C_2 R_1 R_2 + C_2 L_1) + s(C_1 R_1 + C_2 R_2 + C_2 R_1 + C_2 R_3) + 1}$$

Error en estado estacionario

$$\lim_{s \rightarrow 0} \left[1 - \frac{V_s(s)}{V_e(s)} \right] = [1 - 1] = 0V$$

ESTABILIDAD DEL SISTEMA EN LAZO ABIERTO

Control

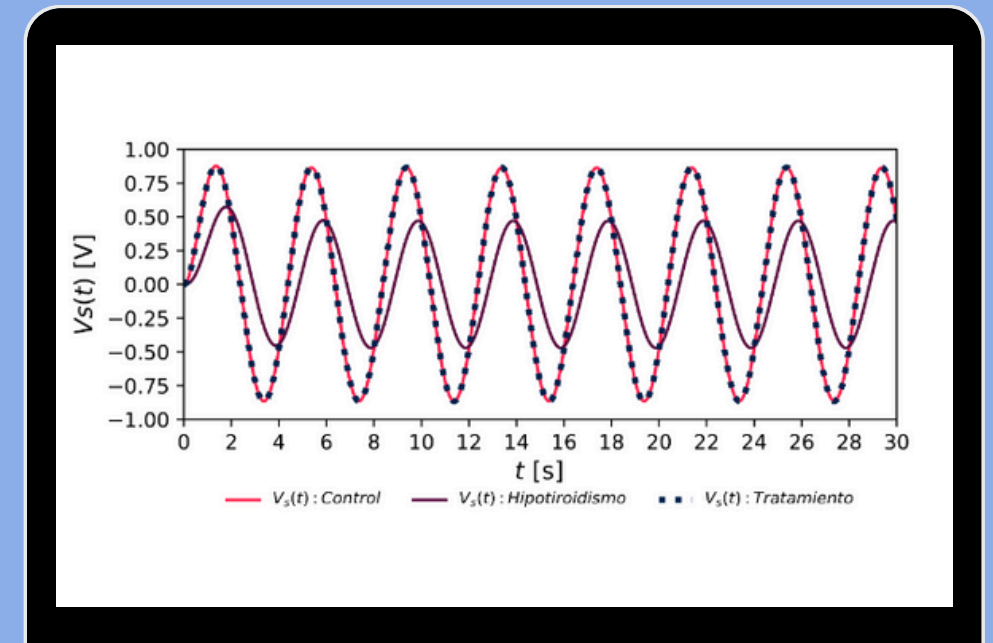
$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -2.7199 \\ \lambda_2 &= -26.8842 \\ \lambda_3 &= -76269.89 \end{aligned}$$

Caso

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -0.887 \\ \lambda_2 &= -5.173 \\ \lambda_3 &= -1.178 \times 10^5 \end{aligned}$$

El sistema es estable con una respuesta **Sobreamortiguada**

SIMULACIÓN: CASO, CONTROL Y TRATAMIENTO



El eje hipotálamo-hipófisis-tiroides se modeló como un circuito eléctrico. El hipotiroidismo subclínico se simuló aumentando la resistencia y capacitancia de la tiroides, reflejando su respuesta lenta. Un controlador PID se implementó para corregir la salida hormonal y restaurar el equilibrio del sistema.

CONTROLADOR PID: GANANCIAS

kP	913.4762	Settling time	4.37 seg
kI	3145.0167	Overshoot	1.74%
kD	40.9623	Peak	1.02
Cr	1 μ F		

CONCLUSIONES

El modelado del eje hipotálamo-hipófisis-tiroides mediante un circuito eléctrico análogo permite representar su dinámica hormonal. En el hipotiroidismo subclínico, se simula una respuesta tiroidea más lenta mediante el aumento del resistor y capacitor asociados a la glándula tiroides. Para compensar esta alteración, se incorporó un controlador PID, que mejora la respuesta del sistema y permite alcanzar niveles hormonales adecuados, simulando un control más eficiente.



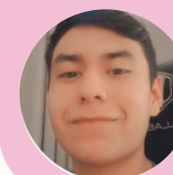
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA



INGENIERÍA BIOMÉDICA

Dr. Paul Antonio Valle Trujillo
Ingeniería Biomédica

Modelado de Sistemas Fisiológicos



Ramírez Díaz Cesar
Andres
21212173



Damian Arroyo Perla
Guadalupe
21212150

