



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Eléctrica

## EJERCICIO N°2

EL7012 – Control Inteligente de Sistemas  
Otoño 2020

**Profesora:** Doris Sáez H.

**Auxiliar:** Sebastián Parra.

**Ayudantes:** Roberto Bustos, Oscar Cartagena  
y Alex Navas.

**FECHA DE ENTREGA P1 y P2 a), b): 10 DE JULIO, A LAS 23:59 HRS. EN U-CURSOS.**

**FECHA DE ENTREGA P2 c) hasta f): 17 DE JULIO, A LAS 23:59 HRS. EN U-CURSOS.**

Para este ejercicio se espera que cada grupo realice un informe técnico donde aborde las problemáticas que se plantean a continuación. Se evaluará la calidad de los resultados, su análisis y presentación (utilice apropiadamente tablas, gráficos, cite referencias).

### Problema 1 (20%)

Considere la siguiente función:

$$f(x, y) = e^{-2 \log(2) \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2} - 0.08}{0.854} \right)^2} \sin^2 \left( 5\pi \left( \left( \sqrt{x^2 + y^2} \right)^{0.75} - 0.1 \right) \right)$$

$x, y \in [0, 1]$

El objetivo de este problema es maximizar la función objetivo anterior usando: un algoritmo convencional, algoritmos Genéticos (GA) y PSO.

Para ello se pide:

- Grafique la función en el dominio indicado. (1 pto.)
- Encuentre el máximo de  $f(x, y)$  utilizando algún algoritmo de optimización convencional. Indique el valor óptimo de  $f$ , punto óptimo  $[x^*, y^*]$  y el tiempo de ejecución. (1 pto.)
- Utilice PSO para resolver el problema de optimización. Encuentre una configuración óptima variando y analizando el efecto de los diversos parámetros del algoritmo. Varíe la cantidad de partículas y el número de iteraciones. Indique el valor óptimo de  $f$ , el punto óptimo  $[x_{PSO}^*, y_{PSO}^*]$  y el tiempo de ejecución. (1.5 pts)
- Utilice GA para resolver el problema de optimización. Encuentre una configuración óptima variando y analizando el efecto de los diversos parámetros del algoritmo. Varíe la cantidad de partículas y el número de iteraciones. Indique el valor óptimo de  $f$ , el punto óptimo  $[x_{GA}^*, y_{GA}^*]$  y el tiempo de ejecución. (1.5 pts)

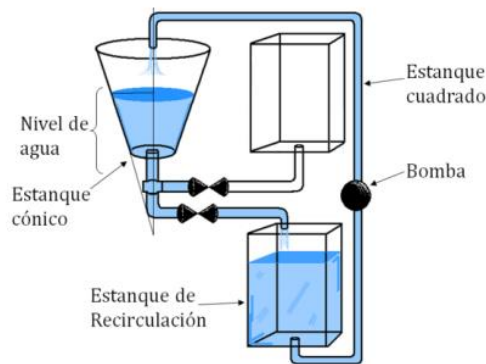
Compare los resultados obtenidos con los tres métodos de optimización (Convencional, PSO y GA) en términos del valor óptimo encontrado, el punto de operación óptimo de  $[x^*, y^*]$  y el esfuerzo computacional. (1 pto.)

## Problema 2: Control del Estanque (80%)

En la industria existen una gran cantidad de procesos que requieren del control de nivel en estanques, siendo esto de vital importancia para garantizar tanto la calidad de los productos como la seguridad del personal y los equipos involucrados.

La dinámica de estos sistemas es un aspecto fundamental para el diseño de estrategias de control y depende fuertemente de la forma que presenten estos estanques. Los contenedores cuadrados y cilíndricos por un lado presentan una dinámica lineal, pero que impide un drenaje correcto de su contenido por lo que una de las alternativas más utilizadas son los estanques cónicos, los cuales solucionan este problema, pero presentan una dinámica no lineal.

El siguiente esquema muestra el estanque cónico presente en el Laboratorio de Automática del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile:



El agua es impulsada desde el estanque de recirculación mediante una bomba que es controlada por un variador de frecuencia ( $f$ ) que opera desde 0 a 100%, siendo el máximo los 50 Hz que proporciona la red eléctrica.

Para modelar la dinámica del estanque se utiliza la ley de conservación de la masa descrita como sigue:

$$\frac{dV(t)}{dt} = F_{in}(t) - F_{out}(t)$$

donde  $V$  representa el volumen de agua en el estanque, medido en  $cm^3$ ,  $F_{in}$  y  $F_{out}$  son el flujo de entrada y salida respectivamente los cuales son descritos como:

$$F_{in}(t) = 5,43 \cdot f + 78,23$$

$$F_{out}(t) = 20,21\sqrt{h}$$

siendo en este caso  $f$  el porcentaje de frecuencia (0-100%) aplicado a la bomba y  $h$  el nivel de agua en el estanque cónico en  $cm$ .

Por otra parte, si bien un análisis geométrico permitiría deducir la dependencia del volumen de agua con el nivel en el estanque, existen ciertas situaciones particulares al estanque del Laboratorio que impiden que este modelo se ajuste con precisión a la realidad de la planta:

- En este análisis se considera un cono perfecto, no se toma en cuenta el volumen de agua contenido en tuberías.
- Existe una leve inclinación del montaje respecto a la vertical, lo cual afecta la forma en que se llena el estanque.

Dado esto, el modelo que mejor ajusta lo observado en la realidad viene dado por el siguiente ajuste polinomial:

$$V(h) = 0,21h^3 + 5,7h^2 + 17,1h + 290,7$$

A partir de todas las ecuaciones anteriores se puede obtener un modelo para la dinámica de la altura  $h$  de la siguiente forma:

$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{dV(h)}{dh} * \frac{dh(t)}{dt} = \frac{dh(t)}{dt} * (0,63h^2 + 11,4h + 17,1)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{5,43 \cdot f + 78,23 - 20,21\sqrt{h}}{(0,63h^2 + 11,4h + 17,1)}$$

Con estos antecedentes y considerando un tiempo de muestreo de 10 segundos y una condición inicial para la altura de  $h = 20$  [cm]. Pruebe los controladores para las siguientes referencias  $r_1 = 25$ ,  $r_2 = 35$ ,  $r_3 = 30$  y  $r_4 = 45$  (en ese orden de forma secuencial), teniendo en consideración que el tiempo de vaciado es significativamente más largo que el de llenado (defina un tiempo razonable de duración para los escalones). De esta forma, se pide lo siguiente:

a) Utilizando la aproximación de Euler para la derivada Temporal sobre el modelo de la altura:

$$\frac{dh(t)}{dt} \approx \frac{h(k+1) - h(k)}{\Delta T}$$

Diseñe un controlador predictivo que minimice el siguiente funcional

$$J = A \cdot \sum_{i=1}^N (h(k+i) - r)^2 + B \cdot \sum_{j=1}^M (f(k+j))^2$$

El problema de optimización debe ser resuelto utilizando uno de los algoritmos evolutivos visto en clases (GA o PSO). Tenga en consideración las restricciones sobre las variables  $h \in [15,50]$  y  $f \in [0,100]$  y pruébelo en el simulador "*SimEstanque.slx*". Justifique debidamente la elección de su controlador, haga énfasis en los parámetros  $A$ ,  $B$ ,  $N$  y  $M$  elegidos, así como los parámetros utilizados en el algoritmo elegido. (1.5 pts.)

- b) A partir de los Datos del archivo “*DataEstanque.mat*”, derive un modelo difuso de Takagi & Sugeno y un modelo basado en redes neuronales para la altura del estanque cónico. Especifique claramente los modelos obtenidos y grafique su desempeño. (1 ptos)
- c) Diseñe e implemente un controlador predictivo difuso a 1 y 5 pasos basándose en los dos modelos identificados en la parte anterior utilizando un algoritmo de optimización convencional (son 2 controladores en total). Puede utilizar *fmincon* en MATLAB para resolver el problema de optimización con restricciones. (1.5 ptos)
- d) Repita lo solicitado en c) utilizando GA y PSO para resolver el problema. Optimice los parámetros de estos algoritmos. Deje claramente establecidos los parámetros de los algoritmos utilizados y justifíquelos (son 4 controladores en total). (1 pto)
- e) Compare el esfuerzo computacional y el desempeño (tiempo de establecimiento, sobrepaso y función objetivo) entre los 3 algoritmos utilizados sobre los modelos identificados (Neuronal y T&S). (0.5 ptos)
- f) Compare el desempeño del controlador de la parte a) con el desempeño de los controladores de la parte d) que utilicen el mismo algoritmo de optimización, es decir, compare el controlador que utiliza el modelo discretizado con los que utilizan T&S y Neuronal para el mismo algoritmo (PSO o GA). Concluya teniendo en consideración que la identificación fue realizada en lazo cerrado con un controlador PI simple. (0.5 ptos)