1. El mecanismo de control de una articulación simple de robot puede modelarse mediante las ecuaciones

$$
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= x_2 \\
\dot{x}_2 &= -\frac{MgL}{I}\operatorname{sen} x_1 - \frac{k}{I}(x_1 - x_3) \\
\dot{x}_3 &= x_4 \\
\dot{x}_4 &= -\frac{k}{J}(x_1 - x_3) + u,
\end{aligned}
$$

donde M, g, L, I y J son constantes positivas. Mostrar que el sistema es linealizable entrada-estado.

2. Para cada uno de los siguientes sistemas mostrar que el sistema es linealizable entrada-estado. Dar la transformación que lleva al sistema a la forma $\dot{z} = Az + B\beta^{-1}(x)[u - \alpha(x)]$ y especificar el domino sobre el cual es válida.

$$
(1) \quad
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= e^{x_2}u \\
\dot{x}_2 &= x_1 + x_2^2 + e^{x_2}u \\
\dot{x}_3 &= x_1 - x_2
\end{aligned}
$$

$$
(2) \quad
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= x_3(1 + x_2) \\
\dot{x}_2 &= x_1 + (1 + x_2)u \\
\dot{x}_3 &= x_2(1 + x_1) - x_3 u
\end{aligned}
$$

Ayuda: Para (1) usar $T_1 = T_1(x_3)$ y para (2) $T_1 = T_1(x_1)$.

3. Sea el sistema

$$
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= -x_1 + x_2 - x_3 \\
\dot{x}_2 &= -x_1 x_3 - x_2 + u \\
\dot{x}_3 &= -x_1 + u.
\end{aligned}
$$

(a) ¿Es el sistema linealizable entrada-estado?

(b) Si sí, encontrar un control en realimentación y un cambio de coordenadas que linealice la ecuación de estados.