

Simulación del Controlador Difuso en SimMechanics

Una vez que se ha realizado la construcción del Robot UDLAP, así como la configuración de los controladores difusos de las articulaciones, solo queda observar y analizar el comportamiento del robot en el ambiente de simulación. Las diferentes simulaciones que se realizarán, permitirán confirmar si los controladores son capaces de realizar el seguimiento de los perfiles de las trayectorias generadas.

El aspecto más importante a seguir durante las simulaciones será el perfil de las trayectorias de salida de las articulaciones. Este debe ser lo más parecido al perfil de la trayectoria de referencia, de esta manera se comprobará que los controladores de las articulaciones funcionan. Se observará el comportamiento de las articulaciones trabajando con trayectorias generadas con *Robotics Toolbox*. Las trayectorias que se generaron deberán mover la articulaciones así como mantenerlas estáticas durante cierto tiempo y de esta manera observar si las inercias y las masas de los cuerpos influyen en el comportamiento del controlador.

El perfil de las trayectorias tanto de referencia como de salida y el torque generado por la articulación se observaron en el bloque *Scope* u osciloscopio. La figura 7.1 muestra las gráficas del comportamiento de la articulación de la cintura.

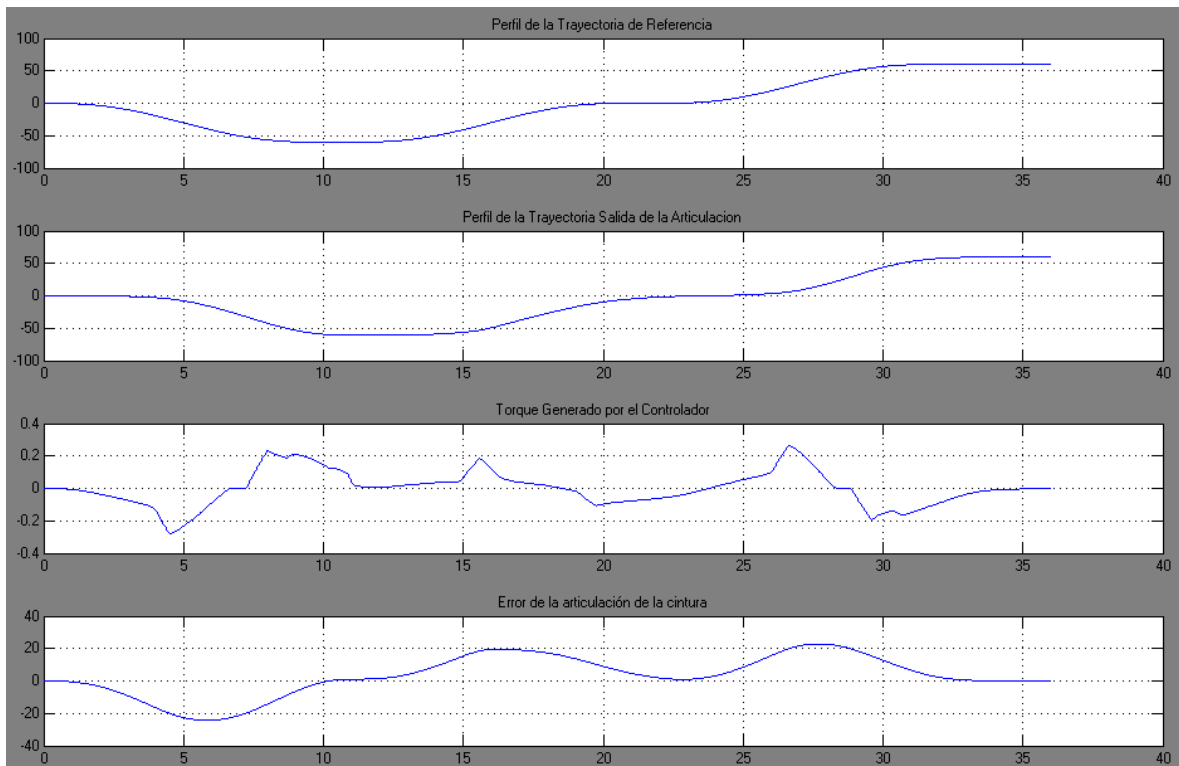


Figura 7.1: Gráfica del comportamiento de la articulación de la cintura

La gráfica superior de la figura 7.1 muestra el perfil de la trayectoria de referencia mientras que en la segunda gráfica se puede observar el perfil de la trayectoria de salida de la articulación. La última gráfica muestra el torque que genera el controlador difuso. Las gráficas de los perfiles son muy similares, esto demuestra la estabilidad del sistema y el correcto funcionamiento del controlador difuso para el seguimiento de la trayectoria.

Las figuras 7.2, 7.3 y 7.4 muestran las gráficas del comportamiento para las articulaciones de hombro, codo y muñeca respectivamente.

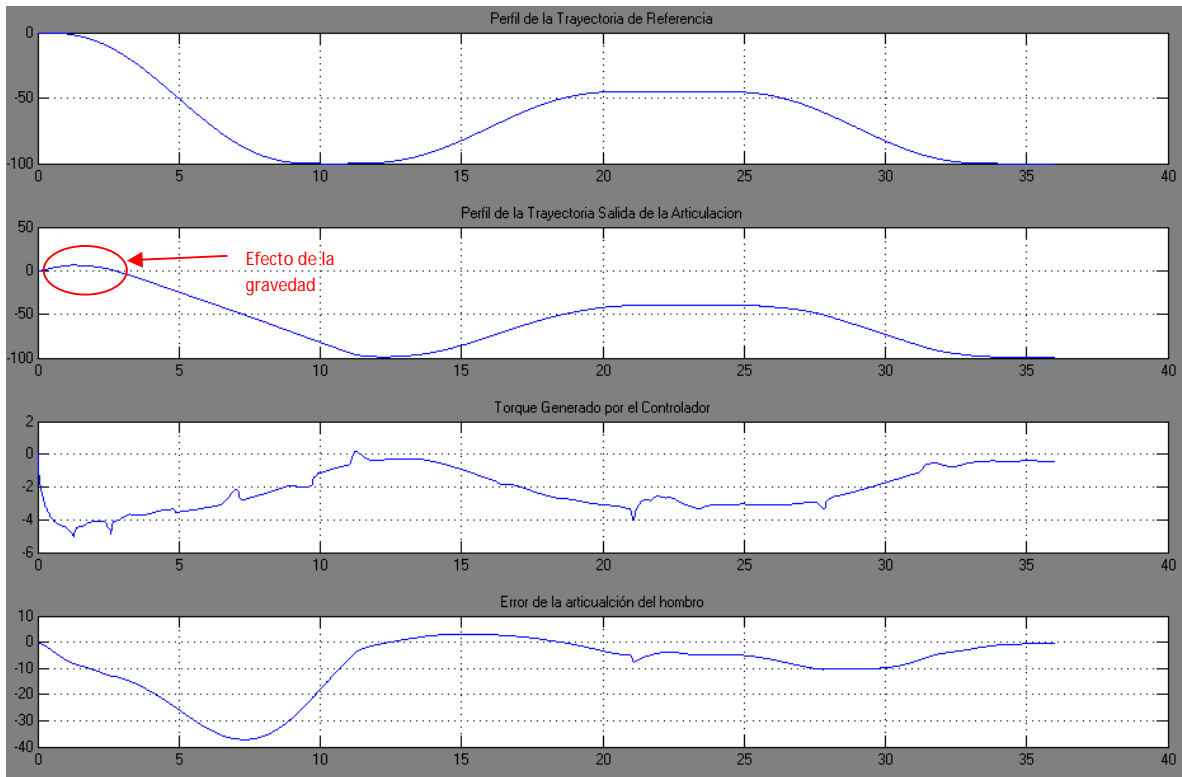


Figura 7.2: Gráfica del comportamiento de la articulación del hombro

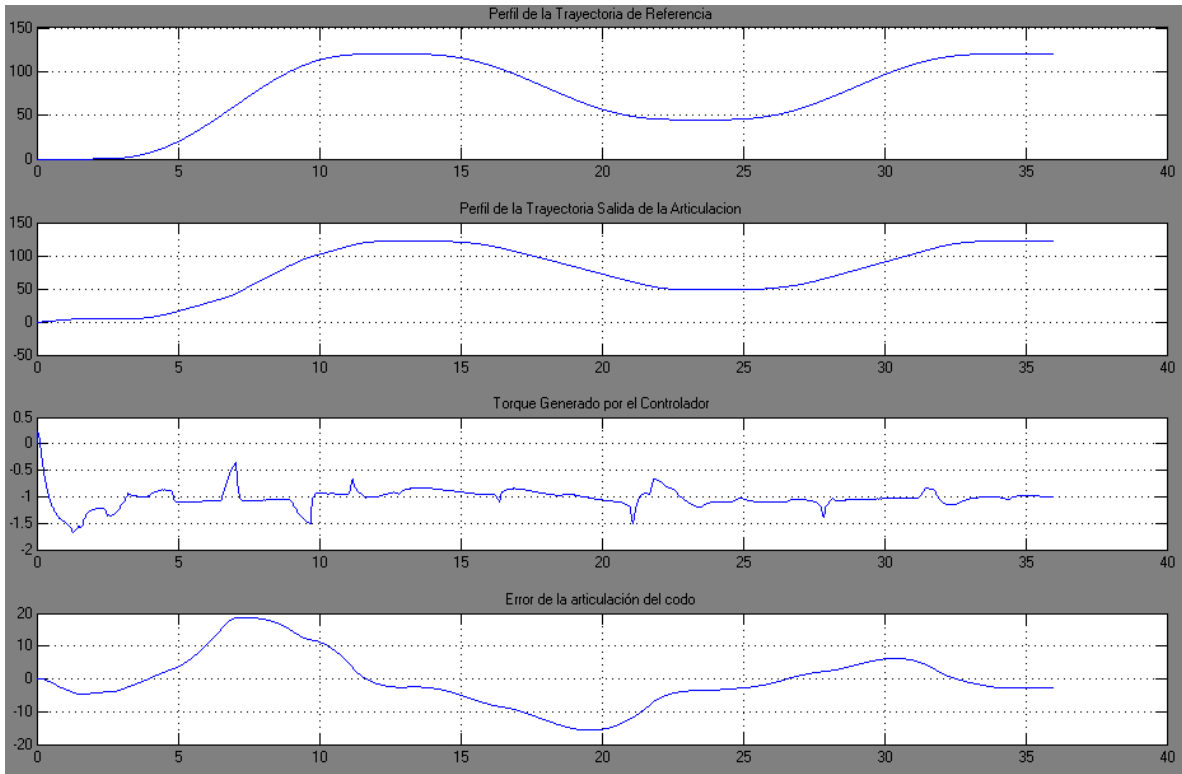


Figura 7.3: Gráfica del comportamiento de la articulación del codo

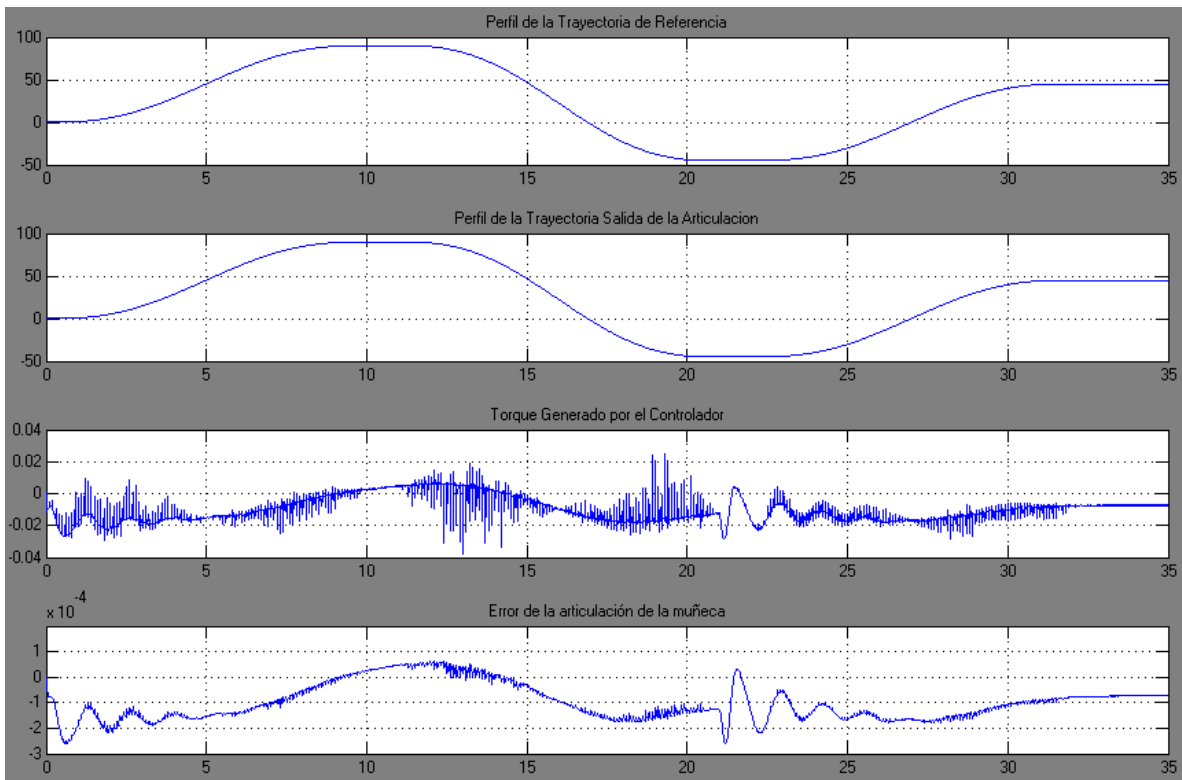


Figura 7.4: Gráficas del comportamiento de la articulación de la muñeca

Las gráficas de los comportamientos de las articulaciones demuestran el buen funcionamiento de los controladores. Pero en todas las gráficas se puede apreciar un ligero desfase entre los perfiles de las trayectorias. Este se debe al tiempo que tardan los controladores en romper la inercia del estado de reposo de los cuerpos del robot al encontrarse en su posición de reposo. El desfase también es atribuido al tiempo que tarda el controlador en evaluar las reglas y tomar una decisión, en ese instante de tiempo los actuadores no reciben ninguna señal y eso ocasiona que el brazo se mueva hacia abajo al principio de la simulación a consecuencia de la gravedad como se puede observar en la gráfica de la figura 7.2.

Como se puede ver en la gráfica, éste comportamiento solo se observa al principio de la simulación, y una vez que se ha logrado romper la inercia, el controlador es capaz de recuperarse y alcanzar la trayectoria de referencia para continuar con el seguimiento de ésta.

Las inercias y las masas de los cuerpos así como la gravedad influyen en menor grado en el comportamiento de las articulaciones, pero no impiden que el controlador siga a la señal de la trayectoria de referencia. En ocasiones, debido a las inercias de los cuerpos generadas por el movimiento de las articulaciones y la masa de los cuerpos, se presenta un ligero sobre impulso. En ocasiones el perfil de la trayectoria de salida no alcanza a ser igual al perfil de la trayectoria de referencia, pero la diferencia entre los perfiles es muy pequeña.

Cabe mencionar que al utilizar los controladores difusos la animación de la simulación era demasiado lenta debido al número de reglas que se tenían que evaluar,

veinticinco por cada controlador. Se tomó la decisión de realizar la simulación solo con tres controladores difusos para las articulaciones de la cintura, el hombro y el codo, mientras que para la articulación de la muñeca se utilizó un control de tipo PD.

Las gráficas de los torques generados por los controladores difusos es muy diferente a la que se generó con el control de tipo PD. También se puede hacer la comparación con los resultados obtenidos por el sistema de control PID desarrollado en la tesis “*Simulación de un Sistema de Control PID en SimMechanics para el Robot Manipulador UDLAP*” [13]. Se puede observar que los torques generados por los controladores difusos tienen un perfil más suave y uniforme, mientras que los generados por el control PD y PID presentan picos con cambios muy abruptos.

Se realizó una segunda simulación para observar el desempeño del robot con una carga adicional de 100 gramos aplicados en la tenaza ya que el Robot UDLAP fue diseñado para mover piezas cilíndricas de ese peso para tomarlas de una mesa y después colocarlas en una charola ubicada a un costado de la mesa. Esto se realizó con el objetivo de determinar si utilizando un sistema de control difuso se puede realizar la tarea para la cual fue diseñado el Robot UDLAP. Los resultados de la simulación con la carga de 100 gramos en la tenaza se muestran a continuación.

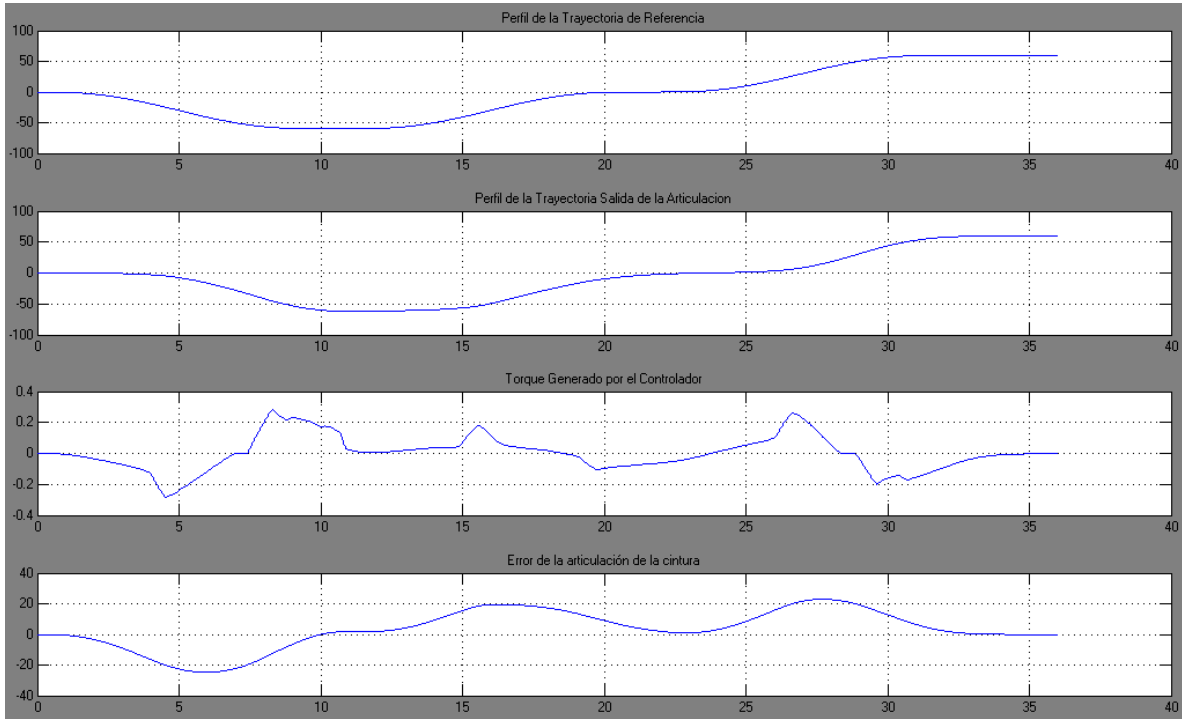


Figura 7.5: Gráficas del comportamiento de la articulación de la cintura con carga

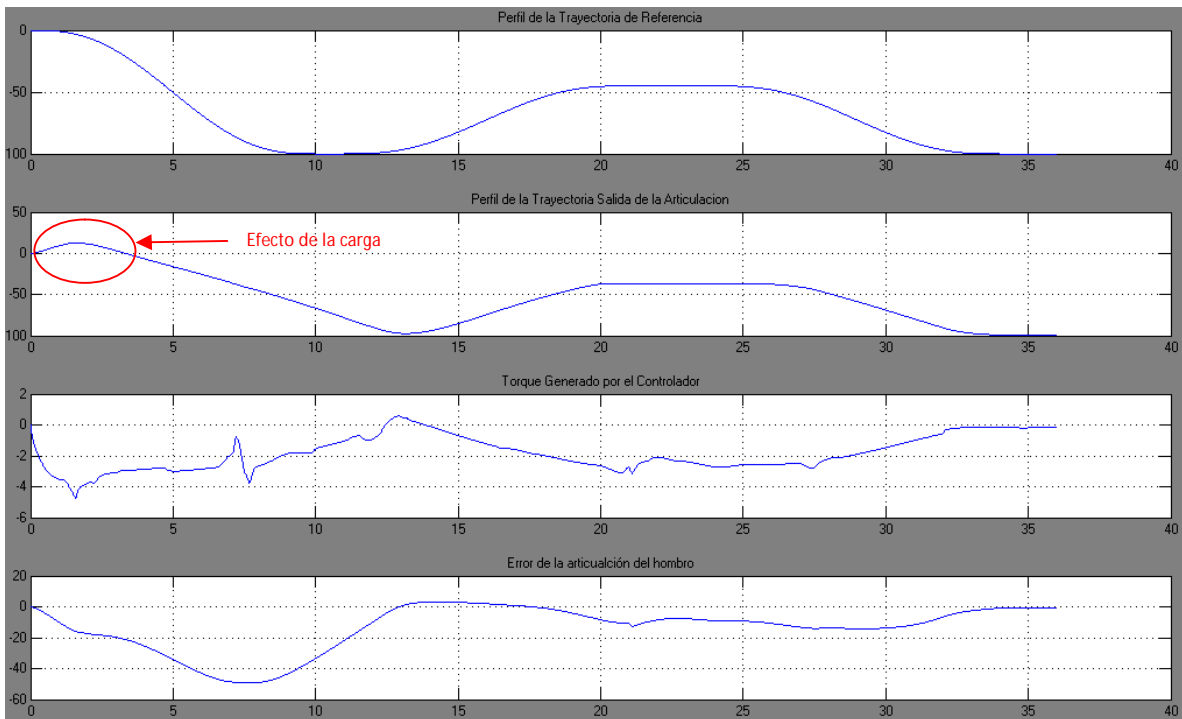


Figura 7.6: Gráficas del comportamiento de la articulación del hombro con carga

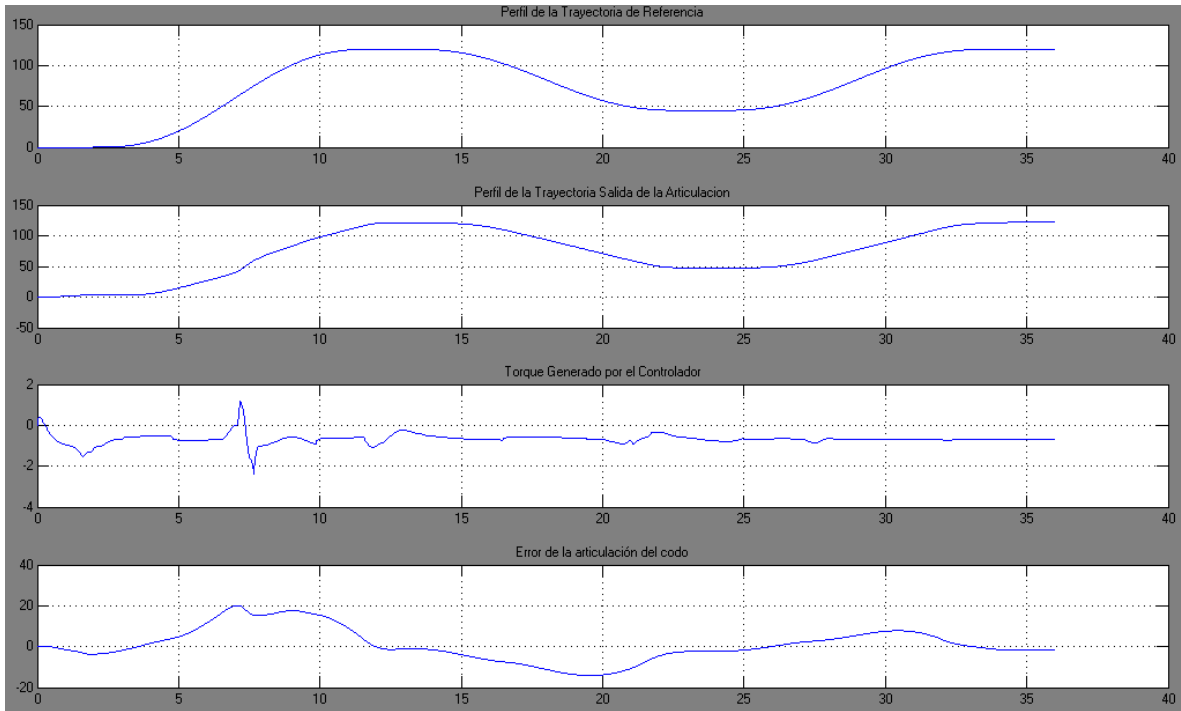


Figura 7.7: Gráficas del comportamiento de la articulación del codo con carga

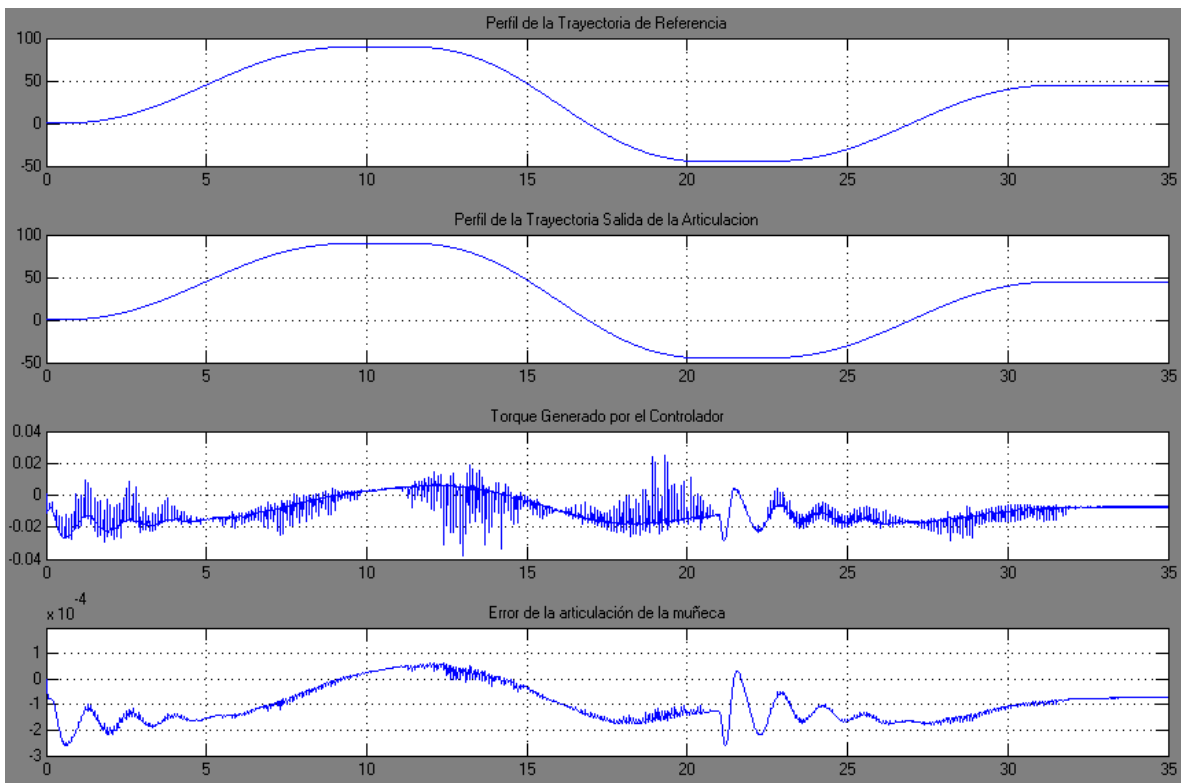


Figura 7.8: Gráficas del comportamiento de la articulación de la muñeca con carga

En las gráficas se puede observar que colocar la carga en la tenaza influye en el comportamiento de los controladores de las articulaciones, sin embargo no impiden el correcto funcionamiento del robot en el ambiente de simulación. Los controladores lograron compensar el esfuerzo adicional generado por la carga. Las gráficas nos permiten observar que la articulación del hombro y la articulación del codo fueron las que se vieron más afectadas. Debido al peso adicional en la tenaza se le dificulta a las articulaciones seguir de manera precisa el perfil de la trayectoria de referencia. En la figura 7.6 se puede observar el efecto de la carga en la articulación del hombro.

Se pudo observar por medio de las gráficas, que tanto en la simulación sin carga como en la simulación con carga, el error en algunas de las articulaciones nunca llega a ser cero. En las gráficas se puede observar que se presentan ligeros sobre impulsos e incluso el ángulo de salida no alcanza al ángulo de referencia, pero el controlador siempre trata de mantener al ángulo de salida lo más cerca posible del perfil de la trayectoria de referencia. Las gráficas de las figuras 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 7.13 y 7.14 muestran de manera más detallada el comportamiento del error entre los perfiles de la trayectoria de referencia y la trayectoria de salida de la articulación.

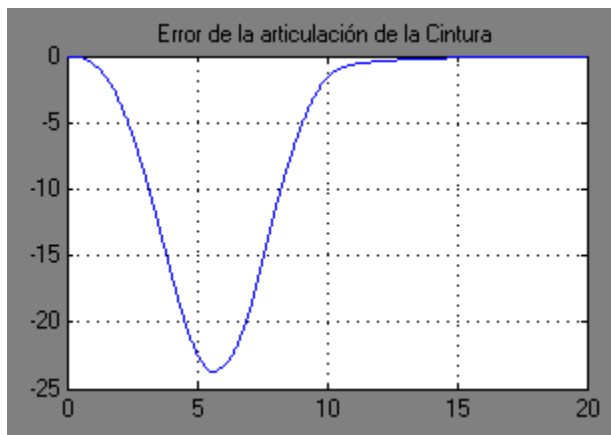


Figura 7.9: Error de la articulación de la cintura sin carga

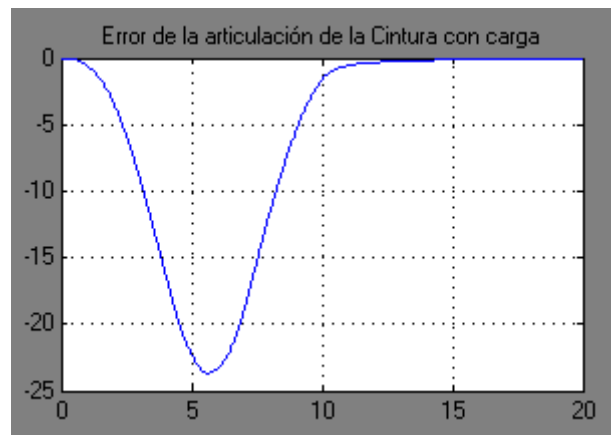


Figura 7.10: Error de la articulación de la cintura con carga

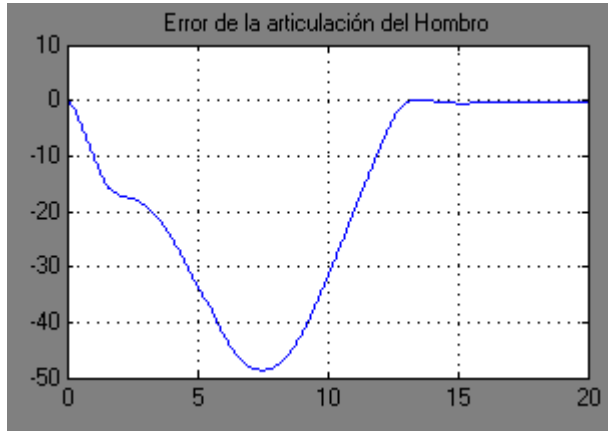


Figura 7.11: Error de la articulación del hombro sin

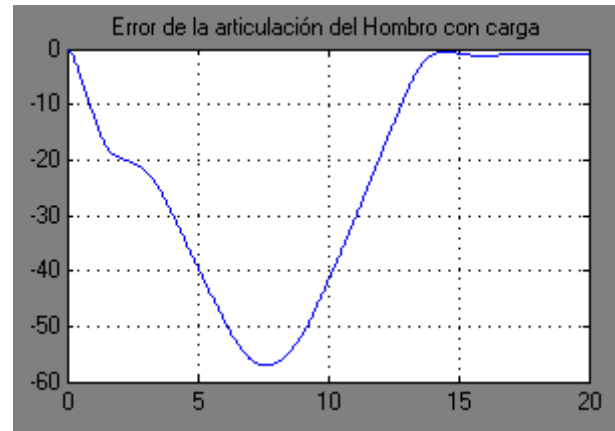


Figura 7.12: Error de la articulación del hombro con carga

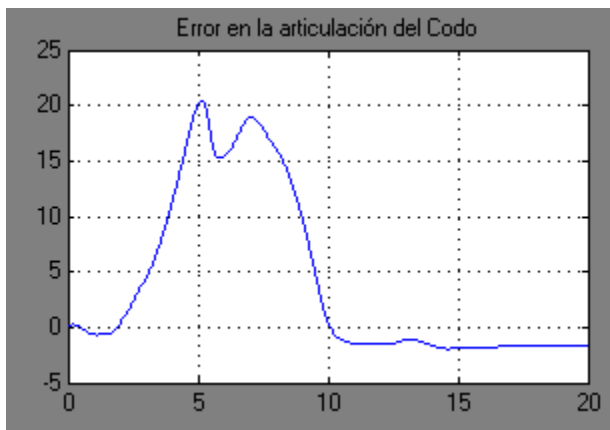


Figura 7.13: Error de la articulación del codo sin carga

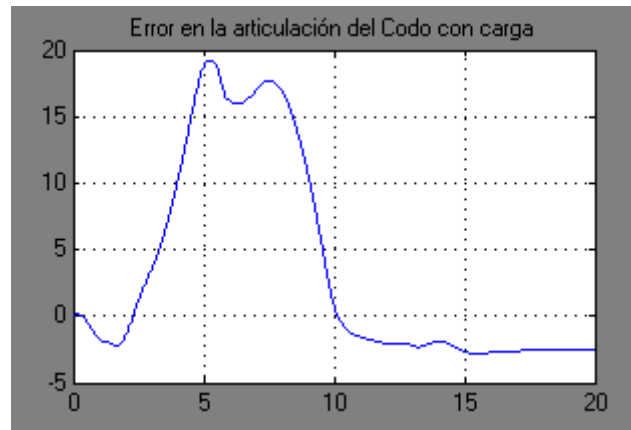


Figura 7.14: Error de la articulación del codo con carga

Para lograr corregir el problema es necesario analizar de manera más detallada las reglas de la base de conocimientos. Es posible ajustar los parámetros del modelo del controlador difuso para darle mayor robustez y de esta manera el controlador sea capaz de absorber o disminuir perturbaciones presentes a la entrada del controlador sin afectar drásticamente la salida del controlador.

En las graficas de las figuras 7.15, 7.16, 7.17, 7.18 es posible observar el error en estado estable de las articulaciones de robot. Estas gráficas nos demuestran que el error no siempre llega a ser cero.

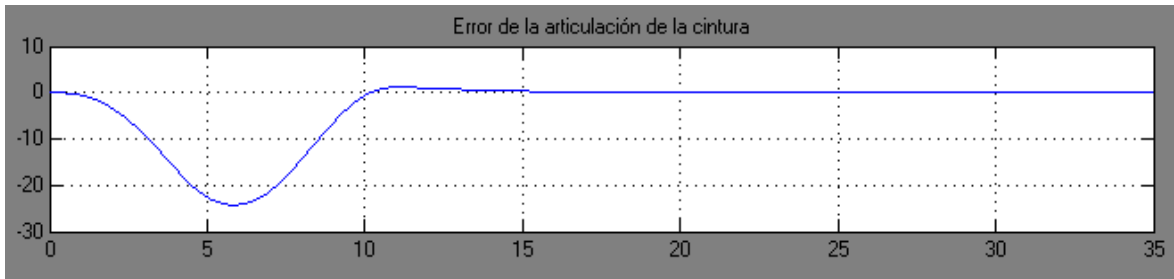


Figura 7.15: Error en estado estable de la articulación de la cintura sin carga

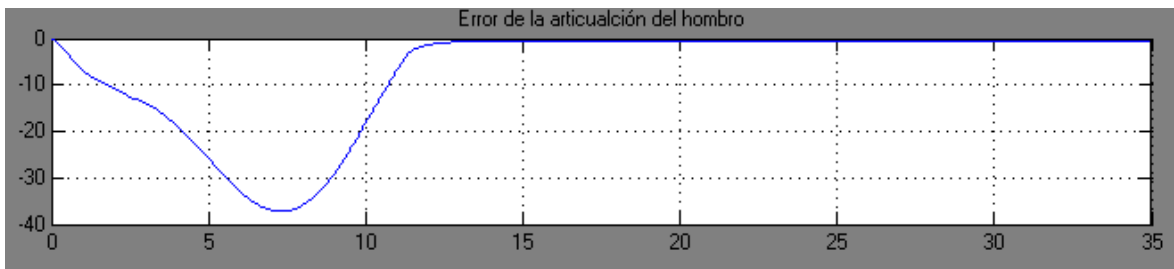


Figura 7.16: Error en estado estable de la articulación del hombro sin carga

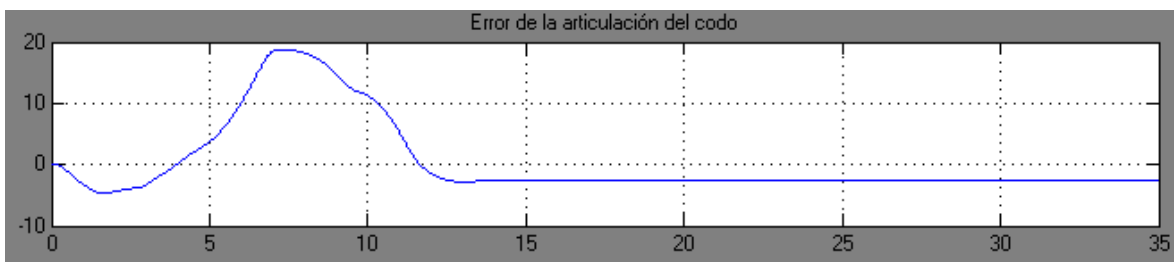


Figura 7.17: Error en estado estable de la articulación del codo sin carga

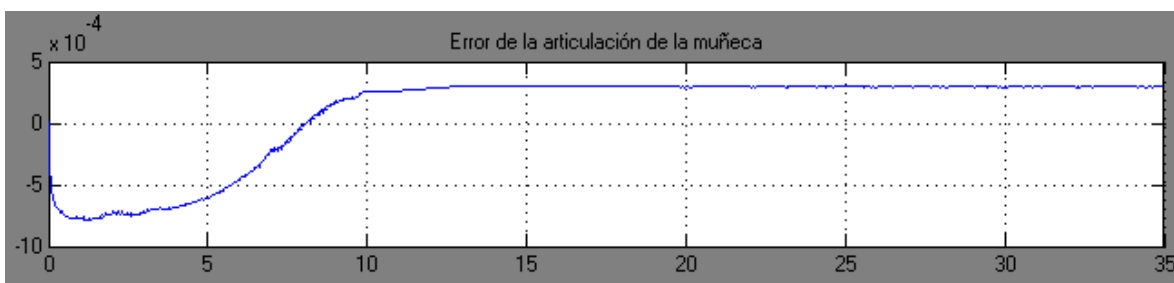


Figura 7.18: Error en estado estable de la articulación de la muñeca sin carga

La información que nos brindan las graficas es de gran importancia, por que si se sabe que el controlador no va a llegar a la posición deseada, es posible compensar la

distancia que falta para llegar a la posición a esa posición y de esta manera ajustar la trayectoria de referencia para lograr que el controlador llegue a la posición que se desea.

En este capítulo se presentaron las pruebas y los resultados que arrojaron las simulaciones en SimMechanics del Robot UDLAP con los controladores difusos. Los resultados que se observaron resultaron bastante interesantes y se puede ver como algunos factores afectan el comportamiento de los controladores de las articulaciones. En el último capítulo se presentarán las conclusiones a las que se llegaron tras observar y analizar los resultados de las simulaciones.