

# INTRODUCCIÓN

---



## Introducción

Simular es experimentar con un modelo de un sistema dado para obtener una determinada información sobre su comportamiento. En este libro, los sistemas que nos interesan son las plantas o equipos químicos (no se consideran los procesos *batch*), y los modelos que utilizaremos son modelos matemáticos volcados en programas de computadoras. A estos programas nos referiremos con el nombre de simuladores.

Durante la operación de una planta o equipo se pueden distinguir distintas etapas, las más importantes son: puesta en marcha, régimen normal, y parada de planta. La puesta en marcha se inicia con todos los equipos de la planta apagados, este es el estado inicial. Los operarios deben ejecutar una serie de acciones tendientes a encender todos los equipos y lograr que operen normalmente. A medida que estas acciones se realizan, el estado de la planta comienza a evolucionar. Los caudales dejan de ser nulos, las temperaturas comienzan a aumentar o a decrecer, etc.. Es una situación de alto *stress* ya que son muchas las variables a supervisar y todas ellas están evolucionando.

Al completar la puesta en marcha, se logró conducir la planta desde su estado inicial hasta el estado estacionario (no hay evolución de las variables) correspondiente al régimen de funcionamiento normal. En esta nueva etapa, los operadores deben supervisar continuamente el proceso a fin de verificar que se mantienen las condiciones de funcionamiento normal. Esta es una situación más relajada, pero no por ello menos crítica. En este caso, el tedio y el cansancio pueden ser tan peligrosos como el *stress*. Un operario cansado puede descuidar sus obligaciones de supervisión o carecer de los reflejos necesarios para enfrentar una situación imprevista (por ejemplo: una falla en un controlador). Las consecuencias pueden ser: accidentes, pérdidas de producción, paradas innecesarias, daños a los equipos, etc.. Las mismas consecuencias pueden ser ocasionadas por la falta de experiencia o entrenamiento de los operarios.

Finalmente, las plantas deben ser detenidas periódicamente a fin de realizar tareas de mantenimiento. Nuevamente los operarios deben enfrentarse con la evolución del estado de la planta. Esta vez el estado final es la planta con todos sus equipos apagados. Los problemas que se presentan aquí son similares a los problemas descriptos para la puesta en marcha.

La mayoría de los Simuladores Comerciales son del tipo estacionario. Esto es, que son capaces de determinar el estado estacionario (las variables no evolucionan) de una planta dada. Esta información es de suma utilidad para la determinación de las condiciones óptimas de operación o para el análisis de distintos procesos y arreglos de equipos alternativos para producir un dado producto. Sin embargo, no es tan útil para planear los procedimientos de puesta en marcha y parada. Tampoco es tan directa su aplicación en el estudio de situaciones tales como fallas de equipos o cambios en las condiciones de operación. Para ello es necesario que el simulador sea capaz de manejar la evolución de la planta. En efecto, ya no sólo basta con determinar el estado estacionario que alcanzará la planta, sino que, se deben determinar todos los estados intermedios que componen la evolución. Los simuladores capaces de hacer esto son los Simuladores Dinámicos.

Existen algunos Simuladores Dinámicos Comerciales, pero son mucho menos que los estacionarios y de mayor costo. Esto hace que los Simuladores Dinámicos estén menos difundidos que los Estacionarios. No obstante, el rango de aplicaciones de este tipo de simuladores abarca las aplicaciones de los estacionarios y además pueden ser utilizados para el estudio de puesta en marcha, parada y cualquier situación que implique

una evolución del estado de la planta. Esta información es vital para el grupo de ingenieros que diseña los equipos y/o determina las condiciones de operación de los mismos. Ellos deben preparar a los equipos para que soporten no sólo las condiciones del régimen normal de funcionamiento, sino también, que puedan superar las exigencias que implican los procedimientos de puesta en marcha y parada.

Se pueden utilizar Simuladores Estacionarios y Dinámicos para entrenar a los operadores. De esta manera, ellos comprenderán mejor el proceso que se lleva a cabo en la planta y hasta podrán observar cuál sería la evolución del mismo cuando se alteran algunas condiciones de operación. Sin embargo, sólo pueden observar pasivamente. Para superar este problema se desarrollaron los Simuladores Dinámicos de Tiempo Real. Un simulador con estas características permite que el operador pueda interactuar con él durante la simulación.

En este libro se describirá un Simulador Dinámico de Tiempo Real llamado HTST 1.0. Este programa fue desarrollado en la Cátedra de Ingeniería de los Procesos perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy. El mismo se puede encontrar en el disco que se entrega con este libro. Este simulador fue desarrollado

especialmente para el entrenamiento de operarios y estudiantes de Ingeniería Química. Este simulador presenta una interfaz gráfica que reproduce todos los elementos que se pueden encontrar en la sala de control de la planta simulada. En todo momento el usuario puede ejecutar las acciones a las que el simulador responderá en forma inmediata. Por ejemplo, si el usuario cambia el *set point* de un controlador, este cambio se visualizará inmediatamente en el visor correspondiente al tiempo que la variable controlada comenzará a evolucionar para alcanzar la nueva consigna. El Tiempo Real que tardará la variable en alcanzar su valor final depende de la dinámica del proceso, mientras que el tiempo de cálculo dependerá de la computadora. El simulador está diseñado para que los dos tiempos concuerden. De esta manera, el usuario no tiene forma de distinguir si está frente a un simulador o si está operando realmente el proceso a través de la computadora. Las aplicaciones de este tipo de simulador son todas las anteriores más el estudio de los efectos del *stress* y del cansancio en los operadores, el estudio de los procedimientos operativos, y el entrenamiento de operarios.

En las secciones siguientes se profundizarán las características de este simulador. También se incluye el manual del usuario. La sección más importante es la referente a las aplicaciones. En esa sección se analizan

algunas de las posibles aplicaciones mediante ejemplos. Estos ejemplos tienen como objetivo motivar al lector para que realice experimentos a fin de conseguir experiencia propia y despertar su interés en el área de simulación. Si esto se logra, este libro habrá cumplido su misión.

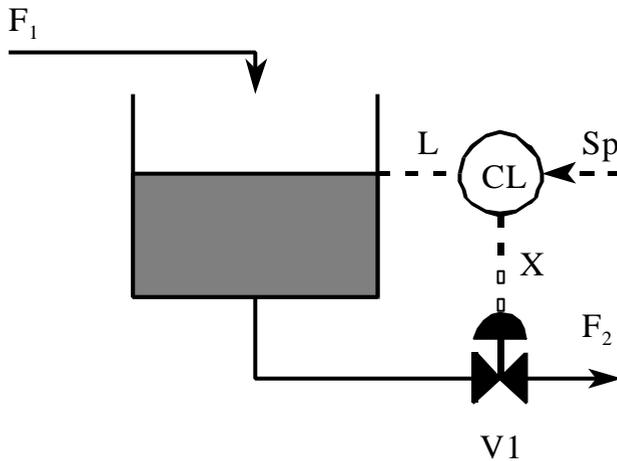
### ***Características del Simulador HTST 1.0***

Las Características del simulador que se incluye en este libro son:

- **Dinámico:** Considera la evolución temporal del proceso. No se limita a describir los estados estacionarios, sino que, también determina cómo el proceso evoluciona hasta llegar a ellos.
- **Interactivo:** Permite que el usuario interactúe en todo momento con el proceso tal como lo haría con el sistema real.
- **Tiempo Real:** Un segundo de simulación corresponde a un segundo de evolución del proceso real.
- **Ruidos:** Está capacitado para simular los ruidos provocados por las perturbaciones del proceso.

- **Fallas:** Está capacitado para simular fallas en los equipos del proceso.

Para explicar estas características se utilizará un proceso simple. En la Figura 1, se puede observar un tanque con flujo gravitacional y un control de nivel.



**Figura 1:** Tanque con flujo por gravedad.

El ingreso de líquido debido al caudal  $F_1$  provoca un aumento en el nivel  $L$ . Este aumento a su vez provoca un aumento en el caudal de salida  $F_2$ . Esta descarga disminuirá el nivel  $L$ . De esta manera, el nivel  $L$  está

sometido a dos efectos contrarios. Cuando el nivel adopte un valor tal que haga que los dos efectos se cancelen entre sí, entonces el tanque habrá alcanzado un estado estacionario con  $L$  constante. Este estado estacionario final dependerá de la apertura  $X$  de la válvula  $V1$ .

Esta válvula es manipulada por el controlador  $CL$ . Este dispositivo regulará la válvula de manera tal que el valor de  $L$  en el estado estacionario concuerde con el *set point*  $Sp$ .

Supongamos que tanto  $L$  como  $Sp$  son iguales a la mitad de la altura del tanque, es decir que el proceso está en un estado estacionario. Supongamos además que el operario realiza un cambio de  $Sp$  y el nuevo valor es levemente inferior a la altura del tanque. Inmediatamente, el controlador cerrará la válvula para provocar un aumento del nivel. El nivel comenzará a aumentar para alcanzar un nuevo estado estacionario. Un simulador estacionario nos dirá que, en el nuevo estado estacionario, el nivel concordará con el nuevo valor de  $Sp$ , pero no cómo  $L$  alcanzará ese nuevo estado. Ahora se pueden hacer las siguientes preguntas: ¿La altura se acercará asintóticamente al valor final?, ¿Será posible que por la inercia del sistema la altura supere momentáneamente el valor de  $Sp$  rebalsando

el tanque?, ¿Cuánto tiempo demandará alcanzar el nuevo estado estacionario?.

Para obtener las respuestas se puede utilizar un Simulador Dinámico. Estos simuladores pueden mostrar al operario un gráfico de L vs. tiempo. Del análisis de ese gráfico el operario puede obtener todas las respuestas, por ejemplo: el tanque rebalsará en 10 minutos. Sin embargo, él sabe que esa situación no se presentará porque hay tiempo más que suficiente para que pueda observar que L está aumentando muy rápidamente y tomará alguna acción para evitar que el líquido rebalse. Se da cuenta también que surgen otras preguntas: ¿Qué acciones tomar?, ¿Cuándo y cómo tomarlas?, ¿Tendrá el suficiente entrenamiento para mantener la concentración cuando se activen las alarmas?, ¿Cómo evolucionará el proceso ante las acciones tomadas y cómo reaccionará él ante esa evolución?.

En la mayoría de los casos, el operario obtiene estas respuestas a través de prueba y error con todos los trastornos personales y económicos que ya se comentaron. Sin embargo, estas consecuencias se pueden minimizar utilizando un Simulador Dinámico de Tiempo Real para entrenar al operador y sacar conclusiones correctas.

Otro problema que debe enfrentar el operador, hasta ahora no mencionado, es el ruido del proceso. Este ruido es inevitable y se origina en las turbulencias del proceso, vibraciones, fricciones, etc.. En el tanque es evidente que el sensor de nivel no reportará un valor constante, debido a que la caída del líquido de alimentación provoca ondulaciones en la superficie. Esto genera un ruido en los valores de  $L$  reportados. Este ruido será amplificado por el controlador, originando un mayor ruido en el valor  $X$ . De igual manera  $F_2$  es afectado por el ruido, lo que afectará nuevamente a  $L$ .

Ahora, el operador no puede determinar con precisión los valores de las variables del proceso. También se complicó la determinación de tendencias, ya no es posible afirmar rápidamente si una variable está aumentando o disminuyendo su valor. Por lo que aparecen nuevas preguntas: ¿Podrá el ruido desestabilizar el sistema debido a la amplificación que realiza el controlador?, ¿Si la altura se acercaba asintóticamente al valor final de  $S_p$ , podrá el ruido provocar que el líquido rebalse de todas formas?, ¿Cómo ajustar las alarmas para que no se disparen por el ruido?. Para responder estas preguntas es necesario simular el ruido. Por este motivo, se dotó al simulador de la capacidad para simular ruidos.

Finalmente, el operador debe también estar preparado para intervenir cuando algún equipo falla. Por ejemplo, suponga que el sensor de nivel falla y comienza a reportar un nivel nulo. El controlador cerrará la válvula para tratar de corregir esa lectura. Esto provocará que el nivel abandone su valor normal y comience a aumentar. Si el operario no interviene, el tanque rebalsará. ¿Qué acciones se deben tomar?, ¿Cuánto tiempo demandarán?, ¿Qué efecto tendrá el *stress*?. Es necesario simular las fallas para poder contestar a estas preguntas y es lo que se hizo en el simulador que se presenta en este libro.

